



ABSCHLUSSBERICHT ZUM „WALDGLASPROJEKT“ DER DEUTSCHEN BUNDESSTIFTUNG UMWELT





Universität Bamberg



htw

Hochschule für Technik
und Wirtschaft Berlin

University of Applied Sciences

DIE MODELLHAFT BEGRÜNDUNG, KONSERVIERUNG UND RESTAURIERUNG
UMWELTGESCHÄDIGTER ARCHÄOLOGISCHER FUNDE AM BEISPIEL
MITTELALTERLICHER GLÄSER UND GLASHÜTTEN IM WESERBERGLAND



Projektlaufzeit: 17. September 2014 – 30. Juni 2018

Projektleiter: Prof. Dr. Hans-Georg Stephan/Universität Halle-Wittenberg

Kooperationspartner: Prof. Dr. Rainer Drewello/Universität Bamberg;
Prof. Dr. Alexandra Jeberien/Hochschule für Technik und Wirtschaft

Gefördert von Deutsche Bundesstiftung Umwelt, Osnabrück
Förderthema 9.1. Erhalt von Kulturgütern unter Umweltaspekten

AZ 31548/01-45

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung und Projektgegenstand (Hans-Georg Stephan)	7
1.1. Einleitung	7
1.2. Gegenstand des Forschungsvorhabens	8
1.3. Frage- und Problemstellungen.....	8
1.4. Abriss zum historischen und naturwissenschaftlichen Kontext des Holzaschegglases	9
1.5. Projektevaluation	10
1.5.1. Expertenrunde und Gedankenaustausch	10
1.5.2. Dissemination und Publikation.....	11
1.5.2.1. Lehrtätigkeit und internationale Vernetzung	11
1.5.2.2. Öffentlichkeitsarbeit	14
1.5.2.3. Endpublikation.....	14
1.5.3. Modellhaftigkeit und innovativer Charakter	14
1.5.4. Restaurierungswissenschaften.....	16
2. Projektanteil der Universität Halle-Wittenberg (Hans-Georg Stephan unter Mitwirkung von Radoslaw Myszka).....	18
2.1. Abriss der Forschungsgeschichte: Glaserzeugung und Gläser des Mittelalters in Zentraleuropa, Forschungsgang und Forschungsstand.....	18
2.2. Grundzüge der Entwicklung der Glasproduktion bis zum hohen Mittelalter.....	20
2.3. Zur regionalen Ausgangssituation für das Forschungsprojekt	22
2.4. Arbeitsprogramm und Projektverlauf	28
2.5. Der Arbeitsgang der Grabungen und Geländeinspektionen	30
2.6. Auswertungsergebnisse: Waldglashütten des frühen, hohen und späten Mittelalters im Solling: multidisziplinärer Kontext.....	32
2.6.1. Die Waldglashütte des 9. Jahrhunderts und das karolingerzeitliche Corvey	32
2.6.2. Die Waldglashütte der Zeit um 1100-1150 im Rumohrtal	34
2.6.3. Die Ein-Ofen-Anlage der Zeit um 1230-1250 am Kleinen Mittelberg.....	34
2.6.4. Die Waldglashütte der Zeit um 1420-1440 bei Bodenfelde.....	35
2.7. Darstellung der Forschungsergebnisse zu Waldglashütten im Solling	36
2.7.1. Die karolingische Waldglashütte bei Bodenfelde und die frühmittelalterliche Glasverarbeitung in der Reichsabtei Corvey im größeren kulturhistorischen Kontext	36
2.7.1.1. Zur historischen Kulturlandschaft.....	36
2.7.1.2. Der Glashüttenstandort und seine Befunde	38
2.7.1.3. Zur Rekonstruktion der Glasöfen	43
2.7.1.4. Funde aus der karolingischen Waldglashütte	45
2.7.1.4.1. Haushaltskeramik	46
2.7.1.4.2. Haushaltskeramik als Glashafen.....	47
2.7.1.4.3. Glasschmelzgefäße: hochwertige technische Spezialkeramik	48
2.7.1.4.3.1. Freihandgefertigte Häfen.....	48

2.7.1.4.3.2. Scheibengedrehte Häfen	50
2.7.1.4.4. Ofenbautechnische Funde	54
2.7.1.4.5. Die Gläser	55
2.7.1.5. Zum weiteren historischen und glastechnischen Kontext	60
2.7.2. Die Waldglashütte der Zeit um 1100-1150 im Rumohratal	66
2.7.2.1. Der Glashüttenstandort im Rumohratal	68
2.7.2.2. Glasöfen – Grabungsbefunde im Vergleich und die Schedula Diversarum Artium	70
2.7.2.3. In der Schedula nicht erwähnte Nebenöfen	77
2.7.2.4. Technische Keramik	80
2.7.2.4.1. Archaische Kugeltopfware älterer Machart.....	80
2.7.2.4.2. Glasschmelzgefäße und Ofenbauelemente aus Hafenton	82
2.7.2.4.3. Sonstige Relikte und technische Keramik der Glashütte im Rumohratal.....	85
2.7.2.5. Glas	86
2.7.2.5.1. Hohlgläser.....	91
2.7.2.6. Die Gebrauchskeramik	98
2.7.2.6.1. Kugeltopfware älterer Machart und gelbe feine Irdenware.....	98
2.7.2.6.2. Reduzierend gebrannte graue Irdenwaren.....	100
2.7.2.6.3. Zwischenfazit zur Haushaltskeramik.....	100
2.7.2.7. Kulturhistorischer, bau- und wirtschaftsgeschichtlicher Kontext.....	101
2.7.3. Die Ein-Ofen-Anlage der Zeit um 1230/1250 am Kleinen Mittelberg.....	107
2.7.3.1. Der technische Ofen.....	113
2.7.3.2. Überlegungen zur Funktion und Betriebsdauer des Ofens und der Hütte.....	115
2.7.3.3. Haushaltskeramik und sonstige Funde.....	118
2.7.3.4. Perspektivischer Ausblick zu Nebenhütten/Ein-Ofen-Anlagen.....	120
2.7.4. Spätmittelalterliche Waldglashütte im Kreickgrund bei Bodenfelde.....	121
2.7.4.1. Glas	124
2.7.4.2. Technische Keramik	126
2.7.4.2.1. Ofenbauelemente.....	126
2.7.4.2.2. Glasschmelzgefäße.....	127
2.7.4.2.3. Model	128
2.7.4.2.4. Kühlkeramik	129
2.7.4.3. Gebrauchskeramik	130
2.7.4.4. Metall	131
2.7.4.5. Abschließende Betrachtungen.....	134
2.8. Zusammenfassung – Ausblick	134
2.9. Summary – Perspectives	138
2.10. Danksagung.....	141
2.11. Literatur	143

3. Projektanteil der Universität Bamberg (Sören Siebe)	158
3.1. Einführung.....	158
3.2. Eigenschaften und Herstellung von Glas	158
3.3. Probenauswahl und Probleme durch vorherige Behandlung der Glasfunde	159
3.4. Glaskorrosion.....	163
3.5. Korrosionsphänomene.....	163
3.5.1. Keine bis minimale Korrosion	164
3.5.2. Mäßige Punkt-, bzw. Ringkorrosion ohne, bzw. mit kaum Korrosionsschicht.....	164
3.5.3. Mäßige Punkt-, bzw. Ringkorrosion mit Korrosionsschicht.....	164
3.5.4. Punkt-, bzw. Ringkorrosion mit flächendeckender Korrosionsschicht	164
3.5.5. Flächige Punkt-/Ringkorrosion mit großflächigem Verlust der originalen Oberfläche ...	165
3.5.6. Flächendeckende Tiefenrisskorrosion	165
3.6. Zusammensetzung der Gläser des 15. Jahrhunderts	166
3.7. Zusammensetzung der karolingischen Gläser.....	168
3.8. Analyse der Bodenproben	169
3.9. Bestimmung der Bodenfeuchte	169
3.10. Bestimmung des pH-Wertes.....	173
3.11. Pestizidanalyse	175
3.12. Bestimmung der Anionen und Kationen mit Metallscreening.....	175
3.13. Rohstoffsituation in Bodenfelde	179
3.13.1. Sandproben	180
3.13.2. Salzprobe	183
3.13.3. Holzasche/Pottasche	186
3.14. Terrestrisches 3D-Laserscanning von Grabungsbefunden	189
3.15. Literatur	192
4. Projektanteil der Hochschule für Technik und Wirtschaft (Alexandra Jeberien unter Mitwirkung von Olga Emgrund).....	194
4.1. Konservatorische Problemstellungen und Anforderungen an die Fundbergung.....	194
4.2. Stand der Konservierungswissenschaften und der Feldarchäologie	195
4.3. Arbeitsprogramm der HTW Berlin	196
4.3.1. Arbeitsprogramm der HTW Berlin	196
4.3.2. Methodisches Vorgehen.....	196
4.3.3. Zeit- und Projektplanung	197
4.4. Durchführung der Arbeitspakete – HTW Berlin	198
4.4.1. Arbeitspaket I – Anforderungskatalog	198
4.4.1.1. Literatur zur Glaskorrosion.....	198
4.4.1.2. Vorgaben der Denkmalbehörden in Deutschland zur Fundbergung.....	200
4.4.2. Arbeitspaket II – Arbeitsablauf und optimiertes Equipment.....	202

4.4.2.1. Forschungsstand zur Fundbergung und Fundversorgung mittelalterlicher Gläser.....	202
4.4.2.2. Erhebung von best-practice Methoden zur Fundbergung und -versorgung von mittelalterlichen Gläsern	205
4.4.2.3. Auswahl und Optimierung des Equipments und der Materialien zur Fundbergung und -versorgung von Glasfunden	209
4.4.2.4. Arbeitsabläufe und Methoden zur verbesserten Fundbergung und -versorgung mittelalterlicher Gläser	211
4.4.3. Arbeitspaket III – Bewertung des Arbeitsablaufs und innovativen Equipments	213
4.4.3.1. Bewertung Arbeitsablauf Fundbergung und -versorgung mittelalterlicher Gläser	213
4.4.3.2. Bewertung des Equipments und der Materialien zur Fundbergung und -versorgung mittelalterlicher Gläser	215
4.4.4. Arbeitspaket IV – Qualität der Korrosion der geborgenen mittelalterlichen Glasfunde.	217
4.4.4.1. Probenmaterial und Zustandsbeschreibung der mittelalterlichen Gläser Bodenfelde	218
4.4.4.2. Optische Erfassung mittelalterlicher Gläser: Licht-/Elektronenmikroskopie	219
4.4.4.3. Analyse Zusammensetzung und Korrosion mittelalterlicher Gläser aus Bodenfelde..	220
4.4.4.4. Auswertung der Untersuchungen und Kategorisierung von Korrosionsgraden der mittelalterlichen Glasfunde Bodenfelde	220
4.4.4.5. Entwicklung Korrosionsbildkatalog der mittelalterlichen Gläser aus Bodenfelde.....	220
4.4.5. Arbeitspaket V – Möglichkeiten der konservatorischen Behandlung.....	220
4.4.5.1. Untersuchung des Trocknungsverhaltens der mittelalterlichen Gläser Bodenfelde ...	221
4.4.5.2. Ableiten möglicher konservatorischer Maßnahmen	222
4.4.5.3. Konzept zur Reinigung und Sicherung der mittelalterlichen Gläser Bodenfelde	223
4.4.5.4. Exemplarisch-modellhafte Bearbeitung der mittelalterlichen Gläser Bodenfelde	224
4.4.6. Arbeitspaket VI – Vergleich der herkömmlich geborgenen Gläser mit den durch optimierte Verfahren geborgenen Funden	224
4.4.7. Arbeitspaket VII – Diskussion und Empfehlungen für eine verbesserte Fundbergung und -versorgung mittelalterlicher Gläser	225
4.5. Literatur	227
5. Anhang	229
5.1. Anhang Universität Bamberg	229
5.1.1. Katalog Glasproben.....	229
5.1.2. Katalog Bodenproben	288
5.2. Anhang HTW Berlin.....	293
5.2.1. Fragebogen, deutschsprachig	293
5.2.2. Korrosionsbildkatalog	298
5.2.3. Untersuchungen zum Trocknungsverhalten korrodierter Glasfragmente	302
5.2.4. Untersuchung der unkontrollierten Trocknung	303
6. Abbildungsverzeichnis.....	305
7. Tabellenverzeichnis	314
8. Abbildungsnachweis	315

Das Waldglasprojekt: Archäologen, Denkmal- und Restaurierungswissenschaftler auf den Spuren der mittelalterlichen Glasmacher im Weserbergland

Schlüsselwörter: Archäologie, Archäometrie, Restaurierung, Denkmalpflege, Mensch und Umwelt, Kulturlandschaft, Glas, mittelalterliches Glas, Waldglas, Glasproduktion, Glashütten, Technologie, Wirtschaft, Mittelalter, Weserbergland, Oberweser, Solling, Hessen, Niedersachsen, Thüringen, Westfalen, Deutschland, Europa

Keywords: archaeology, archaeometry, restauration, heritage, glass, glass production, medieval glass, forest glass, cultural landscape, economy, technology, middle ages, glassworks, Upper Weser area, Weserbergland, Solling, Hesse, Lower Saxony, Thuringia, Westphalia, Germany, Europe

1. Einleitung und Projektgegenstand (Hans-Georg Stephan)

Vorbemerkung: Kapitel 1 des Abschlussberichtes orientiert sich bewusst an dem 2013 bei der DBU eingereichten Antrag von Hans-Georg Stephan und Rainer Drewello und dessen Modifizierungen aufgrund der gutachterlichen Stellungnahmen. Hier wird zugunsten des Leseflusses weitgehend auf einzelne Hinweise zum einschlägigen Schrifttum verzichtet. In den fachspezifischen Abschnitten zu den Projektanteilen der beteiligten Fachdisziplinen finden sich mindestens die wichtigsten unverzichtbaren Literaturverweise, sie sind weitgehend jedoch auch dort auf das absolut notwendige Minimum beschränkt. Umfangreiche ergänzende Belege, Dokumentation und ausführliche Darlegungen finden sich in der vorgesehenen Endpublikation in Buchform, die demnächst erscheinen soll (Stephan 2020).

1.1. Einleitung

Die Durchführung unseres transdisziplinären Forschungsvorhabens ermöglichte die Deutsche Bundesstiftung Umwelt in Osnabrück durch die großzügige Bereitstellung von Sachmitteln für das Projekt „Die modellhafte Bergung, Konservierung und Restaurierung umweltgeschädigter archäologischer Funde am Beispiel mittelalterlicher Gläser und Glashütten im Weserbergland“ mit dem Bewilligungsbescheid vom 17. September 2014. Die Projektleitung lag in den Händen von Prof. Dr. Hans-Georg Stephan (Archäologie des Mittelalters und der Neuzeit) und war damit an der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg verankert, die Kooperationspartner waren Prof. Dr. Rainer Drewello (Restaurierungswissenschaften in der Denkmalpflege, Universität Bamberg) und Prof. Dr. Alexandra Jeberien (Konservierung und Restaurierung/Grabungstechnik, Hochschule für Technik und Wirtschaft Berlin, künftig abgekürzt: HTW). Das in dieser Konstellation und mit dem Sachthema Gläser und Glashütten im archäologischen Kontext recht ungewöhnliche Forschungsvorhaben war im Förderthema „9.1. Erhalt von Kulturgütern unter Umweltaspekten“ verankert und versteht sich als Pilotprojekt in einem bislang weitgehend vernachlässigten Übergangsfeld und Kontaktbereich verschiedenster Disziplinen, auch über die unmittelbar beteiligten Wissenschaftler und Fächer hinaus.

Wissenschaftliche Mitarbeiter des Projektes waren Magister Radoslaw Myszka für die Archäologie (Universität Halle-Wittenberg), Diplom-Restauratorin Olga Emgrund für den Projektanteil der Hochschule für Technik und Wirtschaft Berlin und Sören Siebe, M. A. für die Bamberger Projektthemen.

1.2. Gegenstand des Forschungsvorhabens

Ziel des Forschungsvorhabens war es, zu dem faszinierenden Werkstoff Glas die grundsätzlich notwendiger Maßen überaus eng aufeinander bezogenen Arbeitsweisen, Methoden und Ziele archäologischer, denkmalkundlicher, restauratorischer und naturwissenschaftlicher Arbeit soweit wie möglich und sinnvoll miteinander zu verzahnen und gemeinsam gewonnene Erfahrungen und Erkenntnisse im transdisziplinären Diskurs zu vertiefen. Hauptanliegen des Projekts ist somit die fächerübergreifend problemorientiert arbeitende modellhafte Erforschung, Bergung, Sicherung und Konservierung anthropogen bzw. umweltgeschädigter archäologischer Gläser, und zwar insbesondere von Kaliumgläsern des Mittelalters, welche in der Literatur auch als „Holzascheglas“ oder „Waldglas“ bezeichnet werden. Es setzt u. a. auf Erfahrungen des Fraunhofer-Instituts für Silicatforschung auf, die in Zusammenhang mit einem Vorhaben zur Konservierung von archäologischem Glas anhand der Korrosion von Modellgläsern bei Bodenlagerung erworben wurden (DBU-Vorhaben, Az 15851-45). Die Grundlage für unsere Arbeiten bilden archäologische Geländeforschungen auf Glashütten im Weserbergland und angrenzenden Regionen.

Die Konservierungsproblematik ist durch den hohen Flussmittelgehalt der aus Holzasche hergestellten Glasartefakte begründet. Der kaliumhaltige Werkstoff ist als eine Innovation aus dem stark gestiegenen Bedarf an Fensterglas vor allem von Sakral- und Palastbauten zur Zeit der Blüte des weite Teile Europas umfassenden Frankenreiches unter Karl dem Großen hervorgegangen. Seine Entwicklung oder gegebenenfalls auch teilweise Übernahme aus der Glastechnologie der vom Islam politisch beherrschten Gebiete ist dem Erfindungsgeist und den paneuropäischen wie auch mediterranen, besonders in der Welt des Mittelmeeres und des Oströmischen Reiches verwurzelten Kenntnissen und Traditionen der Glasmacher seit der Antike zu verdanken. Daneben stellte man vor allem in einer Übergangszeit im 9. Jahrhundert und sodann seit etwa 1100 in großem Umfang Mischgläser her, wobei im Hochmittelalter teils Bleioxid als Flussmittel eine entscheidende Rolle spielte, was sich sehr günstig für die Stabilität und den Glanz der sakralen Farbgläser vor allem der Romanik auswirkte. Diese neuartige Entwicklung sowie glastechnische Innovationen im 15. Jahrhundert schufen die Basis für die Blüte der Glaserzeugung in der Renaissance. Erst sie machten das Venezianische Kristallglas sowie die mitteleuropäischen Kaliumgläser und deren Weiterentwicklungen (Flint- und Kreideglas, Bleikristall) erheblich korrosionsrestistenter. Der Werkstoff wurde nun relativ wohlfeil wie auch europaweit verfügbar und zum globalen Trendsetter und Exportartikel.

1.3. Frage- und Problemstellungen

Leider reagiert das Kaliumglas sehr empfindlich auf Feuchtigkeit und Austrocknung, auf saures Milieu und weiterhin auf anthropogen induzierte Schadstoffe. Im Fall von Bodenfunden stammen letztere auf Weideland oder im Wald aus eher extensiver und auf Garten- und Ackerland aus der intensiven Bewirtschaftung unter Einsatz von Agrarchemikalien. Der zunehmend starken Nutzung des Produktionsfaktors Land mit dem nicht selten jahrzehntelangen Eintrag von Salzen und Düngemitteln sowie den klimabedingt sauren pH-Werten der Waldböden kommt somit eine wesentliche Rolle bei der Gefährdung der besonders fragilen und nur überaus schwierig und aufwendig zu bergenden, zu erhaltenden, dauerhaft in Depots zu lagernden, zu restaurierenden und museal zu präsentierenden Objekte aus hochempfindlichem Kaliumglas zu.

Nur allzu oft liegen derartige mittelalterliche Gläser in einem stark korrodierten, fragilen Erhaltungszustand vor, der zu erheblich erschwerten Bergungsbedingungen und gerade auch im Zuge und nach der Freilegung nicht selten zu beschleunigten Korrosionserscheinungen

führt. Um Holzascheglas in angemessener Art und Weise zu bergen und zu erhalten, bedarf es deshalb einer umsichtigen Bergungsroutine sowie sichernder und auf die Schadbelastrung gezielt ausgerichteter erhaltender Maßnahmen. Die Grundlagen für die Erstfundsicherung sollten in diesem modellhaften Vorhaben aufgezeigt und in einem Leitfaden für die Zukunft besser als bislang üblich und möglich vorgelegt werden.

1.4. Abriss zum historischen und naturwissenschaftlichen Kontext des Holzascheglases

Glas kommt natürlich in unterschiedlicher Gestalt, etwa als Obsidian (vulkanisches Glas) bereits in der Urgeschichte für Werkzeuge und Schmuck frühzeitig genutzt vor, es gehört jedoch auch zu den ältesten synthetisch hergestellten Werkstoffen. Glas war von der Frühzeit bis in die jüngere Vergangenheit traditionell eher ein wertvolles, rares und rätselhaftes Material als ein billiges Allgemeingut. Seit den Jahrzehnten um Christi Geburt entwickelte sich Glas in der römischen Welt mit der Erfindung der Glasmacherpfeife und der dadurch möglichen Serienfertigung zu einem problemlos in größeren Mengen verfügbaren vielseitig verwendbaren und relativ preiswerten Gut. Aber auch die Fertigung und Verwendung überaus kostbarer und kunstvoller Gläser strebte neuen Höhepunkten zu.

Einen Umbruch brachte für Europa die Störung traditioneller Handels- und Austauschbeziehungen im Mittelmeerraum und dem Atlantik in Folge der militärischen Expansion des Islam im 7./8. Jahrhundert. Hinzu kam, hervorgerufen durch Klimaeinbrüche, Hungersnöte und politische Turbulenzen, eine Verknappung von natürlicher ägyptischer Soda, die zur Umstellung auf Kaliumgläser in allen Regionen unter der Herrschaft der Muslime führte. Die traditionelle Versorgung mit Rohglas und Rohstoffen aus dem Vorderen Orient und Ägypten wurde seit spätestens etwa 800 in Europa zunehmend schwierig. Deshalb sah man sich im Frankenreich Karls des Großen, dessen Eliten großen Wert auf kostbare Gläser für die sakralen (Groß-) Bauten und Königspfalzen, vermutlich auch für die repräsentativen Wohngebäude des Adels legten, vor erhebliche Versorgungsprobleme und neue Aufgaben gestellt.

Offenbar gelang aber kurzfristig die Umstellung auf neue Rezepturen mit einheimischen Rohstoffen, bei denen der Buchenholzasche als alkalireichem Naturstoff eine besondere Stellung als Sodaersatz zukam. Die daraus gefertigten Holzaschegläser entstanden wahrscheinlich in den experimentierfreudigen und höchst leistungsfähigen Offizinen der Blütezeit der fränkischen Hofkultur unter Karl dem Großen und seinem adligen Umfeld, insbesondere aber wohl im Kontext der Reichskirche innerhalb einer vergleichsweise kurzen Zeitspanne um das Jahr 800. Damit war das abendländische Holzascheglas geboren, das die Grundlage der nordalpinen europäischen Glaskultur bis in die Neuzeit werden sollte.

Leider ist das aus Pflanzenasche hergestellte Glas weitaus feuchte- und schadstoffempfindlicher als Natriumgläser aus römischer Produktion. Der Grund ist das in die Glasstruktur eingebaute Alkalimetall. Im Gegensatz zu den aus Soda hergestellten Natrongläsern, die hinsichtlich ihrer Zusammensetzung modernen Floatgläsern erstaunlich nahekommen und über eine vergleichbare chemische Beständigkeit verfügen, sind die aus Holz- und Farnasche gefertigten Kaliumgläser alles andere als witterungsbeständig. Kalium weitet Silikate anders als das kleinere Natrium-Ion extrem auf. Das Kation ist in Kanälen in der silikatischen Matrix eingelagert und kann aufgrund des erleichterten Zugangs in das Si-O-Si-Netzwerk rasch durch Feuchtigkeit und konkurrierende Kationen mobilisiert und ausgetauscht werden. Die Folgen sind Rissbildungen und Umwandlung in wasserhaltige Gelschichten, welche im Zuge der Bergung und Fundversorgung zusammen mit der originalen Oberfläche oftmals verloren gehen.

Exponentiell beschleunigt wird die Zersetzung durch ein saures Umgebungsmilieu, das sich aufgrund der umweltbedingten Übersäuerung der Böden in den letzten Jahrzehnten herausbildete, in Sauerhumusböden aber auch per se besteht. Letztere herrschen in etlichen historischen Glasproduktionsgebieten vor. Als aggressiver Korrosionsfaktor kommt die Anreicherung leichtlöslicher Salze hinzu, die sich aufgrund des gestiegenen Düngemittelsatzes und der Übernutzung der Böden im Übermaß anreichern konnten. Als besonders nachteilig haben sich Nitrate und Phosphate erwiesen: Nitrate sind im hohen Maße wasserlöslich und entfalten hydrophile Eigenschaften, was der Glaszersetzung Vorschub leistet. Phosphate sind aufgrund ihrer Fällungseigenschaften berüchtigt. Insbesondere ihre Calciumsalze führen zur Bildung unlöslicher Krusten (Calciumphosphate), deren Entfernung meist mit dem Verlust der darunter liegenden Oberfläche verbunden ist. Bei den Kationen bereitet Ammonium die größten Probleme, da es aufgrund seiner Größe und Ladung als Kaliumersatz fungiert und den Austauschprozess des Alkalimetalls katalysiert. Aus den genannten Gründen sind archäologische Gläser des Mittelalters und der frühen Neuzeit in anthropogen-umweltgeschädigten Böden einer extremen Gefährdung ausgesetzt.

1.5. Projektevaluation

1.5.1. Expertenrunde und Gedankenaustausch



Abb. 1 Projekttreffen in Bodenfelde, 17. Juni 2016. Besichtigung der Grabungsstelle der karolingischen Glashütte Bo7. Von links: Radoslaw Myszka, Prof. Dr. Hans-Georg Stephan, Martin Wolf, Dr. Eva Černá, Dr. Peter Steppuhn, Sören Siebe, Dr. Daniel Althaus (Stadtarchiv Uslar), Klaus Glaesner (Ratsvorsitzender Flecken Bodenfelde), Prof. Dr. Gerhard Eggert, Mirko von Pietrowski (Bürgermeister Flecken Bodenfelde)



Abb. 2 Abschlusskolloquium des Waldglas-Projektes im Schloss Nienover, 6. Oktober 2017

Innerhalb der Projektlaufzeit fanden in den Jahren 2015 und 2017 fachöffentliche Kolloquien zur Diskussion der wichtigsten Ergebnisse statt, außerdem in jedem Jahr teils mehrfach öffentliche Grabungsführungen und Arbeitstreffen (Abb. 1-2). Hierzu wurde eine Expertenrunde gebildet und ein Fachbeirat rekrutiert, der das Vorhaben während der Projektlaufzeit begleitet hat.

- Dr. Paul Bellendorf, ehem. Deutsche Bundesstiftung Umwelt, Osnabrück
- Dr. Eva Černá, ehem. Tschechische Akademie der Wissenschaften, Außenstelle Most
- Dr. Henning Hassmann, Landesarchäologe Niedersachsen (Hannover)
- Prof. Dr. Gerhard Eggert, Staatliche Akademie der Bildenden Künste Stuttgart
- Dr. Marie-Luise Hillebrecht, ehem. Universität Göttingen (Geographin)
- Andreas König, M. A., Stadtarchäologie Höxter
- Dr. Andreas Kronz, Geochemie, Zentrum Geowissenschaften der Universität Göttingen
- Dr. Christian Leiber, ehem. Kreisarchäologe Holzminden und Glasmuseum Grünenplan
- Dr. Petra Lönne, Kreisarchäologie Northeim
- Dr. Peter Steppuhn, Archäologe (Nienburg/Lübeck)
- Dr. Gerhard Streich, ehem. Institut für Historische Landesforschung der Universität Göttingen
- Dr. Detlef Wilke, Managing & Consulting GmbH (Wennigsen)

1.5.2. Dissemination und Publikation

1.5.2.1. Lehrtätigkeit und internationale Vernetzung



Abb. 3 Wiederherstellung der Ofenrelikte der Glashütte am Lakenteich (Solling) im Juli 2010. Unter dem Schutzdach das weitgehend erhaltene Fundament des Hauptofens

An den von Seiten der Universität Halle seit 1984 (bis 2004 von Göttingen aus) verstärkt durchgeführten auf die Problematik der Waldglashütten und die Geschichte des Glases bezogenen Geländebegehungen, Lehr- und Forschungsgrabungen mit Kartierungen, begleitenden geowissenschaftlichen Untersuchungen und Prospektionen, öffentlichen Führungen und Ausstellungen waren Studierende und Kollegen der verschiedensten Fachdisziplinen beteiligt. Gleichzeitig wurden Archivrecherchen angeregt und Geländeinspektionen von Fachwissenschaftlern und engagierten Autodidakten unterstützt sowie Lehrveranstaltungen, Führungen und öffentliche Vorträge durchgeführt. Die unterschiedlichen Angebotsformate wurden im Rahmen des DBU-Projektes auf die „Glasregion Weserbergland“ fokussiert, durch spezielle Veranstaltungen öffentlich bekannt gemacht und sollen dauerhaft in der Region verankert werden. Dazu wurden und werden Gespräche mit Vertretern verschiedener Kommunen, Vereine und anderer Institutionen geführt. Konkret ins Auge gefasst sind für die nächsten Jahre informative Beschilderungen und eventuell interaktive Informationssysteme an bzw. in der Nähe der ausgegrabenen Glashüttenplätze an Wanderwegen. Ein Anfang dazu wurde bereits 2005/6 am Lakenteich im Solling gemacht, wo eine wichtige 1655-1681 betriebene von uns ausgegrabene Waldglashütte in Kooperation mit dem Naturpark Solling-Vogler im Kontext der Ökologie beschildert und der Glasschmelzofen partiell rekonstruiert bzw. hergerichtet wurde (Abb. 3).



Abb. 4 Das auf dem Gelände der Stadtwüstung Nienover nachgebaute romanische Fachwerkhaus

Angedacht ist im Zusammenhang mit einem der wenigen zertifizierten „Qualitätswanderwege“ Deutschlands ein „Archaeo-Trail“ am Südsolling im Bereich der Gemeinde Bodenfelde, an dem man die Tätigkeit der Glasmacher in dem weiteren historischen und ökologischen Bezugsrahmen einer vielfältigen Kulturlandschaft erleben kann. Im Bereich der Stadtwüstung Nienover (12./13. Jahrhundert) könnte ein kleines ganz spezielles Zentrum der experimentellen Archäologie entstehen. Wir möchten dort die von uns ausgegrabenen Glasöfen im Maßstab 1:1 rekonstruieren und zumindest zeitweise auch betreiben. Derartige Aktivitäten sind für unser besseres Verständnis der historischen Waldnutzung, der Ökologie und

Glastechnologie von großer Bedeutung und gleichzeitig ein öffentlichkeitswirksamer Publikumsmagnet in Ergänzung zu den Events am bereits rekonstruierten „Mittelalterhaus“ unter der Trägerschaft des Landkreises Northeim (Abb. 4). Informationstafeln und möglicherweise eine kleine Ausstellung mit Exponaten im Schloss Nienover sollen diese Aktivitäten für Interessenten dauerhaft erfahrbar und erlebbar machen.



Abb. 5 Schloss Nienover auf dem Hügel am Zusammenfluss der Arme des Reiherbaches von Südosten

Die Mitwirkung an den weltweit überaus seltenen langjährigen problemorientierten archäologischen Ausgrabungen, Geländerecherchen, Forschungen und öffentlichkeitswirksamen Aktivitäten zur Geschichte der Glasproduktion im Rahmen der Entwicklung der Kulturlandschaft war und ist für Studierende, junge Wissenschaftler und Interessenten unterschiedlicher Altersgruppen aus vielen unterschiedlichen Bereichen der Gesellschaft zweifellos von großer Attraktivität. Die synergetische Verbindung der transdisziplinären praktischen Projektarbeit mit der Lehre und der experimentellen, Fächer übergreifenden archäologischen Forschung wird zur fach- und berufsspezifischen Ausbildung des akademischen Nachwuchses vom BA- über das MA-Studium bis hin zur Promotion beitragen und der methodischen Weiterentwicklung der beteiligten Disziplinen im Sinne der Entwicklung problemorientierter neuer Wissenschaftsperspektiven dienen. Im Rahmen von ERASMUS und eines jährlichen Doktorandenkolloquiums mit Fokus Ostmitteleuropa, das an wechselnden Orten stattfindet, besteht eine enge Kooperation mit der Karls-Universität in Prag (Archäologisches Institut, Prof. Dr. Jan Klápšte) und der Leopold-Friedrichs-Universität in Breslau (Archäologisches Institut Prof. Dr. Jerzy Piekalski).

1.5.2.2. Öffentlichkeitsarbeit



Abb. 6 Ein-Ofen-Anlage am Kleinen Mittelberg. Grabungsbesichtigung am 5. Oktober 2016



Abb. 7 Romanische Glashütte S-NW3. Pressetermin am 6. September 2017. Kamerateam des Norddeutschen Rundfunks

Das Interesse der Medien und der breiten Öffentlichkeit an der Thematik „Glas“ und „Restaurierung“ war und ist erfreulich stark (Abb. 6-7). Für PR-Zwecke wurde dabei in erster Linie auf die bestehenden Kontakte der Universität Halle-Wittenberg zurückgegriffen (dpa Göttingen, NDR Radio und TV, Täglicher Anzeiger Holzminden, Westfalenblatt, Neue Westfälische, Hessisch Niedersächsische Allgemeine etc.). Die HTW Berlin war bestrebt, die Kontakte zur Berliner Tagespresse zu nutzen, welche die kulturwissenschaftliche Forschung mit regem Interesse begleitet.

1.5.2.3. Endpublikation

Über die umfangreiche Internetpublikation seitens der DBU hinaus ist nicht allein für die Fachwelt der primär involvierten und weiterer angesprochener Disziplinen, sondern darüber hinaus nach Möglichkeit für breitere Interessentenkreise gut lesbare, verständliche und transdisziplinäre gedruckte Abschlusspublikation mit ausführlicher Dokumentation schwerpunktmäßig zu den archäologischen Forschungsergebnissen vorgesehen. Dabei werden in stärkerem Maße auch Untersuchungen und Ergebnisse berücksichtigt, welche über das DBU-Projekt hinausgehen. Der Umfang des Buches wird voraussichtlich etwa 500 Druckseiten betragen.

Stephan 2020: Hans-Georg Stephan (Hrsg.), Das Waldglasprojekt: Archäologen, Naturwissenschaftler und Restauratoren auf den Spuren der mittelalterlichen Glasmacher im Weserbergland. Mit Beiträgen von Olga Emgrund, Marie-Luise Hillebrecht, Alexandra Jeberien, Andreas Kronz, Radoslaw Myszk, Sören Siebe, Hans-Georg Stephan und Detlef Wilke. Hallesche Beiträge zur Archäologie des Mittelalters 4, Langenweißbach 2020.

1.5.3. Modellhaftigkeit und innovativer Charakter

Bei den Glashütten im Solling handelt es sich um ein national bedeutendes und in seinem Bestand stark gefährdetes Kulturgut. Ohne wissenschaftliche Ausgrabungen zumindest an ausgewählten Plätzen und die Entwicklung neuer Bergungsmethoden würden diese bedeutenden Zeugnisse mitteleuropäischer Kultur nicht zuletzt aufgrund der anthropogenen Überdüngung der Acker- und Waldböden und der durch den Menschen mitverursachten langfristig veränderten Umweltbedingungen mit einer Übersäuerung der Böden mittel- bis langfristig völlig zerfallen und unwiederbringlich verloren gehen. Schwere irreversible Zerstörungen haben in der im Wald bislang teils ungewöhnlich gut konservierten historischen

Kulturlandschaft weiterhin extreme Wetterlagen mit Sturmereignissen wie „Friederike“ (2018) und Kyrill (2007) angerichtet (Abb. 8). Die Forstwirtschaft wie auch die staatliche Denkmalpflege stehen dem weitgehend völlig macht- und tatenlos gegenüber, wie sich 2018 wiederum erwies.



Abb. 8 Folgen des Sturms "Friederike" im Solling, Januar 2018

Der modellhafte Aspekt des Forschungsvorhabens war und ist insbesondere die Erarbeitung eines spezifischen Verfahrens zur Erstfundbehandlung, die explizit auf chemisch instabiles, durch anthropogene Umwelteinflüsse stark vorgeschädigtes Kulturgut abgestimmt ist. Das Verfahren beinhaltet die kontrollierte Bergung, die systematische Erstfundsicherung und die nachhaltige Konservierung des archäologischen Kulturguts unter Einsatz aktueller Methoden der Konservierungswissenschaften.

Modellhaft angedacht ist ebenso eine direkt anschließende, adäquate Fundlagerung, die den Bedürfnissen archäologischer Gläser entspricht und dauerhaften Erhalt dieser wichtigen Zeugnisse der Kulturgeschichte gewährleisten soll. Die erarbeiteten Methoden und Verfahren haben Modellcharakter für viele vergleichbare, ähnlich stark anthropogen belastete Funde in ganz Deutschland. Die Ergebnisse des Vorhabens sollten der Fachöffentlichkeit ursprünglich jährlich in Form von Kolloquien an einer der drei Universitäten und Hochschulen unterbreitet werden. Als praktikabler und sinnvoller erwies sich dagegen die Präsentation im unmittelbaren archäologischen und kulturlandschaftlichen Kontext des Untersuchungsgebietes im Weserbergland. Die breitere Öffentlichkeit wurde wie oben dargestellt im Rahmen vielfältiger Veranstaltung wie auch medial fortlaufend aktuell und aktiv informiert.

Modellhaft in diesem Zusammenhang ist auch die Vorstellung eines Leitfadens, in dem der Stand des Wissens und der Umgang mit sensiblen archäologischen Glasobjekten präsentiert wird. Der Leitfaden soll den Ämtern für Bodendenkmalpflege und den Archäologischen Wissenschaften als praktische Hilfestellung zur Verfügung gestellt werden. Das Vorhaben ist aus den folgenden Gründen als innovativ einzustufen:

Es verknüpft drei Fächerkulturen, die ein drängendes Problem gemeinsam bewältigen wollen: die Archäologischen Wissenschaften, die Konservierung und Restaurierung sowie die Denkmalpflege. Ziel war es, keine isolierten Einzelstudien, sondern ein konzertiertes Konzept zur Problemlösung vorzulegen.

Zum zweiten wurde in einem neuen methodischen Ansatz die Grabungsroutine in der Feldarchäologie so weit als möglich umgestellt und die nachhaltige Sicherung sensibler Fundstücke von hoher kulturgeschichtlicher Priorität eingeleitet. Dies bedeutet einen grundlegenden Wechsel in den Arbeitsroutinen, der fächerübergreifend konzipiert werden soll.

Zum dritten fanden die Resultate unmittelbar Eingang in die Lehre und Wissensvermittlung. Jede Einrichtung wird die zentralen Erkenntnisse in ihr BA/MA-Lehrprogramm aufnehmen und für eine Verankerung in der Ausbildung sorgen. Da neben den Archäologischen Wissenschaften (Universität Halle-Wittenberg, Sachsen-Anhalt) die praktische Restaurierung und Präventive Konservierung von archäologischem Kulturgut (HTW Berlin) und die Denkmalwissenschaften (Universität Bamberg, Bayern) als Partner eingebunden sind, ist eine regionale und fachliche Streuung des Wissens garantiert.



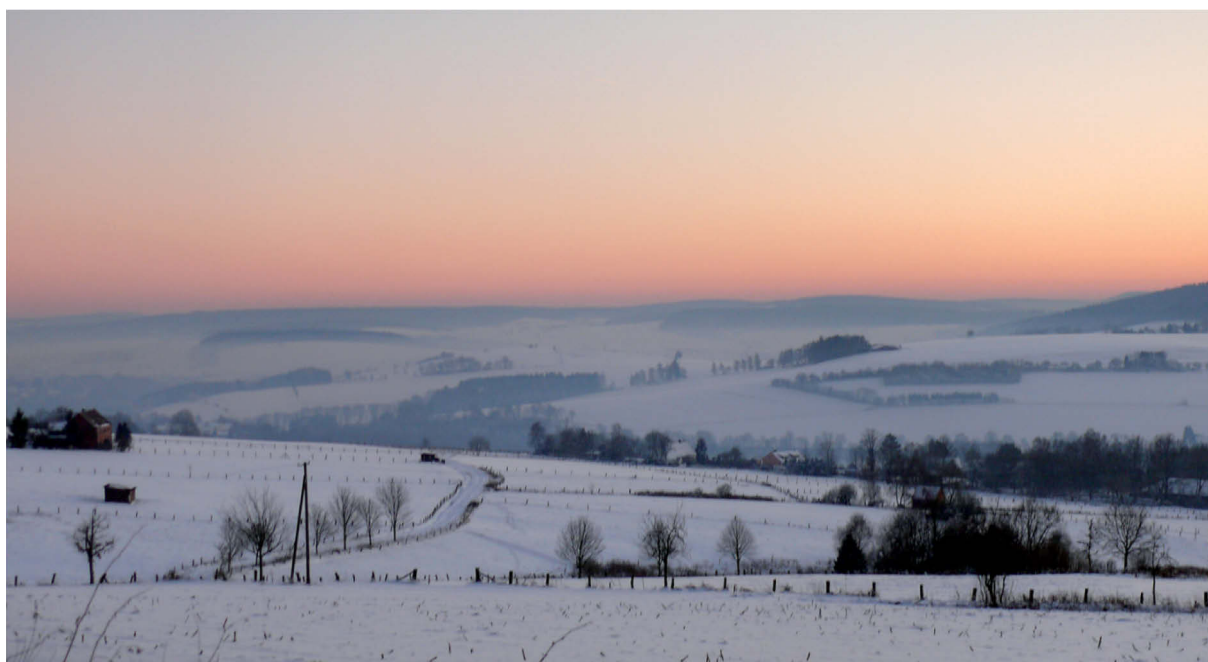
Abb. 9 Spätmittelalterliche Glashütte Bo 5. Studenten der Archäologie der Universität Halle-Wittenberg und der Monumental Heritage der Hochschule Anhalt in Dessau

1.5.4. Restaurierungswissenschaften

Ohne die Entwicklung und alsdann auch die Umsetzung neuer schonender Bergungsmethoden werden die im Boden gelagerten Kaliumgläser als bedeutende Zeugnisse mitteleuropäischer Kultur mittel- bis langfristig völlig zerfallen und unwiederbringlich verloren gehen. Eine der Ursachen dafür ist die wechselfeuchte Bodenlagerung nicht zuletzt allein schon aufgrund der auf der Basis von Buntsandstein und vielfach dominierenden Fichtenbeständen sauren Waldböden (lösliche Silikate, organische und Huminsäuren). Dies gilt selbst ohne die anthropogene Überdüngung der land- und forstwirtschaftlich genutzten Flächen. Ähnliches gilt wie für die zumeist in den Wäldern gelegenen Glashütten auch für Siedlungsfunde, vornehmlich in den städtischen Entsorgungsanlagen des Mittelalters und der frühen Neuzeit.

Durch die modellhafte Erarbeitung von spezifisch auf das chemisch instabile und durch die natürlichen wie auch anthropogenen Umwelteinflüsse stark vorgeschädigte Glas abgestimmte Verfahren zu Erstfundbehandlungen mit anschließender Fundaufbewahrung kann zukünftig der Zerfallsprozess zumindest verlangsamt und möglichst auch partiell ein dauerhafter Erhalt dieser wichtigen und kostbaren Zeugnisse der Technik-, Wirtschafts- und Kulturgeschichte sichergestellt werden. Die erarbeiteten Methoden und Verfahren sollten Modellcharakter haben für zahlreiche vergleichbare, bislang oft unter unzureichenden Bedingungen geborgenen, aufbewahrten und nur ganz selektiv restaurierten und bestenfalls vereinzelt der Öffentlichkeit präsentierten ähnlich stark anthropogen belasteten Glasfunde in ganz Deutschland und Europa.

Es zeigte sich deutlich, dass die Fächerkulturen und Herangehensweisen von Archäologen und Restauratoren, von Natur- und Geowissenschaftlern, von universitären Forschern, Denkmalpflegern und Museumsleuten doch in mancher Weise sehr unterschiedlich sind. Die bisher in dieser Art und Weise unseres Erachtens bei der Ausgrabung von Glashütten noch nicht praktizierte enge Zusammenarbeit bereits in der Bergungsphase erwies sich als phasenweise schwierig, vereinzelt spannungsreich, letztlich gerade deshalb aber innovativ und fruchtbar. Nicht allein aus diesem Grunde, sondern gewiss auch aufgrund des ambitionierten Arbeitsprogramms waren der zur Verfügung stehende Zeitrahmen wie auch die finanziellen Mittel im Rückblick betrachtet allzu knapp bemessen. Längerfristig angelegte Folgeprojekte sind nach diesen Erfahrungen unbedingt notwendig.



2. Projektanteil der Universität Halle-Wittenberg (Hans-Georg Stephan unter Mitwirkung von Radoslaw Myszka)

2.1. Abriss der Forschungsgeschichte: Glaserzeugung und Gläser des Mittelalters in Zentraleuropa, Forschungsgang und Forschungsstand

Die Erforschung des mittelalterlichen Glases lag über Generationen hinweg weitgehend in der Hand von Kunsthistorikern und ging primär von im Gebrauch erhaltenen Gläsern, seltener von Bodenfunden aus (exemplarisch Rademacher 1933). Das einzige deutsche und internationale Langzeitforschungsvorhaben, das „Corpus Vitrearum Medii Aevi“ führt seit 1952 diese Tradition fort. Es zeigte sich allerdings frühzeitig, dass insbesondere hinsichtlich von Fragestellungen zu Gebrauchsgläsern, zum frühen Glas und zur Glasproduktion oberirdisch nicht genügend Materialien und Schriftzeugnisse erhalten sind. Damit kam die Archäologie langsam stärker ins Spiel. Allerdings wurde noch der letzte breit angelegte Überblick zum Glas des Mittelalters im deutschen Sprach- und Kulturraum von Kunsthistorikern im Rahmen einer großen Ausstellung in Bonn und Basel auf der Basis von allerdings weitgehend archäologischen Neuerkenntnissen und Exponaten erstellt (Baumgartner, Krueger 1988).

Diese Präsentation war mit derartiger zeitlicher Tiefe und räumlicher Breite überhaupt nur infolge der sich damals in Europa gerade eben erst zögernd etablierenden Archäologie des Mittelalters und der Neuzeit möglich. Uneingeschränkt gilt dies für die Gläser des frühen und hohen Mittelalters. Insbesondere die umfangreichen Materialien der Stadtarchäologie mit teils reichen, aber stets überaus fragmentarischen und hoch fragilen, teils akut vom Verfall bedrohten Funden aus Entsorgungsanlagen erbrachten ganz neue Einblicke in die Lebenswelten des hohen und vor allem des späten Mittelalters und der frühen Neuzeit. Hinzu kamen eher vereinzelt und unscheinbar, aber dennoch von entscheidender Bedeutung z. B. für Provenienz- und Datierungsfragen Materialien aus Glashütten. Dabei gerieten quasi automatisch die Werkstoff-, Natur- und Geowissenschaften ebenso wie die Problemkreise von Konservierung und Restaurierung verstärkt ins Blickfeld. Transdisziplinärer Diskurs und über Fächergrenzen hinausblickende Forschung sind zur Thematik der Geschichte des Glases seit jeher unabdingbar. Forstleute und mit der Natur besonders verbundene gebildete Laien spielten und spielen seit langer Zeit in der Glasforschung eine nicht geringe Rolle.

Die von Glasindustriellen 1922 gegründete „Deutsche Glastechnische Gesellschaft“ in Offenbach am Main bildet mit ihrem Fachausschuss V „Glasgeschichte und Glasgestaltung“ ein Forum, das seit jeher historisch und an der künstlerischen Gestaltung Interessierte aus verschiedensten Bereichen der Glasindustrie und Forschung, aus Museen und Glasateliers sowie der breiteren Gesellschaft auf ihren Tagungen zusammenführt. Dort treffen und trafen frühzeitig kenntnisreiche Sammler, Kunst- und Antiquitätenhändler, Künstler, Kunsthistoriker, Archäologen, Glastechniker, Chemiker, engagierte Glasenthusiasten und Heimatforscher, vereinzelt auch Historiker und Geographen im fruchtbaren Diskurs zusammen. Auf regionaler Ebene ist hier das allerdings ebenfalls mehr auf die Neuzeit ausgerichtete „Westfälische Glasforum“ zu nennen, dessen aktive Mitglieder aufgrund der für dieses Land außerordentlich wichtigen benachbarten Glashüttenregionen ihren Blick seit längerer Zeit u. a. stark auf das Werra- und Weser-Bergland und somit zwangsläufig im weiteren Sinne auch auf Niedersachsen und Hessen, darüber hinaus auf Thüringen und Franken richten.

Besonders wichtige Beiträge zur Erforschung der mittelalterlichen und antiken Gläser, damit für die Erweiterung unseres Wissens und die Vertiefung des Verständnisses dieses komplexen Werkstoffs, hat in den letzten drei Jahrzehnten insbesondere auch die Archäometrie erarbeitet (grundlegend und zusammenfassend ausgehend von nicht zuletzt regionalem Material aus dem Weser-Leine-Bergland: Wedepohl 2003).

Die archäologische Erforschung der mittelalterlichen Glashütten in Europa hat ebenfalls in etwa diesem Zeitraum große Fortschritte gemacht. Sie ist nach ihren Anfängen, die bis weit in die 1970er Jahre hinein mehrheitlich in der Hand von hoch engagierten Laien lagen, inzwischen stärker professionalisiert und stärker in die Ägide der Archäologie übergegangen. Allerdings spielen lokale Aktivitäten von Heimatfreunden und Glasenthusiasten hierbei nach wie vor keine geringe Rolle, und es gibt nur eine sehr überschaubare Anzahl von Glasforschern in der Archäologie der nachrömischen Perioden.

Die überaus spärlichen Schriftzeugnisse zum mittelalterlichen Glas und zu Glasmachern waren teils schon im 19. Jahrhundert und auf regionaler Ebene vielfach in der Zeit bis etwa 1940 bzw. 1970 zusammengestellt worden (z. B. Bloß 1977; Landau 1843a; Schlosser 1896; Überblick zum Frühmittelalter: Zimmermann 2014). Aufgrund der sehr disparaten Quellenlage und der immer weniger für uns hier relevanten Teilgebieten der Sachkultur zugewandten Forschung der Fachhistoriker ist es kein Wunder, dass von dieser Seite aus nach 1900 oder gar nach der erneuten großen Trendwende um 1965/1970 kaum noch systematische Ansätze und nennenswerte Beiträge zur Glasforschung kamen, von ganz wenigen Ausnahmen einmal abgesehen (so Krimm 1982). Die historische Geographie im klassischen Sinne hat in Deutschland leider weitgehend aufgehört zu bestehen.

Neuerdings tritt die Archäologie, weil vornehmlich sie in der Lage ist, durch Bodenfunde neue Erkenntnisgrundlagen zu schaffen, zumindest hinsichtlich der Erforschung der Gebrauchsgläser und der Glasherstellung an die Stelle der Kunstgeschichte. Gegenüber der schon lange recht gut etablierten, auf die Antike und die Frühgeschichte mit Einschluss der Welt der Wikinger und Slawen ausgerichteten Glasforschung ist die archäologische Erforschung der Gläser des Mittelalters nach der Karolingerzeit allerdings noch recht jung. Im Vordergrund stehen europaweit Funde aus dem Milieu der Verbraucher, insbesondere aus Städten, da Grabungen und Fundbergungen in mittelalterlichen Stätten fast ausschließlich im Rahmen von denkmalpflegerischen Rettungsmaßnahmen erfolgen. Ausgrabungen auf Burgen mit ausführlichen Materialvorlagen sind vergleichsweise selten, in mittelalterlichen ländlichen Siedlungen war Glas abgesehen von Kirchenfenstern überwiegend ein rares Gut. Die Ausgräber besitzen oft keine oder nur sehr geringe Spezialkenntnisse auf dem Sektor der Gläser. Notgedrungen ist die Bergungspraxis für diesen sensiblen Werkstoff oft wenig befriedigend.

Bis heute war die Erforschung von mittelalterlichen und neuzeitlichen Glashütten in Deutschland und Europa fast völlig dem individuellen Interesse Einzelner, nicht selten von Autodidakten überlassen, die sich auf diesem Gebiet zweifellos große Verdienste erworben haben. Mitteleuropa gehört zu den wichtigsten historischen Erzeugungsgebieten von Glas weltweit. Zwar gibt es hier und da in Deutschland die eine oder andere Ausgrabung an mittelalterlichen Glashütten, teils mit überaus bemerkenswerten Ergebnissen. Allerdings mangelt es bisher sehr an umfassenden, modernen wissenschaftlichen Ansprüchen genügenden Fachpublikationen, etwa zu dem in den Jahren um 1980 durchgeführten DFG-Projekt zum Spessartglas, von dem allein der historisch-geographische Überblick angemessen bearbeitet und vorgelegt wurde (Krimm 1982). Mit unserem Projekt gelang es erstmals, ein transdisziplinäres Forschungsvorhaben zu Glashütten und Glas gemeinsam mit den Denkmal- und Restaurierungswissenschaften zu realisieren.

Ein großes Defizit und Hindernis für eine längerfristige erfolgreiche Arbeit ist nach wie vor der leider überaus geringe Grad der Institutionalisierung der historischen und insbesondere auch der archäologischen Glasforschung unter Einschluss der Archäometrie. Der Stand der Forschung ist immer noch von allzu vielen Zufälligkeiten und letztlich weitgehend von ganz persönlichen Interessen und Initiativen Einzelner abhängig. Aus diesem Grund ist unsere

Kenntnis der europäischen „Glaslandschaften“ im Mittelalter und selbst in der frühen Neuzeit nüchtern betrachtet immer noch sehr rudimentär.



Abb. 10 Stadtwüstung Nienover. Links oben: Freilegungsarbeiten mit den vier kompletten Gläsern (sichtbar deren Mündung); Links unten: Endfoto eines konservierten und rekonstruierten Bechers aus völlig zersetztem Holzascheglas; Rechts: Nachgeblasener Becher des „Typs Nienover“, formal etwas abweichend vom Original

Dies zeigen gerade auch unsere überaus ergiebigen Geländeerkundungen im Weserbergland in den letzten 30 Jahren. Dazu ist ausdrücklich festzuhalten, dass derartige Ergebnisse niemandem einfach in den Schoß fallen: Man braucht dazu sehr viel Tatkraft, Um- und Weitsicht, großen Optimismus, Netzwerkarbeit auf vielfältigen Ebenen und einen überaus langen Atem. In der Vergangenheit und bis heute war die materielle Basis fast immer völlig unzureichend. Es grenzt an Wunder, welche beeindruckenden Ergebnisse dennoch mancherorts erzielt wurden. Die Protagonisten, soweit noch am Leben, sind heute überwiegend nicht mehr eben jung. Um auf dieser teils völlig unbefriedigenden, teils aber auch ganz hervorragenden Basis an Grunddaten und Grundwissen weiterzuforschen, wird in Zukunft eine angemessene personelle und finanzielle Grundausstattung unabdingbar sein.

2.2. Grundzüge der Entwicklung der Glasproduktion bis zum hohen Mittelalter

Die Anfänge der Glasherstellung in den frühen Hochkulturen, aber auch bei bronzezeitlichen Randkulturen der Alten Welt (Vorderasien, Europa, Nordafrika) reichen bis weit ins 2. Jahrtausend vor unserer Zeitrechnung zurück, mindestens bis in die Zeit um 1600. Gelegentlich als Gläser bezeichnete Vorstufen wie Quarzfritten und Glasuren sind noch erheblich älter (z. B. Stern, Schlick-Nolte 1994 mit Lit.). Ein enger Zusammenhang mit der frühen Metallurgie und der Glasurtechnik ist allenthalben unverkennbar. Glas war damit nach der Keramik und den Metallen einer der ältesten künstlich vom Menschen hergestellten Werkstoffe. Anders

als Keramik war Glas jedoch über anderthalb bis drei Jahrtausende hinweg in den kulturell peripheren, weniger entwickelten Gebieten der Welt bis weit ins Mittelalter oder sogar noch in der frühen Neuzeit ein seltenes, zumeist über den Fernhandel importiertes oder von Wanderhandwerkern gelegentlich hergestelltes Luxusgut. Man verwendete vor allem leuchtend farbiges opakes Glas, und zwar überwiegend für Schmuckzwecke, und bewertete und schätzte es dabei edlen Steinen und Metallen oftmals gleich oder wegen seiner Reinheit und leuchtenden Farben sogar noch höher als letztere. Selbst magische bzw. unheilabwehrende Kräfte schrieb man ihm nicht selten zu, wie etwa Augenperlen oder das „Auge der Fatima“ es noch heute dokumentieren.

Einen epochalen Aufschwung nahm die Glasmacherei seit der Erfindung der Glasmacherpfeife in der Levante um 100 vor Christus. Mit der Etablierung des Römischen Reiches bzw. des stark zunehmenden Warenaustausches im Zuge der „Pax Romana“ erfuhr die rationelle Fertigungstechnik und das transparente, zumeist grünliche und farbige, später zunehmend auch farblose kristallklare Glas eine weite Verbreitung in den römisch beherrschten Teilen Europas und darüber hinaus durch Exporte und Kulturtransfer in die Gebiete der „Barbaren“ bis weit hinein in den Norden Europas, nach Afrika, Mittel- und Ostasien. Schlichte und dennoch hochwertige Glasgefäße waren erstmals für breite Bevölkerungskreise erschwinglich, aber auch außergewöhnliche, teils neuartige Kreationen von Luxusgläsern, gläserner Bauschmuck und Glasmosaik fanden guten Absatz, und Trinkgläser wie auch Perlen erfreuten sich bei den Eliten benachbarter wie auch weit entfernter Kulturen bis hin nach Ostasien, aber auch bei den Germanen zunehmender Wertschätzung (z. B. Foy, Nenna 2001; Harden 1988; Wedepohl 2003).

Die antike Praxis der Glasherstellung setzte sich nicht nur in Ostrom, sondern in reduziertem Umfang und tendenziell nachlassender Qualität auch in den frühmittelalterlichen Germanenreichen ziemlich bruchlos fort, so unter den fränkischen Merowingern (z. B. Dell`Acqua, Silva 2001; Drauschke, Keller 2010; Koch 1996). Kontinuitäten, aber auch eine allmähliche Aufgabe bzw. in bestimmten Regionen sogar den Bruch mit den antiken mediterranen Traditionen der Sodaglasfertigung und gleichzeitig den Anfang von Neuentwicklungen kann man für die Karolingerzeit feststellen. Nun trat im Reich der Franken das Fensterglas immer stärker gegenüber dem zunehmend an Bedeutung verlierenden Hohlglas in den Vordergrund. Im Laufe des späteren 8. und besonders wohl des 9. Jahrhunderts setzte sich vor allem östlich des Rheins das im Abendland damals neuartige Kaliumglas durch. Ungeklärt ist dabei, ob es sich um einen weiträumigen Technologietransfer aus dem inzwischen politisch stark vom Islam geprägten östlichen Mittelmeerraum handelt, oder eine autochthone Neuentwicklung erfolgte (z. B. Foy 2017; Glass of the Sultans 2001; Zimmermann 2014).

Allerdings gehörte die Glasverarbeitung nicht zu den nach dem „capitulare de villis“ Karls des Großen aus der Zeit um 800 üblicherweise in den Königshöfen gepflegten Handwerken. Selbst in den Statuten des Abtes Adalhard von Corbie und Corvey von 822 oder im Plan von St. Gallen (um 825/830) sucht man sie vergeblich. Offenbar war die Kunst der Glasverarbeitung vielmehr eine von Fall zu Fall bei Bedarf ausgeübte Tätigkeit von Spezialisten. Dennoch war die Kenntnis von vielfältigen Arten der Gläser und auch die Glasmacherei im Karolingerreich nach Schriftzeugnissen und vor allem den Bodenfunden vornehmlich aus dem Verbrauchermilieu aber doch erstaunlich weit verbreitet und wurde vermutlich insbesondere von den zeitgenössischen Eliten nunmehr verstärkt auch im Rahmen der Grundherrschaft gefördert und nachgefragt (Zimmermann 2014 mit Lit.). Man reichte Erzeugnisse wohl als Ehrengeschenke weiter und vermittelte Glasmacher an Baustellen.

Wenngleich demnach mutmaßlich für das Frühmittelalter die traditionelle Sicht der dominierenden Rolle der Kirche zu relativieren ist, spielte diese hinsichtlich des Wissens-

transfers über die nachfolgenden Jahrhunderte hinweg, in denen bis etwa 1050 in Westeuropa und bis ca. 1100 in Mitteleuropa mit einem starken Niedergang zu rechnen ist, wohl doch eine große Rolle. Im hohen Mittelalter gingen von der nun einsetzenden neuen großartigen Blütezeit der Kultur und der vor allem sakralen Baukunst neue Impulse aus. Die archäologischen Nachweise der Glasverarbeitung in bedeutenden frühmittelalterlichen Klöstern und Dombezirken ergänzen die in dieser Hinsicht sporadischen und eher zufällig wirkenden Schriftzeugnisse und werfen ein neues Licht auf die realen Verhältnisse.

Nach bis vor kurzem weitgehend gängiger Sicht stellt das Benediktinerkloster Helmarshausen bei Bad Karlshafen (Hessen) mit seinen Kunstwerkstätten, welches damals enge Kontakte zum benachbarten Reichskloster Corvey unterhielt, in der angewandten kirchlichen Kunst ein wichtiges Bindeglied zwischen dem französischen und dem deutschen Kulturraum dar. Mit letzterem verbindet man traditionell die *Schedula Diversarum Artium*, die berühmte in ihrer Art einzigartige Enzyklopädie des Kunstschaffens der Romanik in ihrem Kernbestand aus dem späten 11. bis frühen 12. Jahrhundert, in der unter anderem die Glasherstellung behandelt wird (Brepohl 1999/2014; Dodwell 1961; Theobald 1933). Auch wenn jüngst ernstzunehmende Zweifel an der Identifizierung des Verfassers mit dem Mönch Roger aus Stablo geäußert wurden, der angeblich über St. Pantaleon vor Köln kommend schließlich ab etwa 1107 in Helmarshausen wirkte, ist dies keineswegs endgültig oder gar schlüssig (Speer 2014; Stephan 2019a; Stiegemann, Westermann-Angerhausen 2006).

Im Gegenteil, gerade die archäologischen Forschungen, welche in den letzten zwei Jahrzehnten für das Weserbergland ab etwa 1100 eine derzeit im Abendland einzigartige Konzentration hochmittelalterlicher Waldglashütten zutage gefördert haben, sind nicht wegzudiskutieren. Man kann und muss sie als bislang unberücksichtigtes, von ganz unabhängigen realen Zeugnissen abgeleitetes Indiz der traditionellen Auffassung einer ganz besonderen Bedeutung des anspruchsvollen, mit dem benediktinischen Mönchtum eng verbundenen regionalen Kunsthandwerks am Aufgang der Romanik bewerten (Stephan, Myszka, Wilke 2018).

Waldglashütten sind eine spezifisch europäische Betriebsform der Glaserzeugung, die standortorientiert ausgerichtet ist und auf die Rohstoffe Holz, Quarz (möglichst feiner und eisenarmer Sand oder weißer Gangquarz) und Wasser für Kühl- und Reinigungsprozesse zugeschnitten ist. Das Holz wurde als Energiequelle zum Heizen und in noch weitaus größeren Mengen als Flussmittel in Form von Asche, optimal in möglichst gereinigter Form, benötigt. Die traditionellen älteren Hütten der Glasmachersippen bestanden aus Gründen der optimalen Energienutzung und des Waldschutzes wegen ihres enorm großen Holzverbrauches der Betriebe zumeist wohl nur wenige Jahre, selten mehr als etwa ein Jahrzehnt an einem Platz. Die Glaserzeugnisse hat man über Landwege und Wasserstraßen im Nahraum, besonders aber im Fernhandel weiträumig über sehr große Entfernungen vertrieben. Die neuartige Betriebsform der Waldglashütten wurde in Europa seit dem 12. bzw. 13. Jahrhundert rasch von Frankreich und Deutschland, vielleicht auch von Italien ausgehend nach Böhmen, Polen, Ungarn sowie England verbreitet, danach wohl auch in den nördlichen Balkanraum und in der frühen Neuzeit bis hin nach Skandinavien, ins Baltikum und Russland eingeführt.

2.3. Zur regionalen Ausgangssituation für das Forschungsprojekt

Das Weser-Werra-Bergland gehörte traditionell zu den wichtigsten historischen Glasproduktionsgebieten Europas und weist auch heute noch einige Glasfabriken auf. Archäologische Geländeforschungen haben in den letzten Jahrzehnten neben den neuzeitlichen Standorten der aus der schriftlichen Überlieferung bekannten Hüttenplätze eine Vielzahl mittelalterlicher Waldglashütten erbracht. Derzeit gibt es im gesamten Abendland keine andere Region mit

einer auch nur annähernd so großen Anzahl früher Erzeugungstätten für Fensterglas und Hohlgläser vor allem aus der Zeit der Romanik. Die Glasherstellung erlebte zwischen etwa 1150 und 1250 erste große Höhepunkte. Die Region hat sich voll und ganz, wie von uns im Vorfeld erwartet und erhofft, als für das Waldglas-Projekt außergewöhnlich gut geeignet erwiesen. Das im Grenzgebiet, besser Überschneidungs- oder Kontaktbereich der Bundesländer Hessen, Niedersachsen, Nordrhein-Westfalen und Thüringen gelegene, randlich auch Sachsen-Anhalt mit einschließende engere Untersuchungsgebiet kann mit Fug und Recht als Glashüttenlandschaft von großer historischer Bedeutung bezeichnet werden.

Der Holzreichtum mit den für die Glasfertigung optimalen reichen Buchenbeständen in den Laubmischwäldern beiderseits des Flusssystemes von Weser, Werra und Fulda bot über 700 Jahre vorzügliche Standortbedingungen. Hinzu kamen reiche Vorkommen an reinen und hellen feinkörnigen Sanden und Quarziten in der vor allem durch Buntsandsteingewölbe der Solling-Folge geprägten Bergregion. Zahlreiche Quellen und Wasserläufe schlossen die für die Glasmasse verwendbaren tertiären Sande obertägig auf und sicherten die Versorgung mit Wasser für Kühlprozesse, die Anfertigung der Glashäfen und den Trink- und Brauchwasserbedarf von Menschen und Vieh.

Die Bergregionen längs der Weser, Werra, Fulda und Leine waren, anders als die meisten übrigen wichtigen Glaserzeugungsgebiete in Mitteleuropa seit der Karolingerzeit in beträchtlichem Umfang für die Siedlungs- und Kulturlandschaft, mindestens aber als wirtschaftliches Hinterland gut erschlossen. Die zuvor überaus umfangreichen Wälder der große Teile des mittleren Deutschland umfassenden „Buchonia“, des unermesslich großen frühgeschichtlichen „Buchenlandes“ waren stellenweise gewiss deutlich zurückgedrängt, und die Ökologie war einem starken Wandel unterworfen. Dennoch boten die immer noch großen Gehölze, nicht zuletzt in den damals zunehmend als Sonderrechtsbezirke eingefriedeten Königsforsten wie dem Kaufunger Wald, den Glasmachern die Möglichkeit für eine zur Eigenversorgung erwünschte und auch zum Überleben in schwierigen Erwerbssituationen notwendige Viehhaltung und Gartenwirtschaft.



Abb. 11 Blick in ein typisches langgestrecktes Sollingtal (Oberes Hellental mit Glashüttenstandorten)

Weiterhin war die Verkehrslage an wichtigen Routen des Fernverkehrs zu Lande quer durch Europa und nicht zuletzt an Flüssen wie Werra, Fulda und Weser außerordentlich günstig. Insbesondere die bis weit ins Binnenland hinein für Boote mit geringem Tiefgang schiffbaren Wasserwege erleichterten den Fernhandel im kleinen und großen Stil mit den zerbrechlichen Erzeugnissen der Glasmacher, was allerdings erst in der Neuzeit in Akten ansatzweise bezeugt ist. All diese Faktoren hinsichtlich der geologischen Beschaffenheit des Untergrundes, der zu gewinnenden Rohstoffe, der natürlichen, zunehmend anthropogen beeinflussten Umwelt und der Kulturgeographie bildeten eine in mancher Hinsicht einzigartig günstige Grundlage für die Entwicklung der Glasherstellung. Letztere erfolgte, abgesehen von der schon in der Frühgeschichte praktizierten althergebrachten Perlen- und Schmuckherstellung zunächst über lange Zeiträume hinweg weitestgehend allein für den beschränkten Bedarf von Eliten. Erst im Spätmittelalter und in der frühen Neuzeit arbeiteten die Gläsner alsdann im großen Stil für breite Schichten von Verbrauchern.

Eine wichtige Rolle hinsichtlich der Verwendung, aber auch für das frühe Wissen hinsichtlich des Werkstoffes Glas und den weiträumigen Technologietransfer spielten höchstwahrscheinlich die zahlreichen im frühen und hohen Mittelalter blühenden Klöster und Stifte des Weserlandes. Von diesen seien hier als pars pro toto nur die allerwichtigsten, die Reichsabteien Corvey und Helmarshausen, die Reichsdamenstifte Gandersheim, Herford, Neuenheerse, Hilwartshausen, Kemnade, Fischbeck, Kaufungen, weiterhin Bursfelde und Norheim (Benediktiner), Amelungsborn (Zisterzienser), Fredelsloh (Augustiner) und Lippoldsberg (Benediktinerinnen) genannt. Hinzu kamen als Zentren kirchlicher und weltlicher Macht und Wirtschaft der Bistumssitz Minden und die nicht weit entfernten Bischofssitze in Paderborn, Hildesheim und Halberstadt mit ihren zahlreichen Kirchen, Klöstern und Stiften.

Waldgebiet/Region	Phase I 800-1500	Phase II 1500-1700	Phase III 1700-1860	Summe
Hils	18	13	2/3	33/34
Vogler/Homburgwald	5	16	8	29
Solling	99	11	15	125
Bramwald	22	11	5	38
Reinhardswald	60	12	6	78
Kaufunger Wald	ca. 40	ca. 70	1	ca. 111
Ostwestfalen-Lippe	ca. 10	ca. 20	48	ca. 78
Eichsfeld/Harz	ca. 10	ca. 80		ca. 90
Summe	ca. 264	ca. 233	85	ca. 582

Tab. 1 Übersicht Waldglashütten im Werra-Weserbergland (nach Henne und Stephan 2018)

Die weitere Region weist aufgrund intensiver Prospektionen mit inzwischen etwa 300 Standorten die derzeit weitaus meisten im Gelände exakt lokalisierten mittelalterlichen Waldglashütten in Europa auf (Tab. 1). Einzigartig und von besonderer Bedeutung ist eine Ballung von Plätzen aus der Zeit von 1100 bis 1250/1300. Von daher gesehen konnten die Rahmenbedingungen für unser Kooperationsprojekt aus archäologischer Sicht kaum günstiger sein. Ganz anders als dies mit der engeren Thematik weniger Vertraute annehmen könnten, gibt es zu den mittelalterlichen Waldglashütten vor etwa 1400/1450 so gut wie keine

instruktiven schriftlichen Zeugnisse, häufig nicht einmal beiläufige Erwähnungen, was im Großen und Ganzen für nahezu den gesamten deutschen Sprachraum bzw. Mitteleuropa gilt. Aufschlussreiche Schriftzeugnisse setzen weithin erst in der frühen Neuzeit ein. Zu weiterführenden Überlegungen hinsichtlich der Organisation der Glasmacherei werden diese deshalb hier mit großem Erkenntnisgewinn selektiv herangezogen.

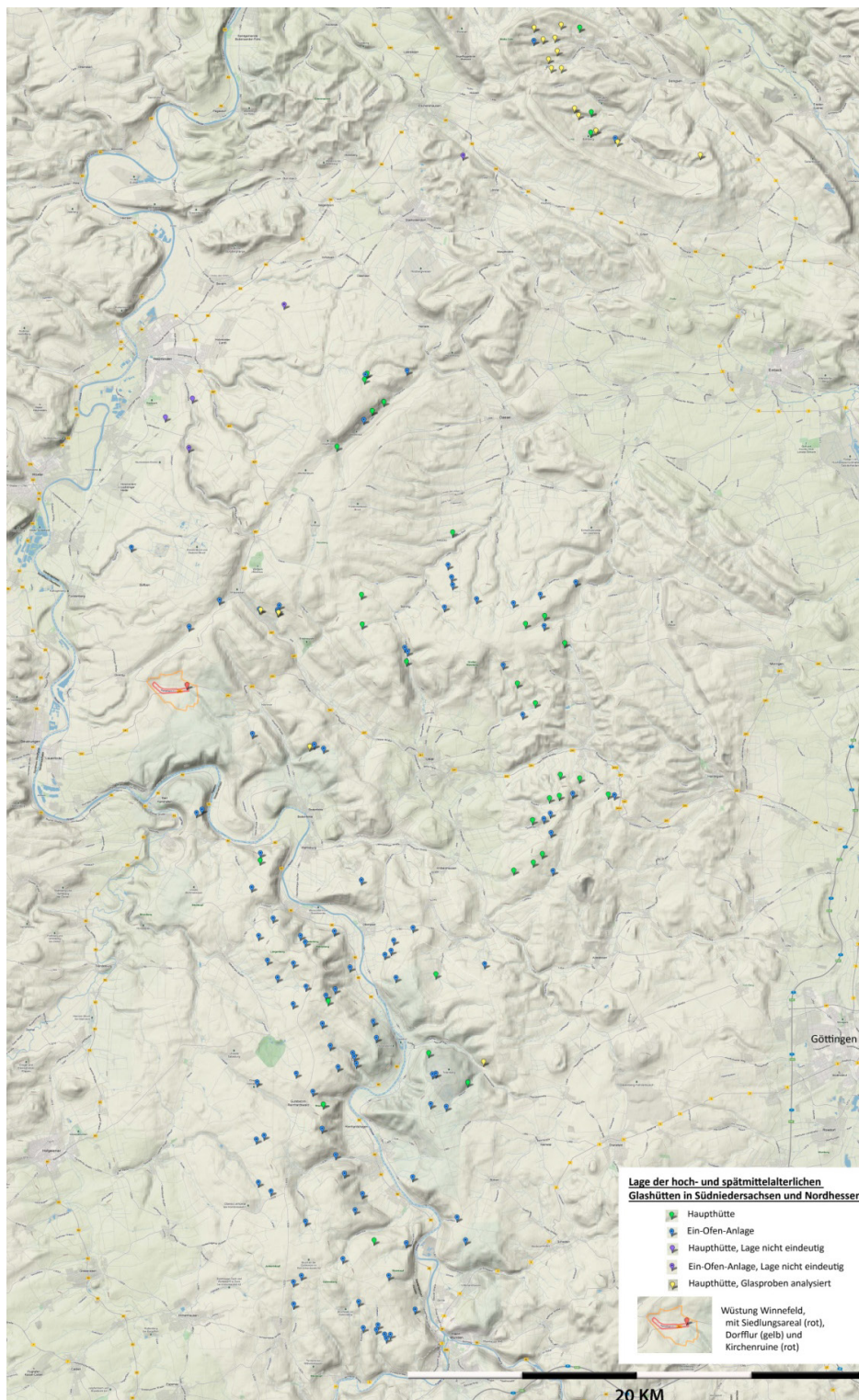


Abb. 12 Übersicht zu den mittelalterlichen Waldglashütten beiderseits der Oberen Weser mit einem ersten Versuch der Differenzierung von Haupthütten und Nebenhütten (in denen ein Vorprodukt für Glas geschmolzen wurde) und Einzeichnung der Dorfwüstung Winnefeld (nach Rahrig 2012)

Bereits seit mehreren Jahrzehnten sind zwar auf den ersten Blick recht spärliche, aber doch eindeutige Anhaltspunkte für die Fertigung oder Verarbeitung von Kaliumglas aus der Königspfalz in Paderborn (um 780/800) und dem Reichskloster Corvey (ab etwa 822) bekannt. Uns ist es nunmehr gelungen, erstmals in Mitteleuropa und im gesamten Abendland eine Waldglashütte des 9. Jahrhunderts aufzufinden und intensiv zu erforschen. Diese steht mit an Sicherheit grenzender Wahrscheinlichkeit in unmittelbarem Zusammenhang mit Reichsgut in Bodenfelde, welches Kaiser Ludwig der Fromme 833 an das von ihm stark geförderte älteste und bedeutende Mönchskloster in Sachsen übertrug, die reichsunmittelbare Benediktinerabtei Corvey.

Die erste Hauptphase der mittelalterlichen Waldglashütten um 1100-1250/1300 mit der stärksten Konzentration an Glashütten korrespondiert weitgehend mit den Höhepunkten sakraler und gehobener profaner Bautätigkeit in der Romanik ab etwa 1100/1150. Seinerzeit vergrößerte man die Fensterflächen und den Lichteinfall in dem nunmehr auf breiter Linie ein ganz neues, überaus hohes Qualitätsniveau erreichenden Bau- und Ausstattungswesen ganz erheblich. Fensterglas wurde in den neu entstehenden bzw. sich stark entwickelnden älteren Märkten und Städten, auf Burgen und selbst für dörfliche Kirchen in bis dahin unbekanntem Umfang auch überregional bis hin nach Skandinavien und Osteuropa nachgefragt. Diese hoch innovative kulturelle Entwicklung in der Architektur und (Wohn-) Kultur förderte den regionalen Absatz, nicht zuletzt aber auch den Fernhandel.

Die Konjunktur der Glaserzeugung wirkte sich ökologisch und kulturgeographisch stark aus. In mehreren Fällen ließ sich im späteren 12./13. Jahrhundert eine Pionierfunktion von Glashütten für die Waldrodung und die Anlage neuer Siedlungen nachweisen. So im Umfeld der Dorfwüstungen Wosebeke, Bremke und Malliehagen, vielleicht auch für Crummebeke und Grasborn im Solling. Die Neugründungen von Glashütten hörten kleinräumig etwas unterschiedlich bis 1250/1300 sukzessive auf oder ließen jedenfalls zahlenmäßig deutlich nach, was gewiss mit der Begrenzung der Ausweitung des bäuerlich intensiv genutzten Kulturlandes einerseits und dem enormen Holzbedarf für die Glasproduktion andererseits in Zusammenhang steht. Wüstungsfluren mit weit ausgedehnten Wölbackerbeeten, Lesesteinhaufen und Ackerterrassen in heutigen Wäldern und auf Weideland künden von der Abkühlung der Hausse der Glasmacherei, die sich nun wohl stärker in die noch weniger intensiv erschlossenen und durch Raubabbau dezimierten Wälder bzw. Ökosysteme im östlichen Mitteleuropa und anderen holzreichen deutschen Niederungsgebieten und vor allem Bergländern wie den Spessart und Schwarzwald verlagerte.

Der Beginn der Etablierung der böhmischen Waldglashütten, einer im traditionellen slawischen kulturellen Milieu bis um die Mitte des 13. Jahrhunderts unbekanntem Betriebsform, wird allseits hypothetisch, leider jedoch ohne diesbezüglich eindeutige schriftliche Zeugnisse auf die Zuwanderung von west- und süddeutschen Glasmachern zurückgeführt. Die Glasmacher gehörten noch in der frühen Neuzeit fast ausschließlich zu deutschsprachigen und mindestens von deutschen Namen der Glasmachersippen geprägten Bevölkerungsteilen im östlichen Mitteleuropa und mit nachlassender Intensität bis hin nach Ungarn und Rumänien (Siebenbürgen). Im Spessart, dem möglicherweise wichtigsten Glasmachergebiet Westdeutschlands im Spätmittelalter, sind bislang nur wenige Glashütten der Zeit vor 1400, und wenn überhaupt, nur vereinzelt solche aus der Zeit vor 1250/1300 bekannt. Ähnliche Feststellungen gelten für andere west- und süddeutsche Glasmacherregionen wie etwa den Schwarzwald, Ostbayern, Thüringen, die Schweiz, Ostfrankreich und Österreich, was die Bedeutung unseres sehr viel besseren Kenntnistandes für das Weserbergland insbesondere hinsichtlich der frühen Phasen der Waldglashütten unterstreicht.

Mit dem Einsetzen der spätmittelalterlichen Wärmeperiode um 1400 hatten sich die Rahmenbedingungen für die Glaserzeugung in den deutschen Altsiedelgebieten wieder deutlich verbessert. Zusammenhängende, vermutlich mit Farnen, Buschwerk und Gehölzen bestandene Drieschflächen waren aufgewachsen, die Wälder hatten sich regeneriert. Dies gilt auch, wenn die Forstökologie gewiss durch die Hutewirtschaft mit intensiver Waldweide, die intensive Köhlerei und infolge des weitgehenden Fehlens einer konsequent und nachhaltig betriebenen Waldwirtschaft ein ganz anderes Erscheinungsbild zeigt als heutige Hochwälder. Ein besonders gut fassbares Beispiel der Wiedergewinnung von agrarischen Nutzflächen und damit einhergehender „Re-Industrialisierung“ mit zumindest zeitweilig starkem Anteil der Waldglashütten bildet das Umfeld von Bodenfelde, wo im späten 14. oder frühen 15. Jahrhundert eine neue Phase der Entwicklung der Glasproduktion eingeleitet wurde: Am Nordrand des tertiären Umlauftales der Weser, im Bereich der vermutlich einige Generationen zuvor verödeten Dörfer und inzwischen totalen Orts- sowie zumindest partiellen Flurwüstungen Bredenbeke, Crummebeke, Helmwardeshusen und Bernhersen betrieben nun Glasmacher ihr Handwerk.

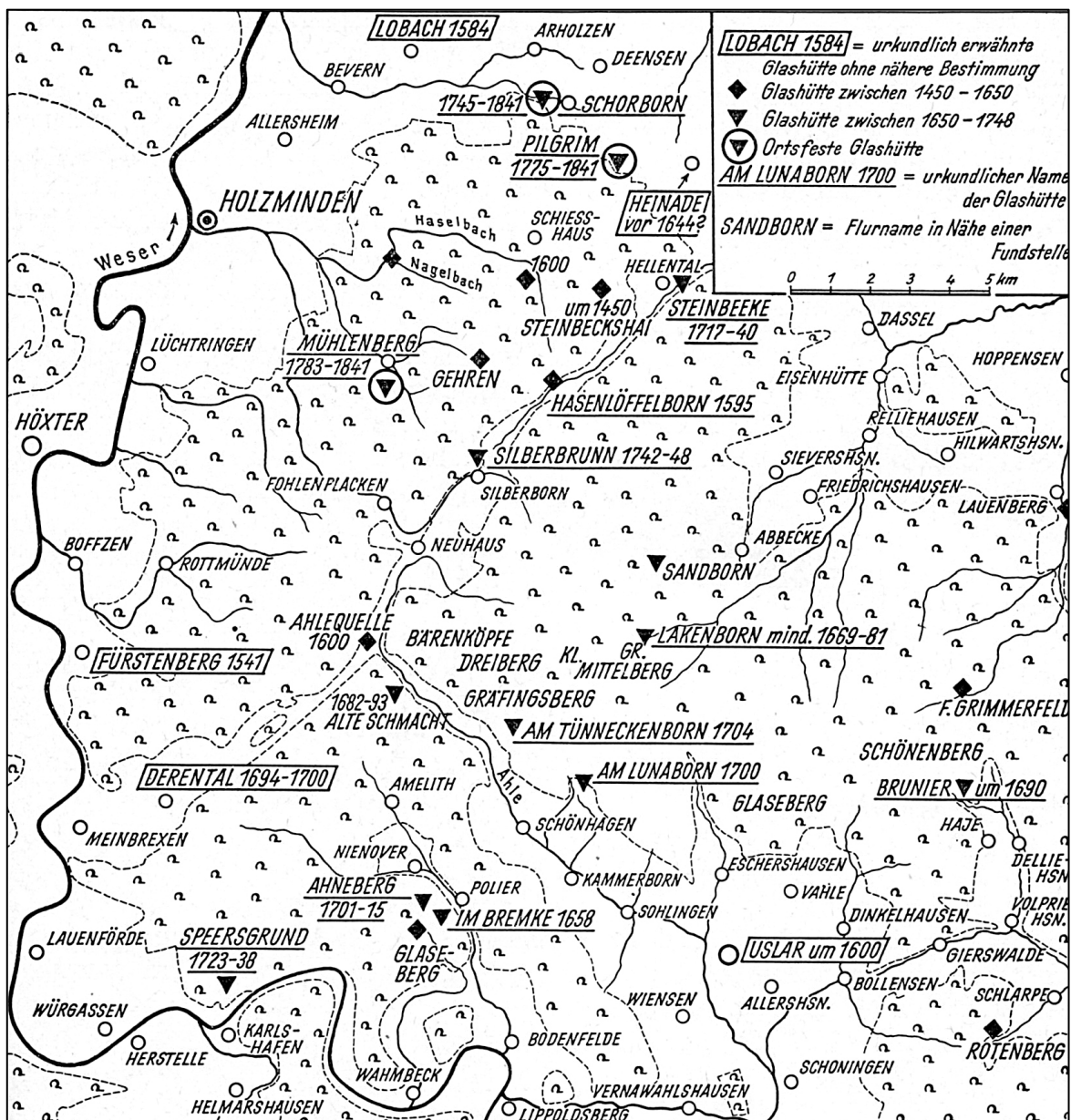


Abb. 13 Übersichtskarte zu Glashüttenstandorten im Solling, älterer Forschungsstand (nach Bloß 1953)

Die ganz ungewöhnlich starke Häufung von Hüttenplätzen der Zeit um 1400-1500 etablierte sich offenbar in den Kontaktzonen zwischen der intensiv agrarisch genutzten Kulturlandschaft und dem Wald. Ganz anders als die Glashütten des 13./14. Jahrhunderts finden sie sich keineswegs in Höhenlagen an Quellen, sondern die Glasmacher bevorzugten nunmehr durchweg den Talgrund möglichst unmittelbar an kleineren Wasserläufen. Ein Grund dafür, neben dem nun wieder entstandenen Holzreichtum, könnte die örtliche Saline gewesen sein, denn die beim Salzsieden anfallende salzhaltige Asche war vermutlich relativ problemlos und preiswert von den Glasmachern zu erwerben. Außerdem stand der Raum um Uslar, Nienover und Bodenfelde um 1410/20-1463 im Fokus des persönlichen Interesses des letzten Herzogs von Braunschweig-Lüneburg aus der Linie Göttingen, Otto IV., „des Einäugigen“ (1394-1463).

Die wieder aufblühende Nutzung der weiteren Region als Glashüttenstandort geht u. a. aus landgräfllich hessischen Akten von 1460 hervor, in denen der Zins von neun Glashütten im hessischen Teil des Kaufunger Waldes belegt ist. Im Jahr 1466 sind für dasselbe Waldgebiet acht Hütten genannt, womit für ein maximal etwa 280 km² großes Areal mit einem Kernbereich von nur ca. 100 km² eine einzigartig große und bis ins frühe 16. Jahrhundert offenbar recht konstant bleibende Hüttenzahl überliefert ist. Eine ebenfalls recht hohe Nutzungsrate durch Betreiber von Glashütten ist für den Reinhardswald überliefert, der Bodenfelde unmittelbar benachbart ist. Für diesen sind 1465 in landesherrlichen Akten drei Waldglashütten greifbar, welche jährlich 720 Nuppengläser (Weingläser) an den landgräflichen Hof zu liefern hatten. Aufschlussreich ist im Vergleich zu der ausgegrabenen Waldglashütte der Zeit um 1410-1440 bei Bodenfelde, dass dort möglicherweise die Herstellung von Trinkgläsern im Vordergrund der Produktion stand, außerdem eine Dekor- und wohl auch Becherform, die auf der etwas älteren Hütte bei Bodenfelde nicht belegt ist.

Die eher beiläufig überlieferten Glashüttenzahlen gewinnen an Gewicht und Aussagekraft, wenn man berücksichtigt, dass für das nach traditioneller Forschungsmeinung angeblich im ausgehenden Mittelalter wichtigste Glaserzeugungsgebiet Westdeutschlands, den Spessart, der annähernd die Fläche von Reinhardswald, Kaufunger Wald und Bramwald zusammen umfasste, anhand der Mainzer Akten gerade einmal von vier bis allenfalls sechs Glashütten im 14./15. Jahrhundert ausgegangen wird. Somit steht außer Frage, dass vielleicht schon im 9. Jahrhundert, gewiss aber von etwa 1100 bis 1250/1300 und mindestens erneut um 1450 das Werra-Weser-Bergland zu den bedeutendsten Glaserzeugungsgebieten (Mittel-) Europas zählte. Die Zwischenphase von ungefähr 1250/1300-1400/1450 ist allerdings deutlich schwächer greifbar. Vermutlich war dies ein Zeitraum, in dem die Glaserzeugung zwar nicht ganz zum Erliegen kam, aber doch erheblich abgenommen hatte und überregional nicht mehr die Strahlkraft hatte, wie dies zuvor der Fall gewesen war.

2.4. Arbeitsprogramm und Projektverlauf

Für die Jahre 2014/2015 waren magnetische Prospektionen an den für weiterführende Grabungen geeigneten Standorten vorgesehen. Aufgrund des tatsächlichen Projektbeginns verschoben sich diese auf die Jahre 2015-2017. Sie konzentrierten sich auf die karolingerzeitliche Glashütte bei Bodenfelde und die Waldglashütte des 12. Jahrhunderts bei Holzminden-Neuhaus. Kontrollen und Sondierungen fanden an weiteren Glashüttenplätzen vornehmlich des Solling zur Klärung der Datierung, des Produktionsspektrums und der Frage statt, ob es sich um größere, oder nur kurzfristig genutzte Ofenstandorte („Ein-Ofen-Anlagen“) handelt. Dabei sollte auch herausgefunden werden, inwieweit diese Standorte für Grabungen und die Gewinnung von weiterführendem Probenmaterial für naturwissenschaftliche Glasanalysen geeignet sind.

Eine erhebliche Anzahl von historischen Glashütten ist durch ältere und jüngere Forstwirtschaftsmaßnahmen, Wegebau, Planierungen, natürliche Erosion an Bachläufen, Viehtritt, intensive landwirtschaftliche Nutzung und den Eintrag von Umweltschadstoffen überprägt und belastet. Eine exakte Bestandsaufnahme mit modernen Prospektionsmethoden sollte in naher Zukunft erfolgen, bevor es zu spät für derartige Maßnahmen ist und solange noch wichtige Gewährspersonen in oft weit fortgeschrittenem Alter befragt werden können.

Insbesondere im Nordwestsolling, welcher bis dahin nur um Merxhausen-Hellental im Fokus von Geländerecherchen gestanden hatte, gelang die Lokalisierung einer stattlichen Anzahl von bislang unbekanntem und die zeitliche Einordnung von bis dahin nicht hinreichend genau datierten Plätzen. Dabei kristallisierte sich ansatzweise eine ganze Glashüttenlandschaft des 12. Jahrhunderts heraus, die gewiss noch zu verdichten ist und hohes Zukunftspotential für künftige Forschungen aufweist. Auch im Zentralsolling kamen einige neue Standorte mittelalterlicher Waldglashütten zu den bisher bekannten Plätzen hinzu bzw. konnten alte Nachrichten zu Funden überprüft und teils verifiziert werden. Im weiteren Untersuchungsraum ist vor allem auf noch in Arbeit befindliche weiter intensivierte Recherchen zu den mittelalterlichen und frühneuzeitlichen Waldglashütten im Kaufunger Wald und zum Verhältnis von Meilerplätzen, Glashütten und Dorfwüstungen mit fossilen Fluren im Reinhardswald zu verweisen. Hingegen liegen Neufunde in größerem Umfang und grundsätzlich neuartige Erkenntnisse zu den übrigen Gebieten nicht vor.

Von den nach den Prospektionen und Sondagen festgelegten Grabungsplätzen sollten vor der Grabung topographische Geländemodelle und bei der Grabung 3D-Modelle der Grabungsprofile und ggf. der Ofenkonstruktionen erstellt werden. Im Bereich des spätmittelalterlichen Hüttenplatzes bei Bodenfelde, dessen Ausgrabung bereits 2012 begonnen worden war, waren obertägig keine Spuren der Glashütte zu erkennen. Die Glasofenbefunde waren recht unspektakulär und für eine derart aufwendige Dokumentation kaum mehr optimal geeignet. Deshalb wurde auf diese an sich wünschenswerte Art der Dokumentation verzichtet. Die freigelegten Befunde der karolingischen Glashütte wurden konventionell und zusätzlich mit dem 3D-Laserscanning aufgenommen.

Weiterhin sollte nach den Rohstoffquellen gesucht werden. Dies betrifft primär die verwendeten Sande bzw. die Sandgruben und die Flussmittel, die entweder aus den Kaliumsalzen in Holzaschen und/oder aus Salzaschen der benachbarten Salinen stammen sollten. Bei der Suche wurden Geländeaufschlüsse unter besonderer Einbeziehung von möglichen Rohstofflagerstätten in der Umgebung der Hütten einbezogen. Neuzeitliche Sandabbauplätze für die Glashütte Amelith sind bekannt und wurden von uns beprobt (vgl. Beitrag Sören Siebe). In Bodenfelde gab es in der Vergangenheit für die Solegewinnung genutzte salzhaltige Quellen, jedoch konnten diese von uns nicht exakt lokalisiert werden. Deshalb wurde aus Sole gewonnenes Salz aus dem benachbarten Bad Karlshafen verwendet, das aufgrund der Herkunft aus den unterirdischen Salzstöcken in der Zusammensetzung ähnlich sein sollte. Auf C-14 Datierungen haben wir aufgrund der Problematik für das Mittelalter und die mittels der archäologischen Funde weitaus verlässlicheren und vermutlich genaueren Datierung verzichtet.

Begleitende Sonderanalysen betreffen die Artenzusammensetzung der verwendeten Hölzer anhand der Holzkohle, soweit diese noch nachgewiesen werden können. Die Untersuchungen zur Holzbotanik erfolgten dankenswerterweise durch Dr. Marie-Luise Hillebrecht (Göttingen), welche schon aufgrund ihrer Dissertation zur Holzkohlewirtschaft überaus erfahren und mit der Region bestens vertraut ist (Hillebrecht 1982).

2.5. Der Arbeitsgang der Grabungen und Geländeprospektionen

Die Grabungskampagnen in unserem DBU-Projekt wurden im Mai 2015 begonnen und im Juni 2018 abgeschlossen. Dazwischen lagen jeweils mehrere längere Grabungspausen vornehmlich in den Wintermonaten. Die logistisch sehr aufwendigen und hinsichtlich Arbeits- und Zeitaufwand nur sehr schwer im Vorfeld realistisch kalkulierbaren Geländearbeiten sowie bestimmte für den Fortgang der Grabungen und die Arbeiten der Projektpartner besonders wichtigen einfacheren Vorgänge der technischen Fundaufarbeitung konnten wir teils schon parallel während der laufenden Untersuchungen im Gelände angehen. Im Übrigen erfolgten letztere in der Zeit von November bis April, welche wie geplant schwerpunktmäßig der Aufarbeitung des geborgenen Materials gewidmet waren.

Für unseren wissenschaftlichen Mitarbeiter und den Projektleiter allein wie auch für die nur zeitweise vornehmlich in der vorlesungsfreien Zeit für unsere Untersuchungen zur Verfügung stehenden Studenten waren die vielfältigen umfangreichen Aufgaben eine große Herausforderung. Es muss nachdrücklich betont werden, dass die Bewältigung der großen Arbeitslast nur deshalb möglich war, weil wir zusätzlich zu den Mitteln der DBU über eine wechselnde Anzahl von technischen Mitarbeitern verfügten, welche uns dankenswerterweise vom Jobcenter der Stadt Uslar, in einem Falle auch vom Jobcenter Holzminden zur Verfügung gestellt wurden.

Bei den Glashütten im Solling und im gesamten Werra-, Weser- und Leine-Bergland mit Ausstrahlungsgebieten um den Harz sowie im Eichsfeld (Bundesländer Hessen, Thüringen, Niedersachsen, Nordrhein-Westfalen) handelt es sich, so war unsere Grundthese, um ein national und auch international, in mancher Hinsicht sogar weltweit bedeutendes und in ihrem Bestand stark gefährdetes Kulturgut. Diese Prämisse konnte mit teils so oder ähnlich erwarteten, aber auch anhand von ganz spektakulären Neuentdeckungen und Forschungsergebnissen eindrücklich untermauert werden. Insofern war unser Forschungsprojekt trotz vieler manchmal nur schwer überwindbarer Widrigkeiten ein großer Erfolg.

Parallel zu den Untersuchungen im Bereich der beiden früh- und spätmittelalterlichen Waldglashütten bei Bodenfelde haben wir die Prospektionen weiterer, meist auf bereits bekannten und für intensivere Grabungen und Forschungen infrage kommenden Glashüttenplätzen vornehmlich im Solling fortgesetzt und weiterhin in einigen Bereichen, vor allem im Zentral- und Nordsolling ergänzende Recherchen in Arealen durchgeführt, welche bis dahin weniger im Fokus gestanden hatten. Dabei gelangen insbesondere im Nordwestsolling wichtige, teils geradezu spektakuläre Neuentdeckungen. Im Übrigen bleibt festzuhalten, dass noch erheblicher Nachholbedarf in einigen Bereichen vor allem in der Nordhälfte des Solling und im Bramwald besteht.

Weiterhin entschlossen wir uns, der Fragestellung nachzugehen, welche Rolle im Produktionsprozess die „Ein-Ofen-Anlagen“, in der Regel sehr unscheinbare Plätze mit überaus geringem und einseitigem Fundaufkommen, fast immer ohne Funde von Häfen und Glas einst hatten. Derartige Standorte überwiegen außer im Hils in allen benachbarten gut durch Geländebegehungen erkundeten Glasmachergebieten des Weserberglandes zumindest in der Zeit um 1200 bis um 1350/1400. Nachdem die Untersuchungen im Bereich der früh- und der spätmittelalterlichen Glashütte bei Bodenfelde sich als erheblich zeitaufwendiger als erwartet erwiesen hatten, erschien dies auch aus Gründen der Logistik sinnvoll.

Bodenfelde 5: Für die Charakterisierung des neu entwickelten technologischen Standards der Glasproduktion im ausgehenden Mittelalter war die Fortsetzung und der Abschluss der 2012 begonnenen Grabungen an der Glashütte bei Bodenfelde aus der Zeit um 1400-1450 von

vornherein vorgesehen. Es besteht weiteres Forschungspotential, da sich im Umfeld ein über längere Zeiträume hinweg zirkulierender Erzeugerkreis mit mehreren Standorten herauskristallisiert hat. Diese Plätze liegen unter Weide- und Ackerland. Wir haben mit Beginn des DBU-Projektes im Mai 2015 aus logistischen und methodischen Gründen zunächst die 2012 in kleinerem Rahmen begonnene Ausgrabung an der Waldglashütte des 15. Jahrhunderts im Kreckgrund bei Bodenfelde fortgesetzt und 2016 abgeschlossen. Ein großes Manko bildeten leider in allen Berichtsjahren die für die Geländearbeiten weitgehend ungünstigen zumeist allzu feuchten, aber kurzfristig auch heißen und trockenen Witterungsbedingungen. Sie haben unsere Ausgrabungstätigkeit immer wieder erheblich behindert, erschwert, verzögert und zeitweise sogar unmöglich gemacht.

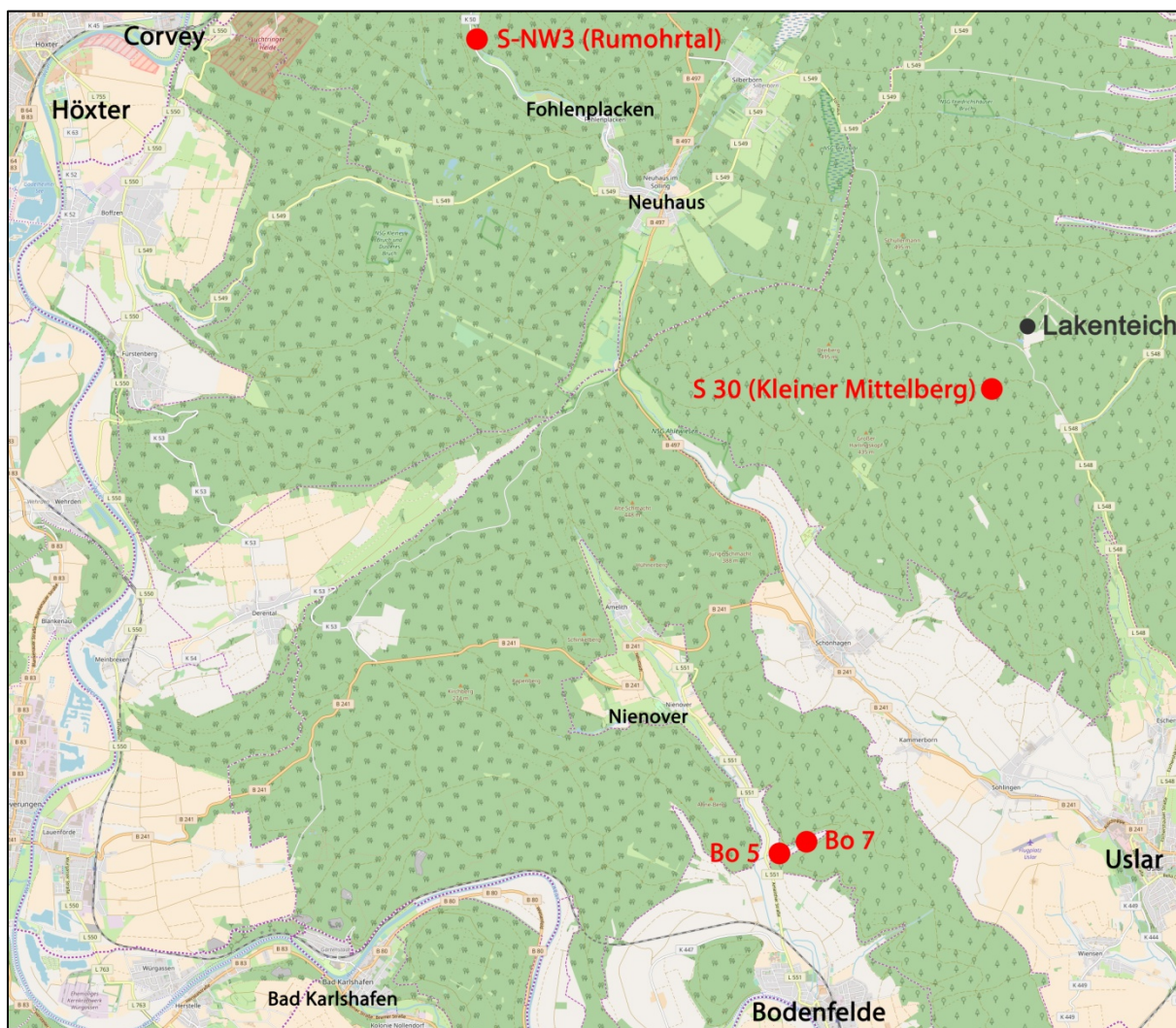


Abb. 14 Übersichtskarte der im Rahmen des Waldglas-Projektes untersuchten Waldglashütten im Solling

Bodenfelde 7: Die durch Voruntersuchungen im Jahre 2012 lokalisierte bislang älteste bekannte Waldglashütte Europas aus der Karolingerzeit am Südrand des Solling bei Bodenfelde stand von Beginn an mit im Mittelpunkt des Projekts. Der auf einer Weide am Waldrand gelegene Platz wurde 2015-2016 komplett ausgegraben und das für die Aktivitäten der Glasmacher infrage kommende Umfeld großflächig prospektiert. Dabei zeigte sich mit aller Deutlichkeit, dass grundsätzlich ohne eine großflächige Grabung und eine äußerst umsichtige Fundbergung weder die Sicherung der im Boden noch übriggebliebenen fragilen Objekte noch eine fundierte wissenschaftliche Auswertung der Befunde möglich ist. Dies gilt mehr oder weniger für alle mittelalterlichen Glashüttenstandorte.

Ein-Ofen-Anlage am Mittelberg: Die romanische Produktionsphase sollte durch ein bis zwei Waldglashütten erfasst werden. Die mutmaßlich hochmittelalterlichen Glashüttenplätze bei Bodenfelde sind durch Wegebau und Forstwirtschaft inzwischen weitgehend nicht mehr in gutem Zustand bzw. hinsichtlich ihrer Aussagekraft sehr schwer einzuordnen. Wir haben uns deshalb entschlossen, zunächst zwei andere Standorte näher durch Ausgrabungen zu untersuchen. Vor die Wahl gestellt haben wir uns 2016 zunächst dafür entschieden, eine allem Anschein nach relativ kleinräumige und besonders gut erhaltene mutmaßliche Nebenhütte („Ein-Ofen-Anlage“) im Zentralsolling unweit von Uslar-Eschershausen auszugraben. Erstmals ist damit im Solling ein Betrieb erforscht worden, in dem ein Glas-Vorprodukt hergestellt wurde, mutmaßlich Fritte.

Rumohrtal S-NW3: Im Zuge der räumlichen Erweiterung unseres Prospektionsradius gelang es uns im Tal der Holzminde westlich von Neuhaus im Solling eine unerwartete Konzentration von frühen Glashütten aus dem 12. Jahrhundert feststellen. Einzigartig für Niedersachsen ist die Zeitstellung mehrerer dieser besonders frühen Hütten um 1100 bis 1150 und vor allem deren Spezialisierung auf farbige Kaliumgläser mit recht signifikantem Zusatz von Blei, wodurch der Erhaltungszustand der Gläser überwiegend gut bis sehr gut ist. Von den Befunden und den Funden her war die 2017 zum geplanten weitgehenden Ende unserer Geländearbeiten durchgeführte Ausgrabung im Rumohrtal zwischen Holzminden und Neuhaus im Solling im wahrsten Wortsinn der vorläufige krönende Abschluss unserer Grabungs- und Forschungstätigkeiten am Solling. Die archäologische Auswertung der kulturgeschichtlich hochbrisannten Funde sollte an sich, wo immer dies möglich ist, mit einer modellhaften Konservierung und Restaurierung der Objekte unter Einbeziehung aktueller Maßnahmenstrategien und mit neuen Werkstoffen der Konservierungswissenschaften einhergehen. Dies war leider nun im Rahmen des DBU-Projektes nicht mehr im wünschenswerten Umfang möglich.

2.6. Auswertungsergebnisse: Waldglashütten des frühen, hohen und späten Mittelalters im Solling: multidisziplinärer Kontext

2.6.1. Die Waldglashütte des 9. Jahrhunderts und das karolingerzeitliche Corvey

Die karolingische Glashütte bei Bodenfelde steht sehr wahrscheinlich in engem Zusammenhang mit dem nur 30 km entfernten um 815/822 gegründeten Benediktinerkloster Corvey, dem im Jahr 833 von Kaiser Ludwig dem Frommen die kaiserlichen Anteile an den Salinen in Bodenfelde übertragen wurden. Der Platz wurde in der Folgezeit durch Umwelteinflüsse, forst- und landwirtschaftliche Nutzung (vornehmlich als Weideland) überprägt, versprach aber dennoch einzigartige Aufschlüsse zur Frühzeit des Holzascheglases.

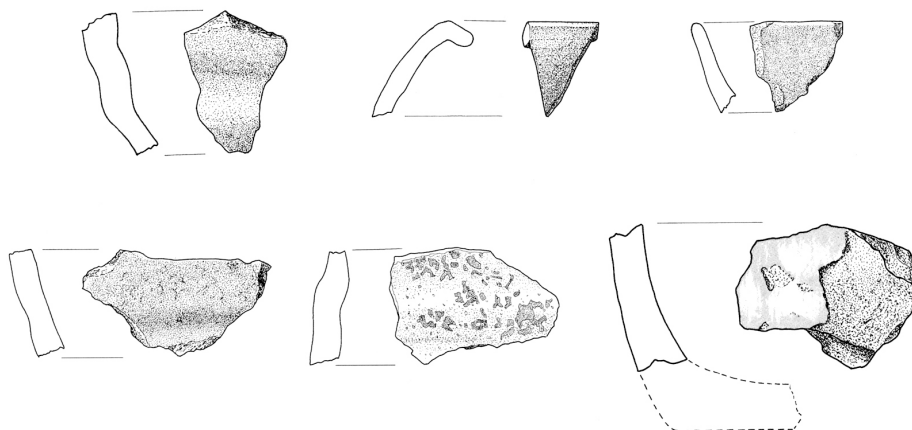


Abb. 15 Fragmente von karolingerzeitlichen Glasschmelzgefäßen aus dem Werkstattbereich im Klosterbezirk von Corvey

Die dort erzeugten Produkte sind weitgehend nur indirekt zu greifen, z. B. über Schmelzspuren an der Ofenauskleidung sowie grünliche Glastropfen. In größerem Umfang erhalten sind u. a. Glasschmelzhäfen, die teilweise in antiker Tradition scheibengedreht, aber nunmehr steinzeugartig hart gebrannt und teilgesintert sind. Diese neuartigen Erzeugnisse besitzen demnach die zum Schmelzen von Holzschmelzglas notwendige besonders hohe Hitzebeständigkeit/Feuerfestigkeit. Entsprechungen zu den technologisch teils sehr hochwertigen Häfen sind aus Fundkomplexen des 9. Jahrhunderts im Klosterbezirk von Corvey bekannt (Abb. 15). Dort wurde das Glas offenbar zu Fertigprodukten wie Fensterscheiben und Glasfliesen (teils wohl gefärbt durch Zusatz gemahlener Tesseræ) weiterverarbeitet (Abb. 16). Die karolingische Fertigung von Rohglas und Fertigprodukten als Vorläufer der besser greifbaren romanischen Produktionskette ist damit erstmals im Abendland nachweisbar. Bislang kannte man nur vereinzelte (Alt-)Funde, vermutlich ausschließlich oder doch vornehmlich der Weiterverarbeitung von Gläsern. Die neuartige Technik wurde gewiss aus dem westfränkisch-französischen Herkunftsgebiet der Klostergründer in die neue Reichsprovinz Sachsen transferiert.

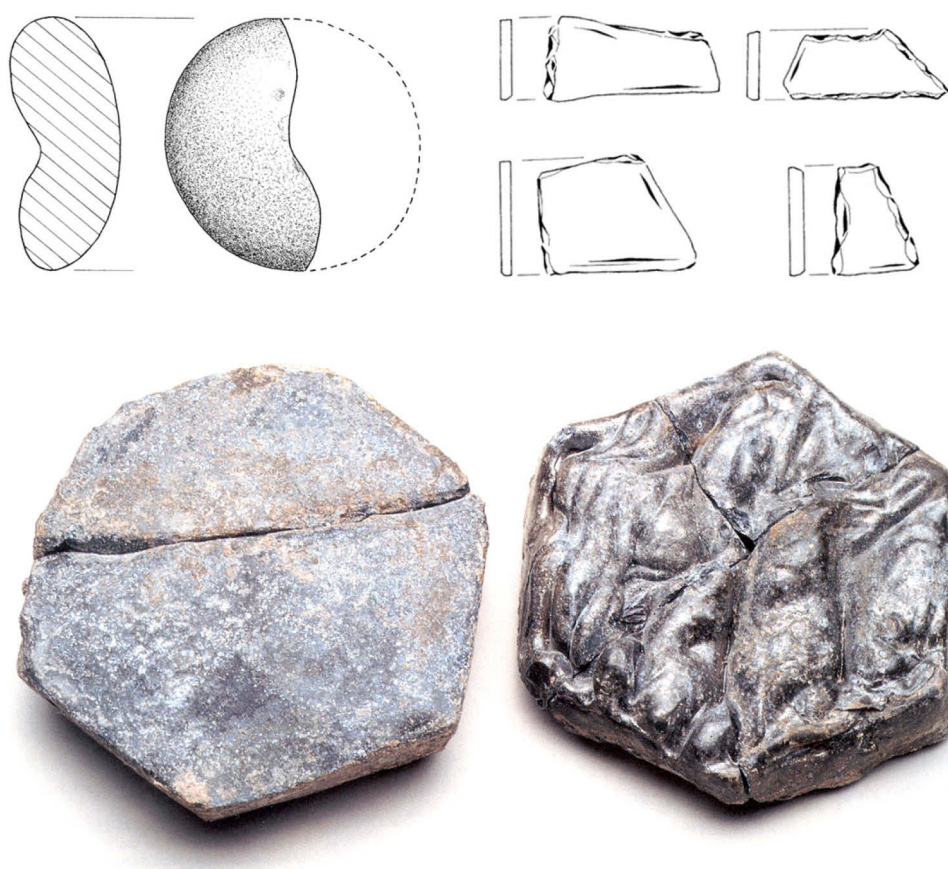


Abb. 16 Glasfunde aus Corvey: Glasglätter (oben links), gekröseltes Fensterglas (oben rechts) und karolingerzeitliche Glasfliesen, Vorderseite und Rückseite (unten).

Corvey mit dem Markt in Höxter war von 822 bis weit ins 13. Jahrhundert hinein neben dem Bischofssitz Minden das wichtigste geistliche, politische und ökonomische Zentrum im Weserbergland. Bodenfelde bildete von 833 bis 1273 einen bedeutenden Besitzschwerpunkt der Reichsabtei Corvey. Daneben gab es seit der Karolingerzeit und vor allem dem 10. Jahrhundert, verstärkt sodann ab etwa 1100 eine Vielzahl weiterer Klöster. Hervorzuheben ist in diesem Kontext das Benediktinerkloster Helmarshausen. Dort entwickelte sich um 1100 eines der bedeutendsten Zentren der monastischen Kunst im Heiligen Römischen Reich, in dem nach gängiger älterer Lehrmeinung im ersten Viertel des 12. Jahrhunderts das Werk des

Mönchs Theophilus Presbyter (Rogerus von Helmarshausen?) entstanden sein soll: Die „Schedula Diversarum Artium“.



Abb. 17 Der umgebaute Ostrakt der Klausur des romanischen Benediktinerklosters in Helmarshausen (Kreis Kassel)

2.6.2. Die Waldglashütte der Zeit um 1100-1150 im Rumohrtal

In den waldreichen Gebieten an der Oberweser setzte die Hochzeit der Glashütten zweifelsfrei im 12./13. Jahrhundert nach einer möglicherweise langen Unterbrechung in ottonisch-salischen Zeit ein. Während der Laufzeit des DBU-Waldglasprojektes gelang in den Jahren 2016-2018, nicht wie man zunächst vielleicht hätte erwarten können im Forst Sieburg bzw. Reinhardswald im Nahraum von Helmarshausen, sondern im Nordwestsolling die Lokalisierung einer bis dahin weitgehend unbekanntenen frühen „Glashüttenlandschaft des 12. Jahrhunderts“. Diese lag jenseits der Weser im heutigen Bundesland Niedersachsen in einem Kleinraum mit reichem klösterlichem Grundbesitz und gewissermaßen vor den Toren der Reichsabtei Corvey.

In den Jahren 2017/2018 konnten Geländerecherchen, Ausgrabungen und Forschungen durchgeführt werden, welche erstmals in Niedersachsen umfassende Einblicke in den Betrieb und die Produktion einer Waldglashütte der Zeit um 1100-1150 mit Fokus auf Kalium-Bleigläser erbrachten. Es ist gut vorstellbar, dass die entscheidenden technologischen Anregungen zur Aufnahme der Fertigung dieser hochwertigen Gläser aus den Regionen an Maas, Mosel und Rhein kamen. Sie können in Zusammenhang mit den großen kulturellen und wirtschaftlichen Blütezeiten, aber auch dem Bevölkerungsdruck in Nordwesteuropa gesehen werden, welcher ab etwa 1100/1150 zur berühmten „Kolonisation der Holländer und Flamen“ in den Gebieten östlich von Rhein und Elbe führte, so auch bei Bremen, Hamburg und im Weserbergland.

2.6.3. Die Ein-Ofen-Anlage der Zeit um 1230-1250 am Kleinen Mittelberg

Infolge der umfangreichen Landerschließungen und zahlreichen Siedlungsneugründungen sowie der Holzverknappung wurde um 1250/1300 die Lage für die Glasmacher im Weserberg-

land allerdings offenbar zunehmend problematisch. Diese ökologische Trendwende führte nach derzeitigem Kenntnisstand zum Ende der ersten großen Konjunktur. Möglicherweise sahen sich die Glasmacher entweder zum Berufswechsel oder zu großräumigen Standortwechseln gezwungen. Diese neuartige Entwicklung könnte zu Abwanderungen in weiter entfernt gelegene Regionen, möglicherweise nicht zuletzt Richtung Osten, ins Erzgebirge und in die Sudeten, nach Böhmen und Schlesien bzw. ins heutige Polen geführt haben. Diese Wanderungen können schubweise erfolgt sein. In Böhmen und Mähren werden die sich zahlenmäßig langsam vermehrenden ältesten Waldglashütten in die zweite Hälfte des 13. Jahrhunderts datiert. In Schlesien gibt es schwache Hinweise auf Glashütten ebenfalls bereits im 13. Jahrhundert, zahlreiche Hütten und gut mit modernen Methoden datierte archäologische Nachweise ab der ersten Hälfte des 14. Jahrhunderts.

2.6.4. Die Waldglashütte der Zeit um 1420-1440 bei Bodenfelde

Der neue Aufschwung der Glasindustrie nach einer vermutlich längeren Phase des relativen Rückgangs der Bedeutung und definitiv der Anzahl der Betriebe steht offenbar in Zusammenhang mit starken Wüstungserscheinungen im Weserbergland im Verlaufe des späten Mittelalters. Ab etwa 1350/1400 waren weite Landstriche mehr oder weniger stark verödet. Die Bevölkerung nahm erheblich ab, die Mehrzahl der ländlichen Siedlungen schrumpfte oder wurde sogar gänzlich verlassen. Von dieser Entwicklung waren vermutlich auch viele der seit dem 12./13. Jahrhundert entstandenen zumeist kleinen Städte betroffen, soweit sie diesem säkularen Trend keine lokalen besonders erfolgreichen land- und forstwirtschaftlichen Aktivitäten, stark entwickelte Exportgewerbe und einen bedeutenden Fernhandel entgegenzusetzen hatten.

Der im Hochmittelalter stark intensivierte Ackerbau ging abgesehen von bestimmten Sonderkulturen und einzelnen Bereichen etwa im Umfeld einiger mittlerer und größerer Städte drastisch zurück. Extensiv genutzte Flächen, Wald und Heide nahmen hingegen stark zu. Somit stand spätestens um 1400 vermutlich in größerem Umfang als jemals zuvor in der Geschichte der Waldglashütten ausreichend Holz als Brennstoff- und Flussmittellieferant zur Verfügung.

Um 1450/1500 ist die erneute wirtschaftliche Hausse der Glaserzeugung an der Schwelle zur Neuzeit nunmehr nicht wie zuvor allein anhand der Bodenfunde, sondern vereinzelt in den Schriftquellen vor allem für Nordhessen, ansatzweise aber auch für Südniedersachsen, Ostwestfalen und Thüringen greifbar. Diese für die weitere Entwicklung überaus wichtige Übergangsphase oder Neuformation der Glasproduktion leitet schließlich die sehr viel besser anhand der Schriftzeugnisse, aber auch der Funde von Glashüttenplätzen und aus Siedlungen greifbaren weite Teile Europas erfassenden Konjunkturzeiten des 16. Jahrhunderts ein.

Zur Erforschung der nachfolgenden wichtigsten neuartigen Entwicklungen in der Glastechnologie wurde ab 2012 bei Bodenfelde ein Hüttenplatz des Spätmittelalters etwa 500 m westlich des karolingischen Standorts sondiert und bis 2015 weitgehend ausgegraben. Anhand geomagnetischer Prospektion sowie durch Grabungsbefunde und Funde konnte eine Hütte aus der Zeit um 1420/1430 mit mutmaßlich mindestens drei Öfen erfasst werden. Hergestellt hat man vor allem grünes, aber auch blaues und rot überfanges Glas. Wie für die Region Weserbergland typisch, haben die Glasmacher Fensterglas, das hier ganz deutlich den Schwerpunkt darstellte und außerdem in geringem Umfang Glasgefäße gefertigt.

2.7. Darstellung der Forschungsergebnisse zu Waldglashütten im Solling

2.7.1. Die karolingische Waldglashütte bei Bodenfelde und die frühmittelalterliche Glasverarbeitung in der Reichsabtei Corvey im größeren kulturhistorischen Kontext

2.7.1.1. Zur historischen Kulturlandschaft



Abb. 18 Blick vom Reinhardswald bei Gieselwerder auf das Wesertal und den südlichen Solling bei Bodenfelde

Die Talerweiterung um Bodenfelde und Oedelsheim ist ein Gunststandort im ansonsten recht engen Tal der Oberweser zwischen Hannoversch Münden und Beverungen, eine Altsiedellandschaft mit ausgedehnten Wäldern vornehmlich auf den die Weser begleitenden Bergen, ehemals aber auch mit größeren und kleineren Auenwäldern (Abb. 18). Nach einer weitgehenden Ausdünnung der Besiedlung in der Völkerwanderungszeit und im älteren Abschnitt des Frühmittelalters muss spätestens etwa um 700 und sodann mit zunehmender Dynamik im Laufe des 8. und 9. Jahrhunderts eine umfangreiche Siedlungstätigkeit eingesetzt haben. Aussagekräftig sind vor allem Bodenfunde, Ortsnamen und Schriftzeugnisse, ansatzweise auch Forschungsergebnisse der Botanik und Geowissenschaften (hierzu und zum Folgenden Casemir, Menzel, Ohainski 2005; Lesemann 1968; Stephan 2010 mit Lit.).

Um das mutmaßlich nicht zwangsläufig auf die bekannten historischen Ortskerne zu beschränkende als Siedlungsgefüge erheblich ältere Bodenfelde entwickelte sich im 8./9. Jahrhundert sehr dynamisch eine blühende Kulturlandschaft. Die bis dahin wie in Sachsen weitgehend üblich vermutlich noch mit einem hohen Anteil von Viehhaltung und Waldweide sowie extensiver Landwirtschaft geprägte Ökologie entwickelte sich nunmehr in Richtung auf eine Grundherrschaft mit höherem Anteil von intensiv genutztem Ackerland mit Getreideanbau. Dies führte zu einer Zurückdrängung und Auflichtung der großen Waldungen im Umfeld und einer jahrhundertelangen Ortsfestigkeit der Siedlungsstandorte. Damit einher gingen ein rascher und rasanter Bevölkerungsanstieg in Verbindung mit der Gründung zahlreicher neuer Siedlungen mit der Endung auf -hausen und patronymischem Bestimmungswort.

Die Ortsnamen und frühen Schenkungen an die Reichsklöster Fulda und besonders Corvey lassen für die Karolingerzeit Anfänge der frühmittelalterlichen Großgrundherrschaft und Verbindungen der führenden sächsischen und teils auch fränkischen Adelsfamilien der Billinge, Esikonen, Gozmare und Immedinger (Widukinde) zur fränkischen Reichsaristokratie erkennen. Und zwar mit Einschluss der Karolinger (Bernher, Bernhard) insbesondere wohl im Kontext der sächsischen Verwandtschaft von Adalhard und Wala, Vettern Karls des Großen aus dem bernhardinischen Zweig der Hausmeier- und Königsfamilie, den Gründern Corveys. Dazu gehören vermutlich etwa die Siedlungen Allershausen/Adalhardeshusun, Albershausen/Adalberteshusun, Walshusun, Bernhersen, Bensen und andere mehr (Stephan 2010; Stephan 2013d; Stephan 2019a).



Abb. 19 Lage der spätmittelalterlichen Glashütte Bo5 und der karolingerzeitlichen Glashütte Bo7 (nach Myszka 2016)



Abb. 20 Kreckgrund. Blick von der karolingerzeitlichen Glashütte Bo7 in Richtung spätmittelalterliche Glashütte und Wesertal mit dem Glaseberg



Abb. 21 Die Spiegelglashütte Amelith und das Amtshaus Nienover im Reihersbachtal, kolorierte Radierung der Zeit um 1800 von Besemann

Die karolingerzeitliche Glashütte liegt etwa 800 m östlich des Reihersbachs an einem namenlosen kleinen Bach in einem heute von Laubholzmischwäldern gesäumten lang gestreckten idyllischen Nebental des oberen Kreckgrunds (Krähengrunds) am Südrand des Solling (Abb. 19-20) unweit des frühmittelalterlichen Herren- bzw. ehemaligen Königshofes Bodenfelde und unmittelbar nördlich der Talerweiterung an der Einmündung der Schwülme in die Weser bei Lippoldsberg. Die Entfernung der Glashütte des 9. Jahrhunderts nach Bodenfelde, das im Mittelalter aus zwei Ortsteilen Groß- und Kleinbodenfelde bestand, beträgt ähnlich wie die

nach Bernersen etwa 3 km. Eine frühmittelalterliche Siedlung ist gewiss auch Wahmbeck mit Kirche, Zoll, Furt und Fähre an der Weser im Westen sowie weiter im Norden die Wüstung Sevelde an der Weser zu Füßen des Solling. Der Fundort befindet sich zudem 1,5 km südlich einer bis 1929 betriebenen in zwei Fertigungsbereiche, die eigentliche Glashütte in Amelith und die Poliermühlen in Polier aufgeteilte Spiegelglashütte (Althaus 2015) mit jeweils unmittelbar benachbarten größeren tertiären Sandvorkommen (Abb. 21). Im Umfeld dieses Kleinraumes waren spätestens seit dem 13. Jahrhundert immer wieder Waldglashütten in Betrieb.

Die karolingische Glashütte steht sehr wahrscheinlich in engem Zusammenhang mit dem nur 30 km entfernten, um 815/822 gegründeten Benediktinerkloster Corvey, dem im Jahr 833 von Kaiser Ludwig dem Frommen die königlichen Anteile an den Salinen in Bodenfelde übertragen wurden (Stephan 2010; Stephan 2018). Der Platz wurde in der Folgezeit durch Umwelteinflüsse, forst- und landwirtschaftliche Nutzung (vornehmlich als Weideland) überprägt, versprach aber dennoch einzigartige Aufschlüsse zur Glasproduktion in der Frühzeit des Holzascheglases.



Abb. 22 Karolingische Glashütte Bo 7. Orthofoto der Ofenbefunde erstellt aus einem 3D-Laserscan (nach Siebe 2017)

2.7.1.2. Der Glashüttenstandort und seine Befunde

Nachdem im Weserbergland bereits eine Vielzahl hoch- und spätmittelalterlicher sowie neuzeitlicher Glashütten im Gelände lokalisiert worden war, gelang für uns völlig überraschend bei wiederholten Nachforschungen im oberen Abschnitt des namenlosen Bachlaufs, welcher bei der Ortswüstung Bredenbeke in den Reiherbach mündet, die Entdeckung einer besonders frühen Waldglashütte. Der Standort in etwa 185 m NN war seit 2003 bekannt und schon bald als besonders früh eingestuft worden. Anhand der wenigen signifikanten Funde war er jedoch zunächst nicht näher datierbar, und wir haben ihn später als „wohl in die zweite Hälfte des 12. Jahrhunderts“ gehörig angesehen (Stephan 2010, 522, Nr. 8). Schon damit wäre es nach damaligem Kenntnisstand die vermutlich älteste Hütte im Solling gewesen.



Abb. 23 Karolingische Glashütte Bo7. Blick von Osten unmittelbar auf die Fundstelle vor Grabungsbeginn

An dem frühmittelalterlichen Hüttenplatz konnten wir eine 72 m² große Fläche ausgraben. Die Sondierungen erfassten ein deutlich größeres Areal, doch hat die Hangerosion Randbereiche des Hüttenplatzes mutmaßlich überdeckt und der stetig wechselnde Wasserlauf und Wasserstand einen Teil der Betriebsanlagen weitgehend zerstört. Angesichts der exponierten Lage direkt am Bach kann man es fast als ein Wunder bezeichnen, dass überhaupt noch Relikte übriggeblieben sind und diese von uns erfasst werden konnten (Abb. 23).

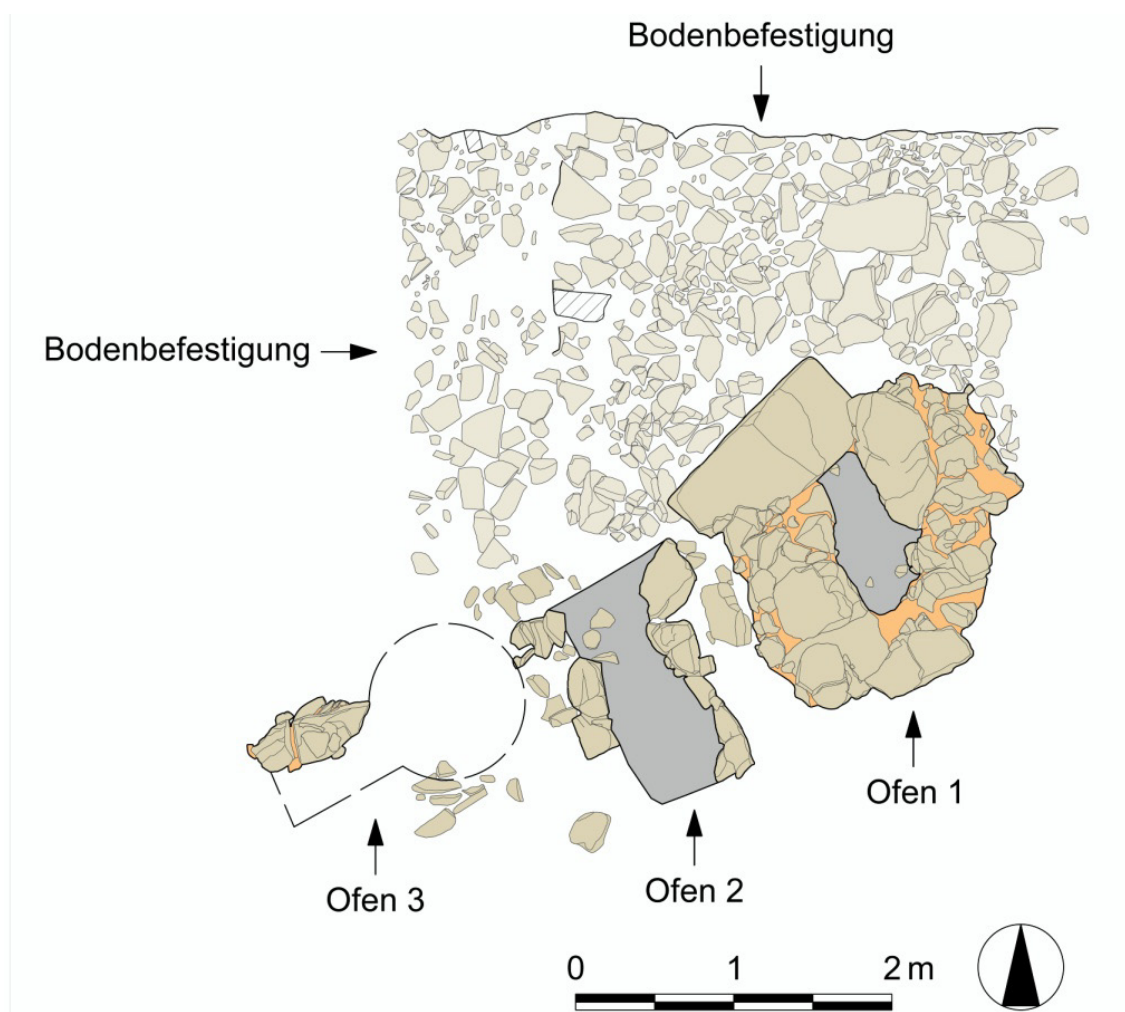


Abb. 24 Karolingische Glashütte Bo 7. Befundplan (nach Myszka 2019)

Die Glashütte bestand aus drei direkt am Südufer des Baches und entlang seines Laufs angeordneten, dicht nebeneinander gebauten Öfen, von denen nur der zuerst gefundene Ofen 1 im Fundamentbereich gut erhalten war und demzufolge Grundlage für eine fundierte Rekonstruktion bilden kann. Die später entdeckten spärlichen Relikte von zwei weiteren Glasöfen oder aber Sektionen eines größeren Ofenkomplexes (Öfen 2 und 3), unter denen sich mutmaßlich auch der Hauptofen befindet, lassen aufgrund ihres rudimentären Erhaltungszustands im Befund allein keine sicheren Aussagen zu (Abb. 24).



Abb. 25 Karolingische Glashütte Bo 7. Blick auf die in situ erhaltenen Relikte des Ofens 3



Abb. 26 Karolingische Glashütte Bo 7. Ohne Befundkontext gefundenes Stück der Hafensbank

Von dem am Westrand der Glashütte errichteten mutmaßlichen Hauptofen (Ofen 3) hat sich lediglich eine kleine, parallel zum Bach angelegte 0,8 m lange, 0,3 m breite und maximal 0,4 m hohe Steinsetzung erhalten, deren unterste Lage aus schräg angeordneten Sandsteinen in Packlagentechnik bestand (Abb. 25). Man meinte damit vermutlich die Statik zu verbessern. Dies lässt nach mittelalterlichen Gepflogenheiten möglicherweise auf einen recht hohen und massiven Oberbau schließen, oder man wollte den besonders wichtigen und infolge der größten Hitze extrem beanspruchten Schmelzofen so zusätzlich stabilisieren. Hingegen waren die beiden darüber gesetzten noch erhaltenen Lagen des Fundamentes aus, wie auch sonst bei Öfen üblich, horizontal in Lehm gesetzten nicht allzu großen Sandsteinen aufgebaut.

Dieser letzte Rest einer Wand kann vermutlich als einziges konserviertes Relikt einer der Wangen eines parallel zum Bachlauf und quer zu den beiden anderen bachaufwärts gelegenen Öfen ausgerichteten Feuerungskanal eines Ofens interpretiert werden. Die ehemals wahrscheinlich dazugehörige, aufgrund des geringen Abstandes von nur 0,8 m zum Ofen 2 gewiss recht kleine, entweder langovale oder rechteckige Ofenkammer wird ursprünglich weiter östlich, direkt neben dem Ofen 2 gestanden haben.

Auffällig ist der annähernd parallele Verlauf der Steinsetzung zu dem großen Steinblock, welcher die bachseitige Begrenzung des gut erhaltenen Grundrisses des am weitesten entfernten Nebenofens bildet. Auch aufgrund der unmittelbaren Nähe des Wasserlaufs in dem tief eingeschnittenen engen Bachtälchen ist es wahrscheinlich, dass damit die nördliche Außenwand des Arbeitsofens erfasst ist, dessen südliche Wand etwa in der Flucht der südlichen hangseitigen Außenwand von Ofen 1 gelegen haben könnte.

Für diese Interpretation spricht weiterhin die Fundverteilung. Allein vor dem Bereich des mutmaßlichen Schmelzofens fanden sich im Bachbett in sekundärer Lage, aber offenbar nur geringfügig verlagert, im Zuge unserer mühsamen, vielfach durch Wassereinträge beeinträchtigten Untersuchungen stets die größeren, durch extreme langanhaltende Hitzeeinwirkung verglasten Sandsteine. Etwas weiter bachabwärts entdeckten wir weiterhin einen mit einer dicken Schicht hitzestabiler Tons verschmierten Sandstein, der als Rest einer sogenannten Hafensbank für die Aufstellung der Schmelzgefäße interpretiert werden kann (Abb. 26).

In Anbetracht all dieser Indizien dürfte es sich bei „Ofen 3“ um den bescheidenen letzten Rest des eigentlichen Glasschmelzofens handeln. Die im Vergleich zu späteren Glasöfen auffallend geringe zu rekonstruierende Größe wird sich durch die sehr kleinen Schmelzgefäße erklären. Sie mag vor allem durch ältere Traditionen der frühmittelalterlichen Glasmacher und letztlich die zunächst vermutlich aufgetretenen erheblichen technologischen Schwierigkeiten bei der Erzeugung des neuartigen Holzschmelzglas begründet sein, für das man deutlich höhere Temperaturen benötigte als für Soda-Kalk-Glas, Soda-Asche-Glas, Bleiglas und „Mischgläser“, besonders solche mit höheren Bleianteilen.

Der längliche „liegende“ Ofen (Hafenofen) mit leicht ansteigender Feuerungsebene war der gängige Grundtypus der mitteleuropäischen Glasöfen vom hohen Mittelalter bis weit in die Neuzeit hinein. Er ermöglichte eine höhere Schmelztemperatur als der im Mittelmeerraum auch in der Töpferei bereits in der Antike übliche „stehende“ Ofen mit einem oberen mittels einer Tenne oder einem Gewölbe abgetrennten Schmelzraum. Der Wechsel zu diesem neuen Ofentyp, der allerdings sehr viel Heizmaterial verbrauchte, muss mit dem Experimentieren und dem Übergang zur Fertigung von Waldglas/Holzschmelzglas zusammenhängen. Zweckmäßigerweise war er in größerem Umfang allein in Regionen mit reichlichen Holzvorräten rentabel und weit verbreitet. Liegende Töpferöfen wurden wahrscheinlich in Frankreich entwickelt und sind um 800 oder wenig später in Westdeutschland nachweisbar (Heege 2007, 183).



Abb. 27 Karolingische Glashütte Bo 7. Blick auf die in situ erhaltenen Relikte des Fundamentes des Ofens 1 und des Feuerungskanal des Ofens 2

Westlich des Ofens 3 fand sich der noch mit der untersten Lage von Sandsteinen umstellte, mindestens 1,5 m lange und 0,9-1,2 m breite (lichte Weite: 0,4-0,65 m) Feuerungskanal eines zugehörigen Annexes oder aber eines weiteren Ofens (von uns bezeichnet als Ofen 2, Abb. 27, rechts). Auf dessen Boden, der nach Süden (zum Hang) hin um 12° ansteigt, konnte nur noch eine schwache Holzkohleschicht festgestellt werden. Obwohl ein aus größeren

Steinen gebautes, massives Ofenfundament weit größere Chancen auf Erhaltung im Boden hätte, konnten keinerlei Hinweise auf dessen Existenz im Befund festgestellt werden.

Vielmehr weisen die freigelegten Relikte eher darauf hin, dass es sich bei diesem Objekt lediglich um den Feuerungskanal einer technischen Einrichtung handelt, die nicht autark betrieben werden konnte. Am wahrscheinlichsten erscheint hier ein Zusammenhang mit dem mutmaßlichen Hauptofen, dessen rekonstruierte Schmelzkammer von Westen her an „Ofen 2“ direkt angrenzte. Möglicherweise waren die höher gelegen Teile beider Öfen miteinander verbunden, wodurch die Hitze aus dem Hauptofen im Ofen 2 mitgenutzt werden konnte. Denkbar wäre z. B. eine Kühlebene, die sich dann oberhalb des Feuerungskanals von Ofen 2 befunden haben müsste. Ein Zusammenhang mit dem weiter unten beschriebenen Ofen 3 ist dagegen aufgrund seiner auf eigenständige Nutzung hindeutenden Bauweise eher unwahrscheinlich.

Der direkt östlich des Ofens 2, am Ostrand des engeren Befundareals gelegene Ofen 1 hat eine im Grundriss rundovale Form und stellt mit 2,2 m Länge und knapp 2 m Breite den am besten erhaltenen und größten klar erfassbaren Teilbereich der drei Ofenbefunde dar (Abb. 27, links). Das auch im Vergleich zu jüngeren mittelalterlichen Glasöfen sehr massiv wirkende Ofenfundament umschließt einen ungewöhnlich kurzen, lediglich 1 m langen, aber mit 0,3-0,4 m recht breiten, bis zu 0,4 m hoch erhaltenen, quer zum heutigen Bachlauf und parallel zum Ofen 2 angeordneten Feuerungskanal, dessen Boden ähnlich wie im Fall des Ofens 1 nach Süden (zum Hang) hin um ca. 12° ansteigt.

Er besteht größtenteils aus mittelgroßen, in Lehm gesetzten Sandsteinen. Nur im nordwestlichen, direkt an den Bach angrenzenden Teil des Fundamentes wurde ein Sandsteinquader von 1,3 mal 0,6 mal 0,6 m Größe und ca. 1 t Gewicht eingebaut. Aufgrund seiner hohen Masse ist vielleicht davon auszugehen, dass er an der für die Errichtung der Glashütte gewählten Stelle bereits gelegen hat und seine Position von den Glasmachern eventuell nur leicht korrigiert oder stabilisiert wurde.

Die Konstruktion des Ofens 1 erinnert am meisten an die von späteren Glashütten bekannten Nebenöfen, insbesondere die Frittöfen, doch im Unterschied zu diesen besitzt er keinen unabhängig vom Ofenfundament innen eingebauten Feuerungskanal. Dessen Funktion ersetzt vielmehr das Ofenfundament. Dementsprechend gibt es auch keine im Fundament erkennbare Ofenkammer. Letztere könnte sich ausschließlich direkt oberhalb des Feuerungskanals befunden haben, und ihre Nutzfläche wird kaum größer als 1 m² gewesen sein. Die an dem Zustand der im Ofenfundament verbauten Sandsteine zwar deutlich erkennbare, aber keineswegs zur Bildung einer verglasten Oberfläche führende Hitzeeinwirkung entspricht in etwa der hitzebedingten Beeinträchtigung der Ofenrelikte, die im sicher als Frittöfen zu deutenden Ofen der von uns untersuchten und im weiteren Text besprochenen Glashütte am Franzosenweg aus der Zeit um 1230-1250 zu beobachten war.

Insgesamt bestand also die Anlage aus drei relativ kleinen Öfen, dem Hauptofen (Ofen 3), der die Funktion eines Schmelz- und Arbeitsofens erfüllte, und zwei Nebenöfen (Ofen 2 und 1), von denen mindestens einer wohl als Frittöfen oder Kühlöfen interpretiert werden kann. Die drei Öfen oder Ofenteile wurden bezeichnenderweise dicht nebeneinander gebaut, was einerseits Energie zu sparen half, andererseits aber die Wege – z. B. zwischen dem Arbeits- und dem mutmaßlichen Kühlöfen – verkürzte. Weiterhin ist es möglich, dass es ähnlich wie in der frühen Neuzeit belegt zwischen den nicht mehr erhaltenen Ofenkammern Verbindungen („Windlöcher“) gab, durch die ein Teil der Hitze aus dem Schmelzofen in dem daneben liegenden Ofen oder vielleicht sogar in beiden Nebenöfen genutzt werden konnte.

Mit den bei Bodenfelde ermittelten fragmentarischen, aber durchaus in mancher Hinsicht aussagekräftigen Befunden und Materialien besitzen wir in Europa den weitaus ältesten

Nachweis für die komplexe Betriebsorganisation einer frühmittelalterlichen Waldglashütte. Wir erkennen ansatzweise die Ofenbatterie eines vermutlich damals noch ganz neuen, alsdann jedoch für nahezu ein Jahrtausend europaweit gängigen Typus: Und dies ganz gewiss nicht zufällig, sondern weil diese Grunddisposition mit drei Öfen ganz offensichtlich für die Bedürfnisse der Schmelze und Verarbeitung von Kaliumgläsern optimal ausgelegt war.

2.7.1.3. Zur Rekonstruktion der Glasöfen

Die Rekonstruktion der nicht erhaltenen oberen konstruktiven Teile des oder der Glasöfen gestaltet sich auch aufgrund des Fehlens von gut vergleichbaren frühmittelalterlichen Beispielen aus dem Abendland als überaus schwierig. Man kann annehmen, dass die oberen Teile der Ofenwandung und die am ehesten rundliche Ofenkuppel entweder aus mittleren und kleineren, in Lehm gesetzten Steinen oder, insbesondere gilt dies für den oberen Abschluss, nur aus Lehm bzw. hitzestabilem Ton (auch für die Innenauskleidung der Hauptofenschmelzkammer) gebaut waren.

Als frühes Bildzeugnis bleibt lediglich die oft angeführte kleinformatige, schematische Ofendarstellung aus der berühmten 1022/1023 entstandenen ältesten erhaltenen illustrierten Handschrift von Hrabanus Maurus (ca. 780-856) enzyklopädischer Weltchronik „De Universo“ aus Montecassino (Süditalien) anzuführen (Kottje 1991, Sp. 144-147; Reuter 1987). Sie zeigt offenbar einen Ofen mit drei übereinander angeordneten Ebenen in antik-mediterraner Tradition vermutlich zur Schmelze von Soda-Asche-Gläsern. Letztlich muss man sich in stark reduzierter, vereinfachter Form den Ofen möglicherweise grundsätzlich ähnlich vorstellen wie den berühmten mutmaßlich venezianischen, keineswegs in Mitteleuropa heimischen Typ eines erzgebirgisch-böhmischen Glasofens bei Georg Agricola in seinem berühmten Werk „De Re Metallica“ über das Bergwesen und die Metallurgie von 1556 (deutsch 1557; Agricola 1977).

Es drängt sich weiterhin wie bei der befundbezogenen Auseinandersetzung mit den Angaben zu den Öfen in der *Schedula* und im vorliegenden Falle sogar noch viel stärker der Eindruck auf, dass der Zeichner sehr wohl gewisse Grundkenntnisse und Vorstellungen von der Glasmacherei hatte, aber diese nur ansatzweise umzusetzen in der Lage war. Ob er ein ausreichendes Wissen von der inneren Konstruktion und Funktion des Ofens hatte, bleibt ungewiss.

Der agile hochberühmte Benediktinermönch Hrabanus Maurus gilt als „Praeceptor Germaniae“ (Lehrmeister Germaniens/Deutschlands), wobei für unseren Kontext besonders aufschlussreich ist, dass er die 847 zusammengestellte 22-bändige Enzyklopädie „de rerum naturis“ ausdrücklich Bischof Haimo von Halberstadt widmete, damit sich das Wissen bei den Geistlichen und Mönchen in den bücherarmen Gegenden des neu zum Frankenreich hinzugewonnenen Sachsens verbreite.

Allerdings übernahm Hraban den Text zum Glas wohl weitgehend aus Isidors *Etymologien* und fügte lediglich kurze theologische Erörterungen zu den Themen Reinheit, Durchsichtigkeit und Licht hinzu (Zimmermann 2014, 263). Leider ist ungewiss, ob die Darstellung einer Glasmacherwerkstatt aus dem benediktinischen Mutterkloster in Montecassino auf einer karolingerzeitlichen oder sogar auf einer spätantiken Vorlage beruht bzw. ob sie einen zeitgenössischen spätottonischen Glasofen möglicherweise aus Süditalien zum Vorbild hat.

Hraban hatte eine steile Karriere hinter sich gebracht. Er war zunächst Mönch, dann Abt von Fulda, dem zu seiner Zeit weitaus größten und reichsten Kloster des Frankenreiches und des gesamten Abendlandes, später Erzbischof von Mainz, der größten Diözese des Frankenreiches. An beiden damals überaus wichtigen Orten ist für die Karolingerzeit ein Kenntnis der Glastechnologie belegt, in Mainz schon einige Zeit früher unter Bischof Lull durch Schrift-

zeugnisse, in Fulda mit Bodenfunden, welche ganz grob aus der Karolingerzeit stammen dürften (Schlosser 1896; Zimmermann 2014). Für unseren speziellen Kontext ist der Siedlungsname Gläserzell nahe Fulda von ganz besonderem Interesse. Dieser sehr ungewöhnliche Ortsname legt dort eine ähnliche Situation wie in der Konstellation Bodenfelde – Corvey nahe.

Zurück zur Waldglashütte am Solling: Für den am besten erhaltenen Nebenofen, den mutmaßlichen Kühlöfen oder Frittofen (Ofen 1) auf der Glashütte bei Bodenfelde ist eine annähernde Rekonstruktion zumindest hypothetisch möglich. Ausgehend von der Konstruktion jüngerer mittelalterlicher und vor allem frühneuzeitlicher Glasöfen in Zentraleuropa kann man eine einfache, ungegliederte kleine Ofenkammer vermuten, die sich zwischen dem oberen Abschluss(-gewölbe?) des Feuerungskanal und dem eigentlichen Ofengewölbe befunden haben muss. Deren Öffnung befand sich wahrscheinlich direkt über der Schüröffnung.

Hingegen bleiben Überlegungen zur Bauweise des gewiss ehemals überdachten, hüttenartigen Gesamtkomplexes und der zwei anderen, nur in geringen Resten erhaltenen Glasöfen 2 und 3 weitgehend spekulativ. So könnte man sich im Fall des Hauptofens (Ofen 3) sowohl eine im Grundriss runde bzw. ovale, als auch eine rechteckige Schmelzkammer mit abgerundeten Ecken vorstellen. Es gibt zu wenige Anhaltspunkte, um sicher entscheiden zu können, ob es sich grundsätzlich eher um einen stehenden „Einkammerofen“ oder um einen „liegenden“ Hafenofen mit einem vom Feuerungskanal aus zur Schmelzkammer hin waagrecht bzw. leicht diagonal verlaufendem Zug gehandelt hat. Allerdings ist letzteres dem aufgefundenen massiven Hafenbankfragment zufolge sehr viel wahrscheinlicher.

Noch schwieriger ist die Rekonstruktion des zwischen den Öfen 1 und 3 positionierten Nebenofens 2. Im Gegensatz zum Ofen 1 waren hier außer einem schmalen Feuerungskanal keine Relikte eines Ofenfundamentes mehr zu beobachten, sodass sich die Frage stellt, ob der Ofen überhaupt als eine separate Einrichtung funktionsfähig gewesen sein könnte. Es ist deshalb wahrscheinlich, dass es sich hierbei um den Teil eines Verbundofens mit einer zusätzlichen Feuerung handelt, der ehemals aus den Öfen 2 und 3 bestanden haben könnte.

Dabei mag ein Teil der in der Schmelzkammer des eigentlichen Glasofens entstandenen großen Hitze durch eine Öffnung in der Wand in die über die hypothetisch als Ofen 2 angesprochene Feuerung gelegene Ofenkammer gelangt sein. Bei dieser zweiten Ofenkammer könnte es sich neben der plausibelsten Deutung als Kühlöfen z. B. auch um eine Brennkammer für Schmelzgefäße (Hafenofen) oder auch eine „Frittekammer“ zum vorbereitenden Durchbrennen des Glasgemenges bzw. um einen Multifunktionsofen handeln. Wenig wahrscheinlich ist dagegen die Annahme eines älteren Ofens, der durch Ofen 1 gestört wird.

Alte Geländeoberflächen wurden im näheren und weiteren Umfeld der frühmittelalterlichen Waldglashütte weitestgehend nicht mehr bzw. nur noch in letzten Resten angetroffen. Jedoch konnte am südlichen Bachrand ein sich auf einen 3 mal 4 m großen Bereich vor den Öfen 1 und 2 erstreckendes, kompaktes Arbeitsniveau aus kleineren, meist flachen Sandsteinen festgestellt werden. Diese einfache aber sicherlich durchaus wirksame Art der Bodenbefestigung ist mit der direkten Nähe zum Bachlauf und der sich daraus ergebenden ungünstigen Bodenbeschaffenheit zu erklären.

Nach Westen streuen die Funde im Bachbett in einiger Regelmäßigkeit noch etwa 5 m weiter, doch sind dort bei unseren Sondagen keine eindeutigen frühmittelalterlichen Befunde mehr festgestellt worden. Einzelne unscheinbare Relikte sind durch das Wasser gelegentlich bis zu 70 m unterhalb der Öfen anzutreffen. Oberhalb der Öfen endet die Fundstreuung nach den Sondagen und langjährigen Fundbeobachtungen ziemlich abrupt nach wenigen Metern. Zugehörige frühmittelalterliche Befunde konnten dort nicht festgestellt werden.

Insgesamt muss es wiederum als ein kleines Wunder bezeichnet werden, dass unter den vom Standort her vorgegebenen sehr ungünstigen Rahmenbedingungen überhaupt noch Reste der Öfen, etwas Haushaltskeramik und eine doch recht stattliche Anzahl von Hafenscherben, vor allem aber zwei Schmelzgefäße weitgehend komplett erhalten blieben und mindestens ein weiteres rekonstruierbar ist.

2.7.1.4. Funde aus der karolingischen Waldglashütte

Die Lage direkt am Bach wirkte sich in jeder Hinsicht gewiss ungünstig für die Erhaltungsbedingungen auch der Funde aus. Weiterhin bleibt zu berücksichtigen, dass eben dadurch bei fragilem und für Feuchte empfindlichen Material mit Veränderungen der Oberfläche durch mehr als ein Jahrtausend intensiver Feuchtigkeitseinwirkung zu rechnen ist und auch mit mehr oder minder starkem Abrieb im fluvialen groben Schottermaterial bis hin zur völligen Auflösung. Insbesondere gilt dies für Gläser, Eisen und nicht allzu hart gebrannte keramische Objekte wie Ofenlehm und Kugeltopfware älterer Machart.



Abb. 28 Karolingische Glashütte Bo 7. Grabungspraktikum 2016. Schlämmen des Bachsedimentes durch Studenten der Archäologie und der Restaurierungswissenschaften

Insgesamt streuen die Funde aller Art eher locker im Umfeld der Öfen. Eine kleine, aber deutliche Fundkonzentration wurde lediglich an einer Stelle im Bachbett konstatiert, während ansonsten eine lockere Verteilung im Bereich der Öfen und unmittelbar um diese herum sowie eine zunehmend ausdünnende Fundstreuung nach Westen hin beobachtet wurde. Es versteht sich fast von selbst, dass in dem bedingt durch die schwierige Fundsituation nur kleinräumig durch Grabungen erfassten Bereich um die technischen Öfen normale Haushaltsgefäße kaum in größerem Umfang zu erwarten sind. Somit ist es ein großer Glücksfall, dass überhaupt derartige Funde vorliegen (Abb. 28).

2.7.1.4.1. Haushaltskeramik

Entscheidende Bedeutung für die zeitliche Einordnung der Glashütte besitzt die allerdings nur in geringer Menge gefundene Gebrauchskeramik. Der spärliche Fundanfall ist wahrscheinlich ein starkes Indiz dafür, dass der Platz nicht allzu lange, möglicherweise nur für eine Saison bzw. über wenige Schmelzperioden hinweg, kaum länger als maximal vielleicht 2-3 Jahre, genutzt wurde.

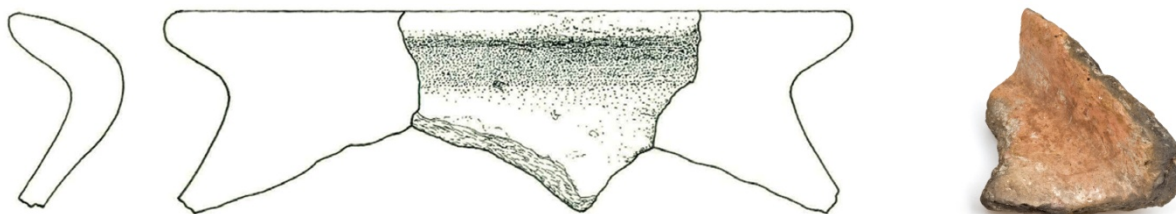


Abb. 29 Karolingische Glashütte Bo 7. Randstück eines archaischen handgemachten Kugeltopfes

Die gängige frühmittelalterliche Haushaltskeramik ist mit einer vergleichsweise geringen Anzahl von nur 26 Gefäßfragmenten vertreten, die nach dem Zusammensetzen mehrerer Bruchstücke zu 18 Datensätzen führten. Kein Gefäß ist auch nur annähernd rekonstruierbar. Überaus bescheiden wirkt diese Zahl im Vergleich zu den 156 gefundenen Fragmenten von Glashäfen, die nach dem Zusammenfügen 90 Einzelobjekte ergaben. Soweit erkennbar handelt es sich bei der Gebrauchskeramik wohl durchweg um Kugeltöpfe (Abb. 29).



Abb. 30 Karolingische Glashütte Bo 7. Verdickter Rand eines Drehscheibentopfes



Abb. 31 Karolingische Glashütte Bo 7. Rand- und Schulterpartie eines sekundär als Hafen genutzten Drehscheibentopfes

Wichtig für vergleichende Überlegungen und die nähere zeitliche Einordnung sind vor allem die frühmittelalterlichen Keramikfunde aus Höxter und Corvey (Stephan 2000a, 46-109) sowie aus der Ortswüstung Schmeeßen im Solling bei Lauenförde (Stephan 2010 bes. 47, 84, 101; Stephan et al. 2011; Stephan et al. 2010; Stephan et al. 2009; Stephan, Gierschke 2012). In letzterem Fundplatz erbrachte die ältere ins lange 9. Jahrhundert datierbare mittelalterliche Siedlungsphase sehr ähnliches Fundmaterial, das die Einordnung der wenigen unscheinbaren Funde aus der Waldglashütte sehr erleichtert. An allen drei Orten mit Einschluss der frühen Glashütte im Kreickgrund kommen sehr ähnliche Fundensembles mit Kugeltöpfen, weitest-

gehend ohne die älteren Standbodentöpfe und Kämpfe vor, deren Datierung um 800-900 festzuhalten ist. Allerdings lässt sie sich vielfach nicht näher differenzieren.

Im vorliegenden Falle ermöglichen jedoch zwei Randpartien von dünnwandigen bauchigen Töpfen mit kurzem, rundlich ausbiegendem Rand mit ca. 12 cm Durchmesser (Abb. 30-31), die qualitativ erheblich hochwertiger sind, eine weitere Präzisierung. Sie unterscheiden sich herstellungstechnisch fundamental von der zwar zweckmäßigen, aber doch sehr archaischen, um nicht zu sagen primitiven, freihandgeformten sächsischen Keramik in letztlich ur- und frühgeschichtlicher heimischer Tradition. Die beiden Topffragmente sind der hart gebrannten, mit Sand gemagerten oder aus scheibenfertigem Ton gefertigten rauwandigen Drehscheibenware zuzuordnen. Diese schlichte aber funktional als qualitativvoll zu bezeichnende und in Sachsen seltene hochwertige Ware brannte man in Töpferofen bei für diese Zeit recht hohen Temperaturen.

Vermutlich handelt es sich um Importe aus Nordhessen, die an der Oberweser gelegentlich in der Karolingerzeit neben der stets dominierenden handgemachten archaischen lokalen, zumeist relativ groben Keramik vorkommen (Stephan 2000a; Stephan 2000b). Die seit etwa 880/900 in erheblichen Mengen aus dem unteren Werra- in das Oberwesergebiet importierte rötliche und seltener auch graue rauwandige Drehscheibenware mit üblicherweise weniger prägnanten, oft etwas längeren fast stets ungegliederten rundlich ausschwingenden glatten Rändern fehlt auf der Glashütte bei Bodenfelde. Dies ist trotz des insgesamt geringen Fundaufkommens als weiteres wichtiges chronologisches Indiz anzusehen. Aus der Summe der Beobachtungen zur unscheinbaren Gebrauchskeramik resultiert mit sehr großer Wahrscheinlichkeit eine Datierung in die Karolingerzeit, am ehesten wohl in die Zeit um 820-880.

Auffälliger Weise ist dies genau der Zeitraum, in dem die junge Reichsabtei Corvey eine Großbaustelle war, während die 797/798 bezugte Königspfalz Karls des Großen in Herstelle wahrscheinlich bereits keine besondere Bedeutung mehr für das Königtum hatte und vermutlich schon an das 799 oder kurz nach 800 neu gegründete und wahrscheinlich vornehmlich mit Zehnten und Fiskalgut dotierte Bistum Paderborn übertragen worden war. Zumindest erscheint es in der Folgezeit nicht mehr im königlichen Itinerar.

2.7.1.4.2. Haushaltskeramik als Glashafen

Auf den in diesem Kontext einzigartigen, aus anderen frühmittelalterlichen Glasverarbeitungskontexten in den ehemaligen römischen Provinzen jedoch in ganz ähnlicher Machart geläufigen zur Glaserzeugung oder -verarbeitung verwendeten bauchigen Topf aus rauwandiger Drehscheibenware sei hier besonders hingewiesen (Abb. 31; Raux et al. 2015). Ein derartig dünnwandiges, nur etwa 4 mm starkes bauchiges Gefäß dürfte für die Glasmelze insbesondere von Holzschmelze grundsätzlich wenig geeignet gewesen sein. Solche Gefäße stehen in der Tradition von einfachen provinzialrömischen und frühmittelalterlichen Gebrauchsgefäßen in Gestalt von allerdings zumeist weniger bauchigen und oft niedrigen Töpfen und Schalen aus Irdenware. Derartige Typen des Küchengeschirrs verwendete man in der Antike allerdings kaum für die Primärschmelze von Rohglas, sondern wohl allein für die Sekundärschmelze von Natriumgläsern im mutmaßlichen Temperaturbereich von etwa 1000-1050 Grad.

Eine Nutzung im Glasofen erscheint eigentlich nur dann sinnvoll vorstellbar, wenn man den fragilen bauchigen Topf zum Schutz vor der großen Hitze dick mit Lutum (Lehm) verschmierte (Stephan 2003a). Dies war jedenfalls in der Römerzeit und noch in der Merowinger- und der Karolingerzeit bei der Sekundärverwendung bzw. auch bei der primären Nutzung von Haushaltsgeschirr im Glasmelzofen weitgehend üblich. Es bleibt zumindest zu vermuten, dass man so auch bei dem dünnwandigen Topf von der Waldglashütte bei Bodenfelde vorgeht.

2.7.1.4.3. Glasschmelzgefäße: hochwertige technische Spezialkeramik

Bruchstücke von technischer Keramik zur Glasschmelze fanden sich in erheblich größerer Anzahl (156 Fragmente, 90 Datensätze, 4179 g) und in teils deutlich besserer Erhaltung als solche von Haushaltskeramik. Dies ist ein ganz wesentliches Indiz für die Besonderheit des Fundplatzes und seinen primären Charakter als für nur relativ kurze Zeit genutzte technische Anlage. Auch wenn der Fundbestand auf den ersten Blick eher bescheiden, zumindest aber gut überschaubar erscheint, handelt sich doch um das weitaus größte und aussagekräftigste Ensemble von Glasschmelzhäfen des frühen Mittelalters aus Deutschland.

Eine erste Schätzung anhand der typischen Ausprägung insbesondere der Ränder und der Bodenpartien sowie der Differenzierungen der Wandstärke, der Größe und auch der unterschiedlich wirkenden Beschaffenheit des Scherbens der fast durchweg relativ niedrigen schalenförmigen Gefäße ließ auf eine dadurch repräsentierte Gesamtzahl von mindestens etwa 30-40 Häfen schließen. Es erscheint allerdings durchaus möglich, dass die tatsächliche Zahl noch höher anzusetzen ist, vielleicht bei etwa 50 Exemplaren oder sogar noch mehr.

2.7.1.4.3.1. Freihandgefertigte Häfen

Von den handgemachten Häfen fanden sich 54 Fragmente von 2824 g Gewicht, welche zu 20 Datensätzen zusammengefasst wurden. Schätzungsweise handelt es sich um mindestens 6, wahrscheinlich aber etwa ein Dutzend Gefäße oder noch etwas mehr. Die Scherbenfarbe ist zumeist hellgrau oder auch gelb-grau gefleckt, seltener mittelgrau. Die tendenziell recht kleinformatischen Häfen besitzen in einigen Fällen sehr dünnwandige Ränder, ansonsten sind die Schmelzgefäße ziemlich dickwandig und unregelmäßig ausgeformt. Sie wirken etwas ungefüge und schwer, ganz ähnlich wie vielfach auch die frühmittelalterliche Haushaltsware gleichartiger Formgebung (Schalen, Kämpfe). Die vier ermittelten Raddurchmesser liegen bei 12, 13, 15 und 18,5 cm. Der maximale Wandungsdurchmesser beträgt 15, 16, 17 (dreimal), 18 und zweimal 21 cm, die Wandstärke beträgt 0,6-1,8 cm (meist 0,7-1,1 cm), die des Bodens 1,5-2,3 cm.



Abb. 32 Karolingische Glashütte Bo 7. Freihandgefertigter Hafen mit gelblichem Scherben und 0,75 dm³ Volumen

Die völlig andersartige gute Qualität des Scherbens sowie die ungewöhnlich dicke Wandung und kräftige Bodenpartie erweisen die Gefäße jedoch eindeutig als hochwertige technische Keramik für den Gebrauch in der Glasherstellung. Gusstiegel für die Metallurgie waren in dieser Zeit von ganz anderer Machart und Form (Stephan 1995a; Stephan, Wilke 2018; Stephan, Wilke 2019). Der sorgfältige Handaufbau ermöglicht besser als die Scheibenfertigung ein starkes Pressen des Tons zur Vermeidung von Hohlräumen beim Wulsten der Häfen. Auch der hohe Anteil applastischer Elemente hatte Vorteile beim Einsatz unter hohen Temperaturen. Die Glasschmelzgefäße aus der karolingischen Hütte bei Bodenfelde sind von der Tonmatrix her deutlich hochwertiger und tendenziell größer als die üblicherweise bei der frühmittelalterlichen Glasschmelze für die Herstellung von Perlen verwendeten Gefäße. So wird für die mutmaßlich bei etwa 600-900 Grad Celsius eingesetzten einfachen leicht konisch sich erweiternden schalenförmigen handgefertigten Häfen aus Zürich ein Randdurchmesser von ca. 10-12 cm und eine Gefäßhöhe von nur etwa 5 bis 8 cm angenommen, woraus sich ein Volumen von gerade einmal zwei bis fünf Dezilitern ergibt (Frey 2018, 336 f.).



Abb. 33 Karolingische Glashütte Bo 7.
Freihandgefertigter weitgehend erhaltener Hafen mit hellgrauem Scherben und 1,5 dm³ Volumen



Abb. 34 Karolingische Glashütte Bo 7. Bodenfragment eines freihandgefertigten Hafens mit gelblichem Scherben und dünner beidseitig anhaftender stark korrodierter Glasschicht

Neben zwei voll rekonstruierbaren, aus zahlreichen Bruchstücken zusammengesetzten Häfen – einmal zu gut 90 % (Abb. 32), einmal zu schätzungsweise knapp 2/3 erhalten (Abb. 33) – liegt möglicherweise noch ein teilweise rekonstruierbarer Hafen mit beidseitig flächig dünn anhaftendem stark korrodiertem Glas und relativ weichem, von der Bodenlagerung stark angegriffenem Scherben vor (Abb. 34). Dabei ist die Zusammengehörigkeit der beiden jeweils aus zwei bis drei Bruchstücken zusammengefügte Teile des Gefäßoberteils und des Bodens sowie zweier kleiner zumindest annähernd ähnlicher Fragmente jedoch nicht gesichert.

Hoch interessant ist in diesem Kontext, dass die einzigen formal vergleichbaren, allerdings nur anhand der dabei gefundenen Gebrauchskeramik etwa ins 9. Jahrhundert datierten Funde unterhalb des Donjons „du Capitole“ in Toulouse in Südwestfrankreich gefunden wurden (Foy, Nenna 2001, 66). Es handelt sich um acht anscheinend allerdings dünnwandige, dick mit Lutum verschmierte und trotz allem z. T. extrem stark deformierte flache ungegliederte Schalen zur Schmelze von grünlichem Natronglas. Angaben dazu, ob es sich um scheibengedrehte Ware oder handaufgebaute im Scherben rötliche Gefäße handelt fehlen, offensichtlich handelt es sich nicht um Feuerfestkeramik. Die durchschnittliche Höhe der Häfen ist mit 10 cm angegeben, der Durchmesser mit 15 cm, das Volumen war demnach gering. Mit den Funden aus Bodenfelde finden nunmehr die in Frankreich und im gesamten Abendland des frühen Mittelalters alleinstehenden Häfen aus Toulouse formale Parallelen, welche die

Isolation nunmehr aufheben und die angenommene Datierung in die Karolingerzeit besser nachvollziehbar machen.

2.7.1.4.3.2. Scheibengedrehte Häfen



5 cm

Abb. 35 Karolingische Glashütte Bo 7.
Rekonstruierbarer klingend harter dünnwandiger
scheibengedrehter Hafen

Die überwiegende Anzahl der Glasschmelzgefäße, und das ist das ganz besondere in dem karolingerzeitlichen Fundkomplex aus Bodenfelde im Unterschied zu allen Häfen, die wir sodann in sehr viel größerer Fülle ab dem 12./13. Jahrhundert in Mitteleuropa und angrenzenden Gebieten kennen, ist in antiker Tradition scheibengedreht und zumindest partienweise auffallend dünnwandig (Abb. 35; Stephan 2003a; Stephan, Wilke 2018). Die Wandstärke beträgt üblicherweise nur ca. 4-9 mm bei in der Gefäßkontur vom Boden zur Randpartie hin stark abnehmender, zur einbiegenden Mündung hin alsdann in der Regel wiederum etwas zunehmender Dicke. Der Rand ist üblicherweise waagrecht abgestrichen und zeichnet sich oft durch eine schwach kantige innere Rille aus, er ist etwa 7-12 mm stark. Relativ dickwandige Böden und Gefäßunterteile bilden die Ausnahme, sie sind etwa 6-11 mm stark.

Die Raddurchmesser konnten mit einer gewissen Toleranz, welche vor allem bei kleineren Bruchstücken zu berücksichtigen ist, bei immerhin 11 Häfen annähernd ermittelt werden. Dieser beträgt jeweils einmal 12 bzw. 14 cm, dreimal 16 cm, sowie je zweimal 17, 18 und 21 cm. Demnach könnte man vielleicht auf drei Größenklassen schließen, von denen die mittlere um 16-18 cm die häufigste war. Die maximalen Wandungs- oder Bauchdurchmesser konnten in 12 Fällen ebenfalls grob bestimmt werden, sie variieren zwischen 15 und 26 cm mit

eindeutigem Schwerpunkt bei 20-21 cm, was recht gut mit der mengenmäßigen Verteilung der Mündungsdurchmesser korreliert. Im Einzelnen handelt es sich um folgende Werte der größten Gefäßweite: jeweils einmal 15, 16, 22 und 26 cm, je dreimal 17 und 21 cm, zweimal 18 cm und sechsmal 20 cm.

Auch in dieser Gruppe sind ähnlich wie bei den freihandgefertigten Häfen die Bodenpartien wenig prägnant ausgeprägt. Ergonomisch handelt es sich bei den auf einer schnell rotierenden Drehvorrichtung (Töpferrad oder Fußscheibe) gefertigten karolingerzeitlichen Häfen um dem Material Keramik und der extremen Hitzebeanspruchung hervorragend angepasste Formen. Man kann sie fast als aus einem Kreis oder eher einem Oval herausgeschnitten betrachten. Problematisch war wohl vor allem die vielfach sehr dünne Wandung.

Die Drehscheibentechnik hat man aufgrund der zweckdienlichen starken Verdichtung des Tones beim besonders sorgfältigen langsamen Aufbau mit freier Hand und verbunden mit einer möglichst besonders langsamen Trocknung bei den hoch- und spätmittelalterlichen und auch bei frühneuzeitlichen mitteleuropäischen Häfen generell nicht angewendet – obgleich diese sehr viel rationellere Herstellungsweise damals für Gebrauchskeramik etwa seit dem 12./13. Jahrhundert auch in Norddeutschland weitgehend üblich war.

Die Anzahl der scheibengedrehten Häfen ist aufgrund der überwiegend kleinen insgesamt recht uniform wirkenden Bruchstücke außerordentlich schwer abzuschätzen. Von den meisten Gefäßen fanden sich wahrscheinlich nur Einzelfragmente. Tendenziell ist der Scherben dunkler als bei den freihandgeformten Exemplaren, er ist üblicherweise mittelgrau, nur vereinzelt hellgrau oder dunkelgrau. Durchgehend gelbe oder gelb-grau gefleckte Scherben fehlen, ganz vereinzelt kommt ein im Kern gelber oder braunrötlicher Scherben vor. Üblicherweise ist die Oberfläche leicht glänzend und ziemlich glatt, aplastische Anteile sind fein und regelmäßig verteilt, es wird sich um sehr feinen Sand handeln.

Die Mindestanzahl der scheibengedrehten Häfen dürfte grob geschätzt über 20 liegen, die reale Größenordnung könnte vielleicht eher bei 30 oder bis zu drei Dutzend Exemplaren betragen haben. Dies entspräche auch in Hinblick auf die Relation der Zahl der Fragmente in etwa den Ergebnissen der Schätzung der Anzahl der ehemals vorhandenen Zahl der freihandgeformten Häfen. Jedenfalls ist es dann der Fall, wenn man die beiden in dieser Machart gefertigten weitgehend erhaltenen Exemplare mit stark erhöhter Zahl der Fragmente als mindernden Zahlenfaktor berücksichtigt.

Ein derartig feuerfester, ganz oder fast gesinterter, klingend harter Scherben, wie er in einer größeren Anzahl von Fragmenten für die meisten auf der Scheibe gefertigten, kleinteilig fragmentierten Häfen vorliegt, entsteht gewiss erst bei Temperaturen um 1150/1200 Grad Celsius und darüber. Die Mehrzahl der aufgefundenen Gefäßfragmente aus dieser Gruppe zeigt eine solche Beschaffenheit des Scherbens. Ungeklärt ist bisher, woher man den Hafenton bezog. Hochfeuerfeste Tone sind nicht überall verfügbar. Außerdem bestand im Frühmittelalter kaum Bedarf dafür, sodass einschlägige Kenntnisse ein seltenes Spezialwissen dargestellt haben werden.

In ganz besonderem Maße beeindruckt dies im vorliegenden Falle in der für die Herstellung von Kaliumglas noch weitgehend unerschlossenen, erst neu in das Frankenreich integrierten, bis dahin kulturell weitgehend eher in einem recht archaischen frühgeschichtlichen Kulturzustand verharrenden Reichsprovinz Sachsen. Ohne weiträumige Verbindungen der christlichen fränkisch-sächsischen Eliten ist ein derartiger Wissens- und Technologietransfer kaum denkbar, worauf noch zurückzukommen ist.

Zusammenfassend bleibt festzuhalten: Die durch die Gebrauchskeramik vorgegebene grobe Datierung ins 9. Jahrhundert wird durch die Funde von im Vergleich selbst zu den ältesten

ansonsten in Mitteleuropa derzeit bekannten Glashäfen aus regionalen Waldglashütten des 12. Jahrhunderts mit einem Volumen von üblicherweise ca. 3,5 bis 10 Litern extrem kleinen und auch sonst in ihrer formalen Gestaltung ganz andersartig wirkenden überwiegend relativ dünnwandigen Häfen gestützt. Diese sind z. T. handgemacht, überwiegend aber scheibengedreht und auffallend dünnwandig. Ein gravierender Unterschied ist nicht zuletzt auch der im 9. Jahrhundert sehr viel weniger dicke Boden, der grundsätzlich nicht scharf von der Gefäßwand abgesetzt ist, und teils als rundlicher Wackelboden, teils als schwach ausgeprägter Standboden ausgeprägt ist.

Wir erfassen damit erstmals in Deutschland ein ganzes Ensemble von im Einzelnen formal und hinsichtlich der Größe sehr viel weniger als im Hochmittelalter standardisiert wirkenden, ausgesprochen verschiedenartig und individuell ausgeführten Häfen. Dies mag daran liegen, dass wir hier eine Findungs- oder Experimentierphase erfassen, in der man noch nach den am besten für die Schmelze von Kaliumgläsern geeigneten Hilfsmitteln und Verfahren suchte.

Die Glasschmelzgefäße von der Glashütte bei Bodenfelde unterscheiden sich wie bereits ausgeführt in mehrfacher Hinsicht von allem, was wir bisher aus mittelalterlichen Waldglashütten der Region und weit darüber hinaus sogar des Abendlandes insgesamt kennen¹. Der prägnanteste Unterschied ist neben dem durchweg ausgesprochen geringen Fassungsvermögen die Fertigung eines Großteils der Häfen auf der Töpferscheibe oder auch mit Hilfe des westlich des Rheins bis in die Neuzeit stark verbreiteten Töpferrades. Weiterhin kommen aber auch bereits handgeformte schalenartige Häfen vor. Gemeinsam ist beiden Gruppen die überwiegend relativ niedrige, jedoch zumeist nicht allzu weitmundige schalen- bis topfartige Grundform.

An dieser Stelle ist es angemessen, einige Überlegungen zur Standzeit der Häfen und zur Produktionskapazität der Waldglashütte anzuschließen. Dabei muss man notgedrungen von den besser überlieferten Verhältnissen in der Neuzeit ausgehen, um überhaupt gewisse Anhaltspunkte zu gewinnen. Die Arbeit am Schmelzofen erfolgte zumindest im 15./16. Jahrhundert in weiten Teilen Mitteleuropas in der Regel nicht ganzjährig, sondern war aus vielerlei Ursachen auf die wärmeren Jahreszeiten, auf etwa 6-7 Monate begrenzt.

Das Füllvolumen der kleinsten rekonstruierbaren schalenförmigen Häfen der karolingischen Glashütte bei Bodenfelde lag bei etwa 0,5-0,6 Litern. Das Fassungsvermögen der etwas größeren, häufig recht steilwandigen und höheren Häfen dürfte bei 1,5-2 Litern, maximal vielleicht vereinzelt auch etwas darüber gelegen haben. Es bewegt sich in jedem Falle weit unter dem, was später üblich war. Wenn man die rekonstruierbare Größe von Ofen 3 zugrunde legt, können durchaus 4 oder auch 5 dieser Häfen unterschiedlicher Größe mit einem Glasansatz in der Größenordnung von ca. 10-12 Litern oder 25-30 kg Glas im Schmelzofen gestanden haben.

Eine derartige Menge könnte problemlos von einem oder maximal auch zwei Glasbläsern an einem Tage verarbeitet worden sein. Wahrscheinlicher ist aufgrund der recht geringen Menge des Glases und der vermutlich noch in der Entwicklung begriffenen Ofentechnologie für die Schmelze von Kaliumgläsern jedoch nur ein Bläser, vielleicht mit einem Gehilfen. Für das Einbringen und Läutern des neuen Glasansatzes bedurfte es wohl mindestens eines Tages und einer Nacht. Insofern ist es vielleicht realistisch von durchschnittlich drei Blastagen pro Woche auszugehen. Weiterhin sind Ausfall- und Reparaturzeiten für die Öfen zu berücksichtigen. Bei 20-30 Wochen Arbeit am Ofen könnte man daraus hypothetisch auf eine Jahreskapazität von immerhin etwa 600-1100 Litern oder 1,5-2,7 t Glas schließen.

¹ Foy, Sennequier 1989; Gehringer 2000; Jannin 1980; Kurzmann 2004; Maus, Jenisch 1999; Mendera 2002; Mester 2003; Nenna 2001; Päßgen 2003; Prohaska-Gross 1991; Stephan 1995a; 1998; 2003a; Berg, Steppuhn 2011.

Sehr schwierig abzuschätzen ist die Standdauer der Häfen. Diese sollte möglichst hoch sein und in der Neuzeit auf traditionell mit Holzfeuerung arbeitenden Glashütten etwa 2-3 Monate betragen (vgl. die näheren Angaben und die Literatur in den Abschnitten zu den hoch- und spätmittelalterlichen Glashütten). Diese Häfen waren sehr viel größer und dickwandiger als die karolingerzeitlichen Glasschmelzgefäße aus der Waldglashütte bei Bodenfelde.

An sich wären Langzeitexperimente nötig, um auch nur einigermaßen abgesicherte Ergebnisse für das frühe und hohe Mittelalter zu erhalten. Da diese nicht vorliegen, kann man nur vage Mutmaßungen dazu anstellen. Wenn man von einer durchschnittlichen Lebensdauer von 4-8 Wochen für die karolingerzeitlichen Häfen ausgeht und etwa 20-30 Wochen Arbeitszeit pro Jahr zugrunde legt, wäre bei einem Ofenbesatz mit 4 oder 5 Häfen hypothetisch mit einem Verbrauch von jährlich 10-40 Häfen zu rechnen. Somit könnten die schätzungsweise 30-50 Häfen, von denen sich Fragmente fanden, durchaus in ein bis zwei Jahren verbraucht worden sein. Allerdings ist dabei der insgesamt nicht allzu gute Erhaltungszustand sämtlicher Relikte zu beachten. Demnach mag es sich sehr wohl um die Hinterlassenschaften mehrjähriger Aktivitäten der Glasmacher handeln.

Bereits in der karolingerzeitlichen Waldglashütte bei Bodenfelde müssen sehr hohe Schmelztemperaturen von etwa 1150-1300 Grad Celsius erreicht worden sein. Diese waren für die Herstellung von Waldglas aus Quarz/Glassand mit Holzasche (wahrscheinlich aus Buchenholz) als Flussmittel zwingend erforderlich (Wedepohl 2003). Woher immer die feuerfesten Tone in Bodenfelde und im Werkstattbereich des Klosters Corvey, wo vermutlich weitgehend die Verarbeitung der im Wald bei Bodenfelde und womöglich auch anderswo erzeugten Rohgläser zu Endprodukten erfolgte, kamen: Man kann nur große Bewunderung äußern für die anhand der Fundmaterialien aus der Waldglashütte bei Bodenfelde zweifelsfrei feststellbaren vorzüglichen Kenntnisse der dort tätigen Glasmacher und die erstaunlich frühe, vermutlich regionale Verfügbarkeit derartiger „high tech-“ Materialien und Technologien bereits in der Karolingerzeit.

Selbst die nächstältesten im Weserbergland bekannten Glashäfen der Zeit um 1100 aus dem Rumohrtal im Solling und aus der Egge besitzen durchweg einen dicken ebenen Standboden. Dies ist ganz offensichtlich notwendig, wenn man Glasschmelzgefäße auf einer ebenen, stabilen Hafenbank aus Stein in einem liegenden Ofen mit vertikal angeordneter Feuerung platzieren will. Die Glasmacher praktizierten dies noch im 19. Jahrhundert und in traditionell arbeitenden Mundblashütten ist es bis heute üblich, starkwandige Häfen mit besonders dickem glattem breitem Standboden einzusetzen.

Die Häfen aus der karolingischen Waldglashütte weichen von diesen seit etwa 900 Jahren trotz aller sonstigen Veränderungen ununterbrochen praktizierten Grundanforderungen bemerkenswerterweise ab. Dies kann kein Zufall sein, sondern dafür müssen besondere Gründe vorliegen. Es ist praktisch kaum vorstellbar, dass man derartige Häfen, so wie sie ausgeformt waren, einfach auf einer Hafenbank aufstellte, denn sie hätten dort nicht einmal bei der Platzierung fest genug gestanden. Vielmehr dürften sie bei jeder mechanischen Berührung durch die Glasmacherpfeife ins Schwanken geraten sein. Vielleicht wackelten sie auch schon allein durch den Luftzug bei enormer Hitzeentwicklung mit den sich bei der Schmelze entwickelnden Gasen und den heftig züngelnden und wirbelnden, aus den Arbeitslöchern schlagenden Flammen. Die im Betriebsablauf notwendige laufende Wiederauffüllung der Häfen mit Glasansatz oder mit Rohglas war so kaum zu bewerkstelligen. Insofern liegt die Annahme nahe, die Häfen seien mit Lehm verkleidet gewesen. Allerdings, und dies sei ausdrücklich festgehalten, konnten wir auf den hoch gebrannten glatten Fragmenten, wenn überhaupt nur geringe Spuren von Lehm identifizieren und keine dicken, verziegelten oder gar verglasten Verkleidungen.

In der frühen Neuzeit spielte der Hafenton von Großalmerode am Kaufunger Wald, einem in der Luftlinie etwa 60 km von Bodenfelde entfernten, im Frühmittelalter aber noch nicht bestehenden, sondern erst im 12. Jahrhundert gegründeten Ort mit bedeutender Töpferkolonie eine große Rolle für die Glasmacher im mittleren Deutschland (Landau 1843b; Stephan 1984; Stephan 1995a; Stephan 2003a mit Lit.). Aktuell durchgeführte archäometrische Serienuntersuchungen haben allerdings erwiesen, dass der Großalmeroder Hafenton in den Glashütten selbst des unmittelbaren Umfeldes am Kaufunger Wald erst seit dem 15. Jahrhundert verwendet wurde und auf den Glashütten im Weserbergland vor dem 16./17. Jahrhundert nicht nachweisbar ist (Stephan, Wilke 2018; Wilke, Stephan, Myszka 2016).

2.7.1.4.4. Ofenbautechnische Funde

Trotz der insgesamt eher ungünstigen Befund- und Fundsituation konnte eine Anzahl von charakteristischen Ofenbauteilen geborgen und als solche identifiziert werden. Dabei handelt es sich um auf den ersten Blick überaus unscheinbare aus Hafenton und aus Lehm gefertigte Fragmente, die man sehr leicht übersehen kann und die bei älteren Untersuchungen von Glashütten oftmals nicht beachtet und selten geborgen wurden. Dies überrascht nicht, denn selbst auf den beiden von uns untersuchten gut erhaltenen Glashütten der ersten Hälfte des 12. Jahrhunderts kamen solche Funde selten vor. Sie sind zumeist erst auf frühneuzeitlichen Glashütten in größerer Anzahl und deutlicher Ausprägung greifbar (z. B. Gerber et al. 2010; Stephan 1995a).



5 cm

Abb. 36 Karolingische Glashütte Bo 7. Fragment des Rahmens einer Arbeitsöffnung

Man hat diese Einwirkungen von starker Hitze aufweisenden Elemente vermutlich vor allem im Hauptofen verwendet. Ohne die dort gegebene Temperaturbeanspruchung wären sie nicht derart kompakt verbacken und teils verglast und wohl auch nicht erhalten bzw. identifizierbar gewesen. An erster Stelle zu erwähnen ist das im Kapitel über die Ofenbefunde bereits besprochene, 22 mal 22 cm große und 6 cm starke (davon ca. 2 cm Sandstein und ca. 4 cm Hafenton) mutmaßliche Fragment der Hafenbank mit einem Gewicht von 4262 g (Abb. 26). Weitere 117 Objekte (2278 g) aus Hafenton wurden als kleinere Fragmente der Hafenbank interpretiert.

Wir konnten im geborgenen Fundmaterial immerhin fünf Fragmente der Rahmen von Arbeitsöffnungen (813 g) und acht Bruchstücke der zugehörigen Arbeitsöffnungsumrandungen (306 g) in der Lehmverschmierung der Ofenwand sicher identifizieren. Die aus Hafenton separat gefertigten Rahmen von Arbeitsöffnungen (Abb. 36) waren ursprünglich im Gewölbe der Schmelzkammer oberhalb der Hafenbank eingebaut und ermöglichten das Befüllen der Häfen und später das Entnehmen der Glasmasse mit einer Glasmacherpfeife. Durch ihren Einbauort bedingt waren sie wochen- und monatelang einer starken Hitze ausgesetzt, wodurch ihre dem Ofeninneren zugewandten Kanten besonders stark beeinträchtigt (stark verglast, teilw. sogar geschmolzen) wurden. Die restlichen, der Schmelzkammer abgewandten Oberflächen blieben dabei weitgehend unversehrt, bzw. wurden höchstens leicht versintert. Diese charakteristische Art der Oberflächenbeeinträchtigung sowie die je nach Fragment entweder längliche oder gebogene bis eckige Form, mit einem viereckigen bis trapezförmigen, oft keilförmigen oder auch ovalen bzw. halbovalen Querschnitt, bilden die markantesten Merkmale der Arbeitsöffnungsrahmen.

Sie konnten entweder in einem Stück geformt und eingebaut sein, häufiger aber bestehen sie aus zwei Hälften (mit je zwei Ecken) oder auch aus vier eckigen Teilen. Die Analyse der auf der karolingischen Hütte geborgenen fünf Objekte dieser Art, die ausschließlich recht kleine Eckfragmente darstellen und dennoch in mindestens zwei Fällen offensichtlich vollständig sind, lässt darauf schließen, dass entweder diese Arbeitsöffnungen sehr klein waren, oder dass es zwischen den Eckteilen nicht solchermaßen verstärkte Zwischenräume gab, dass also die Arbeitsöffnungen nur teilweise mit derartigen Rahmen versehen waren, während man sich ansonsten mit einem einfachen Lehmverstrich begnügte.

Arbeitsöffnungsumrandungen sind im Fundmaterial an ihrem charakteristischen keilförmigen Querschnitt und der am breiten Ende befindlichen Bruchkante erkennbar. Drei der gefundenen Umrandungsbruchstücke sind aus Hafenton modelliert und zu beiden Seiten verglast, was darauf hindeutet, dass sie ursprünglich auf der inneren, der Schmelzkammer zugewandten Seite der Arbeitsöffnungen verbaut waren. Die restlichen fünf Fragmente wurden dagegen aus herkömmlichem Lehm geformt und zeigen entweder keine Oberflächenversinterung oder sind nur auf jeweils einer Seite verglast – sie konnten also nur an den Außenkanten der Arbeitsöffnungen verbaut gewesen sein.

2.7.1.4.5. Die Gläser

Mit Ausnahme des weiter unten beschriebenen kompletten Glasglätters konnten während der Grabungsarbeiten keine weiteren Endprodukte aus Glas oder deren Fragmente geborgen werden. Überhaupt waren Funde von für spätere Waldglashütten typischen Glasproduktionsrelikten ausgesprochen selten und auf zwei Fundtypen, Glastropfen und Rohglas, beschränkt. Die aufgefundenen Bruchstücke von Rohglas, die wahrscheinlich in den meisten Fällen Reste der einst in Häfen erstarrten Glasmasse darstellen, sind maximal 2-3 cm groß und sehr oft opak korrodiert, die Farbe des Glases ist soweit erkennbar immer grünlich. Es handelt sich um gerade einmal 45 Bruchstücke mit einem Gesamtgewicht von ca. 90 g.



Abb. 37 Karolingische Glashütte Bo 7. Grüne, türkisgrüne, türkisblaue und blaue Glastropfen

Wesentlich auffälliger, eindrucksvoller und aussagekräftiger sind die immerhin 54 geborgenen Glastropfen bzw. deren Fragmente mit einem Gesamtgewicht von 47,9 g (Abb. 37). Ihre Form ist im Fall von 29 Exemplaren oval, 24 Stücke können als tropfenförmig bezeichnet werden. In den meisten Tropfen sind eingeschlossene kleine Luftblasen erkennbar. Im Fundmaterial dominieren deutlich mit 40 aufgenommenen Einzelobjekten (39,4 g) grünliche Glastropfen, blaue Tropfen sind dagegen durch lediglich drei Exemplare (1,7 g) repräsentiert. Im Fall von jeweils drei Tropfen wurde deren Farbe als türkisgrün (1,6 g) bzw. türkisblau (1,8 g), bei zwei Exemplaren (0,9 g) als blassgrün und bei einem (0,5 g) als blassblau bezeichnet. Außerdem konnten bei zwei weiteren Tropfen (2 g) Einschlüsse brauner Glasmasse festgestellt werden.

	MW Bo 5	Stabw. Bo 5	MW So.75	Stabw. So.75	MW Bo 7 – SiO ₂ niedrig	Stabw. Bo 7 – SiO ₂ niedrig	MW Bo 7 – SiO ₂ hoch	Stabw. Bo 7 – SiO ₂ hoch
Anzahl	34		27		40		12	
SiO ₂	53,4	1,90	67,0	7,87	61,4	2,34	73,7	2,42
TiO ₂	0,22	0,04	0,30	0,15	0,33	0,09	0,17	0,09
Al ₂ O ₃	2,34	0,35	4,77	1,05	3,83	0,80	3,65	0,45
Fe ₂ O ₃	1,56	1,23	1,72	0,53	1,37	0,40	1,73	0,79
MnO	1,19	0,22	0,63	0,38	0,56	0,07	0,39	0,18
MgO	3,66	0,24	0,94	0,53	2,16	0,24	0,65	0,30
CaO	22,7	0,99	4,15	3,16	8,97	1,41	2,61	1,60
Na ₂ O	2,85	0,37	1,15	0,52	0,67	0,35	0,95	0,24
K ₂ O	6,31	1,27	17,6	3,46	18,4	2,32	15,1	1,57
P ₂ O ₅	3,74	0,28	0,38	0,31	1,04	0,16	0,18	0,10
SO ₃	0,12	0,06	0,05	0,03	0,14	0,05	0,04	0,01
Cl	0,40	0,12	0,01	0,00	0,01	0,00	0,01	0,00
SrO	0,10	0,01	0,08	0,01	0,09	0,01	0,08	0,01
BaO	0,30	0,07	0,16	0,14	0,38	0,05	0,19	0,04
wt-total	99,14	0,52	98,99	0,39	99,44	0,43	99,49	0,20

Tab. 2 Analysenergebnisse der Glastropfen aus der karolingischen Glashütte Bo 7, der spätmittelalterlichen Glashütte Bo 5 und der Ein-Ofen-Anlage des 13. Jhs. am Kleinen Mittelberg (So.75) ermittelt durch invasiven Mikrosondeneinsatz. Mittlere Zusammensetzung (MW) und Standardabweichungen (Stabw.) der untersuchten Gläser (nach: Dr. Andreas Kronz, Zentrum Geowissenschaften, Institut für Geochemie der Universität Göttingen, Dezember 2018)

Drei Glaspfropfen wurden im Rahmen des DBU-Projektes 2015/2016 rasterelektronenmikroskopisch untersucht. Von einem der drei Tropfen wurde am Institut für Werkstoffwissenschaften der Universität Erlangen eine quantitative Elementbestimmung mit ICP-Plasmaspektroskopie durchgeführt (s. Beitrag Siebe in diesem Bericht). Der Siliciumanteil dieser Probe ist mit 63 % SiO_2 für Deutschland ungewöhnlich hoch, gleiches gilt für den Kaliumanteil mit 17,8 % K_2O , während der Calciumanteil mit 9,3 % CaO sehr viel niedriger ist, als zu erwarten wäre (Mittelwert von 18,5 % für Holzascheglas nach Wedepohl 2003, 181-183). Der Natriumwert liegt bei 0,4 % Na_2O , Phosphor bei 0,98 % P_2O_5 und Magnesium bei 2,2 % MgO . Im Beitrag Siebe wurde darauf hingewiesen, dass es sich bei den Glaspfropfen möglicherweise nicht um Glasmasse für Endprodukte, sondern um aus dem Glasansatz eines Vorproduktes gezogene Proben handelt. Die Frage, wie das aus dem Rohglas der karolingischen Hütte gefertigte Gebrauchsglas zusammengesetzt war, kann vorerst nicht ohne weiteres beantwortet werden.

Insgesamt 52 Glaspfropfen wurden in den Jahren 2015/16 des Weiteren Dr. Andreas Kronz, Zentrum für Geowissenschaften der Universität Göttingen, zur invasiven (mit einer zerstörenden Probenentnahme einhergehenden) Analyse mit der Elektronenstrahl-Mikrosonde übergeben. Nach seiner Auswertung ergaben die Analysen ebenfalls Konzentrationswerte, die stark vom publizierten Typus des frühmittelalterlichen Holzascheglasses abweichen (Tab. 2, Kronz in Stephan 2020). Auch er schließt daraus, dass auf der Hütte bei Bodenfelde kein gebrauchsfähiges Glas hergestellt wurde, sondern allenfalls ein Vorprodukt. Darauf weisen noch nicht vollständig aufgeschmolzene kristalline Bestandteile aus dem Quarzrohstoff und mutmaßlich mit dem Ca-Gehalt der Holzasche neu gebildeter Wollastonit (CaSiO_3) hin. Entscheidend für seine Einschätzung der Glaspfropfen als Vorprodukt, nach seiner Auffassung möglicherweise sogar als unbeabsichtigte Nebenprodukte in der Prozeßkette, „Spritzer“ der ersten Arbeitsschritte, war jedoch der weit geringere CaO -Gehalt sowohl gegenüber den typischen Aschen- als auch zeittypischen Glas-Zusammensetzungen, wie sie insbesondere im Reichskloster und der Stadtwüstung Corvey gefunden wurden (Stephan, Wedepohl 1997). Demzufolge hat er sie als eutektikumsnahe Teilschmelzen beurteilt, wie sie wohl bei deutlich niedrigerer Temperatur entstehen als bei der Glasherstellung. Die mit den unterschiedlichen Methoden, der ICP-Plasmaspektroskopie und der Elektronenstrahl-Mikrosonde, erhaltenen Analyseergebnisse stimmen grundsätzlich darin überein, dass kein Natriumglas erzeugt werden sollte, sondern Kaliumglas, und dass auch nicht wie in der Neuzeit verbreitet natriumhaltige Salinasche bzw. NaCl zugesetzt worden ist.

Darüber hinaus haben wir uns entschlossen, eine repräsentative Auswahl der Glaspfropfen von der frühmittelalterlichen Waldglashütte bei Bodenfelde und der weiteren im DBU-Projekt bearbeiteten Hüttenstandorte mit der zerstörungsfreien Röntgenfluoreszenzanalyse untersuchen zu lassen (Abb. 38), dies insbesondere auch unter konservatorischen Gesichtspunkten des hochsensiblen und äußerst geringvolumigen kulturhistorisch überaus kostbaren Probenmaterials. Die Ergebnisse, die außerhalb und weitgehend erst nach Abschluss des DBU-Projektes erzielt wurden, sind hochinteressant, bestätigen das ungewöhnlich niedrige $\text{CaO}/\text{K}_2\text{O}$ -Verhältnis in den Glaspfropfen und waren in dieser Clusterbildung so nicht zu erwarten.

Glaspfropfen mit hohem Kalium- und niedrigem Calcium-Gehalt sind demnach typisch für die hier untersuchten früh- bis hochmittelalterlichen Hüttenplätze. Es handelt sich also geradezu regelhaft um ein bisher in der historischen Glasforschung des Mittelalters kaum beachtetes kaliumreiches Waldglas mit niedrigem Phosphorgehalt, was für den Einsatz von Holzasche und gegen die Verwendung von Farnasche spricht (Dr. Detlef Wilke, mündliche Mitteilung 2018; vgl. Maus, Jenisch 1999; Stephan, Myszka, Wilke 2017; Stern, Gerber 2009). Die Möglichkeit der Qualitätsverbesserung der Buchenholzasche durch Teilaufreinigung in Richtung Pottasche (K_2CO_3), wodurch sich der Gehalt an Kalium gegenüber Calcium erhöhen läßt, wird auch im

Beitrag Siebe in diesem Bericht in Betracht gezogen. Die noch nicht abgeschlossenen Analysen und Auswertungen sowie die methodischen Besonderheiten der zerstörungsfreien geochemischen Analyse von ggfs. mehr oder minder stark korrodierten Glasfragmenten sollen in die monographische Endpublikation eingehen (Stephan 2020).

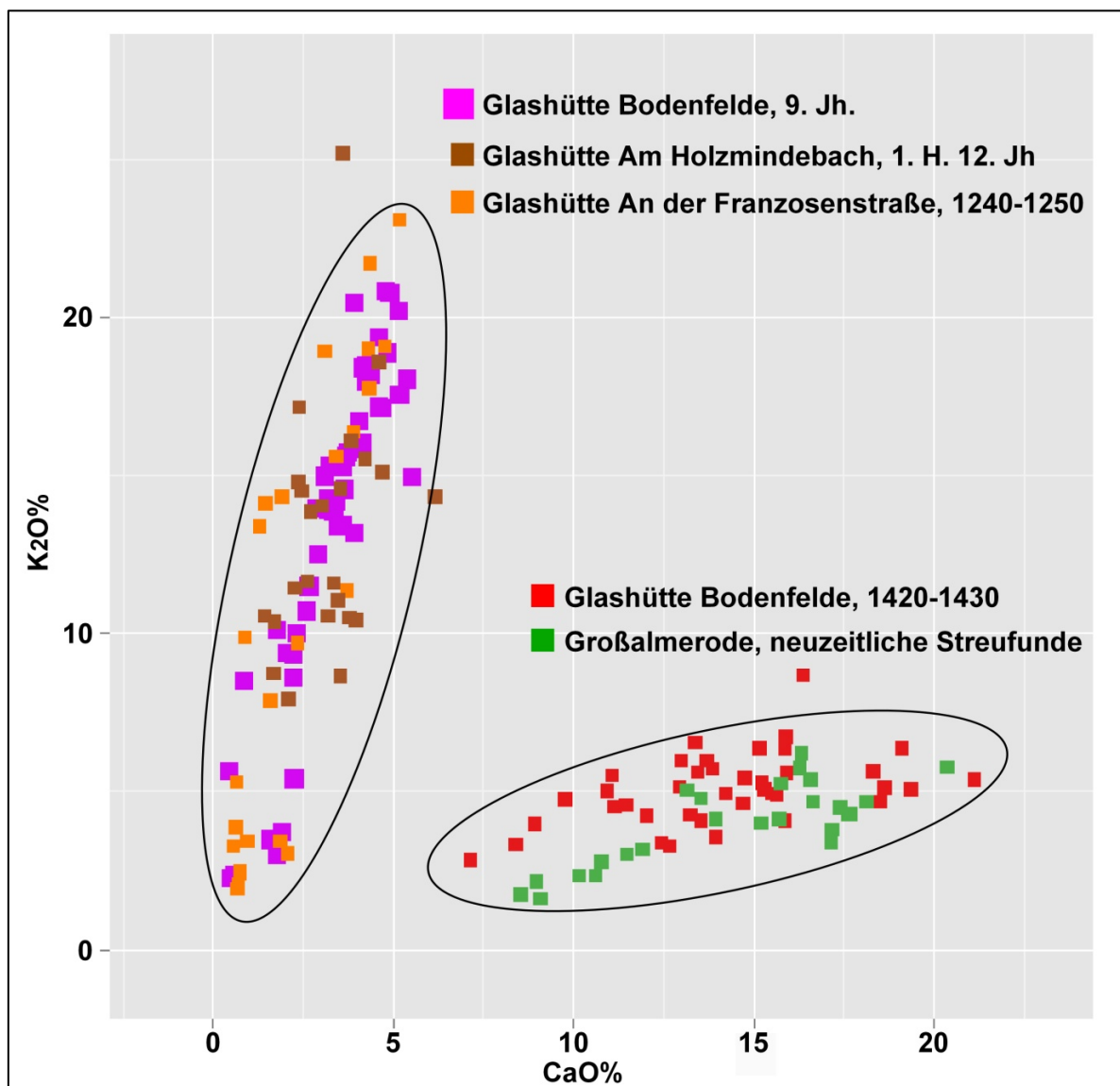


Abb. 38 Kalium- und Calcium-Gehalte in Rohgläsern, Glaspfropfen, Flach- und Hohlgläsern aus Bodenfelde und Vergleichsstandorten. Die mit der zerstörungsfreien Röntgenfluoreszenzanalyse ermittelten Massegehalte sind aus methodischen Gründen nur als Informationswerte zu betrachten. Werte in der linken Ellipse: Früh- und hochmittelalterliche Glaspfropfen und Rohglas, Werte in der rechten Ellipse: Spätmittelalterliche und neuzeitliche Flachgläser. Daten, Analysen und grafische Darstellung von Dr. Detlef Wilke, Wennigsen

Aus archäologischer Sicht stellt sich nun die Frage, ob es sich bei den Glaspfropfen um repräsentative Reste des hier erzeugten Rohglases, eines Glas-Vorproduktes oder gar nur um zufällig herunter getropftes geschmolzenes Ofenbaumaterial (Sandstein, Lehm) handelt. Zumindest Letzteres erscheint so kaum vorstellbar, denn glasige Partialschmelzen von Silikaten, welche sich bei hohen Temperaturen im Inneren von Öfen an den Ofenwänden bilden, sehen anders aus und besitzen keineswegs einen derartigen kompakten, nicht an Lehm oder Steinen anhaftenden Glaskörper oder diese Tropfenform, sondern sind allenfalls als Tropfnasen an einem Trägerkörper aus anderem Material ausgebildet. Schichtförmige Verglasungen an Ofensteinen oder Ofenlehm kommen z. B. regelmäßig in den thermisch extrem stark beanspruchten und dadurch partiell aufgeschmolzenen Innenbereichen von

vielerlei Arten technischer Öfen vor, in denen mit sehr hohen Temperaturen gearbeitet wurde, so in Kalköfen, Töpferöfen und metallurgischen Öfen. Aber es treten niemals derartige Glastropfen auf, die zudem teils noch in Glasfäden auslaufen. Die absoluten Kalium-, Calcium- und insbesondere die Mangan-Konzentrationen in den Glastropfen lassen sich allein durch Aschezusatz zum Quarzsand erklären, nicht jedoch als unbeabsichtigte Schmelzprodukte des Ofenbaumaterials („Partialschmelzen“).

Was die mangelnde Übereinstimmung des $\text{CaO}/\text{K}_2\text{O}$ -Verhältnisses in den Glastropfen, das niedrige Schmelztemperaturen ermöglicht, aber geringe Verwitterungsstabilität hervorruft, mit der Zusammensetzung bekannter Hohl- und Flachgläser des Mittelalters betrifft, ist hier ausdrücklich auf die in der wissenschaftlichen Debatte kaum rezipierten umfangreichen Glasrohstoff- und Endprodukt-Analysen von Maus (Maus, Jenisch 1999) zu verweisen. In der Schwarzwälder Glasmacherregion finden sich bereits im Hochmittelalter Rohglas und Hohlglasfragmente, also für den Gebrauch bestimmte Endprodukte, die die Zusammensetzung sogenannter Pottaschegläser haben, die ansonsten dort regional erst ab ca. 1600/1700 vermehrt in Erscheinung treten. Nicht nur unter den Rohglasresten, sondern auch in den fragmentierten Hohlgläsern fanden sich $\text{CaO}/\text{K}_2\text{O}$ -Verhältnisse von deutlich unter 0,5 und niedrige absolute CaO-Gehalte zwischen 2 und 6 Gew.-%, die nach vorherrschender Meinung gar kein Gebrauchsglas ergeben, zumindest jedoch im Untersuchungsmaterial nicht beobachtet worden sind. Es ist daher keinesfalls ausgeschlossen, dass das Fehlen von Fertigglas dieser verwitterungssensiblen Zusammensetzung lediglich den regionalen Fundumständen geschuldet ist, aber durchaus über den von Maus beschriebenen Einzugsbereich Südwestdeutschlands hinausreicht.

Auch im Falle der frühmittelalterlichen Glashütte bei Bodenfelde bleibt letztlich aus dem negativen Befund heraus ungewiss, auf welche Art von Halbfertig- oder Vorprodukt(en) die Glasmacher tatsächlich abzielten. Auf zahlreichen, insbesondere den frühen ins 12.-14. Jahrhundert zu datierenden europäischen Waldglashütten einschließlich der Haupthütten stellen Glastropfen nicht allein bei Oberflächensondierungen, sondern selbst bei Ausgrabungen oft die alleinigen oder doch fast die einzigen nicht völlig korrodierten und damit nach konventioneller Auffassung für chemische Analysen geeigneten Glasrelikte dar.

Die in der Archäometrie seit längerem vertretene Auffassung, anhand der Glastropfen seien keine verlässlichen Aussagen über die chemische Zusammensetzung von Gläsern möglich (so bereits Stephan, Wedepohl 1989; Wedepohl 2003), hat sicherlich ihre forschungsgeschichtliche Berechtigung. Die Regelhaftigkeit des $\text{CaO}/\text{K}_2\text{O}$ -Musters in den Glastropfen der drei früh- bis hochmittelalterlichen Hütten im Kreickgrund bei Bodenfelde (9. Jahrhundert), im Rumohrtal bei Holzminden (12. Jahrhundert) und am Kleinen Mittelberg bei Uslar-Eschershausen aus dem 13. Jahrhundert (Abb. 38) und ihre Ähnlichkeit bzw. sogar Übereinstimmung mit hochmittelalterlichen sog. Pottaschegläsern sollte jedoch Motivation sein, nach konsensfähigen Hypothesen zur Zusammensetzung der aus ihren Vorprodukten hergestellten Endprodukte, besser noch nach archäologisch zuzuordnendem Fundmaterial zu suchen. Produktionstechnisch ist die Rezeptur allemal einleuchtend, denn der ungewöhnlich hohe Kaliumanteil kann als Versuch gewertet werden, die Schmelze in Anbetracht einer noch in den Anfängen steckenden Hochtemperaturfeuerungstechnik überhaupt erst zu ermöglichen. Allerdings muß der allzu niedrige Anteil an Calcium als Stabilisator dann als ein schweres Defizit betrachtet werden, welches eine gewisse Unsicherheit im Umgang mit dem Werkstoff und das regionale Fehlen von aus dieser Rezeptur hergestellten Endprodukten nur noch bekräftigen würde.

Abgesehen von den im Rahmen archäometrischer Untersuchungen schwierig zu bewertenden Produktionsrelikten konnten wir schließlich erfreulicher Weise in der letzten Grabungskampagne einen vollständigen, nur an der Oberfläche korrodierten Glasglätter aus grünlichem Glas

bergen (Abb. 39). Sein Durchmesser beträgt 6,6 cm, seine Stärke 3 cm, das Gewicht 136 g. Dieses Fundstück ist in derart guter Erhaltung für das frühe Mittelalter in Niedersachsen einzigartig.



3 cm

Abb. 39 Karolingische Glashütte Bo 7. Kompletter erhaltener korrodierter Glasglätter aus (dunklem) grünlichem Glas

Die Mehrzahl der Belege mit dieser Zeitstellung stammt von wikingerzeitlichen, fränkischen und englischen Handelsplätzen an der Nord- und Ostsee (zusammenfassend Steppuhn 1998; Steppuhn 1999; Zimmermann 2014). Aus Niedersachsen und anderen benachbarten Regionen im deutschen Binnenland kennen wir in größerem Umfang Glasglätter erst aus dem 12.-19. Jahrhundert, auf den hoch- und spätmittelalterlichen sowie den neuzeitlichen Glashütten des Weserberglandes wurden derartige Geräte zum Glätten feiner Materialien, etwa von Kleidung, ebenfalls produziert (z. B. Stephan, Wedepohl, Hartmann 1992). Sie waren in weiten Teilen Europas bis ins 18./19. Jahrhundert hinein üblich.

2.7.1.5. Zum weiteren historischen und glastechnischen Kontext

Eine derart kompakte Fundkonzentration im primären Werkstattzusammenhang wie auf der karolingischen Waldglashütte in Bodenfelde ist äußerst selten. Sehr umfangreiche Relikte kennen wir ansonsten etwa aus dem Benediktinerkloster San Vincenzo al Volturno in Süditalien, dort allerdings ganz überwiegend von verschiedenartigen Gläsern und Glastropfen (durchweg Soda-Kalk-Gläser), weniger von Glashäfen und vermutlichen Werköfen (Hodges, Leppard, Mitchell 2011). Weiter ist hinzuweisen auf Werkstattrelikte aus slawisch-awarischem, in beiden Fällen vermutlich sowohl von oströmischen und fränkischen Einflüssen geprägtem kulturellen Kontext aus Bratislava und aus Zalavar am Plattensee in Westungarn. Die beiden zuletzt genannten Orte gehörten damals zum „Großmährischen Reich“, einem Überschneidungsgebiet von politischen und kulturellen Einflüssen aus Ost und West (Farkaš, Turčan 1998; Stephan 2018; Szöke, Wedepohl, Kronz 2004).

Die durch Fremdeinflüsse in Zentraleuropa aufgekommene neuartige Form der Glasverarbeitung war im Kontext der Gewerbe verbrauchernah in zentralen Orten von Herrschaft und

Handel oder auch an Kirchenbaustellen wie in Zalavar angesiedelt. Allerdings, und dies ist ein weiterer entscheidender Unterschied zur Waldglashütte bei Bodenfelde, fertigte man dort ebenso wie in Italien nach wie vor Natriumgläser in letztlich antiker Tradition und beschränkte sich in der Regel eher auf die sekundäre Glasverarbeitung. Noch die Glasfertigung an der Königspfalz Karls des Großen in Paderborn um 800 war von Sodaglas geprägt, der offenbar kleine, nur vage indirekt greifbare Ofen hinterließ lediglich spärliche Relikte (Gai 2001).

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass mit der Neuentdeckung im Oberweserraum ein früher Nachweis der allem Anschein nach ausschließlichen Erzeugung von Kaliumglas im 9. Jahrhundert erbracht worden ist. Es handelt sich demnach um die mit weitem Abstand älteste mittelalterliche Waldglashütte Europas, nachdem der Schmelzplatz unweit Kordel im Hochwald bei Trier definitiv ins 12./13. Jahrhundert zu datieren ist (Clemens 2012)². Auch die nächstältesten Waldglashütten des Abendlandes, die wir derzeit kennen, liegen keineswegs in Frankreich, Italien, Spanien, auf dem Balkan, an der Adria oder auch nur im Rhein-Mosel-Maasgebiet mit seiner reichen bis in die Antike zurückreichenden Glastradition. Die Anfänge dieser alsdann lückenlos bis ins 19. Jahrhundert hinein fassbaren Tradition der zentral-europäischen Waldglashütten haben wir allem Anschein nach im Kreckgrund bei Bodenfelde-Polier erfasst.

Die einzigartig frühe Zeitstellung ist mit hoher Wahrscheinlichkeit in einem ganz speziellen Kontext zu sehen: Im Jahre 833 schenkte Kaiser Ludwig der Fromme seine Anteile an den Salzquellen in Bodenfelde im Leinegau an die „mensa fratrum“ (also für die Lebensmittel-, speziell auch die Salzversorgung der Brüder) des nach der um 815 an einem Ort namens Hethis (unbekannt, wohl am ehesten bei Neuhaus im Solling) gescheiterten Erstgründung und alsdann 822 an einem anderen Ort bei Höxter an der Weser neu gegründeten nahe gelegenen Reichsklosters Corvey. Bis 876 kamen noch weitere Schenkungen von Adeligen am Ort und in der Umgebung hinzu, Bodenfelde blieb bis ins späte 13. Jahrhundert ein wichtiger Corveyer Besitzschwerpunkt mit Haupthof und Kirche (Stephan 2010).

Damit ist letztlich wohl auch die drängende Frage zu beantworten, wer die Glasproduktion an dieser nur wenig abseits der im 8./9. Jahrhundert stark ausgeweiteten Siedlungsgefülle des frühen Mittelalters im Weserbogen von Bodenfelde eingerichteten Waldglashütte betrieb. Der historischen Situation und der schriftlichen Überlieferung gemäß war dies, wie bereits einleitend kurz erwähnt, sehr wahrscheinlich das für Norddeutschland (Sachsen) überaus bedeutende 815/822 von Mitgliedern der Karolingerfamilie mit Unterstützung sächsischer Adelskreise und der Königsabtei Corbie in Nordfrankreich gegründete Reichskloster Corvey („corbeia nova“).

Mit der Neuentdeckung ist es erstmals in Europa gelungen, eine siedlungsferne primäre Glasschmelze des frühen Mittelalters nachzuweisen, die gewissermaßen die Entwicklung der Waldglashütten seit dem 12. Jahrhundert vorwegnimmt. Sie gewährleistete wahrscheinlich für eine kurze Zeit die Grundlage für die Glasverarbeitung in der Benediktinerabtei Corvey im 9. Jahrhundert, die wir mit Fragmenten einiger ganz ähnlicher auf der Drehscheibe gefertigter kleiner Häfen aus klingend harter technischer Spezialkeramik und weiteren Indizien durch Forschungsgrabungen in den Jahren 1990-1992 belegen können, die unbedingt wieder aufgenommen werden sollten (Stephan 1994; Stephan, Wedepohl, Hartmann 1997).

Es ist wenig wahrscheinlich, dass man in den zugegebenermaßen sehr kleinen Häfen allein Rohglas erschmolz und dieses nicht weiterverarbeitete. Möglicherweise stellte man in Bodenfelde auch Flachglas für Glasfenster und andere Endprodukte her. Darauf könnte der Glasglätter hinweisen, den die Glasmacher mit Vorliebe aus den letzten mehr oder weniger

² So schon das Ergebnis der Funddurchsicht durch den Autor in den frühen 1970er Jahren und der ähnlichen späteren Einschätzung von Peter Steppuhn (Steppuhn 2000, 151).

verunreinigten Resten vom Hafengebäude fertigten, bevor man ein neues Gemenge ansetzte. Die Glastechnologie der Mönche in Corvey oder der für diese tätigen Handwerker stand in jedem Falle auf einem sehr hohen Niveau, wie neben grünen und farbigen, z. T. bemalten Fenstergläsern ganz besonders die farbigen gläsernen Wandfliesen für prunkvolle Inkrustationen bereits in der älteren ab 822 errichteten karolingischen Abteikirche eindrucksvoll aufzeigen³. Im Unterschied zu anderen Fundplätzen überwiegt in Corvey und Höxter, anders als z. B. in Paderborn, Fulda oder Lorsch am Mittelrhein von Beginn an das Kaliumglas.

Dies kann kein Zufall sein. Und gleiches gilt für die Beobachtungen zu schalenförmigen Häfen des 9. Jahrhunderts, die in dieser Ausprägung ansonsten nur aus Toulouse sowie Relikten einer Waldglashütte des 10. Jahrhunderts ebenfalls aus Südwestfrankreich bekannt sind. Mutmaßlich übertrugen die Corveyer Benediktiner die Kenntnisse dieser neuartigen, in Sachsen bis dahin fremden Technologie aus dem von Abt Adalhard 822 erneut mustergültig in ökonomischer Hinsicht reorganisierten Mutterkloster Corbie in Nordostfrankreich an die etwa 600 km entfernte Tochtergründung an der Weser (Stephan 2000a). Letztlich liegt dem gleichwohl vermutlich primär die profunde Kenntnis der Technologie des römischen und fränkischen Glases im ehemaligen Gallien zugrunde. Diese wiederum manifestieren in Bodenfelde und Corvey indirekt nicht zuletzt die auf der Drehscheibe gefertigten hochwertigen Häfen, welche in Sachsen gänzlich fremdartig wirken und so von keinem einheimischen Handwerker gefertigt wurden.

Ein stark erhöhter Bedarf für die enorm umfangreiche Sakralbautätigkeit, man könnte auch sagen, die neue Mode der farbigen Verglasung von Fenstern vor allem für die Ausschmückung von großen Kirchen in der Blütezeit des Frankenreiches, wird in jedem Falle der wichtigste Motor der neuen, aber auch für längere Zeit letzten Konjunktur des frühmittelalterlichen Glases im Abendland gewesen sein. Diese Nachfrage in Verbindung mit der immer noch gut bekannten und von Spezialhandwerkern in den ehemaligen römischen Provinzen westlich des Rheins in größerem Umfang praktizierten älteren Tradition der Soda-Kalk-Gläser führten in den bedeutenden fränkischen Reichsklöstern Fulda und Lorsch im späteren 8./9. Jahrhundert zur Anwendung ungewöhnlicher Rezepturen für zahlreiche Spielarten von (Soda-)Asche-Blei-Mischgläsern, alsbald aber auch zur Herstellung von Kaliumglas.

Die neue Rezeptur des Holzasche-Glases machte in den Jahrzehnten um 800 die Verlagerung der primären Glasschmelze in walddreiche Regionen vermutlich kurzfristig erstrebenswert, die wir nun erstmals für das Abendland in Bodenfelde, einem seit 833 eng mit der 822 neu gestifteten Reichsabtei verbundenen Ort mit Königsgut und Salzquellen nachweisen können. Indizien für diese Neuorientierung, Glasschmelzrelikte aus dem 10. Jahrhundert, fanden sich nach einer kurzen Erwähnung jüngst auch in Südwestfrankreich im Bereich eines älteren Bergbaureviers, sie sind jedoch ganz ähnlich wie andere frühmittelalterliche Hinterlassenschaften der Glasverarbeitung in fränkischen Siedlungen in Hinblick auf die technischen Anlagen weitgehend nur indirekt greifbar, und Öfen lassen sich allein durch Relikte in sekundären Auffüllungen nachweisen (Pactat et al. 2015; Pactat et al. 2017, 336; Raux et al. 2015). Möglicherweise gehört auch die Glashütte in einem Waldbezirk auf einer altbesiedelten Höhe bei Bratislava aus dem späteren 9. Jahrhundert in einen ähnlichen Kontext (Farkaš, Turčan 1998).

Abschließend ist noch festzuhalten, dass nach den für unser Projekt durchgeführten noch andauernden holzbotanischen Untersuchungen der Holzkohlen von Dr. Marie-Luise Hillebrecht (Göttingen) vorab folgende Ergebnisse festgehalten werden können: Mikroskopisch untersucht wurden bisher etwa 2000 Fundstücke, wobei der Schwerpunkt vorerst auf die Relikte aus der Glashütte im Rumohrtal (1213 Holzkohlen) gelegt wurde.

³ Gai 1999; Gai et al. 2012; dell'Acqua 2001; Stephan 2000a; Stephan, Wedepohl, Hartmann 1994.



Abb. 40 Typischer neuzeitlicher Laubholzmischwald im Solling (vornehmlich Buche)

Die Holzkohlen aus der Waldglashütte des 9. Jahrhunderts am Rand des Solling im Kreckgrund bei Bodenfelde in unmittelbarer Nähe der Weseraue, welcher seinerzeit vermutlich noch in gewissem Umfang von Auenwäldern durchsetzt war, bezeugen ein sehr unterschiedliches Bild. Etwa die Hälfte der bislang 422 untersuchten Einzelproben wiesen eine schlechte Qualität auf, d. h. sie waren ausgesprochen weich, zerfielen, hatten gerundete Ränder und häufig waren nur noch kleinste Holzkohlenflitter für die Analyse vorhanden. Die Durchmesser konnten nur in verhältnismäßig geringem Maße (ca. 30 %) bestimmt werden. Mehreren Proben haftete Ofenlehm an. Häufig fanden sich kollabierte Zellen sowie Stauchungen und Quetschungen in der Struktur. Soweit die Durchmesser bestimmt werden konnten, handelt es sich sowohl um mächtigeres (Stamm-) Holz als auch um Äste. 419 Proben sind der Buche (*Fagus sylvatica* L) zuzuordnen, nur 3 Ästchen mit einem Durchmesser von 1,5 bzw. 2 cm der Erle (*Alnus cf. glutinosa*).



Abb. 41 Köhlerei: Historisches Foto des frühen 20. Jahrhunderts mit nach alter Tradition betriebenen Holzkohlenmeiler im Solling bei Delliehausen



Abb. 42 Köhlerhütte im Solling, Bleistiftzeichnung von Johann Wilhelm Schirmer aus dem Jahr 1843 (nach Perse 2001, 218)

Der mäßige Erhaltungszustand einer Vielzahl von Proben erklärt sich zwanglos durch die oberflächennahe Lagerung am Bachrand bzw. im Schottermaterial des Bachs selbst sowie die auch durch Viehtritt bedingte starke mechanische Beanspruchung. Die vorliegenden Untersuchungen weisen auf einen Buchenwald hin, in dem den Glasmachern ausreichend Holz zur Verfügung stand. Die geringe Erlenbeimischung dürfte auf lokale Gegebenheiten am unmittelbar benachbarten Bachlauf zurückzuführen sein. Fragen ergeben sich aus der Qualität der untersuchten verkohlten Hölzer. Handelt es sich hier um professionell hergestellte Holzkohle oder doch eher um Zufallsverkohlung aus dem Ofenbereich? Letzteres ist sehr viel wahrscheinlicher, denn die Glasmacher feuerten ihre Öfen im Gegensatz zu den Metallurgen grundsätzlich mit Holz, nicht mit Holzkohle. Holzkohlen werden jedoch in erheblichem Umfang auch bei der Aschenbereitung für das notwendige Flussmittel zur Reduzierung der Schmelztemperatur angefallen sein. Dies gilt unabhängig davon, ob die Glashandwerker die Asche selbst bereiteten, diese von Aschebrennern oder Seifensiedern erhielten (welche im „capitulare de villis“ Karls des Großen um 800 als typische Bedienstete von Herrenhöfen genannt werden; Franz 1967, 38-59), oder ob man diese selbst erzeugte. Ob darüber hinaus bereits Salinenasche aus der 833 bezugten Salzsiederei des Königs in Bodenfelde bezogen wurde, welche besonders günstige Eigenschaften für die Glaserzeugung besaß, bleibt offen, da die Natrium-Gehalte im Rohglas und in den Glastropfen der karolingischen Waldglashütte gering sind.

In diesem Kontext ist ein kurzer Blick auf die Vegetationsentwicklung im Solling instruktiv, zu der kürzlich anhand von Pollenanalysen für das etwa 7,5 km nordwestlich der Glashütte gelegene Ahlequellmoor bei Neuhaus im Hochsolling aufschlussreiche Einsichten gewonnen werden konnten (Jahns 2010, 573). Im Laufe der älteren vorrömischen Eisenzeit trat ab etwa 800 vor Christus ein Klimawandel ein, es wurde kühler und feuchter. Die lichten relativ artenreichen Eichenmischwälder wurden von einem dichten artenarmen Rotbuchenwald verdrängt. Diese Wandlung führte zu einer vermehrten Torfbildung, sodass die letzten 1500 Jahre besser aufgelöst werden können als die vorhergehende Zeit. Das verhältnismäßig raue Klima und die verkürzten Vegetationsperioden im hohen Solling (ca. 400-500 m NN) an der Wetterscheide zwischen Weser und Leine (Rhein und Elbe) bietet an sich keine optimalen Verhältnisse für die Landwirtschaft, allenfalls für eine extensive Viehhaltung.

Dennoch bestand in der Zeit um 800-1050 erstmals eine Siedlung mit stark vermehrtem Offenland, wobei allerdings Gräserpollen dominieren. Die geringen Anteile von Roggen und Gerste als robuste winterharte Getreidesorten sowie das erhöhte Vorkommen von Weideunkräutern und Heidekraut deuten auf eine intensive Viehwirtschaft hin. Der Wald wurde zugunsten der Landwirtschaft sowie für die Gewinnung von Bau- und Nutzholz sowie für die Hutewirtschaft (Waldweide) aufgelichtet, wobei vorwiegend die Rotbuche geschlagen wurde. Ein erhöhter Eintrag von Holzkohlepartikeln in den Torf zeigt, dass auch Köhlerei betrieben wurde. In den aufgelichteten Wäldern konnte sich nun die lichtliebende Eberesche vorübergehend stärker ausbreiten.

Es ist nicht von der Hand zu weisen, dass hier ein Zusammenhang mit den Sachsenkriegen Karls des Großen (772-804), der fränkischen Okkupation (Königspfalz Herstelle) und Hethis, der überlieferungsgemäß angeblich in der Nähe von Neuhaus 815/816 erfolgten Vorgängergründung von Corvey bestehen könnte (Koch, König, Stephan 2006). Dies umso mehr als inzwischen eine kurzfristige Besiedlung in der Karolingerzeit für das unmittelbare Umfeld des Ahlequellmoors archäologisch nachgewiesen werden konnte (Stephan 2010; Stephan 2013a; Stephan 2019a). Demnach waren im 9. Jahrhundert selbst Hochlagen des Solling aufgelichtet. Um wieviel stärker wird dies im siedlungsgünstigen Wesertal bei Bodenfelde und den nahegelegenen Randbereichen des Solling gewesen sein.

Es bleibt festzuhalten, dass die Glasmacher bei Bodenfelde in der Karolingerzeit fast ausschließlich Buchenholz verwendeten. Von einer „Energiekrise“ wie etwa im spätmittelalterlichen Harz, oder auch nur einer den Vorstellungen von intensiver Waldnutzung und Ressourcenausbeutung des Mittelalters entsprechenden Niederwaldwirtschaft mit auf 10-20 Jahre beschränkten kurzen Regenerationsphasen kann somit nicht die Rede sein (Hillebrecht 1982). Damit ist gesichert, dass man im 9. Jahrhundert auf der Glashütte im Kreickgrund trotz der starken Rodungen im näheren und weiteren Umland bis hin zum Hochsolling noch ausreichende Bestände der damals im Solling dominierenden Rotbuche zur Verfügung hatte, welche offensichtlich für den Betrieb der Öfen eingesetzt wurden. Dies mag auch damit zusammenhängen, dass die Reichsabtei Corvey unter dem besonderen Patronat des Herrscherhauses unter Kaiser Ludwig dem Frommen und seinen Nachfolgern über eine privilegierte Stellung verfügte, zudem auch von sächsischen Adelskreisen damals ungewöhnlich stark begünstigt wurde, und somit vermutlich über vielfältigen Zugang zu den immer noch reichen Holzbeständen der die Oberweser begleitenden Wälder verfügte.

Von daher gesehen ist es überaus wahrscheinlich, dass man das Buchenholz auch zur Aschengewinnung genutzt hat, da es optimale Eigenschaften für die Glasschmelze besaß (Loibl 1996; Loibl 2012 mit Lit.) und man damit die sehr viel aufwendigere Aufbereitung von Farnen für die Aschegewinnung vermeiden konnte.

2.7.2. Die Waldglashütte der Zeit um 1100-1150 im Rumohrtal

In den walddreichen Gebieten an der Oberweser setzte die Hochzeit der Glashütten im 12./13. Jahrhundert nach einer möglicherweise langen Unterbrechung in ottonisch-salischer Zeit alsdann zweifelsfrei ein. Während der Laufzeit des DBU-Waldglasprojektes gelang in den Jahren 2016-2018, nicht wie man zunächst vielleicht hätte erwarten können im Forst Sieburg bzw. Reinhardswald im Nahraum von Helmarshausen, sondern im Nordwestsolling die Lokalisierung einer bis dahin weitgehend unbekanntes frühen „Glashüttenlandschaft des 12. Jahrhunderts“. Diese lag jenseits der Weser im heutigen Bundesland Niedersachsen in einem Kleinraum mit reichem klösterlichem und adeligem Grundbesitz und gewissermaßen vor den Toren der Reichsabtei Corvey.

In den Jahren 2017/2018 konnten Geländerecherchen, Ausgrabungen und Forschungen durchgeführt werden, welche erstmals in Niedersachsen umfassende Einblicke in den Betrieb und die Produktion von Waldglashütten der Zeit um 1100-1150 mit Fokus auf Kalium-Bleigläsern erbrachten. Es ist aufgrund verschiedener Ursachen, auf die später kurz einzugehen sein wird, gut vorstellbar, dass die entscheidenden technologischen Anregungen zur Aufnahme der Fertigung dieser hochwertigen Gläser aus den Regionen an Maas, Mosel und Rhein kamen. Sie können in Zusammenhang mit den großen kulturellen und wirtschaftlichen Blütezeiten, aber auch dem Bevölkerungsdruck in Nordwesteuropa gesehen werden, welcher ab etwa 1100/1150 zur in der Wirtschafts- und Sozialgeschichte des Mittelalters wichtigen „Kolonisation der Holländer und Flamen“ in den Gebieten östlich von Rhein und Elbe führte, so besonders frühzeitig auch bei Bremen, Hamburg und im Weserbergland (Reuschel 2009; Stephan 2010).

Die im Westen Europas, insbesondere zunächst in Frankreich und England, wenig später aber auch im römisch-deutschen Reich sich voll entfaltende Baukunst der Romanik und frühen Gotik mit ihren stark vergrößerten und durch kostbare Verglasungen eine neuartige besondere Lichtfülle und Pracht entfaltenden Fensterflächen verursachte seit den Jahrzehnten um 1100/1150 eine stark gestiegene Nachfrage für Gläser. Der in den sakralen Künsten besonders bewanderte Benediktinermönch Theophilus (Roger von Stablo/Helmarshausen?) bezeichnete in seinem Kompendium der anspruchsvollen handwerklichen Fertigkeiten, der „*Schedula Diversarum Artium*“ um 1100/1125 die Franken (Franzosen) als besonders kundig in der Herstellung von Farbgläsern (Dodwell 1961).

Die auf den in etwa zeitgleichen Glashütten in der Egge und im Rumohrtal vorherrschenden leuchtend grünen Kaliumgläser mit einem beträchtlichen Bleianteil ähneln allerdings auch den smaragdgrünen bleihaltigen Gläsern im islamischen Kulturraum des 11./12. Jahrhunderts auffallend stark (Foy 2017; Glass of the Sultans 2001; Bergmann et al. 2008). Dies ist durch die ähnliche Rezeptur, insbesondere die Bleioxid- und Kupferoxidanteile bedingt. Ob es sich um eine Konvergenzerscheinung handelt oder doch unmittelbare genetische Zusammenhänge bestehen, ist noch ungeklärt. Jedenfalls belebte sich im 11. Jahrhundert der Mittelmeerhandel nach vorhergehenden langen Krisen sehr stark, und die italienischen Seehandelskommunen, aber auch die Häfen Südfrankreichs und Spaniens erlebten einen großen Aufschwung.

1096-1099 schließlich führte der 1. Kreuzzug unter Führung des Hochadeligen Gottfried von Boullion aus einem Kontaktgebiet des Königreichs Frankreich zum Reich der Salier, welchem vom Kaiser Heinrich IV. 1084 das Herzogtum Niederlothringen als Reichslehen übertragen wurde, zur Eroberung von Jerusalem. Die Mehrzahl der Teilnehmer kam aus Lothringen und den zum Imperium Romanum gehörenden Regionen am Rhein. In jener Zeit erlebten die jüdischen Gemeinden Westeuropas bis hin zum Rhein eine große wirtschaftliche und kulturelle Blütezeit. Zumal Juden und Christen im Nahen Osten und Ägypten traditionell in der Glasherstellung eine große Rolle spielten, ist es nicht auszuschließen, dass die Rezeptur der Holzasche-Bleigläser durch enge personale Kontakte, entweder durch Kleriker, Adelige,

Händler oder Pilger aus dem Westen, vielleicht sogar mit Hilfe von Migranten, damals ins Abendland gelangte. Zumindest sind Synergieeffekte sehr wahrscheinlich.

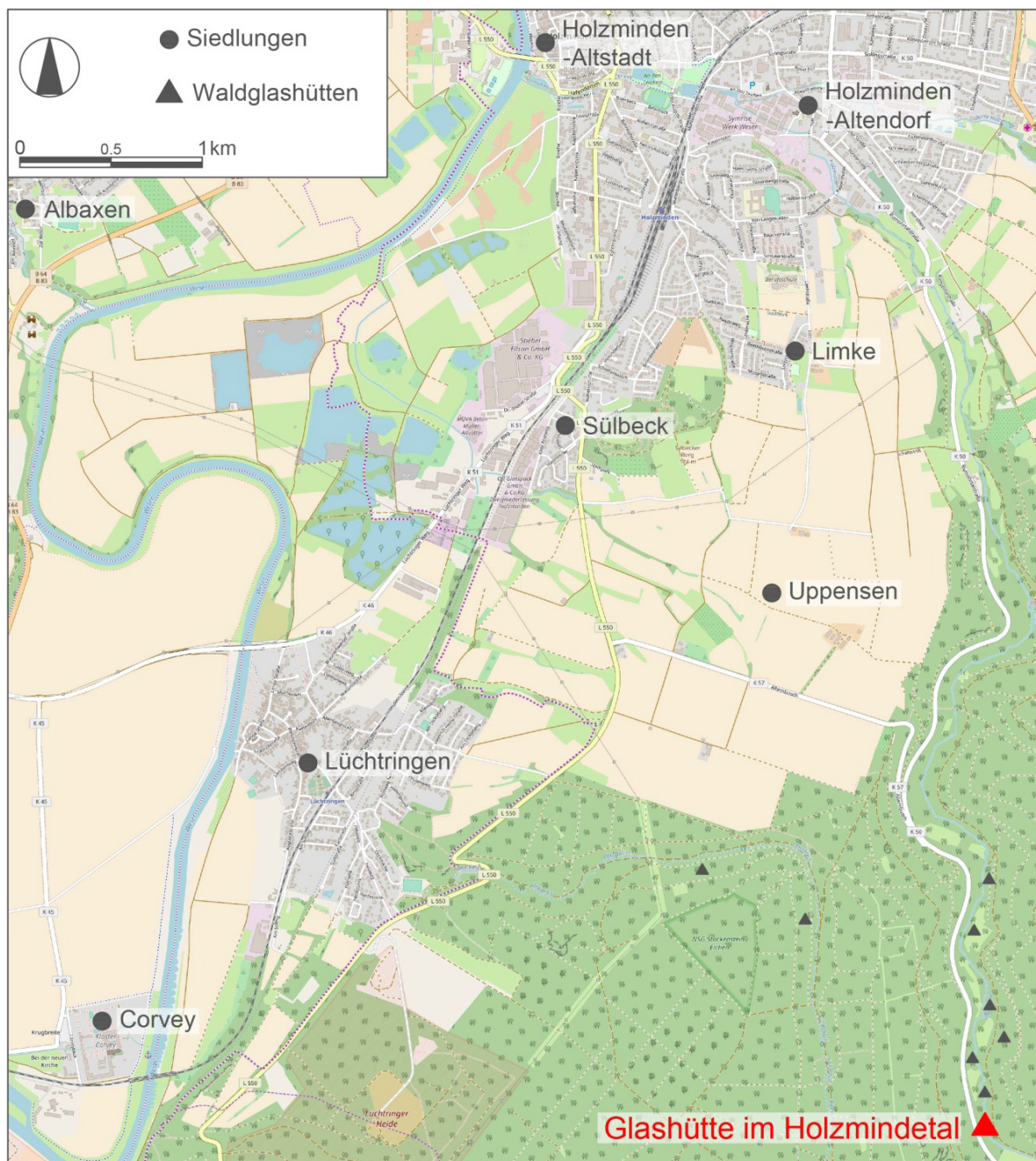


Abb. 43 Kartierung mittelalterlicher Glashütten im Nordwestsolling unweit von Höxter-Corvey im Otterbachtal bei Lüchtringen und im Rumohrthal zwischen Neuhaus-Fohlenplacken und Holzminden. Die durch rote Farbe gekennzeichnete Glashütte S-NW3 im Rumohrthal ist die Grabungsstätte des Jahres 2017-2018. Eingezeichnet sind weiterhin mittelalterliche Dorfwüstungen (Limke, Sülbecke, Uppensen) und bis heute weiterbestehende im Mittelalter entstandene Orte. Die Dorfwüstung Uppensen markiert in etwa den Randbereich der mittelalterlichen Kulturlandschaft in der Talerweiterung der Weser bei Holzminden und Höxter (nach Henne, Stephan und Myska 2018)

Der 2017 ausgegrabene Hüttenstandort im Rumohrthal steht, wie wir inzwischen wissen, nicht allein, sondern findet seinen Platz innerhalb einer ganz ungewöhnlichen, in dieser Art und Weise einzigartigen Konzentration früher Holzrasche-Bleiglas produzierenden Waldglashütten in den großen Waldgebieten an der oberen Weser. Die Glashütten des 12. Jahrhunderts waren von den hochmittelalterlichen Siedlungsgefüden in der größten Talerweiterung an der Ober-

weser zwischen der Nethemündung südlich Höxter und dem Forstbach bzw. Polle nördlich von Holzminden und den dort sich kreuzenden Fernwegen aus gut zugänglich. Die Distanz zur nächstgelegenen Siedlung, der Ortswüstung Uppensen betrug nur etwa 3 km, die zu den Weserübergängen bei Corvey und Höxter sowie Holzminden etwa 6 bzw. 7 km (Abb. 43; Streich 1997).



Abb. 44 Holzminden, Stadtansicht nach Merian 1654. Im Hintergrund vor dem bewaldeten Gebirge das im 16. Jahrhundert neu besiedelte, zuvor wüste Altendorf (D), der zweite Teil des mittelalterlichen Doppelortes

Die Entfernung zu den umfangreichen hochwertigen Lagerstätten von feinem hellem tertiärem Glassand und von Brauneisenstein bei Neuhaus, das allerdings im 12. Jahrhundert wohl noch nicht als Dauersiedlung, vielleicht jedoch als saisonaler Wirtschaftsstützpunkt bestand, betrug ebenfalls nur wenige Kilometer. Der in Neuhaus entspringende Holzmindebach führt ganzjährig für die Bedürfnisse einer Glashütte ausreichend Wasser und trieb in historischer Zeit eine stattliche Anzahl von Säge-, Schlag- und Getreidemühlen an. Außerdem wurde der ökologisch günstige Bereich unmittelbar oberhalb der älteren im Wesertal gelegenen Siedlungsgefülle nicht allein für die herrschaftliche Jagd, sondern vermutlich bereits damals intensiv für die Waldweide, vielleicht sogar für die Pferdezucht genutzt. Spärliche Keramikfunde der Zeit ab etwa 1200 könnten diese Hypothese unterstützen. Die Glashütten liegen in auffälliger Weise durchweg auf der nördlichen Talseite, was besondere Gründe haben muss.

2.7.2.1. Der Glashüttenstandort im Rumohrtal

Ihre Glasöfen errichteten die Glasmacher im 11./12. Jahrhundert aus arbeitstechnischen Gründen wie üblich möglichst eng beieinander auf einer Fläche von etwa 10 mal 7 Metern. Die Betriebsanlagen befinden sich hochwassergeschützt oberhalb des Holzmindebaches auf einem schmalen, jedoch hinreichend geräumigen, sehr wahrscheinlich bei der Einrichtung des Hüttenbetriebes etwas begradigten natürlichen Plateau. Mutmaßlich wählte man den Ort bewusst so, damit man die natürlichen Hangwinde zumindest partiell für die Feuerung der

Öfen optimal nutzen konnte. Die Relikte der Glashütte streuen über eine Fläche von schätzungsweise insgesamt etwa 30 mal 15 Metern.



Abb. 45 Romanische Glashütte S-NW3. Blick von Südosten auf die Fundstelle während der Grabungsarbeiten

Die Gesamtdisposition der Öfen auf der Waldglashütte im Rumohrtal wirkt überaus kompakt, gut durchdacht und streng geregelt. Sie gewährleistete einen optimalen Arbeitsablauf auf so eng wie eben möglich begrenztem, gut überschaubarem Raum, welcher von einer langrechteckigen Werkshalle überdacht werden konnte. Die hohe Anzahl von sechs Öfen überrascht, denn die übliche Anzahl in älteren mittelalterlichen Haupthütten mit Glasschmelze und Weiterverarbeitung zu Fertigprodukten beträgt vielfach drei, manchmal auch nur zwei Öfen. Erst im Laufe des 15. und sodann vor allem im 16./17. Jahrhundert nahm die Zahl deutlich zu.

Der am Südrand der Glashütte gelegene kompakte, in der Aufsicht nur etwa 2,5 mal 2,3 m große Hauptofen (Schmelz- und Arbeitsofen) hat einen rechteckigen bis leicht ovalen Grundriss (Abb. 46). Er weist mit den beidseitig eines zentralen Feuerungskanals, 0,5 m oberhalb von dessen Boden angelegten Hafenkammern die für derartige Öfen typische Bauweise auf. Im Gegensatz zu den aus spätmittelalterlichen und insbesondere frühneuzeitlichen Waldglashütten bekannten Hauptöfen verfügt der im Rumohrtal gefundene Schmelzofen noch über keine Annexe. Dies hilft, abgesehen von der für vergleichsweise kleine Glashütten ausgelegten Schmelzkammer, seine relativ geringen Ausmaße zu verstehen.

Der den Luftzug der Hitze und den Abzug der Gase befördernd nach hinten hin leicht ansteigende Boden des nur 1,6 m langen und 0,28 m (im hinteren Bereich) bis 0,35 m (im vorderen Bereich) breiten Feuerungskanals wurde mit rechteckigen Sandsteinen sorgfältig ausgelegt. Dies war bei mittelalterlichen Glasschmelzöfen in Mitteleuropa ansonsten gerade in früherer Zeit nicht unbedingt üblich. Der Ofen wurde also vom zentralen Produktionsbereich her mit Holz beschickt und gefeuert.



Abb. 46 Romanische Glashütte S-NW3. Blick auf den freigelegten Hauptofen

Eine kurze kompakte, länglich rechteckige bis fast quadratische Grundrissform vor allem des Hauptofens ist offenbar charakteristisch für frühe hochmittelalterliche Glashütten. Sie findet sich ganz ähnlich, dort allerdings deutlich größer und vor allem länglicher ausgebildet auf den etwa gleichzeitigen Glashütten mit Holzasche-Bleiglasproduktion in der Egge bei Altenbeken bzw. Bad Driburg am Dübelsnacken (ca. 3/3,2 mal 2 m) und am Füllenberg (ca. 3,1-3,3 mal 2,1 m) mit ca. 2,5 bzw. 2,6 m langem Feuerungskanal (Bergmann et al. 2008, 141; Wedepohl, Bergmann, Kronz 2010).

2.7.2.2. Glasöfen – Grabungsbefunde im Vergleich und die *Schedula Diversarum Artium*

Insgesamt sollte der Glasofen nach der *Schedula* 10 Fuß breit (ca. 2,8-3 m) und mit dem für das Fritten bestimmten, das hintere Drittel der Länge einnehmenden Ofenteil 15 Fuß (ca. 4,2-4,5 m) lang sein (<http://schedula.uni-koeln.de/index.shtml>). Ohne letzteren betrug die Länge demnach etwa 10 Fuß, was genau seiner Breite, also etwa 3 m entsprach. Damit waren trotz der erheblich größeren Länge des Ofens insgesamt die Proportionen des zum Schmelzen verwendeten Ofenteils (ca. 8,5 mal 8,5 Fuß) gleichartig wie im Rumohrtal. Nur waren im Rumohrtal die Dimensionen/Ofenkapazitäten etwas kleiner.

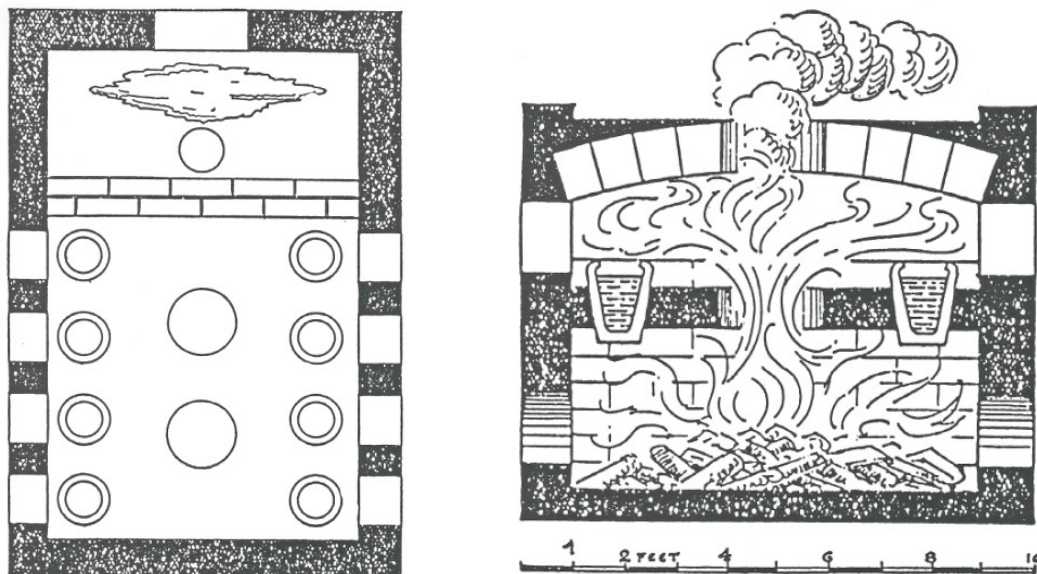
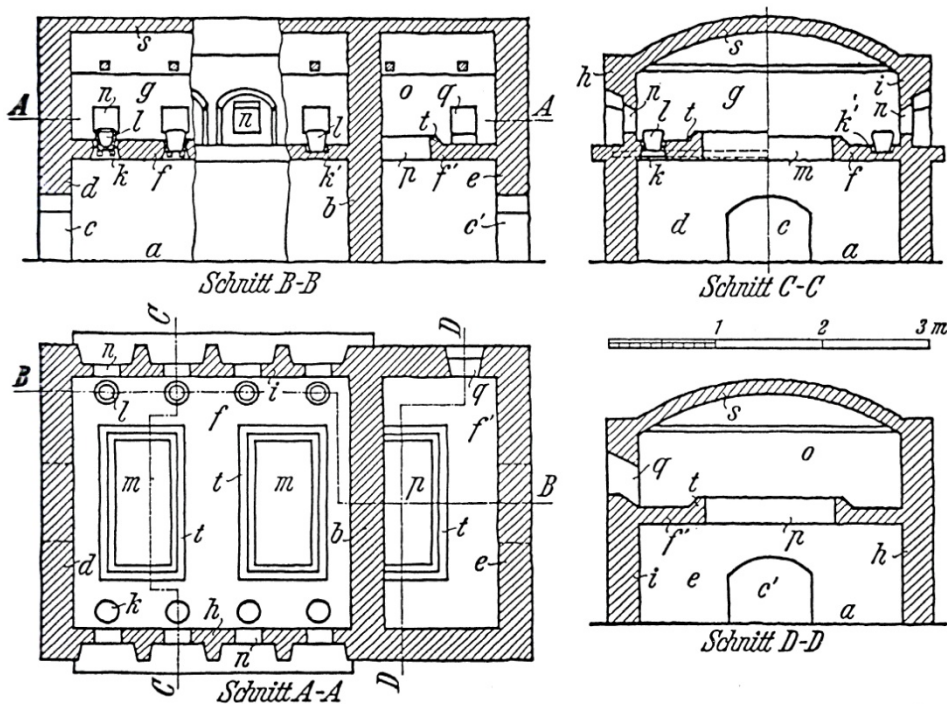


Abb. 47 Der Glasschmelzofen des Theophilus nach Knowles 1922

Theophilus geht von jeweils vier Arbeitsöffnungen an jeder Längsseite des Schmelzofens aus, also Vorrichtungen für die Entnahme von Glas aus den Häfen für bei vollem Betrieb mutmaßlich insgesamt bis zu acht Glasmachern und deren Hilfskräften. Dies ist angesichts der um etwa ein Drittel geringeren bzw. sogar hinsichtlich der Länge auf etwa die Hälfte reduzierten Dimensionen des Schmelzofens im Rumohrthal nicht möglich. Realistisch erscheinen deshalb jeweils zwei Glasmacher auf jeder Seite (Abb. 47-48).



Glasofen des Theophilus. (Wiederherstellung des Herausgebers)

- | | | |
|------------------------------|--------------------------------|-------------------------------------|
| a Feuersohle | g Schmelzraum | n Arbeitsöffnungen des Schmelzofens |
| b Quermauer | h i Längsmauern | o Frittkammer |
| c Schüröffnungen | k durchgehende Hafentlöcher | p Flammenloch im Frittherd |
| d Stirnwand des Schmelzofens | k' halbtiefe Hafentlöcher | q Arbeitsöffnung der Frittkammer |
| e Stirnwand des Frittofens | l Häfen | s Ofengewölbe |
| f Bänke des Schmelzofens | m Flammenlöcher im Schmelzherd | t Bord um die Flammenlöcher |

Abb. 48 Der Glasschmelzofen des Theophilus nach Theobald 1933

Man muss sich deshalb fragen, warum man den Glasofen dort derart bescheiden dimensioniert hatte. Je kleiner der Hauptofen war, desto leichter ließen sich vermutlich höhere Temperaturen erreichen und auch die Schmelze steuern. Dies mag gerade auch für die auf der Waldglashütte im Rumohrtal vorrangig praktizierte Herstellung des wertvollen, aber trotz der mutmaßlich etwas niedrigeren Temperaturen des Herunterschmelzens des Glasansatzes (schätzungsweise eher unter 1.100 Grad Celsius) doch auch wiederum besonders schwierig zu kontrollierenden Schmelze des bleihaltigen Kaliumglases von besonderer Bedeutung gewesen sein. Bleihaltige Glasansätze spritzen sehr stark und verunreinigen in kurzer Zeit den Ofen sowie die Häfen, was erhebliche Probleme mit sich bringt (mdl. Mitteilung Dr. Peter Kurzmann 2018). Es ist deshalb angeraten, die Hitze nur langsam zu erhöhen und die Häfen nicht zu hoch zu befüllen.

Eine genaue Festlegung der möglichen bzw. angeratenen Füllhöhe sowie der zur Schmelze notwendigen Temperaturen wäre allein experimentell zu erzielen. Grundsätzlich senkt ein Anteil von Bleioxid die Schmelztemperatur deutlich, bei weniger als 60 % Bleioxid, im vorliegenden Falle waren es nur etwa 18-25 %, und mehr als 40 % Quarz, hier waren es im Mittel wohl um die 50 %, waren in jedem Falle mehr als 1000 Grad Celsius erforderlich (Wedepohl 2003, 150). Die *Schedula Diversarum Artium* beschreibt hingegen allem Anschein nach lediglich den Bau eines Ofens für normales Holzschegglas, wo wahrscheinlich Temperaturen über 1200 Grad Celsius erreicht werden mussten. Auch dies gilt es zu berücksichtigen.

Die Breite der Fundamente bzw. der Ofenmauern auf der frühen Glashütte im Rumohrtal betrug bei genauer Betrachtung zumindest auf der Westseite tatsächlich etwa 0,6 m, also 2 Fuß. Auf der Ostseite ist das Fundament deutlich breiter (bis zu 0,9 m oder 3 Fuß), wodurch der Feuerungskanal nicht mehr genau in der Ofenmitte liegt. Allerdings scheint es sehr wahrscheinlich, dass das Fundament auf der Ostseite im Zuge einer Reparatur um eine Lage großer Sandsteine nachträglich erweitert wurde und ursprünglich die gleiche Breite wie auf der Westseite aufwies. Den Eindruck einer extremen Breite des Mauerwerks verursachen die Hafentänke. Werden deren Fundamente bei der Größenbestimmung mitberücksichtigt, so ergeben sich Mauerbreiten von je 0,9 m auf der Westseite und bis zu 1,3 m auf der Ostseite. Die mit Hafentänken ausgestattete Brennkammer mit dem zentral verlaufenden Schürkanal weist einen leicht asymmetrischen hufeisenförmigen Grundriss auf mit der größten Weite von ca. 1,2–1,3 m im vorderen Teil des Ofens. Nach hinten hin verengt sie sich auf etwa 0,75 m Breite. Ihre Länge ist mit ca. 1,6 m identisch mit der des Feuerungskanals, allerdings sind ihre Nord- und Südgrenzen um jeweils ca. 0,25 m nach Süden versetzt. Die jeweils ca. 0,35 m breiten und mit nur etwa 0,75 m Länge relativ kurz wirkenden Hafentänke waren offenbar deutlich kleiner als die Brennkammer selbst, wobei zu berücksichtigen ist, dass ihre möglicherweise ursprünglich im vorderen Bereich des Ofens gelegenen Teile nicht mehr erhalten geblieben sind. Damit bieten sie auf beiden Seiten problemlos Raum für schätzungsweise je zwei bis maximal drei Häfen gängiger Größe mit etwa 25-30 cm Mündungsdurchmesser und eine entsprechende Zahl an Arbeitslöchern (vermutlich für insgesamt jeweils zwei Glasbläser).

Die *Schedula* empfahl den Bau von drei Öfen zur Glashüttenarbeit im engeren Sinne, ohne den kleinen Ofen zum Einbrennen der Glasmalereien in die Flachgläser. Der zweite Ofen, und demnach auch aus der Sicht des Autors offenbar der unerlässliche und wichtigere, war der Kühllofen. Dies trifft insofern zu, als ohne Tempere keine brauchbaren Fertigprodukte zu erzielen waren. Der Autor fasste sich bei den Angaben zum Bau jener Öfen sehr kurz, vermutlich weil ihm deren Bauweise im Detail weniger reglementierungsbedürftig erschien und man grundsätzlich zumindest teilweise auf die Ausführungen für den Glasschmelzofen zurückgreifen konnte und sollte. Im Prinzip war die Konstruktion der beiden Nebenöfen gleichartig, nur sollte der Kühllofen um etwa 60 cm länger sein. Erstaunlich wirkt, dass für

beide Öfen eine Höhe von nur etwa 1,2 m angegeben wird, was ausgesprochen gering erscheint, ganz besonders für einen Ofen mit drei Arbeitsebenen.



Abb. 49 Romanische Glashütte S-NW3. Als Südteil eines Doppelofens angelegter Streckofen

Der auf der Südseite des Doppelofens neben dem Werkofen gelegene etwa 2-2,3 m lange und 2,5 m breite Streckofen weist einen mit 0,65 m ungewöhnlich breiten, 1,6 m langen, sehr sorgfältig gebauten rechteckigen Feuerungskanal auf, der von Süden aus geschürt wurde (Abb. 49). Seinen Boden bildet eine in drei Teile geborstene, ursprünglich aber wahrscheinlich in einem Stück eingebaute große ebene feinkörnig-glatte Sandsteinplatte. Die Westwange des Schürkanals grenzt im erhaltenen Befund unmittelbar an das Außenfundament des Ofens. Hingegen ist zwischen der Ostwange und dem massiven Ofenfundament ein aus in zwei Reihen angeordneten, überwiegend kleineren Sandsteinen gebautes 0,4 m breites Fundament der inneren Ofenkammer zu erkennen.

Ein dem Hafenofen unmittelbar benachbarter, für die Glasarbeiter besonders gut erreichbarer versetzt parallel zu diesem angeordneter großer Nebenofen zum Strecken und alsdann auch zum Kühlen der schwerpunktmäßig hergestellten Flachgläser ist für die besondere Art von früher Waldglashütte, mit der wir es hier zu tun haben, von großem Vorteil. Man könnte etwas überspitzt sagen, er ist geradezu zu erwarten, und er bildet in seiner dominierenden Größe die Bedeutung dieses Arbeitsbereiches für den Hüttenbetrieb eindrucksvoll ab.

Der für die Herstellung von Fensterglas im Zylinderblasverfahren bestimmte Streckofen befand sich im westlichen Teil der Glashütte. Er präsentiert sich in seiner überaus typischen Bauweise als Teil eines Doppelofens mit zwei voneinander getrennten, leicht versetzt einander gegenüber liegenden Feuerungskanälen. Der rückwärtige Teil des Doppelofens wurde dabei gewiss als Kühlöfen verwendet, in dem sowohl das nebenan hergestellte Flachglas als auch das Hohlglas heruntergetempert wurden, um Materialspannungen abzubauen und Bruch bei den mühsam hergestellten wertvollen Endprodukten möglichst zu vermeiden.



Abb. 50 Romanische Glashütte S-NW3. Kühlöfen, errichtet als Nordteil eines Doppelofens

Der 2 m lange und 2,3 m breite, als Nordteil des Doppelofens der Glashütte im Rumohrthal errichtete Kühlöfen besitzt einen 1,9 m langen, an der Schüröffnung 0,4 m breiten, im Bereich des mutmaßlichen Schornsteins aber vielleicht zur Verbesserung des Abzugs der Rauchgase nur noch ca. 0,25 m breiten Feuerungskanal (Abb. 50). Dieser grenzt ganz ähnlich wie im Fall des Streckofens nach Westen hin direkt an das Ofenfundament an. Zwischen der Ostwange des Schürkanals und dem Produktionsbereich ist analog wie im Streckofen ein schmales Fundament für die ebenfalls deutliche Spuren von Hitzeeinwirkung zeigende Abkühlkammer zu beobachten, welche allerdings im Vergleich zum Streckofen wesentlich kleiner ist. Auch im Fall dieses Ofens ist aufgrund des nur sehr kleinen freien Raums zwischen dem Feuerungskanal und dem massiven Ofenfundament davon auszugehen, dass sich die eigentliche Ofenkammer größtenteils direkt über dem Gewölbe des Feuerungskanals befand. Sie war gewiss ähnlich, wie dies im Fall des Streckofens zu vermuten ist, durch nur eine Arbeitsöffnung von der Ostseite des Ofens zugänglich.

Die Bauweise des zuletzt charakterisierten Nebenofens entspricht grundsätzlich vollkommen dem auf der Glashütte der zweiten Hälfte des 17. Jahrhunderts „Am Lakenborn“ im Solling untersuchten und über die Glasfunde zweifelsfrei identifizierbaren Kühlöfen. Gleiches gilt für die charakteristische Anfügung des Streck- und des Kühlöfens aneinander, sodass hinsichtlich der Interpretation dieser beiden Öfen, des weitaus größten Ofenkomplexes auf der Glashütte, keine Zweifel bestehen können. Anhand der Feuerungskanäle zu erahnen ist trotz der insgesamt sehr schlechten Erhaltung der Relikte eine ganz ähnliche Doppelofenanlage für die Zeit um 1200 im Köhlergrund im Hils (Leiber 1991).

Diese Feststellung ist auch über Südniedersachsen hinaus von erheblicher Bedeutung. Damit handelt es sich bei den Befunden im Rumohrthal europaweit um einen der ältesten bekannten und gesicherten Nachweise der Fensterglasherstellung im Zylinderblasverfahren im Hüttenbefund und vielleicht das früheste bekannte Beispiel eines solchen Doppelofens. Die hier im

späten 11. oder frühen 12. Jahrhundert angewandte Ofen- und Produktionstechnologie des Fensterglases und die damit verbundenen technischen Anlagen waren so hervorragend optimiert, dass man sie noch auf den spätmittelalterlichen und frühneuzeitlichen Waldglashütten in nahezu unveränderter Grundgestalt weiterhin verwendet hat.

Für sämtliche Öfen erstellte einer der neueren aus der Praxis der Goldschmiede hervorgegangenen Kommentatoren zeichnerische Rekonstruktionen und erörterte deren Grundlagen (Brepohl 1998; Brepohl 1999, 177-184). Dabei setzte er sich kritisch mit der älteren Literatur auseinander, insbesondere mit den jüngsten ausführlichen Vorschlägen aus der Sicht vor allem der Technik und der Archäologie (Horat 1991). In weiten Teilen ist dem beizupflichten (dazu auch Kurzmann 2004, bes. 82f., 142-162; Stephan 1993). Auf der *Schedula Diversarum Artium* und deren unterschiedlichen Interpretationen basieren weiterhin die Rekonstruktionsversuche der Schmelzöfen der Glashütten der Zeit ab etwa 1100 am Dübelsnacken und am Füllenberg in Ostwestfalen mit ihren allerdings teils ziemlich schlecht erhaltenen Befunden (Bergmann et al. 2008, bes. 90-93; Wedepohl, Bergmann, Kronz 2010, 208).

Alle bisher publiziert vorliegenden Rekonstruktionen des Ofeninneren, insbesondere die Ausführung eines Herdes auf zweiter Ebene oder eines durchbrochenen Gewölbes im Schmelzraum, in welchem die Häfen platziert gewesen sein sollen, erschienen vor allem in der praktischen Anwendung nur schwer nachvollziehbar und sind vermutlich weitgehend unzutreffend (so Bergmann et al. 2008; Horat 1991 mit Lit.; Theobald 1933). Sie sind energietechnisch in Hinblick auf die bei einer derartigen Bauweise des Glasofens einerseits vorauszusetzenden Schwierigkeiten mit der Glasschmelze und der durch archäologische Funde gesicherten Form der Glashäfen völlig unbefriedigend, um nicht zu sagen unpraktikabel.

Die Übersetzung knapper mittellateinischer Texte mit technischen Angaben mutmaßlich eines Theologen und Mönches stellen jeden Interpreten zweifellos vor ganz besondere Herausforderungen. Und dies gerade dann, wenn die Übersetzung auf rein literarischer Ebene quasi am grünen Tisch erfolgt. Ohne die Realprobe, die ausreichende Kenntnis zeitgenössischer Ofenbefunde, welche allein durch Grabungen gewonnen werden können, gleichen sie in mancher Hinsicht Schwimmübungen im Trockenen.

Ein großes Manko ist vor allem auch das weitgehende Fehlen von Reihenuntersuchungen mit hinreichender Aussagekraft, was besonders auch ein ingenieurwissenschaftlich versierter Bearbeiter monierte (Kurzmann 2004, 265-309). Diese sollten Laborversuche einschließen, ganz besonders aber auch Langzeitversuche mit Nachbauten von Öfen in Originalgröße auf der Basis der archäologischen Befunde wie in Moldava im Erzgebirge in Nordwestböhmen (Černá et al. 1993). Experimente unter Beteiligung von Experten aus verschiedenen Disziplinen und mit möglichst originalgetreuen Betriebsmitteln im Maßstab 1:1 sind zugegebenermaßen ehrgeizige zeit- und kostenaufwendige Unterfangen, aber langfristig unerlässlich für ein besseres, möglichst solide fundiertes Verstehen der historischen Glasherstellung und auch der begleitenden naturwissenschaftlichen Analysen.

Insofern sind die recht gut erhaltenen zweifelsfrei in etwa mit der Entstehungszeit und den ältesten überlieferten Textversionen der *Schedula Diversarum Artium* des Theophilus zeitgleichen Hafenofenbefunde aus dem Rumohrtal von entscheidender Bedeutung für unser Verständnis der hochmittelalterlichen Technologie der Glasmacher. Dies umso mehr, wenn man an der Entstehung dieser Textteile im nur etwa 25 km entfernten Benediktinerkloster Helmarshausen festhält.

Gerade auch in Anbetracht der damals überaus engen und guten Beziehungen des Diemelklosters zur Reichsabtei Corvey und zu den Bischöfen von Paderborn kann man sich sehr wohl vorstellen, dass der Autor zu den Glasmachern auf einer der frühen Hütten im

Rumohrtal bzw. auch an der Egge Kontakte hatte oder diese sogar selbst aufsuchte. Aus dem Helmarshausen unmittelbar benachbarten Reinhardswald bzw. Forst Sieburg und dem Südtail des Solling sowie dem Bramwald sind bisher keine zweifelsfrei zeitgleichen Waldglashütten bekannt. Lediglich eine Glaswerkstatt in Höxter käme für die Kommunikation theoretisch noch infrage, doch wird diese eher Rohglas aus Waldglashütten weiterverarbeitet haben, und möglicherweise hatte sie damit ofentechnische Probleme (König, Stephan, Wedepohl 2002; König et al. 2003).

Auffallender Weise behandelt der Textautor der *Schedula* die Öfen zur primären Glasschmelze und Verarbeitung so, als seien sie ein gängiger Bestandteil monastischer Glaserzeugung. Von einer Lage der Öfen im Wald ist nicht die Rede. Allerdings mag dies ein untergeordneter Gesichtspunkt gewesen sein, denn offenbar waren Waldglashütten um 1100/1125 noch sehr selten, und primär mag aus der Sicht der Auftraggeber ohnehin die Arbeit für eine geistliche Institution gewesen sein. In jedem Falle ist, wie diese Beobachtungen und dazu noch die Glashäfen des 12. Jahrhunderts in Kloster Hirsau im Nordschwarzwald zeigen (Prohaska-Gross 1991), bis etwa 1150/1200 mit einer Übergangszeit zwischen monastischer Glasverarbeitung, Glashandwerk in urbanen Siedlungen und Waldglashütten zu rechnen.

Mit $\frac{1}{2}$ Fuß, also etwa 15 cm, ist das Gewölbe des Glasofens bei Theophilus viel zu niedrig angelegt, um die gängigen oft ca. 30-35 cm hohen Häfen darin aufzustellen und sodann auch noch mit der Glasmacherpfeife Glasposten aus den Häfen zu entnehmen. Denkbar wäre dies allenfalls für den Teil, in welchem man Fritte herstellte. Weiterhin war das Verschmieren von Häfen mit Lehm, der letztendlich nach längeren Schmelzperioden verziegelt und mindestens partiell versintert sein müsste, anders als in antiker und frühmittelalterlicher Zeit um 1100 zumindest in Mitteleuropa nicht mehr üblich, wie das Fehlen einschlägiger Relikte zeigt. Der jüngste Fund angeblich aus dem 11. Jahrhundert ist eine recht dünnwandige, nicht allzu große Schale aus Arles in Südfrankreich, welche bezeichnenderweise in die mediterrane Tradition der Technologie des Soda-Glases gehört, das um 1000-1050 Grad Celsius schmilzt (Foy, Nenna 2001, 66; Stephan 2003a, 140).

Schon allein die Dickwandigkeit der im 12. Jahrhundert üblichen mitteleuropäischen Häfen mit ihrem typischen kräftigen Standboden und Unterteil lässt sich mit einer derartigen Ofentechnologie nicht in Einklang bringen. Die Häfen hat man so ausgeformt und nicht verlutiert, damit sie auf der Hafbank fest stehen, aber möglichst nicht anbacken und von der Flamme sowie der aus dem Gewölbe zurückschlagenden Hitze direkt so intensiv wie möglich auf die für die Glasschmelze notwendige Arbeitstemperatur gebracht werden können.

Auf der Waldglashütte im Rumohrtal errichteten die Glasmacher insgesamt je nach Definition drei oder vier große Öfen auf massivem Steinunterbau und noch zwei zusätzliche sehr viel kleinere und weniger massiv, jedoch ebenfalls unter Verwendung von Bruchsteinen für die Fundamente gebaute, an den mutmaßlichen Frittofen angefügte bzw. nahe am Schmelzofen positionierte Öfen (s. o.).

Offenbar liegt dem ein von den Aufzeichnungen des Theophilus deutlich abweichendes Konzept zugrunde. Allein schon dies lässt eine erhebliche Skepsis gegenüber allen Versuchen aufkommen, sehr eng am Text orientiert Analogien und Rekonstruktionen zu extrapolieren. Es ist nur indirekt erschließbar, ob der Verfasser möglicherweise gewisse Fakten wegließ und andere besonders ausführlich beschrieb. Denkbar ist weiterhin durchaus, dass er entweder aus seiner Sicht einen Idealtypus konstruierte, weiterhin, dass seine Erinnerung, seine Aufzeichnungen bzw. seine Gewährsleute nicht ganz zuverlässig waren. Alternativ wäre es denkbar, dass er Glashütten aus seiner mutmaßlichen Heimat in Lothringen vor Augen hatte, einem wichtigem Glaserzeugungsgebiet, aus dem aber bisher keine Öfen von Waldglashütten oder Klöstern aus dieser Zeit bekannt oder gar ausgegraben sind.

Dennoch bleibt die Beschreibung der *Schedula Diversarum Artium* von überaus großer Bedeutung, allein schon für unsere Vorstellungen vom Aufgehenden, insbesondere den oberen Teilen der Öfen und den Arbeitspraktiken der Glasmacher. Dies gilt vor allem deshalb, weil wir im archäologischen Befund oft nur spärliche Spuren der Ofenstrukturen vorfinden, im besten Falle gut erhaltene Fundamente und Oberflächenbefestigungen, fast nie hingegen in Originallage größere Reste des Aufgehenden. Andererseits sind davon im Schutt nicht selten Trümmer erhalten, welche zu Überlegungen zur Rekonstruktion anhand derartiger Texte und von Analogien geradezu herausfordern.

Es kann grundsätzlich nicht bezweifelt werden, dass der Autor der *Schedula* sich sehr um gründliche Kenntnisse der handwerklichen Gepflogenheiten der Glasmacher bemühte. Offensichtlich war er aber kein Praktiker. Manches hat er vielleicht nicht recht verstanden oder jedenfalls unvollständig bzw. sogar unzutreffend wiedergegeben. Im realen wie auch im übertragenen Sinne wird man gut daran tun, den überaus wichtigen Text des Theophilus als den Extrakt von Aufzeichnungen und möglicherweise mündlicher Berichterstattung und nicht als einen monastischen Werkstattbericht anzusehen. Man kann den Text zwar als durchaus kenntnisreich und teils kritisch reflektiert betrachten. Dennoch handelt es sich aber um eine in mancher Weise nicht befriedigende Außensicht zu einer wichtigen, im starken Neuaufschwung befindlichen, nur von bestimmten Personenkreisen und nicht überall beherrschten und nur schwer zugänglichen hoch komplexen Technologie.

Die überragende Bedeutung der Fertigung von Fensterglas im frühen 12. Jahrhundert erhellt sich einmal indirekt aus der Reihenfolge und relativ ausführlichen Beschreibung der einzelnen Arbeitsschritte in der *Schedula Diversarum Artium*, aber gewiss auch aus dem Vorhandensein der speziell diesem Herstellungssektor zugeordneten Öfen. Die Bodenfunde aus dem Milieu der Konsumenten und nunmehr endlich auch die Hüttenbefunde und Produktionsrelikte aus jener Zeit bekräftigen dies nachdrücklich.

2.7.2.3. In der *Schedula* nicht erwähnte Nebenöfen



Abb. 51 Romanische Glashütte S-NW3. Blick auf den mutmaßlichen Frittofen (rechts) und die Relikte eines kleinen mutmaßlichen MetallverarbeitungsOfens für die Farbglas- und Kalium-Bleiglas-Fertigung (links)

Der vierte im Rumohrtal bei Holzminden nordöstlich des Kühlofens unmittelbar neben diesem errichtete 3 m lange und 2,3 m breite Nebenofen weist ähnlich wie die anderen Öfen einen grundsätzlich fast rechteckigen, allenfalls ganz leicht ovalen Grundriss (vor allem an den Ecken) auf (Abb. 51, rechts). Die Wände des 1,8 m langen und 0,4 m breiten rechteckigen, Ost-West ausgerichteten Feuerungskanal mit der Schüröffnung im Westen waren bis zu einer Höhe von 0,5 m erhalten. Die Arbeitsöffnung der oberhalb des Feuerungskanal gelegenen Ofenkammer befand sich höchstwahrscheinlich auf der südlichen, dem Produktionsbereich der Glasmacher zugewandten Seite. Aufgrund fehlender produktionstechnischer Funde in den Destruktions-schichten dieses Ofens kann dieser mit einem hohen Grad an Wahrscheinlichkeit als Frittofen interpretiert werden.

Die Relikte des fünften Ofens, der am nördlichen Rand der Waldglashütte im Rumohrtal direkt am Außenfundament des Frittofens errichtet wurde, bestehen lediglich aus zwei Reihen nicht allzu großer in Lehm gesetzter Sandsteine (Abb. 51, links). Der mittig dazwischen liegende, knapp 1 m lange und lediglich 0,2 m breite Feuerungskanal ist ähnlich wie im Fall des Frittofens von Ost nach West ausgerichtet und zeigt nur undeutliche Spuren von Hitze einwirkung. Die in seiner Nähe besonders zahlreich gefundenen Stücke von geschmolzenem Blei bzw. von Bleioxid weisen mutmaßlich auf seine primäre Funktion als kleiner Ofen zum Einschmelzen bzw. zur Reaktion von Metallen und deren Umwandlung in Metalloxide hin.



10 cm

Abb. 52 Romanische Glashütte S-NW3. Für die Herstellung der Blei-Gläser verwendetes metallisches Rohmaterial. Grauer oxidiertes 651,4 g schwerer Bleifladen



3 cm

Abb. 53 Romanische Glashütte S-NW3. Für die Einfärbung der Gläser verwendetes metallisches Rohmaterial. Schwärzlich, rot und grün oxidiertes 57,2 g schweres Rohkupfer

Allem Anschein nach verarbeitete man auf der Waldglashütte vor allem Blei, in geringerem Umfang auch Kupfer, wovon sich ebenfalls Stücke fanden, was überaus aufschlussreich ist (Abb. 52-53). Möglicherweise lässt sich nicht nur die chemische Zusammensetzung, sondern künftig auch die Herkunft des Erzes mittels Bestimmung der Bleiisotope klären. Es ist in jedem Falle hoch interessant zu sehen, dass man wohl keineswegs, wie in der *Schedula Diversarum Artium* beschrieben, Metallspäne oder Metallblech direkt in die Glasmasse zugab. Offenbar war es auch nicht üblich, wie in der Neuzeit teils belegt, Metalloxide wie Bleimennige einzukaufen.

Vielmehr legten die Glasmacher im Rumohrtal (und offensichtlich ebenfalls in der Egge) Wert darauf, die Dosierung und Reinheit gerade dieser für die Qualität und die Farben des Glases entscheidend wichtigen Rohmaterialien so gut wie nur eben möglich selbst kontrollieren zu können. Davon zeugen die zahlreichen offensichtlich für diesen Zweck verwendeten Metallstücke und vor allem auch die Reaktionsgefäße aus uneinheitlich gebrannter, vornehmlich mit Buntsandstein gemagerter Irdenware archaischer Machart (s. u.).



Abb. 54 Romanische Glashütte S-NW3. Relikte des kleinen, 2018 freigelegten Nebenofens

2018 konnten wir unerwartet 1,8 m südöstlich des Schmelzofens noch einen weiteren kleinen Ofen (Ofen 6) freilegen (Abb. 54). Der 1,4 m lange und 0,7 m breite Ofen ist nicht wie die anderen Öfen an den Himmelsrichtungen orientiert, sondern auf der Südwest-Nordostachse, also diagonal zu den restlichen Öfen ausgerichtet. Der Feuerungskanal von 1,1 m Länge und 0,25 m Breite wurde von Südwesten her geschürt. Seine Funktion ist schwer zu bestimmen. Eine keramische Kleinform mit glasurartigen Flecken erinnert zumindest entfernt an die frühe Glasurkeramik des 12./13. Jahrhunderts, welche über den nordwesteuropäischen Raum, z. B. an der Maas (Bruijn 1965; Giertz 1996), hinaus mit ganz ungewöhnlichen Produkten der Zeit um 1200-1240 an der Waldglashütte Steimcke im Bramwald belegt ist oder auch in mitteldeutschen Töpfereien (Stephan 2012a; Stephan, Hoffmann 2016).

Zusammenfassend ist festzuhalten, dass es sich bei der im Rumohrtal freigelegten Anlage um eine der frühesten, die am besten erhaltene und aktuell am intensivsten erforschte hochmittelalterliche Waldglashütte in Europa handelt. Die Öfen sind für einen optimalen Betriebsablauf streng geregelt auf engem Raum platziert. Hinsichtlich der Anzahl, der Bauweise und der Anordnung der Öfen weist dieser Hüttenbetrieb erstaunlicher Weise in den

Grundzügen bereits die meisten der für spätmittelalterliche und frühneuzeitliche Waldglashütten charakteristischen Merkmale auf.

Der Schmelzofen der Glashütte im Rumohrthal entspricht grundsätzlich sehr viel weniger dem in der *Schedula* beschriebenen kombinierten Glas- und Frittofen als den durch Ausgrabungen bekannten vor allem mitteleuropäischen Öfen auf in etwa zeitgleichen und jüngeren hochmittelalterlichen Waldglashütten. Wir befinden uns insofern in einer ähnlichen Situation wie dies für das 16. Jahrhundert aufgrund der immer wieder abgebildeten und vielzitierten, als repräsentativ für Italien und Mitteleuropa angesehenen Ofendarstellungen bei Georg Agricola, Biringucchio und anderen bis vor kurzer Zeit der Fall war. Man erliegt allzu leicht der Suggestion von Wort und Bild. Tatsächlich entspricht der im 16. und noch im frühen 17. Jahrhundert in der Literatur dargestellte Typus des Rundofens aber ganz offensichtlich den damals von gelehrten Autoren als vorbildlich angesehenen Öfen für die Verarbeitung vornehmlich von Soda-Halophytenasche-Glas in Italien (Kurzmann 2004, 181). Die Autoren strebten vermutlich über die Veröffentlichung eine Änderung zumindest der in den nord-alpinen Regionen üblichen traditionellen Ofentechnologie an.

Insbesondere im Vergleich zu den Ofenrelikten der von uns untersuchten karolingischen Glashütte bei Bodenfelde ist im Rumohrthal zweifellos geradezu ein Quantensprung in der Glastechnologie zu konstatieren. Man legte demnach im 11./12. Jahrhundert letztlich die Grundlagen der bewährten Fertigungstechnik der mitteleuropäischen Glasmacher bis ins 16./17. Jahrhundert weitgehend fest. Anders gesagt: Der in mancherlei Hinsicht geradezu als vollendeter Höhepunkt der Entwicklung zu bezeichnende Anfang einer neuartigen Betriebsform und Technologie entfaltete sich (spätestens) um 1100.

Ob diese Innovationen auf frühmittelalterlichen Grundlagen oder auf noch nicht greifbaren zeitgenössischen bzw. nur wenig älteren Entwicklungen in Lothringen bzw. angrenzenden Gebieten Frankreichs, vielleicht sogar des islamischen Mittelmeerraumes fußten oder auch ganz neu entwickelt wurden, ist derzeit noch ungewiss. Die Kenntnisse dieser neuartigen und offenbar bereits weitgehend ausgereiften Technologie wurden von den Glasmachern in den mitteleuropäischen Waldglashütten fortan nachhaltig bewahrt und weitergegeben. Sie entfalteten sich erstmals mit langfristig überaus starker und weiträumiger Wirkmächtigkeit im Zeitalter der damals in Mitteleuropa ihrer vollen Blüte entgegenstrebenden Romanik mit einer Vielzahl großer verglasteter Fenster ausgestatteter repräsentativer Burgen und Kirchen.

2.7.2.4. Technische Keramik

2.7.2.4.1. Archaische Kugeltopfware älterer Machart

Eine erhebliche Anzahl der auf den ersten Blick grundsätzlich der einfachen lokalen Gebrauchskeramik in frühgeschichtlicher Tradition zuzuordnenden Fragmente der landläufigen roten Kugeltöpfe (Koch- und Vorratsgefäße) mit überwiegender Sandsteinmagerung (Abb. 55) beeindrucken durch ihre ganz aus dem üblichen Rahmen fallenden Überzüge auf der Innenseite. Sie ähneln keramischen Engoben aus Tonschlicker, vereinzelt auch den damals in bestimmten Töpfereizentren vor allem Westeuropas hergestellten und als Importware in Mitteleuropa zunehmend eingeführten, für bestimmte Zwecke sehr begehrten Bleiglasuren. Diese überaus merkwürdig wirkenden Überzüge finden sich allerdings im Gegensatz zu den hohen Formen glasierter Tafelgefäße und keramischer Klein- und Sonderformen jener Zeit fast durchweg auf der Innenseite.



Abb. 55 Romanische Glashütte S-NW3. Bisher europaweit so gut wie unbekannte technische Gefäße: Fragmente von roten Kugeltöpfen archaischer Machart mit lokaler Buntsandsteinmagerung. Links: mit dicker grauer Auflagerung von Blei auf der Innenseite, rechts: mit schwärzlich grüner Auflagerung mit hohem Kupfergehalt. Offenbar verwendet als Reaktionsgefäße für das in größeren Mengen benötigte Blei- und Kupferoxid

Bei den oben genannten „Sonderformen“ bzw. besser gesagt keramischen Gebrauchsformen mit Spezialfunktionen handelt es sich jedoch ganz offensichtlich nicht um schon bei der Herstellung, sondern offenbar erst infolge von ganz besonderen Verwendungen entstandene weißlich-graue oder schwärzlich-grüne stumpfe, selten auch um wirklich bleiglasurartige Beläge. Sie finden sich vornehmlich allein auf den Innenseiten der Gefäßfragmente, selten als Flecken auf der Außenseite, alsdann öfter auch mit Kavernen. In einigen insgesamt gar nicht so seltenen Fällen zeigen die Bruchstücke auf der Außenseite Einwirkungen starker sekundärer Hitzeeinwirkung und geborstene, krakelierte Oberflächen oder sogar eine Art von gelblich-grüner Glasur, die partiell auch über die Außenfläche und die Bruchkanten geflossen ist. Somit ist eine Verwendung bei ungewöhnlich hohen Temperaturen, eine über das übliche Maß hinausgehende starke thermische Beanspruchung und ein dadurch verursachtes Bersten der Gefäße gesichert.

Die teils über 1 mm starken grauen und seltener schwärzlich-grünen Anhaftungen treten bei erstaunlich vielen Fragmenten der Kugeltöpfe älterer Machart auf. Vereinzelt wurde derartige Keramik ebenfalls auf zwei Glashüttenplätzen an der Egge bei Bad Driburg-Altenbeken gefunden, aber in den Publikationen nur beiläufig erwähnt und nicht abgebildet, so dass ein verlässlicher Vergleich derzeit im Detail nicht möglich ist (Bergmann et al. 2008, 143; Wedepohl, Bergmann, Kronz 2010).

Besonders hervorzuheben bleibt: Aus dem Milieu der normalen Verbraucher oder auch aus anderen technischen Kontexten, wie etwa der Metallurgie, kennen wir derartige technische Gefäße nicht. Weder aus ländlichen Siedlungen, noch aus Märkten, Städten, Klöstern oder Burgen sind diese bisher bekannt. Auch von Stätten der frühmittelalterlichen Glasverarbeitung oder von Glashütten der zweiten Hälfte des 12. sowie des 13. Jahrhunderts oder gar des späten Mittelalters und der Neuzeit ist derartige Keramik bisher nicht bekannt. Es handelt sich somit um eine sehr seltene ganz spezielle Nutzung von Formen der einfachen niedrig gebrannten Gebrauchskeramik.

Als bald drängte sich die begründete Vermutung auf, dass es sich hierbei um eine europaweit ansonsten noch nicht erkannte oder definitiv als solche identifizierte technische Nutzung von Keramik handelt, die mit der Fertigung von Kalium-Bleigläsern und farbigen Gläsern

zusammenhängen könnte. Der weißlich-graue, manchmal partienweise gelblich-orangefarbene Belag ähnelt sehr stark Bleioxid. Der schwärzlich-grünliche Belag hingegen lässt Kupferoxid vermuten. Tatsächlich konnten mit der zerstörungsfreien Röntgenfluoreszenzanalyse (RFA) hohe Blei- bzw. Kupfergehalte auf den kontaminierten Innenwandflächen ebenso wie in amorphen Bleifluden und Kupfergussstücken nachgewiesen werden. Somit liegt die Verarbeitung von blei- bzw. kupferhaltigen Verbindungen in derartigen Kugeltöpfen nahe.

Wie für manche Glasurtöpfer in der frühen Neuzeit (Fuertes, Krekel 2010) kann man auch für die Glasmacher vermuten, dass sie zur Sicherstellung der Qualität so wichtige Rezepturbestandteile wie Blei- und Kupferoxid selbst vor Ort aus den verfügbaren Metallen hergestellt haben, anstatt sie als Oxide zu kaufen. Die Calcinierung von Blei zu „Bleiasche“ könnte beispielsweise wie in dem grundlegenden Werk zur Glastechnologie der Renaissance von Antonio Neri (Neri 1612/1697, 61. und 62. Capitel) beschrieben ohne Verwendung von Gefäßen direkt auf den Ofensteinen durchgeführt worden sein. Die Gefäße hätten dann wohl eher der Aufbereitung und vielleicht auch Lagerung des Bleioxids gedient.

Allerdings zeigen etliche Keramikfragmente eine starke Krakelierung der Oberfläche, teils auch (Eigen-) Glasurflecken. Dies sind eindeutige Indizien für eine starke sekundäre Hitze- einwirkung im Gebrauch wohl oberhalb eines Temperaturbereichs von etwa 600/700/800°C. Die Calcinierung von metallischem Kupfer beschreibt Neri (Neri 1612/1697, 131. Capitel) mit Hilfe von Tiegeln im Windofen. Hier kann man nach modernem Kenntnisstand davon ausgehen, dass die Kupfer(II)oxid-Bildung bereits ab 300 °C einsetzt, während die vollständige Überführung des Oxids erst bei 800 °C erfolgt (Richardson 1997).

Die poröse archaische rote Irdenware hätte sich also für eine langsame, vielleicht mehrfach wiederholte Kupferoxid-Herstellung durchaus geeignet. Für Reaktionsschritte und Schmelzvorgänge deutlich oberhalb von 800/1000 °C wären dagegen kleine feuerfeste Tiegel erforderlich gewesen, für die es jedoch keine Hinweise im Fundmaterial gibt. Während auf frühneuzeitlichen Glashütten, so der „Großen Niestehütte“ im Kaufunger Wald bei Großalmerode, gelegentlich kleine Gusstiegel vorkommen (Stephan 1995a), fehlen sie üblicherweise auf mittelalterlichen Hüttenplätzen, selbst wenn man auf diesen farbige Gläser herstellte.

Wir gehen somit davon aus, dass es sich grundsätzlich zweifellos um gängige Formen der einheimischen, relativ niedrig gebrannten Gebrauchskeramik handelt, welche man zum Erhitzen der Metalle und deren Umwandlung zu Metalloxiden verwendete. Die Glasmacher vermochten auf diese Art und Weise ein Pulverisieren und sorgfältiges Portionieren der notwendigen metallischen Zugaben für die Glasschmelze bzw. das Einfärben des Glases erheblich zu erleichtern. In Anbetracht des deutlich höheren Bedarfs an Bleioxid gegenüber Kupferpigment in den Bleigläsern (siehe weiter unten) überrascht es nicht, dass sehr viel mehr Gefäßfragmente mit weißlich-grauen oder auch leicht gelblichen bleihaltigen Belägen als solche mit schwärzlich-grünen Anhaftungen der für das Einfärben in grünen oder blauen Tönen benutzten Kupferverbindung vorkommen.

2.7.2.4.2. Glasschmelzgefäße und Ofenbauelemente aus Hafenton

Häfen stellen das bei weitem häufigste und zudem das besonders prägnante, unverwechselbare keramische Fundmaterial auf allen mittelalterlichen Glashütten nicht allein im Rumohrtal dar. Sie sind typisch für Haupthütten, in denen Glas geschmolzen und zu Endprodukten verarbeitet wurde. Sie bekräftigen weiterhin die zeitliche Einordnung in das 11./12. Jahrhundert. Die Glasmacher verwendeten für diese technische Spezialkeramik zweifellos hochwertige geologisch alte Tone, die den intensiv auf sie einwirkenden extrem hohen Temperaturen und auch den aggressiven Bestandteilen des flüssigen Glases im

Schmelzprozess über Wochen und Monate hinweg standzuhalten vermögen (Loibl 2012; Stephan 1998; Stephan 2003a; Stephan, Wilke 2018).

Grundsätzlich handelt es sich um ungegliederte, mehr oder weniger konische Töpfe (kumpfartige Formen), selten um Schalen mit dickem zumeist relativ breitem Standboden und deutlich weiterem, am Ende leicht einziehender Mündung. Der kräftige flache Standboden geht zumeist ohne stärker ausgeprägte Kante schwach rundlich in die im unteren Gefäßabschnitt (weil ganz besonders den Flammen und dem Druck der aggressiven flüssigen Glasmasse ausgesetzt) immer noch ausgesprochen dicke Wandung über, welche zum Rand hin tendenziell deutlich dünner wird. Nur recht selten ist der Boden außen mit einem Knick oder schwachen Wulst deutlich abgesetzt.



Abb. 56 Romanische Glashütte S-NW3. Fast vom Boden bis zum Rand erhaltener spezieller steilwandiger Hafen mit einer glasurartigen Schicht von grünem Bleiglas auf der Innenseite, Höhe ca. 26 cm, Durchmesser ca. 28 cm



Abb. 57 Romanische Glashütte S-NW3. Länger benutzter mit Glas überflossener nahezu vollständiger aus Fragmenten zusammengesetzter typischer leicht konischer hoher Hafen mit einbiegendem Rand zum Schmelzen des Glases, ca. 10 Liter (dm^3) Volumen

Ganz besonderen Beanspruchungen waren diejenigen Häfen ausgesetzt, welche man für die Schmelze der hier dominierenden bleihaltigen Holzschmelzgläser benutzte. An etlichen Häfen ist der für Bleiglashäfen typische Lochfraß erkennbar, ganz besonders in den unteren Gefäßpartien. Einige Häfen zeigen eine dünne grüne Bleiglasschicht auf der Innenseite, welche so schwerlich allein während der Nutzung entstehen konnte, sondern vermutlich vorab beim Vorbrennen oder in einem besonderen Arbeitsgang etwa beim Vorglühen der Häfen gezielt als Bleiglasur aufgetragen wurde (Abb. 56). Zweifellos wollte man so die durch die besonders aggressiven Bestandteile des kochenden Glasansatzes stark beanspruchte Innenseite der Schmelzgefäße schützen.

Im Unterschied zu den karolingerzeitlichen Häfen aus der Glashütte bei Bodenfelde, welche bezeichnenderweise überwiegend noch scheibengedreht und relativ dünnwandig sind, zu einem geringeren Anteil aber auch bereits freihandgeformt wurden, fertigten die Glasmacher im 12. Jahrhundert ihre Schmelzgefäße durchweg freihändig ohne Hilfe einer Drehscheibe. Bei allen formalen Differenzierungen im Detail und trotz der erheblich geringeren Dimensionen als in späteren Jahrhunderten erscheint hier bereits die Traditionslinie der Fertigungstechnik in vorindustrieller Zeit voll ausgebildet.

Die formale Gestaltung der Häfen auf der Glashütte im Rumohrtal ist überwiegend recht stereotyp: ziemlich hoch und grundsätzlich topfförmig, eher nur relativ schwach konisch, recht selten und fast ausschließlich bei den eher seltenen Kleinformaten offenbar für (Holzasche-) Bleigläser schalenförmig (Abb. 57). Der Rand biegt wulstartig ein, so wie in der *Schedula* beschrieben. Der innere Wulst ist allerdings eher zipflig dünn, nicht verstärkt. Stark einziehende, umgeschlagene Ränder wie auf den etwa gleichzeitigen Glashütten in der Egge bei Bad Driburg sind selten (Bergmann 2008, 143; Wedepohl, Bergmann, Kronz 2010).

Ebenfalls eine Rarität und nur ausnahmsweise rekonstruierbar sind relativ dünnwandige kleinere Häfen, welche entfernt an die karolingerzeitlichen Schmelzgefäße von der Glashütte bei Bodenfelde erinnern (Stephan 2014; Stephan, Myszka, Wilke 2017). Hinzu kommen noch einige wenige kleine „Probierhäfen“, die sicherlich vor allem für rotes und blaues Glas verwendet wurden. Entscheidend waren für die Glasmacher zweifellos vor allem das Fassungsvermögen, die gute Handhabbarkeit sowie die hohe Feuerfestigkeit und möglichst lange Standzeit der Gefäße im Schmelzofen. Es war unbedingt anzustreben und für den Betrieb optimal, wenn sie viele Wochen oder Monate den starken Beanspruchungen standhielten. Aus dem Mittelalter gibt es dazu allerdings keine konkreten Angaben.

Die Mehrzahl der Häfen dürfte dem Augenschein nach ein maximales Volumen um die 8-10 Liter aufgewiesen haben. So besitzt ein fast vollständig zusammengesetzter stark konisch ausladender Hafen bei einer Höhe von 23 cm einen Bodendurchmesser von 17,5 cm und einen Randdurchmesser von ca. 30 cm. Dies entspricht theoretisch einem Volumen von etwa 8 Liter Glasmasse oder einem Gewicht bei voller Füllung von etwa 20 kg bei Holzascheglas oder 22 kg bei dem vornehmlich hergestellten Holzasche-Bleiglas. Hinzu kommt noch das Eigengewicht des Hafens.

Die Größe der gängigen Häfen der Hütte im Rumohrtal wirkt gerade auch im Vergleich zu den Häfen der frühen Glashütten an der Egge sehr viel einheitlicher, man könnte sogar sagen, weitgehend standardisiert. Dies war in jedem Falle höchst sinnvoll, gerade auch bei einer ziemlich kleinen Hafenbank. Die bisher gemessenen Volumina liegen wie gesagt randvoll bei etwa 8-10 Liter. Tatsächlich wird man allerdings kaum mehr als etwa 7-9 Liter eingefüllt haben, denn das Risiko des Überkochens war sonst allzu groß. Dies entspricht bei gängigem Holzascheglas ca. 17,5-22,5 kg Gewicht, bei dem auf der Hütte überwiegend gefertigtem bleihaltigen Kaliumglas etwa 19-25 kg.

Die Häfen wurden somit recht stark strapaziert, was ganz offensichtlich trotz aller Vorsichtsmaßnahmen immer wieder zur Rissbildung führte, wie mit Glas gefüllte Bruchstellen und Hohlräume zeigen. Bei den Bleiglashäfen ist vor allem im Übergangsbereich zwischen Boden und aufgehender Wandung vielfach Lochfraß auf der durch das flüssige Glas besonders stark beanspruchten Innenseite zu beobachten, der schließlich zum Bruch führte. Es ist überaus bemerkenswert, dass die Fassungskapazitäten der allerdings in sehr viel geringerer Anzahl und tendenziell deutlich schlechterer Erhaltung vorliegenden Häfen aus den etwa gleichzeitigen Waldglashütten in der Egge allem Anschein nach, folgt man dem Bearbeiter, deutlich niedriger sind.

Die Häfen der Hütten aus dem Rumohrtal, aus dem Raum Bodenfelde und zahlreichen anderen Waldglashütten im Werra-Weser-Leine-Bergland und am Harz entsprechen nach den jüngst von uns plan- und serienmäßig verstärkt durchgeführten und ausgewerteten archäometrischen Untersuchungen mit der zerstörungsfreien RFA weitgehend nicht dem Elementmuster des klassischen Großalmeroder Glashafentons (Stephan, Wilke 2018; Stephan, Wilke 2019; Wilke, Stephan, Myszka 2016).

Somit werden die mittelalterlichen Glasmacher kaum den in der Neuzeit überregional verhandelten, überaus begehrten und zeitweise seitens des Hessischen Gläserbundes als

Druckmittel eingesetzten extrem hochwertigen speziellen Hafenton aus dem in der Luftlinie etwa 75 km entfernten Großalmerode bei Kassel genutzt haben (Bloß 1977; Landau 1843b; Stephan 1995a). Sehr viel mehr spricht für die Gewinnung lokaler in noch geringerer Distanz anstehender, möglicherweise aus dem Solling oder z. B. auch aus dem Raum Duingen stammender feuerfester Tone. Jedenfalls stimmt das Spurenelementmuster nicht mit dem des seit dem 15. Jahrhundert in den Hütten des Kaufunger Waldes und etwas später auch andernorts verwendeten Großalmeroder Glashafentons überein.

Für Ostwestfalen ist im 17.-19. Jahrhundert überliefert, dass fertige Häfen 6-9 Monate, möglichst noch länger, an einem luftigen, sauberen Ort (z. B. in einem Schuppen) trocknen sollten. Sie wurden alsdann im Temperofen bei langsam gesteigerter Temperatur 5-7 Tage lang bis zur Weißglut erhitzt und erst danach in den Schmelzofen transferiert (hierzu und zum Folgenden Wichert-Pollmann 1963, bes. 51 f.). Nach einem um 1890 erstellten Bericht fassten die größten Exemplare bis zu 12 Zentner (600 kg oder ca. 240 Liter) Glasmasse bei 1,2 bis 1,3 m Höhe, 0,6 m Weite und 4-5 cm starker Wandung.

Man strebte an, dass die Häfen möglichst eine volle Arbeitsperiode aushielten, was jedoch gewiss nicht immer gelang. Wegen der hohen Kosten für die Anfertigung und zur Verbesserung der Feuerfestigkeit war es üblich, aus den gebrauchten Häfen nach der mühsamen und sorgfältigen Entfernung des anhaftenden Glases Schamotte herzustellen, welche man gesiebt als Magerung dem Hafenton beigab (Loibl 2012). Unsere keramologischen Untersuchungen haben diese in der Neuzeit vielfach, so in der Enzyklopädie von Diderot (dort sogar bebilderte) geschilderte Praxis für das Mittelalter und selbst das 16./17. Jahrhundert bislang nicht nachweisen bzw. bestätigen können.

Ein weiterer wichtiger Faktor, der bei allen Überlegungen zur Haltezeit von Glasschmelzgefäßen zu berücksichtigen bleibt, ist die Frage, wie lange der Glasschmelzofen den überaus starken Beanspruchungen im Dauerbetrieb standhielt. 1643 etwa wird für Glashütten in Baden-Württemberg berichtet, die Öfen sollten 16-18 Wochen der Hitze und den Dämpfen standhalten, danach müssten sie überholt werden, 1649 werden 18-20 Wochen genannt, in Ostwestfalen-Lippe waren es im 17. Jahrhundert angeblich oft nur 12-14, bestenfalls 15-20 Wochen (Kurzmann 2004, 150).

Dabei bleibt weitgehend unklar, ob bei diesen zwischenzeitlichen Überholungen allein das Ofengewölbe aus Lehm und einzelnen Partien von Verschmierungen aus Hafenton mit den Arbeitsöffnungen oder auch die Hafentbank und andere konstruktive Teile erneuert werden mussten. Gewiss war man gezwungen, die Hafentbank periodisch regelmäßig von angebackenen Häfen, sich vom Ofengewölbe gelösten Rahmen der Arbeitsöffnungen und deren Verschlüssen, Resten übergeflossenen Glases, insbesondere infolge gesprungener Häfen und von herabtropfendem verglastem Lehm und Ton zu reinigen sowie nicht mehr hinreichend stabile, sich partiell aufgrund der Hitze und aggressiven Gase auflösende Steine zu erneuern oder zu verschmieren.

2.7.2.4.3. Sonstige Relikte und technische Keramik der Glashütte im Rumohrtal

Neben den Häfen konnten an technischer Keramik auf der Glashütte an der Holzminde vor allem noch zahlreiche Bruchstücke der zumindest partiell wohl nicht nur mit dem üblichen Lehm-Sand-Gemisch, sondern mit Hafenton beschmierten und stark verglasten Innenverkleidung der Schmelzkammer geborgen werden. Darüber hinaus wurden im Fundmaterial einige, durch hohe Temperatur leider stark beeinträchtigte mutmaßliche Fragmente der Arbeitsöffnungen und wahrscheinlich auch das Bruchstück eines dazugehörigen Ofenversatzes mit dem Ansatz eines Greiflochs zum Öffnen und Schließen erkannt.

Model aus dem typischen hellen feinen nicht allzu stark gebrannten saugfähig-porösen Ton, wie sie an der spätmittelalterlichen Hütte bei Bodenfelde in bescheidenem Umfang auftreten, fehlen auf den bisher bekannten Waldglashütten des 12. Jahrhunderts und so auch im Rumohrtal. Dies wird kein Zufall sein.

Spezielle Kühlgefäße aus Keramik für die gläsernen Erzeugnisse gab es auf sämtlichen hochmittelalterlichen Glashütten Mitteleuropas ebenfalls nicht. Sie kommen vereinzelt im 15. Jahrhundert vor, sind aber in Deutschland weitestgehend erst in der fortgeschrittenen Neuzeit üblich gewesen, im Weserbergland in größerem Umfang wohl erst im 17. Jahrhundert (Gerber et al. 2012-2015 mit Lit.; Stephan 1995a; Tarcsay 2009). Somit wird man zum Kühlen der Erzeugnisse neben den Kühlöfen (Temperöfen), wie in der *Schedula Diversarum Artium* für die Fingerringe beschrieben, vermutlich auch flache Gruben mit heißer Asche benutzt haben, welche vor allem bei größerem Volumen nur langsam abkühlt und deshalb für diesen Gebrauchszweck günstige Eigenschaften besitzt.

2.7.2.5. Glas

Nunmehr ist auf die Glasfunde einzugehen. Hervorzuheben ist vor allem der ganz überwiegend gute Erhaltungszustand der Gläser. Dieser steht in deutlichem Kontrast zu der üblicherweise starken Korrosion geläufiger Kalium-Calcium-Gläser des hohen und vielfach auch noch des späten Mittelalters. Auf dieser besonders frühen Glashütte waren zahlenmäßig nur 14 % aller geborgenen Hohl- und Flachglasscherben stärker angegriffen oder gar weitgehend zersetzt. Gewichtsmäßig waren sogar nur 8 % korrodiert. Dies dürfte auf deren weit fortgeschrittene Zersetzung und die sich daraus ergebende Gewichtsreduzierung im Vergleich zu den nicht oder kaum korrodierten Bruchstücken zurückzuführen sein, weiterhin aber auch auf die Glasmasse ohne Bleizusatz, aus der diese Gläser gemacht worden sind. Die übliche schwärzliche oder braungraue Glaskorrosion ist eine Ausscheidung von bei der Verwitterung entstehendem Braunstein, deren Ausmaß abhängig von der Menge zugesetzten Braunsteins zur „Entfärbung“ ist.

Das ansonsten bei Waldgläsern nicht eben selten zu beobachtende schichtweise Abblättern der Oberfläche bei oft verwitterungsbedingt nur noch geringem Gewicht und hoher Fragilität kommt hingegen selten vor. Es überwiegen vielmehr bei weitem gut erhaltene, mehrheitlich ziemlich schwere Gläser in leuchtenden Farben mit allenfalls leicht trüb verfärbter und gelegentlich rauer, selten ansatzweise irisierter Oberfläche. Die ursprüngliche Farbe ist bei leichter Befeuchtung oder im Durchlicht gut erkennbar.

Das spezifische Gewicht und der gute Erhaltungszustand legten erfahrungsgemäß daher bereits auf den ersten Blick mit einiger Wahrscheinlichkeit die Verwendung von Blei/Bleioxid als Flussmittel nahe, was durch die von Dr. Detlef Wilke durchgeführten zerstörungsfreien RFA-Messungen vollauf bestätigt wurde. Die Bleioxidgehalte der Mehrzahl der untersuchten Flachglasfragmente betragen zwischen etwa 20 und 25 %. Die Gehalte an Kalium- und Calciumoxid variieren zwischen 1 und 3 %, das Verhältnis von CaO zu K₂O liegt zwischen 1.0 und 2.0. Dies ist das typische CaO/K₂O-Verhältnis von Buchenholzasche (0.5–2.0, Wolff 1871). Jedoch sind die absoluten Gehalte beim typischen Holzascheglas nach Theophilus – 2 Teile Buchenholzasche plus 1 Teil Sand – mit jeweils 10-15 % Kalium- und Calciumoxid deutlich höher als bei diesem speziellen Bleiglas. Die Absolutgehalte sind teils erheblich niedriger als bei den Holzasche-Bleigläsern der in etwa zeitgleichen ostwestfälischen Glashütte Füllenberg bei Bad Driburg bzw. Altenbeken-Buke, wo Kalium- und Calciumoxid-Gehalte von 2–8 % gefunden wurden (Wedepohl, Bergmann, Kronz 2010).

Als Farbgeber enthalten die untersuchten Bleigläser 0,5-1,5 % Kupferoxid. Hingegen sind Mangan, Eisen und Zink, welche auch als Begleitelemente des Kupfers vorkommen, nur in

Spuren nachzuweisen. Diese Spurenelemente dürften auf den geringen Holzaschezusatz zur Glasfritte zurückzuführen sein, auf den die niedrigen Kalium- und Calciumoxidgehalte schließen lassen.



Abb. 58 Romanische Glashütte S-NW3. Smaragdgrünes, türkisgrünes und blaugrünes Flachglas

Allein schon die Rückstände in manchen Glashäfen, noch inhomogene Partialschmelzen und Rohglasstücke zeigen die Vielfalt der Farben der hergestellten Gläser bei offensichtlich grundsätzlich sehr ähnlicher chemischer Zusammensetzung. Opake Gläser sind als lokale Endprodukte der Hütten im Rumohrthal und ebenfalls der Hütten in der Egge nicht gesichert. Üblich waren ganz offenbar transparente Gläser, wobei die Leuchtkraft durch den Bleizusatz graduell deutlich gesteigert wird. Im Fall von nicht korrodierten Flachglasscherben überwiegen im Rumohrthal bei weitem oftmals leuchtende Grüntöne in vielerlei Abstufungen von hellgrün (9 % zahlenmäßig bzw. 8 % gewichtsmäßig) über die am häufigsten beobachteten türkisgrün (31 % bzw. 39 %) und blaugrün (32 % bzw. 16 %), bis zu sattgrün (6 % bzw. 9 %) und grasgrün (7 % bzw. 9 %), wobei abgesehen von der Art und dem Grad der Färbung des Glases allerdings auch die Dicke des Glases teils eine erhebliche Rolle spielt (Abb. 58).

Relativ zahlreich (8 % bzw. 14 %) sind Flachglasscherben repräsentiert, die aus einer Kombination von grüner (in verschiedenen Tönen) und roter Glasmasse hergestellt wurden, wodurch ein besonders schöner „Marmoreffekt“ (überwiegend grüne Wandung mit unterschiedlich stark ausgeprägten roten Schlieren) entstand. Sehr kleine Gruppen bilden rein blaue bzw. hellblaue Flachglasscherben (5 % bzw. 4 %) und weitgehend entfärbte, aber dennoch einen deutlichen Grünstich zeigende Fragmente (2 % bzw. 1 %).

Wirklich oder doch fast farblose Gläser, wie wir sie vornehmlich wohl aus dem Mittelmeerraum als Importe in Mitteleuropa vermehrt seit dem 13. Jahrhundert als Sodagläser und als Kaliumgläser wenig später jedoch mit stärkerem Graustich aus Böhmen kennen, fehlen in beiden genannten Hüttenregionen des Weserberglandes. Der Graustich entsteht durch subtraktive Farbmischung beim „Entfärben“ mit Braunstein (Manganoxid, Kurzmann 2004, 206-208). Allenfalls recht vereinzelt vorkommende Tropfen und Fenstergläser wirken bei leichtem Grau- oder Grünstich fast klar (s. a. Bergmann 2008, 87, wobei allerdings auch ein eindeutig neuzeitlicher Flaschenhals abgebildet ist).

Besonders ansprechend wirken türkisgrüne und blaugüne Tönungen. Je dünner das Glas, desto heller und transparenter erscheint es. Die Stärke der Flachgläser liegt im Durchschnitt bei 2,6 mm, wobei im Fall der im Zuge der Fensterglaserherstellung im Zylinderblasverfahren entstandenen geglätteten und verdickten Randstücke das Glas zum Rand hin tendenziell dicker wird. Am häufigsten sind Stärken von 1,6-3 mm, deutlich seltener sind 1-1,5 mm und

3,1-4 mm starke Fragmente, aber auch Stärken von 0,5-0,9 mm und 4,1-5,8 mm kommen mehrfach vor.

Anders als in der Karolingerzeit gehörten opake Gläser und farbig dekorierte Gläser sowie Goldmosaik (mit Blattgold) offensichtlich nicht zum Produktionsspektrum der Glashütten des 12. Jahrhunderts im Weserbergland. Zumindest für die letzteren führt Theophilus ausdrücklich aus, dass diese Techniken im Reich der Byzantiner (Griechen) verbreitet seien, von einer Herstellung im Abendland ist nicht die Rede (Brepohl 1999, 152-154; Theobald 1933, 34-36 Kapitel XIII, XIV, XV, XVI). Insofern entspricht der negative Befund durchaus den zu erwartenden Gegebenheiten für das ausgehende 11. oder frühe 12. Jahrhundert.



Abb. 59 Romanische Glashütte S-NW3. Hell- und dunkelblau gefärbtes Flachglas

Auch blaue Gläser in unterschiedlichen Farbtönen bilden auf der Glashütte im Rumohrtal neben den vorherrschenden grünen Gläsern keine allzu große Seltenheit. Letztere hat man den Funden zufolge eher hellblau als leuchtend ultramarin oder dunkelblau gefärbt (Abb. 59).

Das ultramarinblaue Glas mit opaken Fäden gehört aufgrund seiner stark abweichenden Rezeptur wahrscheinlich nicht zur Fertigungspalette der Hütte (s. u.). Ausgesprochen selten kommen braungelbe (bernstein- oder honigfarbene) und bräunliche Gläser vor.

Allem Anschein nach überwiegen auf der Glashütte im Rumohrtal Flachgläser mit gerundeten Kanten, die ausschließlich im Zylinderblasverfahren hergestellt wurden. Letzteres beweisen, außer dem Vorhandensein eines Ofens auf der Hütte, welcher in der für Strecköfen typischen Bauweise errichtet wurde, die zahlreich geborgenen (82 Stück/460 g) und zahlenmäßig in 62,2 % (gewichtsmäßig 54 %) der Fälle deformierten Randfragmente von Glaszylindern. Von den insgesamt 313 Flachglasfragmenten ohne Rand sind entsprechend 52 % bzw. 47,86 % deformiert.

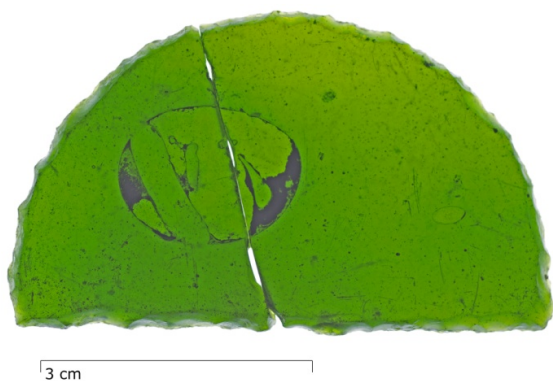


Abb. 60 Romanische Glashütte S-NW3. Halbkreisförmig gekröseltes grasgrünes Flachglas



Abb. 61 Romanische Glashütte S-NW3. Nahezu farbloses, leicht grünstichiges gekröseltes Flachglas

Von den 395 (1364,3 g) geborgenen Flachglasscherben (inkl. deformierter Stücke) zeigen 43 Exemplare (225 g) gekröselte Kanten, was einem Anteil von 11 % (zahlenmäßig) bzw. 16 % (gewichtsmäßig) entspricht. Wenn man bei diesem Vergleich die de facto als Produktionsabfälle anzusehenden Randfragmente und die deformierten Scherben außer Acht lässt, dann ergeben sich Anteile der gekröselten Scherben von zahlenmäßig 29 % und gewichtsmäßig sogar 48 %. Allerdings ändern sich diese Zahlen zu Ungunsten der gekröselten Scherben, wenn man die Glasmassfarben berücksichtigt. 56 % (zahlenmäßig) bzw. 53 % (gewichtsmäßig) der gekröselten Stücke zeigen nämlich eine für diese Fundstelle ungewöhnliche grasgrüne Farbe (Abb. 60) und weitere 16 % bzw. 8 % dieser Objekte wurden aus einer weitgehend farblosen, nur leicht grünstichigen Glasmasse gemacht (Abb. 61).

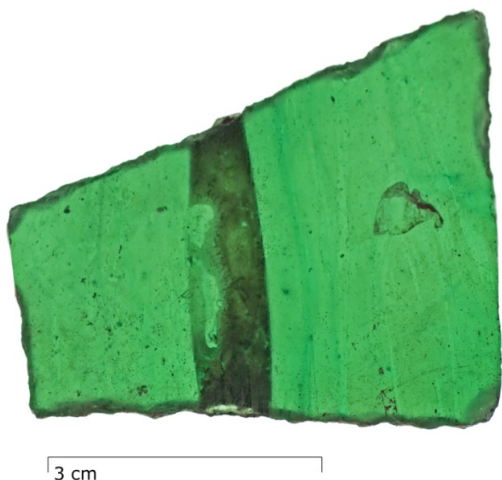


Abb. 62 Romanische Glashütte S-NW3. Sattgrünes, trapezförmig gekröseltes Flachglas

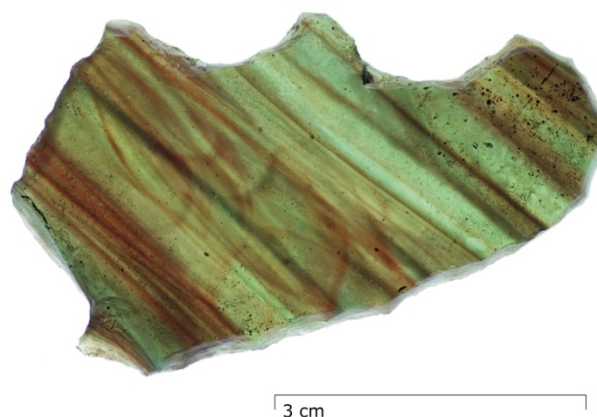


Abb. 63 Romanische Glashütte S-NW3. Graugrün-rotes „marmoriertes“, unregelmäßig gekröseltes Flachglas

Beide Farben kommen im Rumohrtal ausschließlich bei gekröselten Glasscherben vor – es konnten keine als Produktionsreste einzustufenden Scherben geborgen werden. Neben diesen zwei Farben wurden noch jeweils vier sattgrüne (9 % zahlenmäßig bzw. 18 % gewichtsmäßig, Abb. 62) und blaugrüne (9 % bzw. 6 %), zwei türkisgrüne (5 % bzw. 7 %) und je eine hellblaue (2 % bzw. 3 %) und graugrün-rote „marmorierte“ (2 % bzw. 6 %, Abb. 63) Scherbe mit gekröselten Kanten gefunden.

Die Dominanz gerade jener beiden Glasmassfarben bei den gekröselten Bruchstücken, denen auf dieser Fundstelle offensichtlich keine entsprechenden Flachglas-Produktionsreste zugeordnet werden können, lässt den Verdacht aufkommen, dass es sich hier um aus dem Konsumentenmilieu auf die Glashütte gebrachte Gläser handelt, die „recycelt“ werden sollen.

Dem könnte allerdings die Beobachtung entgegengehalten werden, dass auf keinem einzigen gekröselten Fragment Spuren einer Einfassung in Bleiruten festgestellt werden konnten.

Außerdem stellt sich die Frage, warum die vielen gekröselten und offenbar vor Ort zu Bruch gegangenen Scherben nicht wieder eingeschmolzen, sondern entsorgt worden sind. Es ist zumindest wenig wahrscheinlich, dass all diese Stücke aus Unachtsamkeit verloren gingen. Das gleiche gilt für die zahlreich geborgenen Produktionsreste aus dem vor Ort erfolgten Prozess des Zylinderblasverfahrens, die eine qualitätsmäßig einwandfreie Glasmasse zeigen. Eigentlich müsste es sehr viel sinnvoller gewesen sein, vor allem Überreste der „eigenen“ Produktion wieder einzuschmelzen, um einen möglichst homogenen Glasansatz zu gewährleisten.



Abb. 64 Romanische Glashütte S-NW3. Randstück eines Flachglases mit deutlichen diagonalen Anschnittspuren

Demzufolge ist in diesem Fall ein sonst durchaus in Betracht zu ziehendes Glasrecycling doch wohl weitgehend auszuschließen. Man wird stattdessen auf die zumindest vereinzelte Fertigung von kleineren auf Maß gefertigten Glasfenstern auf der Hütte schließen können. In dieser Überzeugung bestärken uns zusätzlich die recht zahlreichen Funde von Flachglascherben, deren Kanten angeschnitten sind (Abb. 64). Es handelt sich dabei meistens um Reihen von überwiegend kurzen (ca. 3 mm), schmalen (ca. 0,5 mm) und ca. 1 mm tiefen geraden oder leicht gebogenen Anschnitten in Abständen von ca. 2-3 mm voneinander, die üblicherweise diagonal zur Bruchkante verlaufen. Insgesamt konnten solche Anschnitte auf 31 Fragmenten (103 g) festgestellt werden, von denen elf aus türkisgrüner, sechs aus blaugrüner, fünf aus grünlicher nahezu farbloser, vier aus hellgrüner, drei aus grüner rotmarmorierter und zwei aus hellblauer Glasmasse hergestellt wurden. Die fünf hellgrünen fast farblosen und im zeitgenössischen Sinne wohl als Klargläser anzusprechenden Exemplare weisen dabei gleichzeitig gekröselte Ränder auf.

Die Gläser mit gekröselten Kanten wurden zu 91 % (zahlenmäßig) bzw. 92 % (gewichtsmäßig) direkt nördlich des engeren Produktionsbereiches der Hütte (wo die Glasöfen und der Arbeitsbereich der Glasbläser gelegen haben) geborgen. Die Streuung der angeschnittenen Flachglasbruchstücke innerhalb der Grabungsfläche ist etwas weiter als die der gekröselten Fragmente, dennoch konnte auch hier die stärkste Konzentration (65 % zahlenmäßig bzw. 56 % gewichtsmäßig) ebenfalls nördlich des engeren Produktionsbereichs festgestellt werden.

Dies weist unseres Erachtens vermutlich auf das zumindest zeitweise Vorhandensein einer Glaserwerkstatt in diesem Bereich hin, wo das hergestellte Flachglas angeschnitten und gekröselte wurde. Dabei ist es durchaus denkbar, dass der Glaser eventuell auch das auf anderen, zur gleichen Zeit ganz in der Nähe parallel arbeitenden Glashütten gefertigte

Flachglas bearbeitet hat. Infrage kommen möglicherweise ein oder auch zwei nicht allzu weit entfernte talabwärts im Rumohratal gelegene Glashüttenstandorte, die nach Oberflächenfunden eine ganz ähnliche Zeitstellung zeigen. Dazu gehört jedoch auch die 2018 von uns untersuchte hinsichtlich der Funde und Befunde noch nicht abschließend ausgewertete Glashütte der Zeit um 1100-1150 am Wiegelweg. Eine derartige arbeitsteilige Konstellation würde jedenfalls das Fehlen von Produktionsresten aus grasgrüner und grün-entfärbten Glasmasse an der besprochenen Fundstelle erklären helfen.

Die Stärken der Fensterglasfragmente mit gekröselten Kanten sind bei einem fast identischen Mittelwert von 2,56 mm im Vergleich zu den nicht in dieser Art und Weise bearbeiteten Flachgläsern deutlich einheitlicher als die der Fragmente mit glattem Rand. Die Glasstärken liegen hier bei 1,7-3,8 mm.

Bei der formalen Analyse der gekröselten Scherben fallen einige Regelmäßigkeiten auf. So hatte man offensichtlich sämtliche grasgrünen Scherben halbkreisförmig zurechtgeschlagen bei einem konstanten Durchmesser von ca. 6 bis maximal ca. 6,3 cm (Abb. 60). Das einzige komplette, aus zwei Hälften zusammengesetzte Exemplar, weist einen Durchmesser von 6,1 cm auf. Es dürfte sich um Segmente von überwiegend geometrischen Mustern handeln. Infrage kommen insbesondere Halbkreise und Kreise in zentralen Positionen, daneben wäre vielleicht auch an breite Randborten zu denken. Bei den andersfarbigen Bruchstücken haben wir hingegen keine Exemplare identifiziert, die ursprünglich diese halbrunde Form aufgewiesen haben könnten.

Von den sattgrünen Fenstergläsern liegen drei annähernd trapezförmige Stücke, darunter zwei fast identische Exemplare vor, bei denen die jeweils längsten Kanten 5,2 und 5,3 cm lang sind (Abb. 62). Bei allen anderen Glasfarben sind die Formen, soweit sich dies angesichts des fragmentarischen Erhaltungszustandes der meisten Stücke verlässlich beurteilen lässt, recht vielfältig, z. B. rechteckig, dreieckig, in einem Fall pfeilspitzenförmig. An der auffallend feinteilig herausgearbeiteten, überaus ungewöhnlichen unregelmäßigen Form einiger weniger weitgehend vollständig erhaltener Stücke lässt sich erkennen, dass die Gläser für eine konkrete bildliche Darstellung zurechtgemacht worden sind – dies ist insbesondere bei einer grün-roten marmorierten Scherbe der Fall.

2.7.2.5.1. Hohlgläser

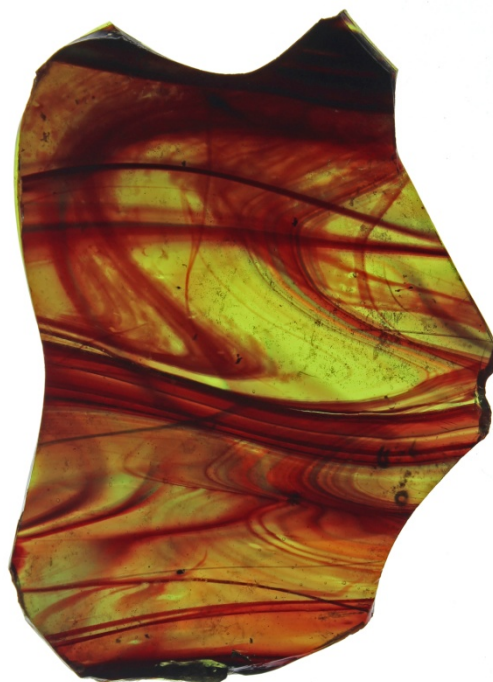
In weitaus geringerer Anzahl als Flachgläser fanden sich Fragmente von Glasgefäßen. Allem Anschein nach werden diese fast ausschließlich durch Lampen repräsentiert. Der genaue Anteil der Hohlgläser an den geborgenen Gläsern ist nur sehr schwer zu bestimmen. Dies zeigt sich unter anderem anhand der Randstücke von zwei leider nicht komplett rekonstruierbaren Lampen, eine aus rotem und eine aus „marmoriertem“, hellgrün-rotem Glas, welche entweder einen ovalen oder unregelmäßig mehrfach gebogenen Mündungsumriss aufweisen. Dadurch sind diese deformierten Fehlchargen nicht ohne weiteres eindeutig von Fehlchargen des Flachglases zu unterscheiden.

Es müssen schon relativ große, möglichst auch erhebliche Partien der Wandung aufweisende Bruchstücke vorhanden sein, um eine gesicherte Entscheidung zu treffen. Aufgrund des weitgehend hohen Grades der Fragmentierung des Fundmaterials und des immer noch allzu geringen Kenntnisstandes zu den Glasformen der ersten Hälfte des 12. Jahrhunderts in Mitteleuropa sind daher Aussagen zu den Formen und Funktionen der Hohlgläser von Seiten der Archäologie nur sehr bedingt statthaft (Stephan 2012a mit Lit.).



5 cm

Abb. 65 Romanische Glashütte S-NW3. Randfragment mutmaßlich einer Lampe aus rotem transparentem Glas



5 cm

Abb. 66 Romanische Glashütte S-NW3. Bodenfragment einer Lampe aus grünlich-rotem „marmoriertem“ Glas

Die erstgenannte mutmaßliche Lampe wurde aus durchgehend rotem Glas gefertigt (Abb. 65). Im Durchlicht fällt auf, dass die verwendete rote Glasmasse ähnlich wie bei den „marmorierten“, grün-roten Gläsern, etwas inhomogen ist, was sich durch unregelmäßige, hellere und dunklere „Schlieren“ äußert. Das stark zerscherbte, aus zwei größeren Randfragmenten und achtzehn möglicherweise zugehörigen, aber nicht anpassenden kleineren Rand-, Wand- und Bodenfragmenten mit einem Gesamtgewicht von 139 g bestehende, länglich-ovale bauchige Objekt mit vermutlich stark deformiertem ovalem Mündungsumriss, leicht ausbiegendem Rand und gerundeter Bodenkante ist schätzungsweise etwa zur Hälfte erhalten. Die Gefäßhöhe kann relativ genau auf ca. 9 cm, die Breite auf ca. 8 cm geschätzt werden. Die Länge muss ursprünglich bei mindestens 11 cm gelegen haben. An einem kleinen Randstück hat sich der Ansatz einer 1,3 cm breiten und 0,4 cm starken bandförmigen Öse oder eines Henkels erhalten. Die Wandung ist im Schnitt ca. 2 mm dick. Es liegt nahe anzunehmen, dass sich an den schalenförmigen Oberteil nach unten hin möglicherweise ursprünglich ein langer schmaler Schaft angeschlossen hat.

Der zweiten, aus grüner Glasmasse mit roten Schlieren hergestellten mutmaßlichen Lampe können möglicherweise bis zu 24 Fragmente (209 g), darunter mehrere große Rand- und Bodenscherben zugeordnet werden (Abb. 66). Zumal kein Henkel- oder Ösenfragment gefunden wurde, ist die Funktion dieses Gefäßes nicht zweifelsfrei bestimmbar. Aufgrund der formalen Ähnlichkeit mit der roten Lampe wird es sich aber höchstwahrscheinlich auch in diesem Fall um einen Beleuchtungskörper handeln.

Das Objekt hat eine längliche Form, im Unterschied zu der roten Lampe ist der Mündungsumriss nicht oval, sondern mehrfach unregelmäßig gebogen und zweifellos besonders stark deformiert. Der Rand ist sehr steil ausgeformt. Der leicht hochgestochene Boden weist eine gerundete Bodenkante auf. Die zurzeit noch schwer abzuschätzende Gefäßhöhe bzw. Höhe der Lampenschale wird bei ca. 6-7 cm gelegen haben, die Breite bei etwa 10 cm, die Länge bei mindestens 15 cm. Im Vergleich mit der oben besprochenen roten Lampe handelt es sich

also um ein etwas größeres Gefäß. Dementsprechend ist die Wandung etwas dicker: die Randstärke liegt bei 3-5 mm, die Wandungsstärke bei ca. 2 mm und die Bodenstärke bei ca. 3 mm.

In Anbetracht der frühen Zeitstellung, des Schwerpunktes auf der Flachglasfertigung (also am Bau verwendetes Glas) und des mutmaßlich engen Zusammenhangs der Glashütte mit der Reichsabtei Corvey, einer kirchlichen Institution, ist mit einem relativ hohen Anteil von gläsernen Lampen zu rechnen, möglicherweise sogar mit einem Dominieren dieser Funktion bei den Hohlgläsern.

Die besondere Bedeutung der Lampen erhellt sich allein schon aus Kapitel X der *Schedula Diversarum Artium*, einem der beiden ganz offensichtlich aus der mitteleuropäischen zeitgenössischen Praxis geschöpften Abschnitt zum Hohlglas (Kapitel XI betrifft Flaschen mit langem Hals, welche eher für den Mittelmeerraum und Frankreich als für Mitteleuropa charakteristisch sind). Die Gefäßformen hat der Verfasser wahrscheinlich mit Absicht nicht näher spezifiziert. Im Detail ist allein vom hochgestochenen Boden die Rede sowie von einem oder mehreren Henkeln, an denen das Gefäß aufgehängt werden kann (Brepohl 1999, 150f.). Henkel(ösen) kamen im Abendland seinerzeit ausschließlich an Hängelampen vor, welche auch im Orient eine große Rolle spielten, nicht allein als Moscheebeleuchtung, sondern auch im gehobenen profanen Sektor.

Lampen aus der Zeit um 1100 bis 1150 sind in Bodenfunden und auch im erhaltenen Bestand aus Kirchen im nordalpinen Europa nur überaus selten sicher identifiziert worden. Nach Abbildungen in hochmittelalterlichen Handschriften, in Wandgemälden und in der romanischen Bauplastik ist mit einer großen Variationsbreite der Formen zu rechnen, was die eindeutige Identifizierung und die Unterscheidung von dem in jener Zeit allerdings wohl noch sehr seltenen gläsernen Tafelgeschirr erschwert (z. B. Baumgartner, Krueger 1988, 436-439; Foy/Sennequier 1989, 341-355; Rademacher 1933, bes. 75-90).

Als recht gut identifizierbare Standardformen kann man vor allem aufgrund von archäologischen Funden Lampen mit ziemlich schmalem langem Unterteil und breiterem schalen- oder auch becherförmigem Oberteil ansehen. Sie tauchen etwa bei der in der mittelalterlichen christlichen Kunst überaus beliebten Darstellung der biblischen klugen und der törichten Jungfrauen oder auch im Kontext von Gräbern und Altären sehr häufig auf. Allerdings muss man nach den zeitgenössischen Darstellungen mit einer größeren Variabilität der verwendeten Formen bzw. Gefäßtypen des hohen Mittelalters rechnen, so mit niedrigen und hohen kugeligen topf-, becher- und wohl auch mit flaschenartigen Varianten.

Ein Indiz für die typischen mittelalterlichen Hängelampen kann die funktionsbedingte besondere Dickwandigkeit sein. Weiterhin kommen im Milieu der Verbraucher teils kleine Henkelösen zum Aufhängen vor, welche allerdings von Glashütten aus der Zeit der Romanik im Weserbergland unbekannt sind. Nüchtern betrachtet ist demnach festzustellen, dass es zwar hochgradig wahrscheinlich ist, dass Lampen im Fertigungsspektrum der hochmittelalterlichen Glashütte im Rumohrtal und im gesamten Weserbergland eine große Rolle spielten, sicher nachgewiesen sind sie jedoch nicht.

Zumindest vereinzelt ist mit profanem Tafelgeschirr zu rechnen, vorrangig wohl mit Bechern und vielleicht auch mit Flaschen. Mehrere im Produktionsspektrum der Hütte im Rumohrtal gesicherte kugelige becherartige Formen könnten grundsätzlich sowohl Trinkgefäße als auch Lampen gewesen sein. Ähnliches gilt für einige mutmaßliche Stiele, die man allerdings aufgrund ihrer Fragilität eher Pokalen als Hängelampen zuweisen möchte. In jedem Falle spricht die ausgesprochene Dünnwandigkeit bei den formal gut ansprechbaren Fragmenten doch wohl mehr für Tafelgeschirr. Auch fanden sich keine stark verdickten oder mit Fadenauf-

lagen verzierten Ränder sowie keine für Hängeampeln typischen, wenngleich nicht unbedingt notwendige Aufhängeösen.

Zu beachten ist dabei weiterhin, dass auf der ausgegrabenen Glashütte im Rumohrtal der Bleigehalt der Gläser um 20-25 % liegt, während hochbleihaltige Gläser fehlen, die im Fundbestand vor allem städtischer Entsorgungsanlagen im 13./14. Jahrhundert im nahen Hörter auffallend stark vertreten sind (König, Stephan, Wedepohl 2002). Die aus dem Milieu der Verbraucher bekannten hochbleihaltigen Gläser gehören ganz überwiegend in die Zeit ab etwa 1250, bestenfalls ab 1200. In jedem Falle handelt es sich um die ersten sicheren Produktionsnachweise von Holzasche-Blei-Hohlgläsern im mittelalterlichen Europa.

Auch der auffallend geringe Anteil an Tafelgeschirr und die Vorliebe für grüne Gläser mit roten Schlieren auf der Glashütte im Rumohrtal spricht ähnlich wie die anderen bereits angeführten Indizien für eine frühe Zeitstellung innerhalb der hochmittelalterlichen Glasproduktion Mitteleuropas. Gläser aus grünem Glas mit roten Schlieren kennen wir aus dem Werra-Weser-Leine-Bergland aus der Zeit nach 1200 oder spätestens ab etwa 1250 nicht bzw. nicht in nennenswertem Umfang. Die Unterschiede zu der zweitältesten fundreichen bislang ausgegrabenen niedersächsischen Glashütte aus der Zeit um 1200-1240 im Bramwald unweit des Benediktinerklosters Bursfelde sind überdeutlich, dort fehlt nach derzeitigem Kenntnisstand bereits grünliches Glas mit roten Schlieren (Stephan, Wedepohl, Hartmann 1992). Dies ist ein gravierender Unterschied zu den Glashütten der Zeit vor etwa 1150/1170, auf denen derartige hochwertige Gläser, allerdings definitiv als Holzasche-Bleigläser mit zumeist deutlich unter 30 % Bleigehalt und fast ausschließlich in der Verwendung für Verglasungen von Fenstern, den absoluten Schwerpunkt der Erzeugung bildeten. Hochbleihaltige gläserne Endprodukte sind bislang auf den Waldglashütten des Weserberglandes hingegen nicht nachgewiesen, lediglich Häfen.



Abb. 67 Romanische Glashütte S-NW3. Grüne, türkisgrüne, blaugüne und grün-rote „marmorierte“ Glasringe

Nur recht vereinzelt gibt es auf der Hütte im Rumohrtal die auf der Produktionsstätte im Niemetal bei Kloster Bursfelde, im Köhlergrund am Hils und offensichtlich auch auf anderen bislang nicht ausgegrabenen Glashüttenplätzen des späten 12. und 13. Jahrhunderts im Weserbergland geläufigen Glasringe (Abb. 67). Insgesamt konnten 22 komplett oder fragmentarisch erhaltene Exemplare geborgen werden (32 g). Mit 6 Exemplaren (12 g) überwiegen im Fundmaterial „marmorierte“, grün-rote Glasringe, gefolgt von hellroten bzw. olivgrünen (5 Stück, 7,6 g), blaugrünen (5 Stück, 4,8 g), grünen (4 Stück, 4,9 g) und türkisgrünen (2 Stück, 2,7 g) Ringen. Acht Objekte weisen stärkere Deformationen auf, sodass es sich hier wahrscheinlich um gezielt entsorgte Stücke handeln wird. Von den vierzehn anderen Exemplaren sind 8 rund und 6 oval. Die Fadenstärken liegen meist bei 2-5 mm, die Außendurchmesser bei 1,1-3,1 cm, die Innendurchmesser bei 0,7-2,6 cm.

Kleine oft recht nachlässig in Schleudertechnik hergestellte Ringe aus in der Regel schlecht erhaltenem Holzascheglas gehörten hingegen zum gängigen Produktionsspektrum der Waldglashütte Steimcke und offenbar ganz ähnlich auch in den ungefähr gleichzeitigen sowie etwas älteren Glashütten am Hils (Leiber 1991; Stephan, Wedepohl, Hartmann 1992). Im

Milieu der Verbraucher finden sich im Weserbergland vornehmlich Ringe aus Kaliumglas und relativ selten hochbleihaltige Gläser, wie sie etwa in Erfurt hergestellt wurden (Mecking 2013).

Es hat ganz den Anschein, dass sich hier zum einen chronologische, zum anderen wohl auch bedarfs- bzw. produktionsorientierte hüttenspezifische Unterschiede manifestieren. Die primär auf die Herstellung von hochwertigen farbigen bleihaltigen Fenstergläsern ausgerichteten Glashütten der Frühzeit vor etwa 1150/1170 fertigten offenbar derartigen Schmuck und Gegenstände des gehobenen profanen Bedarfs nur ganz gelegentlich.



3 cm

Abb. 68 Romanische Glashütte S-NW3. Weitgehend erhaltener Glasglätter aus stark korrodiertem grünem Glas mit 153,9 g Gewicht

Eine offenbar ganz auf Schmuck ausgerichtete völlig andersartige Produktionslinie als die der Waldglashütten dokumentiert eine Glaswerkstatt vermutlich der zweiten Hälfte des 12. Jahrhunderts in der Stadt Erfurt (Mecking 2013). Dort wurde kein Kalium-Calcium-Glas, kein Holzasche-Bleiglas und weder Flachglas noch Hohlglas gefertigt. Vielmehr machten kleine Ringe aus hochbleihaltigen farbigen Gläsern den dominierenden Anteil der Produktion aus, daneben kommen sehr viel seltener Armringe und Perlen vor. Dieses Glas erschmolz man aus sehr kleinen schalenförmigen Häfen, die keine Feuerfestkeramik im engeren Sinne darstellen, was sich zwanglos daraus erklärt, dass die benötigten Temperaturen relativ niedrig lagen.

Schließlich sind noch einige wenige Perlen sowie zwei Glasglätter als besondere Fundkategorien und mutmaßliche Hüttenerzeugnisse der Glashütte im Rumohratal zu nennen. Beide Objektgruppen gehören zu den bei intensiven Recherchen und größerem Fundaufkommen sowohl auf den Waldglashütten des Hochmittelalters im Weserbergland als auch im Milieu der Verbraucher zwar recht selten, aber doch einigermaßen regelmäßig vorkommenden Objektgruppen (Henne 2016; König, Stephan, Wedepohl 2002; Leiber 1991; Stephan, Wedepohl, Hartmann 1994; Stephan 2000a; Stephan, Wedepohl 1997). Die beiden massiven Glasglätter, die zu etwa zwei Drittel bzw. zur Hälfte erhalten sind und jeweils ein Gewicht von 153,9 g und 79,3 g aufweisen, sind relativ stark korrodiert, sodass der genaue Farbton der verwendeten Glasmasse nicht mehr bestimmt werden kann (Abb. 68). Gerade die fortgeschrittene Glaskorrosion weist aber darauf hin, dass die Glätter eher aus gewöhnlichem Holzascheglas ohne Bleizusatz hergestellt worden sind. Die Stärken beider Exemplare liegen bei 3,7 cm, die Durchmesser bei 8 cm und 7 cm. Die Durchmesser der Heftmarken betragen

jeweils 2 cm und 1 cm. Glasglätter wurden in der Regel aus weniger homogenem und reinem Restglas gefertigt, das sich auf den Böden der Häfen gesammelt hatte und für diesen Zweck ausreichende Qualität aufwies, bevor man einen neuen Glasansatz erschmolz.

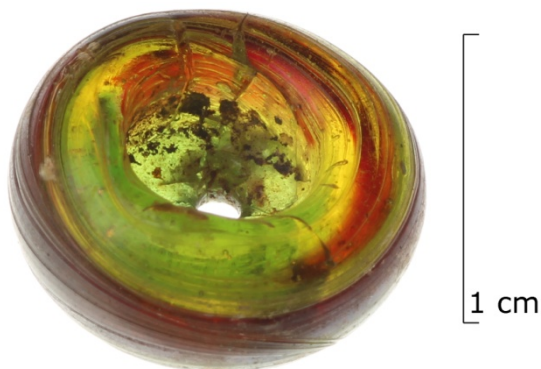


Abb. 69 Romanische Glashütte S-NW3. Glasperle aus grüner, mit roten Schlieren verzierter bleihaltiger Glasmasse

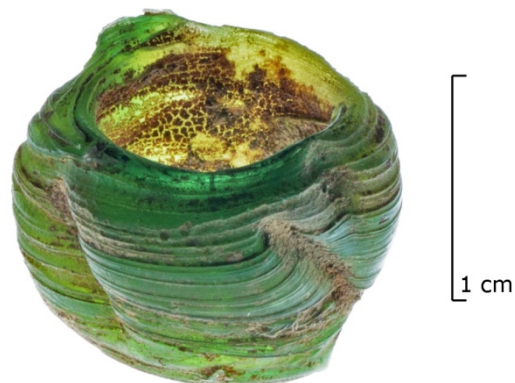


Abb. 70 Romanische Glashütte S-NW3. Glasperle aus hellgrünem Glas verziert mit vier diagonal gekniffenen Pinzettenabdrücken

Bei den auf der Hütte gefundenen Perlen bzw. Perlenfragmenten handelt es sich um drei (6,6 g) sicher bestimmbare und zwei (2,4 g) mutmaßliche Exemplare. Von den sicher als solchen ansprechbaren Stücken sind zwei Perlen aus rot-grün marmoriertem Glas gemacht, nur eine dieser Perlen ist komplett erhalten (Abb. 69). Beide sind knopfförmig und weisen einen Durchmesser von 1,4 cm und eine Dicke von 0,8 cm auf. Die komplette Perle zeigt auf einer Seite eine Öffnung von 6 mm Durchmesser, auf der anderen Seite aber ist die Öffnung nur 1,3 mm breit.

Die dritte sichere Perle wurde aus hellgrünem, auf der Oberfläche leicht angegriffenem Glas gemacht (Abb. 70). Im Unterschied zu den beiden oben erwähnten Exemplaren zeigt sie eine für solche Objekte typische längliche Form: bei 1,7 cm Durchmesser ist sie 1,1 cm lang, der Öffnungsdurchmesser liegt bei 0,9-1,05 cm. Sie weist eine Verzierung in Form von vier diagonal angeordneten gekniffenen (Pinzetten-?) Abdrücken auf.

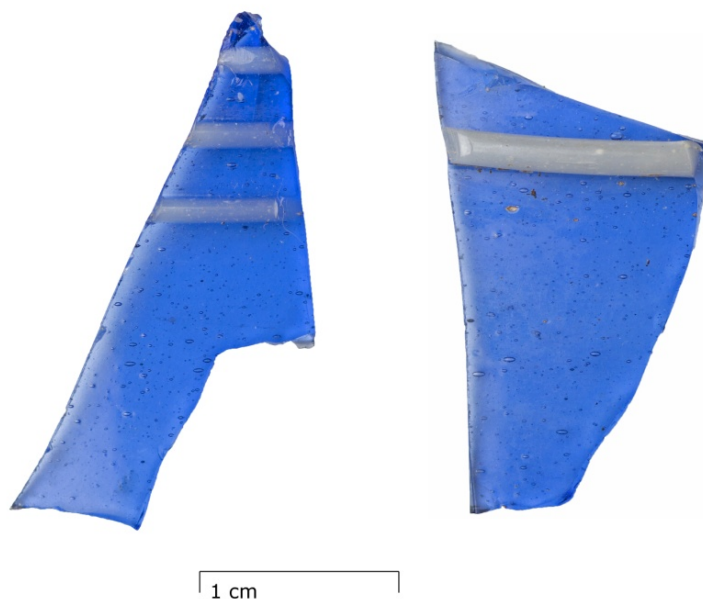


Abb. 71 Romanische Glashütte S-NW3. Fragmente eines in Europa überaus seltenen, hochwertigen auf der Glashütte einzigartigen blauen dünnwandigen Trinkgefäßes mit opakweißen Fadenauflagen

Eine Rarität ersten Ranges stellen endlich zwei vielleicht zu ein- und demselben Gefäß gehörige, gewiss als Tafelgeschirr zu interpretierende überaus dünnwandige hellblaue Hohlglasfragmente von hoher Qualität mit feiner weißer Fadenaufgabe dar (Abb. 71). Es schien allerdings allein schon aufgrund der großen Seltenheit, der Beschaffenheit des Glases mit weißen Fadenaufgaben und dem Fehlen entsprechender Fertigungsrelikte nicht gesichert, ob es sich um ein vor Ort gefertigtes Produkt, ein Gebrauchs- bzw. Schauobjekt, oder um Glasbruch zum Einschmelzen handelte.

Nach der RFA-Analyse fehlen Schmelzen von dieser chemischen Zusammensetzung auf der Glashütte im Rumohratal. Allerdings ist nicht auszuschließen, dass man in bescheidenem Umfang mit fremden oder neuartigen Rezepturen experimentiert haben könnte, zumal ein geringer Bleigehalt nachweisbar ist (s. u.). Wie immer dem auch sei, haben die oben genannten beiden Bruchstücke eine an diesem Fundplatz ganz ungewöhnliche Zusammensetzung mit 1 % Kaliumoxid, 7 % Calciumoxid und nur 1 % Bleioxid. Der Natriumgehalt liegt an der Nachweisgrenze der zerstörungsfreien RFA (3 % Na₂O unter Helium-Atmosphäre), ist aber möglicherweise durch Bodenlagerungseffekte verfälscht. Die beiden Fragmente sind auch insofern Ausreißer im Fundkomplex, als sie im Glas und in der Fadenaufgabe Spuren von Antimon als Trübungsmittel enthalten und die blaue Farbwirkung bei einem niedrigen Kupfergehalt von etwa 0,2 % durch eine geringe Kobaltdotierung verstärkt wurde. Ganz vereinzelt kommen derartige Gläser nach neueren Beobachtungen einerseits in spätantiken, aber auch in früh- und hochmittelalterlichen Fundkontexten der Zeit um 900-1150 in Mittel- und Nordeuropa sowie in Frankreich vor, auffallend häufig auf Burgen (Baumgartner, Krueger 1988, 77-80; Foy 2017).

Abschließend ist hinsichtlich der Rohstoffsituation für die Glasmacher noch festzuhalten, dass diese nach den holzbotanischen Untersuchungen von Dr. Marie-Luise Hillebrecht (Göttingen) fast ausschließlich hochwertiges Buchenstammholz verwendeten. Mit effektiven stärkeren Einschränkungen des Holzeinschlags seitens der Waldbesitzer, wie diese aus der frühen Neuzeit vielfach überliefert sind, ist demnach kaum zu rechnen. Die Situation muss trotz der relativen Nähe zum Altsiedelland auch von daher günstig gewesen sein, weil nach den pollenanalytischen Untersuchungen am nur etwa 6 km entfernten Ahlequellmoor im Hochsolling zwischen Neuhaus und Schönhagen um 1050 eine Erholungsphase der Rotbuchenbestände eintrat, die erst im Laufe des späteren 11./12. Jahrhunderts erneut durch Kulturlandschaftsausbau und Köhlerei beeinträchtigt wurde (Jahns 2010, 573). Dies ist in Einklang zu bringen mit den archäologischen und historischen Anhaltspunkten, welche eine starke Ausweitung der Siedlungstätigkeit erst für die Zeit ab etwa 1150/1200 erkennen lassen (Stephan 2010). Somit hatten die Glasmacher ausreichenden Zugriff auf das für sie überaus wichtige Buchenholz, das sie mutmaßlich nicht allein für das Heizen der Öfen, sondern selbst oder mit Hilfe von Aschenbrennern auch für die Erzeugung von Holzasche als Flussmittel verwendeten.

Bemerkenswert ist die sehr gute Qualität der verkohlten Hölzer, der Großteil der Holzkohlen ist sehr hart. Die üblichen Hinweise auf Zufallsverkohlungen (Reste aus einem Feuer) oder schlechtes Ausgangsholz, gekennzeichnet z. B. durch gestauchte Zellen, Gasauftreibungen, Fraßgänge sowie gerundete Kanten durch einen teilweisen Abbauprozess sind äußerst selten (unter 1 %). Anhaftungen von Ofenmaterial oder Ofenlehm wurden nicht beobachtet. Eine Besonderheit (Fund-Nr. 1123) stellen einige kleine verkohlte Hölzer dar, die von Glasfluss durchzogen sind.

Auffällig sind die großen, an der Krümmung der Jahresringe nachvollziehbaren Mindestdurchmesser der Ausgangshölzer. Die Durchmesser von Hölzern allerdings überwiegend frühneuzeitlicher Zeitstellung aus Meilern am Harz und im Hochsolling, dort auch von Glashütten, liegt bei 12-28 cm, selten darüber (Hillebrecht 1982, 117). In den Fällen, in denen die Jahresringe in ausreichender Größe für eine Bestimmung erhalten waren, liegt im

Rumohrtal in der überwiegenden Anzahl der Fälle (ca. 65 %) ein Durchmesser von mehr als 60 cm vor, oft sogar erheblich darüber. Kleine Ästchen sind äußerst selten. Mit Ausnahme eines kleinen Ahornästchens (*Acer* sp.) mit gestauchten Zellen und gerundeten Kanten sowie zwei Erlenbruchstückchen (*Alnus* cf. *glutinosa*) handelt es sich bei den vorliegenden verkohlten Hölzern um Buchenproben (*Fagus sylvatica* L.) mit einer überwiegend sehr engen Jahresringabfolge. In der Regel deuten sehr enge Jahresringe auf trockene Standorte oder niederschlagsarme Jahre hin. Was in diesem Fall zugrunde liegt, kann aus den bisher untersuchten Proben nicht erschlossen werden. Nach der Anzahl der engen Jahresringe müssten bei der Hypothese niederschlagsarmer Jahre aber schon mindestens ca. 8 aufeinander gefolgt sein. Möglicherweise können weitere Untersuchungen Aufschluss geben.

Aus den bisher untersuchten Proben „Im Rumohrtal“ ergeben sich keinerlei Hinweise auf Holzmangel oder einen degenerierten Wald mit Destruktionsanzeigern, wie wir ihn an anderen Stellen des Sollings in der frühen Neuzeit durchaus finden (Hillebrecht 1982, 116-129). Die bisherigen Untersuchungen zur Glashütte der Zeit um 1100-1150 im Rumohrtal stützen das Bild eines natürlich zu erwartenden Buchenwaldes, eventuell mit geringen anderen Holzbeimischungen (bachbegleitende Erlen, eventuell Ahorn etc.). Alles weist darauf hin, dass den Glasmachern erstklassiges Ausgangsmaterial zur Verfügung stand und fachgerecht genutzt wurde.

2.7.2.6. Die Gebrauchskeramik

2.7.2.6.1. Kugeltopfware älterer Machart und gelbe feine Irdenware

Für die zeitliche Einordnung der Waldglashütte im Rumohrtal ist die Gebrauchskeramik von entscheidender Bedeutung. Hierbei handelt es sich ganz überwiegend um archaische mit Buntsandsteingrus gemagerte rotoxidierend gebrannte Kugeltöpfe älterer Machart, wie sie seit etwa 800 im Weserbergland gängig waren (Stephan 2000a mit Lit. zu den nachfolgenden Ausführungen). Die vorliegende Ausprägung der abgestrichenen und oft innen gekehlten Ränder weist in die Zeit ab etwa 1050/1100 (Abb. 72).



Abb. 72 Romanische Glashütte S-NW3. Randfragment eines mit Buntsandsteingrus gemagerten rotoxidierend gebrannten Kugeltopfes älterer Machart



Abb. 73 Romanische Glashütte S-NW3. Randfragment einer oxidierend gebrannten hellgelben Tüllenkanne mit Bandhenkel und Rautenstempeldekor

Für die nähere Datierung von besonderer Bedeutung sind die feineren bzw. technologisch höher entwickelten Irdenwaren. In der zweiten Hälfte des 11. Jahrhunderts wäre noch mit aus dem unteren Werragebiet bzw. Nordhessen importierter rauwandiger Drehscheibenware zu rechnen. Diese fehlt hier bezeichnender Weise. Dabei ist allerdings zwischen Importen aus dem unteren Werragebiet und solchen aus Althessen zu unterscheiden, wo Linsenböden vermutlich noch etwas länger gefertigt wurden.

Für eine Zeitstellung der Funde aus dem Rumohrthal eher im 12. Jahrhundert spricht weiterhin das allerdings nur vereinzelte Vorkommen von oxidierend gebrannter heller Irdenware. In der Zeit ab etwa 1150 könnte man mit einem höheren Anteil rechnen, wenn auch nicht unbedingt in der Größenordnung wie auf den frühen Waldglashütten im Hils. Besonders bemerkenswert und aussagekräftig ist weiterhin ein großes hellgelbes dünnwandiges Randfragment mit zwei horizontal umlaufenden schmalen Bändern eines Rautenstempeldekors, das gewiss zu einer im Format mittelgroßen Tüllenkanne mit zwei gegenständigen kurzen Bandhenkeln und einer Tülle in der Mitte gehört (Abb. 73).

Die mit der zerstörungsfreien RFA ermittelte Spurenelementzusammensetzung im Scherben des verzierten großen Randstückes und weiterer kleiner, wahrscheinlich zum selben Gefäß gehöriger Bruchstücke zeigt aber keine Übereinstimmung mit den im weiteren Umkreis der Glashütte bekannten, für den großräumigeren Absatz produzierenden Töpfereien wie Bengerode bei Fredelsloh im Solling, bzw. im Raum Duingen/Kreis Hildesheim, Grophagen bei Dransfeld (Kreis Göttingen) oder auch in Nordhessen (Stephan 2000a; Stephan 2000b; Stephan 2012b; Wilke, Stephan, Myszka 2016).

Helle, überwiegend nicht allzu hoch gebrannte gelbliche und graue Irdenwaren hat man in bestimmten Zentren der Töpferei im hochmittelalterlichen Südniedersachsen sowie noch früher im angrenzenden Nordhessen hergestellt. Rautenstempeldekore ist im hochmittelalterlichen Töpfereiabwurf jedoch, abgesehen vom Raum Michelsberg/Schwalm sehr selten. Auch im Verbrauchermilieu findet es sich gehäuft allein an manchen Burgplätzen in Althessen sowie in ähnlichen gehobenen sozialen Kontexten.

Auch rheinische Irdenware, die an der Oberweser, anders als weiter im Westen, so bereits im Raum Paderborn und vermehrt noch am Hellweg um Soest vor etwa 1150 eine Rarität darstellte, und bei der Rautenstempelverzierung sehr viel seltener als im althessischen Raum vorkommt, konnte das Spurenelementmuster dieses Konvoluts nicht zugeordnet werden. Es ist jedoch dem Muster maasländischer heller Irdenware sehr ähnlich, und zwar Waren in Töpferei- und in Siedlungsabfall aus Andenne und Huy in Belgien, wo sorgfältig gearbeitete Rautenstempelbänder im 11./12. Jahrhundert häufig vorkommen (Giertz 1996 mit Lit.).

Huy und Andenne liegen nur wenige Kilometer voneinander entfernt an der mittleren Maas. Man vermutet mit guten Gründen, dass die Töpfer in Huy ihren Ton aus Gruben im Wald von Andenne bezogen haben, wo sich nachfolgend keramische Werkstätten ansiedelten. Damit steht in Einklang, dass sich das Referenzmaterial aus Huy und Andenne mit dem Spurenelementspektrum der RFA nicht unterscheiden läßt. Alternativ käme ein Import aus dem nicht allzu weit davon entfernten südlimburgischen Schinveld in den Niederlanden nordwestlich von Aachen in Betracht, da aus der Periode Schinveld A (frühes 12. Jahrhundert) ebenfalls Rollstempeldekore aus horizontal auf der Gefäßschulter umlaufenden Rautenmusterzeilen bekannt sind (Bruijn 1965). Der Glashüttenfund hat aber höhere Ähnlichkeit mit dem Huy-Andenne-Muster als mit Referenzmaterial aus Schinveld, das die frühen Perioden B, A und I einschließt.

Die Zuordnung des Randfragments bleibt dennoch aus theoretischen Gründen hypothetisch. Die Tatsache, dass es nicht völlig identisch mit dem maasländischen Referenzmaterial ist, spricht dem jedoch keineswegs entgegen, da das verwendete Referenzmaterial nicht beanspruchen kann, die Produktion in Andenne und weiteren, möglicherweise noch gar nicht bekannten Töpfereien an der Maas vollständig abzubilden. Hinzu kommt, dass es sich um eine feine Ware für gehobene Ansprüche handelt und daher nicht auszuschließen ist, dass der Töpfer eine besondere Tonauswahl bzw. Magerung vorgenommen hat.

Darüber hinaus hat auch technik- und kulturhistorisch die Hypothese der maasländischen Herkunft einer Tüllenkanne im Hausstand der Glasmacher einer Holzäsche-Bleigläser produzierenden Glashütte in auffälliger Nachbarschaft zu den um 1100-1150 bedeutenden

Benediktinerklöstern Corvey und Helmarshausen einiges für sich (siehe unten). In jedem Falle handelt es sich angesichts der großen Seltenheit derartiger Gefäße wohl kaum um ein als hochwertige Keramik auf dem normalen Handelsweg importiertes Gefäß, sondern sehr viel eher um ein von landfremden Glasmachern oder Mönchen mitgebrachtes Haushaltsgefäß des gehobenen Bedarfs.

2.7.2.6.2. Reduzierend gebrannte graue Irdenwaren

Eine gewisse Unsicherheit hinsichtlich der Beurteilung des Gesamtbestandes an Gebrauchskeramik auf der Glashütte im Rumohrtal verursachte zunächst das Vorkommen einer Handvoll Gefäßfragmente grauer Irdenware, die sich fast ausschließlich in einer kleinen Sondage im Randbereich des engeren Arbeitsareals östlich des Glasschmelzofens fanden. Diese vermutlich zu einem benachbarten Arbeitsbereich gehörigen klein zerscherbten Bruchstücke von mutmaßlich vor allem im Raum Fredelsloh hergestellter regionaltypischer Gebrauchskeramik unterscheiden sich jedoch durch ihren höheren Brand deutlich von den einzigen Fragmenten heller grauer Irdenware, welche mit hoher Wahrscheinlichkeit der Glashütte zuzuordnen sind.

Es handelt sich bei letzteren um Bruchstücke wohl nur einer kleinformatigen feinen dünnwandigen mäßig hart gebrannten hellgrauen Tüllenkanne mit schlichtem kurzem rundlich ausbiegendem Rand und zwei breiten sehr kurzen randständigen Bandhenkeln sowie glatter Schulter. Durch den sauren Boden und die Wechselfeuchtigkeit des Untergrundes ist der ziemlich weiche feinsandige überaus dünn gedrehte Scherben etwas angegriffen, er löst sich in Wasser oberflächlich an und zeigt bereits beim Anfassen mit der Hand leichte Abrieberscheinungen.

Es dürfte sich bei diesem nicht ganz gewöhnlichen, trotz der geringen Brandhärte wohl doch den Feinwaren zuzuordnenden Gefäß vermutlich eher um ein frühes Erzeugnis der südniedersächsischen oder nordhessischen Töpfereien als um einen Import aus dem Rheinland (z. B. aus Paffrath oder Brüggen-Oebel am Niederrhein) handeln. Die Phase der serienmäßigen Herstellung von teils sodann recht hoch gefeuerten, oft harten und zumeist eher grob mit Sand gemagerten grauen Irdenwaren für den normalen einfachen Bedarf (vornehmlich zum Kochen und zur Bevorratung) war zur Bestehenszeit der Waldglashütte im Rumohrtal ganz offenbar noch nicht erreicht.

Die Produktion derartiger einfacher im Reduktionsbrand gefertigter Gebrauchsware ist regional an der Rottmünde zwischen Boffzen und Höxter sowie inzwischen noch eindrücklicher und vor allem mit dendrochronologischen Daten präzisiert ab den späteren 1130er und 1140er Jahren im Randbereich der Dorfwüstung Kugenhusen bei Einbeck zu fassen (Heege, Roth Heege 2002; Stephan 1983). Vermutlich gab es eine größere Anzahl weiterer Töpfereien. Gesichert sind qualitativ tendenziell hochwertigere graue Irdenwaren des 12. Jahrhunderts ebenfalls in sämtlichen sich neu herausbildenden Töpfereizentren der weiteren Region.

2.7.2.6.3. Zwischenfazit zur Haushaltskeramik

Alle Anhaltspunkte zusammen genommen ist nach der Gebrauchskeramik, wozu letztlich auch die für technische Funktionen verwendeten archaischen roten Töpfe mit Sandsteinmagerung zählen, zunächst einmal eine grobe Datierung der Produktionszeit der Waldglashütte um 1050-1150 gesichert. Das Fundmaterial der Glashütte im Rumohrtal unterscheidet sich deutlich von dem der weitaus überwiegenden Mehrzahl der frühen Glashütten der Zeit um 1130-1230 im Hils bei Grünenplan (Leiber 1991). Von einigen wenigen Fragmenten der Kugeltopfware älterer Machart bzw. der Übergangswaren an einem Standort abgesehen fand sich

dort bislang ganz dominierend helle gelbliche bzw. gelb-grau-gefleckte Irdenware in der Machart und in Formen, wie sie für die frühen Phasen der Töpferei im nahe gelegenen Duingen/Kreis Hildesheim (Tongrube Bock, Einzugsbereich der Ortswüstung Seypessen) charakteristisch sind (Leiber 1991; Stephan 2012b).

Prägend ist für den keramischen Fundus an Gebrauchsgefäßen in der Glashütte bei Holzminden die Kugeltopfware älterer Machart mit überwiegender recht grober Sandsteinmagerung. Es fällt auf, dass diese fast durchweg rotoxidierend gebrannt ist, was auf einen eisenreichen Ton und z. T. wahrscheinlich zusätzlich auf Reoxidation während der Benutzung für technische Zwecke zurückzuführen ist. Derartige Kugeltöpfe hat man in dem etwa 8 km in der Luftlinie entfernten Töpfereibeizirk an der Mündung der Rottmünde in die Weser unweit von Boffzen gegenüber von Höxter hergestellt, deren Produktionsschwerpunkt im Übrigen das gesamte 12. Jahrhundert umfasst und 1200/1220 endet. Die Erzeugnisse waren ganz überwiegend recht grobe graue Irdenwaren, formal handelt es sich fast ausschließlich um Kugeltöpfe (Stephan 1983).

Am wahrscheinlichsten ist nach dem Fehlen der in der zweiten Hälfte des 11. Jahrhunderts im Weserbergland üblicherweise zuletzt nachweisbaren rauwandigen Drehscheibenware aus dem unteren Werraraum eine Datierung ab etwa 1080/1110. Rote und vor allem dunkle mit Sandstein, aber auch mit Sand gemagerte Kugeltopfware älterer Machart ganz in der Art wie an den frühen Glashütten im Rumohrtal findet sich auf der älteren Residenzburg der Grafen von Everstein, dem Kleinen Everstein bei Negenborn (Stephan 2021). Diese Burg muss nach den Bodenfunden um 1100 errichtet worden sein. In den 1120er Jahren war sie der schriftlichen Überlieferung gemäß zweifellos und etwa im zweiten Jahrzehnt des 12. Jahrhunderts der Lebensbeschreibung des Heiligen Vizelin zufolge sehr wahrscheinlich bereits vorhanden.

Nur sehr wenige Fragmente ausschließlich reduzierend oder bei Wechselatmosphäre gebrannter im Scherben dunkler mit Sandstein und mit Sand gemagerter Kugeltöpfe älterer Machart fanden sich auf der Burgsiedlung zu Füßen der Homburg bei Stadtoldendorf, welche zum Jahre 1127 erstmals erwähnt und vermutlich erst kurz zuvor errichtet worden sein wird (Stephan 2022). Auch dort fehlt rauwandige Drehscheibenware ebenso wie auf dem Großen und Kleinen Everstein.

In jedem Falle besitzen wir mit den Funden aus den frühen Waldglashütten zwischen Neuhaus und Holzminden einen für die regionale und überregionale Erforschung der Keramik des hohen Mittelalters überaus wichtigen Fundkomplex. Er umfasst zweifellos nur wenige Jahre, was im Verbrauchermilieu ansonsten außerordentlich selten vorkommt bzw. sicher zu beweisen ist.

2.7.2.7. Kulturhistorischer, bau- und wirtschaftsgeschichtlicher Kontext

Somit bleibt noch die Frage nach den größeren regionalen und überregionalen kultur- und technikhistorischen Zusammenhängen, in welche die frühe Glashütte im Rumohrtal bei Neuhaus zu stellen ist. Inzwischen fanden sich sowohl unterhalb im Rumohrtal als auch im etwas weiter südlich gelegenen Tal der Rottmünde zwischen Boffzen und Neuhaus mehrere weitere Waldglashütten des 12. Jahrhunderts. Vermutlich gehören auch zwei nur wenige Kilometer westlich des Holzmindebachs am unteren Otterbach gelegene extrem fundarme Standorte in diesen Kontext. Insgesamt wird somit etwa ein Dutzend Waldglashütten, darunter die frühesten, die wir aus dem Solling kennen, ins spätere 11./12. Jahrhundert gehören, wobei die ältere und deutlich besser greifbare Aktivitätszone im Tal der Holzminde zu lokalisieren ist, die jüngere im Tal der Rottmünde. Direkte schriftliche Zeugnisse können dazu nicht herangezogen werden, sie fehlen aus dieser Zeit allenthalben in Niederdeutschland.

Ein Bezug zu Holzminden, das um 1100/1150 zwar zwei Herrenhöfe und eine Kirche aufwies, ansonsten jedoch noch keine sonderliche Bedeutung hatte, ist kaum anzunehmen. Auch die relative Nähe der um 1100 vielleicht auf Corveyer Grund und Boden oder sogar auf Veranlassung der Abtei errichteten Grafenresidenz auf dem Everstein bzw. der kurz vor 1127 durch Graf Siegfried von Northeim erbauten Homburg bei Stadtoldendorf sowie die damit verbundene wenig spätere Stiftung des Zisterzienserklosters Amelungsborn lassen sich ungezwungen kaum überzeugend mit dieser Ballung früher Glashütten in Verbindung bringen. Ähnliches gilt für die in nicht allzu großer Entfernung am Burgberg bei Dassel und vielleicht auch schon in Nienover auf Höhenburgen residierenden, Herrschaftsrechte am Solling ausübenden Grafen von Dassel.

Es fällt allerdings, wenn man die modernen Landesgrenzen einmal außer Acht lässt auf, dass die Entfernung von den Glashütten nach Corvey in der Luftlinie nur 5 km beträgt. Nach den archäologischen und historischen Zeugnissen befanden sich die Abtei mit der zugehörigen präurbanen Siedlung und der alte Klostermarkt Höxter im späteren 11. und 12. Jahrhundert in Phasen eines großen Aufschwungs (Koch, König, Stephan 2006; König et al. 2003; Stephan 2000a). Die sich zu einer bedeutenden Doppelstadt entwickelnde Siedlungsagglomeration erlebte damals ihre höchste Blütezeit und war mit Abstand das ökonomisch bedeutendste Zentrum im Weserbergland.

Mönche, Amtsträger, Hörige, Handwerker oder andere Bedienstete der Reichsabtei konnten innerhalb weniger Stunden im Rumohrtal präsent sein. Eine derartige Häufung früher Glasproduktionsstätten ist nicht allein im Solling einzigartig und bei näherer Betrachtung der Verhältnisse eigentlich nur durch die große Nähe zu Corvey zu erklären. Letztere war damals noch das überragende kirchliche, kulturelle, wirtschaftliche und politische Zentrum an der Oberweser. Das Kloster verfügte am Solling seit dem frühen und hohen Mittelalter über reichen Grundbesitz und Waldnutzungsrechte, welche teils noch in der frühen Neuzeit nachweisbar sind, so etwa 2,5 km südöstlich der Glashütte mit der Corveyer Rinderhütte in Fohlenplacken.

Die Benediktinerklöster waren traditionell Pflegestätten der Artes Liberales, wie dies schon für Corbie, das Mutterkloster der „Corbeia nova“ in Sachsen um 800 und für das um 1080-1120 besonders eng mit der Weserabtei verbundene Kloster Helmarshausen im gesamten 12. Jahrhundert gut belegt ist (Stephan 2000a mit Lit.; Stephan 2019). Corvey erlebte seine letzten großen monastischen Blütezeiten als kirchliches Reformzentrum und zeitweise auch als wichtiger Stützpunkt des Königtums um 1080-1160 (Jakobi 1979; Kaminsky 1972). Abt Erkenbert (1107-1128), ein in politischen und administrativen Angelegenheiten versierter und hoch aktiver Organisator und Parteigänger zunächst des letzten Salierkaisers, sodann des Sachsenherzogs Lothar von Süpplingenburg unternahm eine Pilgerreise nach Jerusalem. Dabei wird er nahöstliche Bleigläser und vielleicht auch Glasmacher kennengelernt – und möglicherweise mitgebracht haben.

Die Mönchszahl stieg noch einmal erheblich bis auf zeitweise über 100 an, was Neubaumaßnahmen bedingte. 1103 erfolgte eine Eroberung des Klosterbezirks, welche wenig später größere Erneuerungsmaßnahmen nach sich zog. Weitere Instandsetzungsarbeiten, Neu- und Umbauten sind um 1150 gesichert. Es kann keinem Zweifel unterliegen, dass in diesem Zeitraum im weiträumigen Klosterbezirk eine rege Bau- und Renovierungstätigkeit erfolgte.

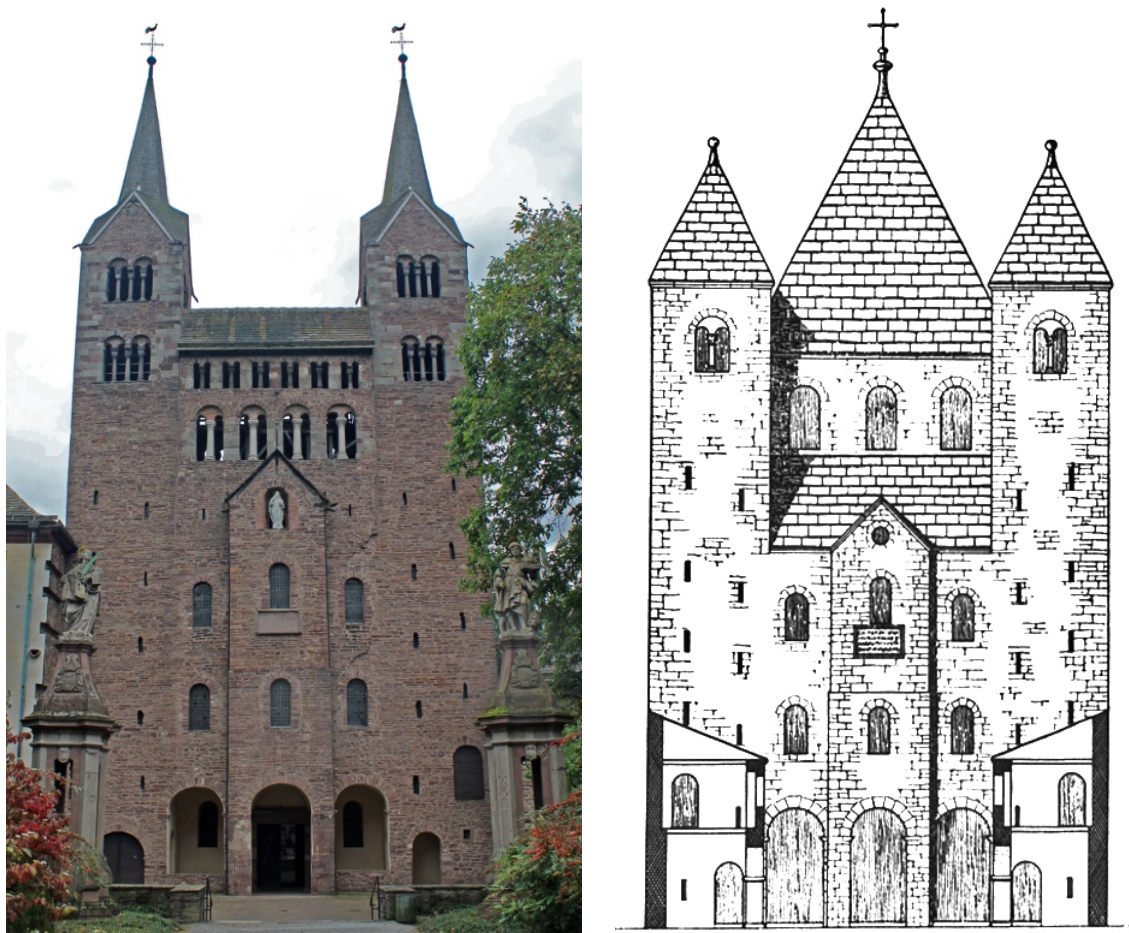


Abb. 74 Klosterkirche Corvey. Westansicht des Westwerks von 873-885 nach dem Umbau von 1150, heutiger Zustand (links) und früher Rekonstruktionsversuch für die Karolingerzeit nach Effmann 1929

Gleiches gilt für die sich entfaltenden beiden urbanen Zentren im Vorfeld mit ihren großen neuen romanischen Kirchenbauten. Vermutlich bestand insofern ganz erheblicher Bedarf an dem damals verstärkt in Mode kommenden und auch sehr viel unproblematischer als zuvor verfügbaren Fensterglas. Aus der Corveyer Marktkirche liegen Funde von grünem Kalium-Bleiglas mutmaßlich des 12. Jahrhunderts vor (Stephan, Wedepohl 1997). Diese dynamische Entwicklung war vermutlich der konkrete Hintergrund für die ganz ungewöhnlich rege Glasproduktion im nahen Rumohrtal in der ersten Hälfte des 12. Jahrhunderts und vermutlich alsdann in der zweiten Hälfte des 12. Jahrhunderts im Rottmündetal.

Die dort praktizierte nicht allein im Weserbergland noch seltene technologisch auf der Höhe der Zeit stehende anspruchsvolle Technologie stand damals vorrangig gewiss im Dienst oder produzierte vornehmlich noch für den Bedarf der Kirche. Sie ist, wie bereits bei der Interpretation einzelner Aspekte der Ofen- und Fertigungstechnologie der Glashütte im Rumohrtal angeklungen, in den größeren Zusammenhang des Aufschwungs der hochmittelalterlichen Artes Liberales zu stellen.

Im ersten Viertel des 12. Jahrhunderts wirkte der aus Lothringen, monastisch wahrscheinlich aus der wichtigen Abtei Stablo im belgischen Maasgebiet stammende und im berühmten Kölner St. Pantaleonskloster nachweisbare Mönch Roger mutmaßlich als Leiter der sich damals zu großer Blüte entfaltenden künstlerisch tätigen Werkstätten der Benediktinerabtei Helmarshausen. Er gilt traditionell als Verfasser der einzigartigen Enzyklopädie zum mittelalterlichen künstlerischen Schaffen im Abendland (Brepohl 1999/2014; Freise 1981; Theobald 1933).

In letzter Zeit sind vermehrt Zweifel an der Identifikation mancher „Roger von Helmarshausen“ und der Werkstatt sowie dem Umkreis der Abtei Helmarshausen zugeschriebener Werke und auch an der Gleichsetzung von Roger mit dem Pseudonym „Theophilus Presbyter“ in der ältesten überlieferten Abschrift laut geworden (Speer 2014 mit Lit.; Stiegemann, Angermann-Westerhausen 2006). In der Tat hat es einiges für sich, die „*Schedula Diversarum Artium*“ komplexer als bisher weitgehend üblich zu beurteilen und zu verstehen: Am ehesten könnte man die Enzyklopädie demnach vielleicht als eine stufenweise, mehrfach veränderte Kompilation, ein Handbuch des technischen Wissens, bereichert von mehreren Händen über größere Räume und längere Zeit sehen. Orientiert war dieses mit theologischen Betrachtungen angereicherte Werkstattbuch in gewissem Umfang bei den jüngeren Abschriften bestimmt auch an den besonderen Bedürfnissen und Interessen der jeweiligen Nutzer.

Gleichwohl sollte man nicht das Kind mit dem Bade ausschütten. Man wird kaum von einer ungeordneten, unsystematischen Aneinanderreihung von Ausführungen zahlreicher Interessenten aus verschiedenen Zeiten sprechen können. Vielmehr wird man allein schon von der klaren Gesamtkonzeption her an einem Haupt- und Erstautor mit dem Pseudonym Theophilus festhalten dürfen. Es spricht immer noch manches für Roger als Haupt- bzw. Erstautor, gewiss auch als Redaktor der *Schedula*.

Teile des Werkes, ein ganzes „Buch“ ist dem Glas gewidmet, und der Verfasser betrachtete theologisch überhöht die Glasmalerei infolge der einzigartigen Beschaffenheit des Werkstoffes Glas, seine leuchtenden Farben, seine partielle Transparenz und der dadurch hervorgerufenen Lichteffekte als höchste der Künste. Parallelen zur Sonne, zur göttlichen Erleuchtung, zum christlichen Glauben drängen sich auf. Der Autor der Bücher zum Glas muss direkt oder über Mittelsleute Kontakte zu Glasmachern gehabt haben, denn er geht recht genau auf den Bau des Glasofens, weiterhin die Zusammensetzung des Glasgemenges und die Herstellung von Häfen und Gläsern ein.

Sogar die Formung von kleinen Ringen, welche in geringer Anzahl auf der Glashütte im Rumohrtal gefunden wurden, und sehr wahrscheinlich die Herstellung von Bleiglas wurden erörtert. Leider ist gerade letzteres Kapitel verloren. Möglicherweise ist dies der Fall, weil die Anfertigung dieser speziellen Glassorte eine Besonderheit nur relativ weniger Glashütten in früherer Zeit war und für spätere Nutzer diese Ausführungen zu einer nicht mehr üblichen Glassorte nicht von sonderlichem Interesse sein mochten, weshalb man es unterließ, dieses Kapitel abzuschreiben.

Andererseits wurden schon mehrfach einzelne Unklarheiten, Fragezeichen und Kritikpunkte an den Ausführungen zum Glas in der *Schedula* geäußert (z. B. Horat 1991; Kurzmann 2004, 83; Theobald 1933). Weitere sehr konkrete und wichtige Anhaltspunkte zur Hinterfragung der Rolle und der Kenntnisse des Verfassers des Buches zum Glas ergaben sich anhand der Befunde und Funde unserer Grabungen im Rumohrtal (s. o.).

Damit darf es nunmehr als gesichert gelten, dass Theophilus zwar über erstaunlich gute Kenntnisse zu diesem Technikgebiet verfügte, aber die Glasschmelze und Glasverarbeitung sehr wahrscheinlich nicht selbst beherrschte. Auch in seinem Kloster wird sie kaum praktiziert worden sein, da er dann die fehlerhaft oder unklar beschriebenen Tätigkeiten und technischen Details hätte in Augenschein nehmen können und vermutlich besser und auch detaillierter dargestellt hätte. Dennoch ist es grundsätzlich kaum vorstellbar, dass er ohne konkrete Einblicke in die Arbeitspraxis derart spezielle und hoch komplexe technische Gegebenheiten und Vorgänge wie den Ofenbau, die Anfertigung von Häfen, die Herstellung von Flachglas etc. nur aus Berichten anderer oder gar allein aus ihm vorliegenden Texten übernommen haben könnte.

In diesem Kontext ist nochmals nachdrücklich auf die europaweit einzigartige Häufigkeit von Waldglashütten der Zeit um 1100-1250 im Weserbergland zu verweisen. Diese ist bei vorbehaltloser, nüchternen Betrachtungsweise durchaus dazu angetan, die traditionelle Zuweisung der Schedula in eben diese Region mit bislang nicht bekannten Sachzeugnissen doch wieder zu bekräftigen. Dies gilt umso mehr, als bislang keine wirklich überzeugenden, stichhaltigen Alternativen dazu aufgezeigt werden konnten.

Enge Verbindungen der Mönche von Helmarshausen mit dem Kölner, Trierer und dem in jener Zeit überaus bedeutenden maasländischen Kunstschaffen hat man bereits in der älteren Forschung hervorgehoben. Sie stehen nicht zuletzt mit der Heiligenverehrung im christlichen Kult in Zusammenhang, denn um 1105/1107 wurden bedeutende Reliquien von Trier und Köln nach Helmarshausen übertragen (Stephan 2019a mit Lit.).

Die zeittypischen besonders stark ausgeprägten interregionalen Verbindungen kirchlicher und weltlicher Eliten in der ausgehenden Salierzeit bis 1125, während der Regentschaft des ehemaligen sächsischen Grafen und Herzogs Kaiser Lothar III. (1125-1137) und der frühen Stauferkönige unter Konrad III. (1138-1152) sowie Friedrich I. (1152-1190) gilt es dabei als Rahmenbedingungen unbedingt zu beachten. Sie liegen als Ursache oder Anschubfaktor gerade auch für die bis dahin in solcher Art und Weise und in derartigem Umfang in Waldglashütten in Mitteleuropa nicht praktizierte Herstellung von bleihaltigen Kalium-Calcium-Gläsern nahe.

Europaweit nahm die (im weiteren Sinne) französische Farbglaskunst, mit ihren Ausstrahlungen alsbald Lothringen, das heutige Belgien und die Rheinlande erreichend, in den Jahrzehnten ab etwa 1080/1100 und weit darüber hinaus noch lange Zeit später in der Romanik und hohen Gotik eine führende Rolle ein (vgl. *Corpus Vitrearum Medii Aevi*). Gleiches gilt für die Goldschmiedekunst und das eng mit dieser verbundene anspruchsvolle Buntmetallhandwerk, welches in der Romanik besondere Pflegestätten von abendländischer Bedeutung auf höchstem Niveau, weiterhin aber auch für den breiten gehobenen Bedarf in Orten wie Dinant, Huy und Namur, Lüttich, Stablo, Aachen und Köln hatte (Legner 1985). Der letzte in der Kirchen- und Reichspolitik überaus bedeutende Corveyer Abt war Wibald von Stablo (1146-1158) aus der Diözese Lüttich, in Personalunion weiterhin Abt von Stavelot, ein großer Diplomat und Mäzen der Künste (Wittekind 2004).

Um auf den engeren Gegenstand zurückzukommen, ist folgendes festzuhalten: Blei fiel als weniger wertvolles Sekundärmetall vor allem dort in großen Mengen an, wo man Bunt- und Edelmetall zutage förderte und verarbeitete. Insbesondere das im hohen Mittelalter fast ausschließlich zur Münzprägung, für Edelmetallbarren und die Goldschmiedekunst verwendete Silber – denn die mittelalterlichen „Goldschmiedearbeiten“ bestanden weitgehend aus (teils vergoldetem) Silber bzw. Buntmetall – gewann man weitestgehend durch die Verarbeitung von Erzen, deren Hauptbestandteil Blei war. Um 1100/1150 muss zudem infolge der zunehmenden Einführung der Markt- und Geldwirtschaft in Mitteleuropa die Silberförderung einen starken Aufschwung genommen haben.

Daran war die Reichsabtei Corvey aktiv beteiligt, welche seit 833 über ein Markt-, Zoll- und Münzprivileg verfügte sowie wenig später auch über einen direkten Zugriff auf Bunt- und Edelmetallvorkommen vor allem am Ostrand des Rheinischen Schiefergebirges (Stephan 2013b mit Lit.). Bereits im Jahre 900 erwirkte die Abtei ein weiteres Marktprivileg für den Montanbezirk im Umfeld der Eresburg (Marsberg-Horhusen, Hochsauerlandkreis). Im westlich anschließenden Gebiet um Hoppecke (Altkreis Brilon) besaß die Abtei Anrechte an der im großen Stil betriebenen Bleierzgewinnung und Verarbeitung, welche im frühen 12. Jahrhundert erwähnt sind (Kaminsky 1972). Eigenen Zugang zu Lagerstätten und der Hüttentechnik von Blei und Kupfer hatte Corvey zudem über Besitzungen und Rechte in Goslar im Harz.

Insofern ist sowohl die Verwendung von Bleiruten für die großartigen Fensterverglasungen des Mittelalters wie auch die Durchsetzung eines zuvor eher seltenen bleihaltigen Glastyps gewiss kein reiner Zufall, sondern wiederum metallurgisch, geldgeschichtlich und ökonomisch im größeren Kontext zu sehen. Die Deutung der stark vermehrten Produktion von Holzasche-Bleigläsern als Weiterentwicklung einer älteren Rezeptur zur sinnvollen Verwertung von Blei für die Herstellung besonders leuchtender, farbenprächtiger Farbgläser liegt nahe.

In diesem weiteren Zusammenhang ist noch auf die gezielte Ansiedlung von „Holländern“ hinzuweisen, worunter neben Niederländern auch Menschen aus dem heutigen Belgien und Nordfrankreich sowie vom Niederrhein zu verstehen sind. So geschehen in neuen Dörfern am Ith im Umkreis von Eschershausen und Stadtoldendorf nur etwa 20 km nördlich des Rumohrtals um 1100-1130 durch die Bischöfe von Hildesheim (Reuschel 2009). Mutmaßlich wird man sich die Wanderung von Bevölkerungsgruppen und die Vermittlung von deren Wissen ganz ähnlich vorzustellen haben wie etwa gleichzeitig oder wenig später und alsdann erneut in der ersten Hälfte des 13. Jahrhunderts auf dem Gebiet der anspruchsvollen Töpferei.

Beispiele dafür sind die Begründung der neuen regionalen Zentren handwerklicher Töpferei in Südniedersachsen um 1120-1150 oder der Transfer neuer Technologien einschließlich der Herstellung gelber Irdewaren und der Bleiglasurtechnik nach Lutherstadt Wittenberg und Brandis bei Leipzig etwa zur gleichen Zeit bzw. spätestens im frühen 13. Jahrhundert (Stephan 2012a; Stephan 2015c; Stephan 2015d; Stephan, Hoffmann 2016).

2.7.3. Die Ein-Ofen-Anlage der Zeit um 1230/1250 am Kleinen Mittelberg

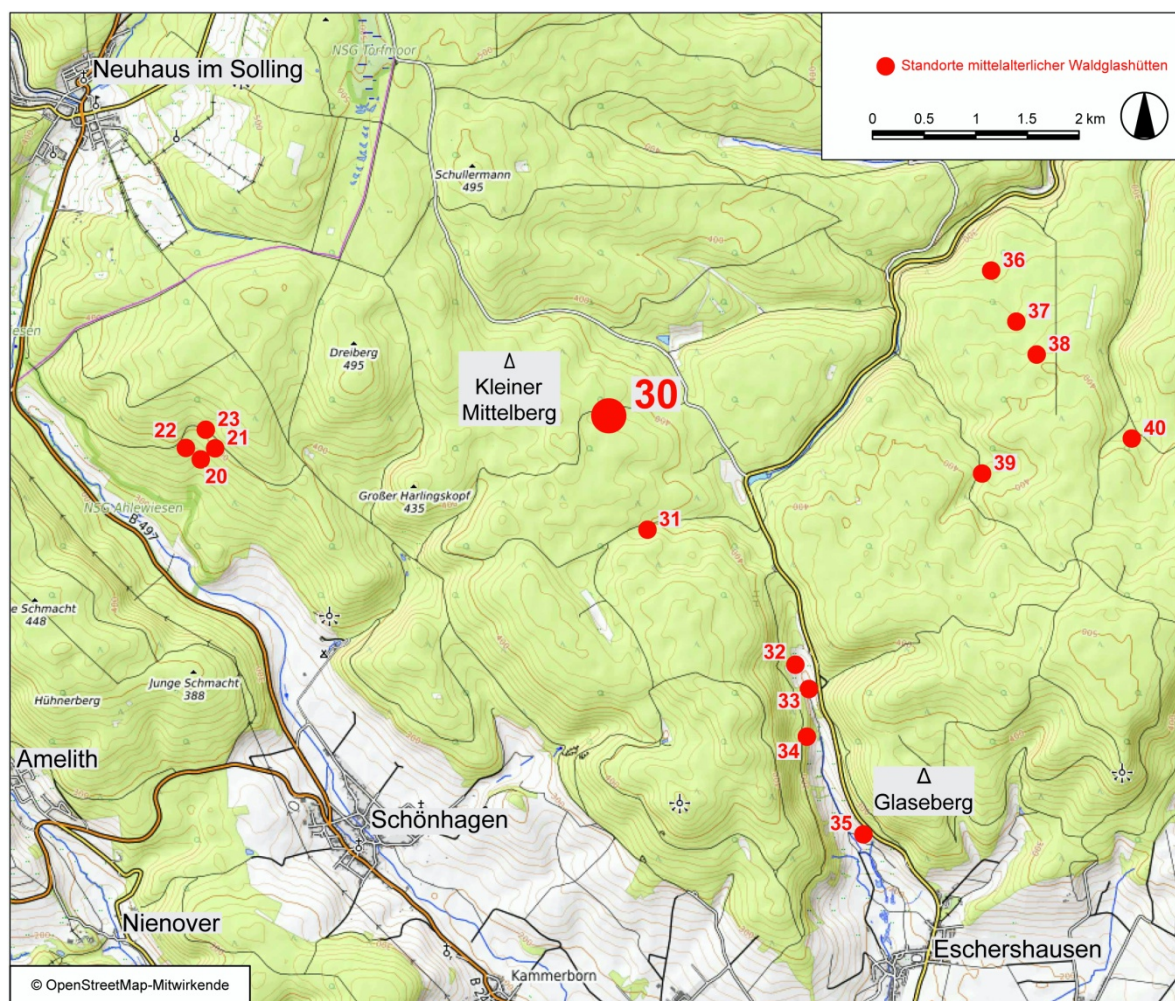


Abb. 75 Mittelalterliche Waldglashütten im Zentralsolling zwischen Uslar und Neuhaus, Nr. 30: Die ausgegrabene Ein-Ofen-Anlage am Kleinen Mittelberg/Franzosenweg (nach Henne 2016, Myszka 2019)

In etwa 410 m NN und damit für die Verhältnisse in diesem Waldgebiet ziemlich hoch gelegen, 630 m östlich unterhalb der bis auf 435 m sanft ansteigenden Kuppe des Kleinen Mittelberges bei Uslar-Eschershausen, fand sich 2001 ein relativ gut erhaltener mutmaßlicher Ofenhügel nahe der „Franzosenstraße“ im zentralen Bereich des Solling (Abb. 75, Nr. 31; Henne 2002, 14f; Henne 2016, 59; Stephan 2010, 523). Letzterer erreicht in nicht allzu großer Entfernung auf der „Großen Blöße“ im Bereich von Neuhaus beim Ortsteil Silberborn mit 527,8 m seine größte Höhe. Durch die Geologie des Buntsandsteingewölbes bedingt herrschen keineswegs schroffe Höhenzüge, sondern allmählich ansteigende, als Kuppen ausgebildete und zwischen diesen gelegene oder innerhalb von diesen eher sanft ausgeprägte lange, nur stellenweise etwas markanter ausgeprägte Täler vor. Der Fundplatz liegt unweit von einem Quellhorizont an einer schmalen Gewässerrinne, die im Beobachtungszeitraum bis 2018 nur noch relativ selten nach stärkeren Niederschlägen oder während längerer Kälte- und Feuchteperioden, insbesondere im Winter und Frühjahr, periodisch fließendes Wasser führt.

Auffällig ist in jedem Falle beim derzeitigen Kenntnisstand die in Hinblick auf die verschiedenen bisher dokumentierten Ballungsräume mittelalterlicher Glashütten im Solling ziemlich isoliert erscheinende Lage des Ofenhügels. Wir erfassen damit erstmals einen ausgesprochen zentral im Hochsolling gelegenen, bislang noch weitgehend unbekanntem Tätigkeitsraum von Glasmachern an der Wende vom hohen zum späten Mittelalter. Nach

unseren Prospektionen gingen wir davon aus, dass es sich sehr wahrscheinlich um eine Nebenhütte handelt, auf der man Rohstoffe zu einem Glas-Vorprodukt erschmolz, das später auf einer Haupthütte in gereinigtem Zustand bei erheblich vermindertem Volumen (was ein großer Vorteil für das Hochschmelzen ist) unter deutlich reduziertem Energiebedarf weiterverarbeitet werden konnte.

Bislang ist es im Weserbergland trotz durchaus einleuchtender diesbezüglicher Überlegungen noch nicht mit letzter Sicherheit gelungen, den Produktionskreis einer Haupthütte und ihrer Nebenhütten mit hinreichender Gewissheit festzuschreiben und exakt zu lokalisieren (Leiber 1991; Leiber 2012; Rahrig 2012). Man wird sich bei aller Plausibilität derartiger Überlegungen, die letztlich auf modellhafte Vorstellungen von Eva Černá ausgehend von nordwestböhmisches Verhältnissen der Zeit um 1250-1430 im Erzgebirge zurückgehen, eingestehen müssen, dass diese für unser Verständnis der mittelalterlichen Glaserzeugung anregend und wichtig, jedoch nur überaus schwer zu verifizieren sind (zusammenfassend Černá 2016). Zunächst einmal ist davon auszugehen, dass auf manchen Haupthütten vermutlich sämtliche Arbeitsschritte vor Ort vollzogen wurden, von der Partialschmelze der Fritte über die Glasschmelze bis hin zu den Fertigprodukten. Weiterhin bleibt festzuhalten, dass auf den Nebenhütten der Zeit um 1250-1430 in Nordwestböhmen Rohglas in Häfen gefertigt wurde.

Im Unterschied dazu scheint man im Werra-Weser-Bergland im 13./14. Jahrhundert in den Ein-Ofen-Anlagen durchweg oder zumindest ganz überwiegend kein Rohglas, sondern so gut wie ausschließlich ein Vorprodukt hergestellt zu haben, Häfen und Glasschmelzen fehlen gänzlich oder doch weitestgehend. Nur für einige wenige, allerdings allein durch Geländeprospektionen greifbare mutmaßliche Ein-Ofen-Anlagen im Bramwald, Reinhardswald und Solling liegen Anhaltspunkte für die Glasschmelze vor, doch wäre dies unbedingt durch Grabungen zu überprüfen (Stephan 2020). Wie kompliziert und schwierig dies nur anhand von Beobachtungen zu Oberflächenbefunden und Lesefunden zu beurteilen ist, zeigte sich jüngst für das Weserbergland, insbesondere das Hellental im Nordsolling, wo angeblich in dichter Nachbarschaftslage mindestens eine Haupthütte und mehrere Ein-Ofen-Anlagen des 13. Jahrhunderts aufgefunden worden sein sollen (so Leiber 2012). Von letzteren sind inzwischen jedoch teils Funde von Häfen und mehreren Ofenhügeln bekannt, so dass sie zumindest recht wahrscheinlich als Haupthütten anzusehen sind (Klaus Weber, Internetauftritt Merxhausen-Hellental).

In Mittelitalien war nach Schriftzeugnissen, die von archäologischen Befunden anschaulich ergänzt werden, die Rohglasherstellung in Waldgebieten und die Glasverarbeitung in Siedlungen strikt getrennt und die damit beschäftigten Produzenten arbeiteten weitgehend unabhängig voneinander (Mendera 1989; Mendera 1991; Mendera 2002). Demnach kann dort nicht von Erzeugungskreisen bzw. Haupt- und Nebenhütten im Sinne Eva Černás gesprochen werden.

Vielmehr wäre diesem Modell gemäß in Erwägung zu ziehen, ob auch im Weserbergland eine derartige Arbeitsteilung bestand, allerdings dann ganz offensichtlich ausschließlich oder zumindest primär mit dem Ziel der Erzeugung eines Vorproduktes und allenfalls vereinzelt mit der Schmelze von Rohglas. In diesem Falle wäre das Dominieren von Ein-Ofen-Anlagen in der einen, die von Haupthütten in einer anderen Region gut erklärbar. Dann wäre der Terminus „Nebenhütten“ problematisch bzw. neu zu definieren. Hingegen könnte eine räumliche Verschränkung und einigermaßen gleichmäßige Verteilung beider Hüttentypen, wie sie teils im Solling zu konstatieren ist, für eine Variante oder genauer gesagt wohl eher eine Vorform des „böhmischen Modells“ sprechen. Letzteres wäre dann möglicherweise erst dort als Weiterentwicklung der im Westen entwickelten Vorstufen(n) entstanden. Wiederum teils anders geartete die Forschung anregende Vorstellungen entwickelte Albrecht Kirsche für das

Erzgebirge insgesamt, allerdings weitgehend allein von Schriftzeugnissen, Karten und bestenfalls von Geländebefunden ausgehend, ohne dass für das sächsische Erzgebirge in dem absolut notwendigen Umfang Grabungen und hinreichend gut nachvollziehbare, möglichst präzise Datierungen der Bodenfunde erfolgten (Kirsche 2003).

Ohne die Ausgrabung sämtlicher Produktionsstandorte in mehreren vermuteten Erzeugerkreisen und in verschiedenen Waldgebieten in Verbindung mit einer minutiösen Auswertung der Befunde und Funde mit Einschluss naturwissenschaftlicher Serienuntersuchungen der glastechnischen Relikte sind bei nüchterner Betrachtung der überaus komplexen Ausgangslage kaum befriedigende Ergebnisse zu erwarten. Auch besitzen wir aus dem Mittelalter in Zentraleuropa keine Schriftzeugnisse, welche geeignet sind, uns fundierte Kenntnisse über die Tätigkeit einzelner Glasmacher bzw. Hüttengemeinschaften sowie die den Glashütten jeweils zugewiesenen bzw. problemlos zugänglichen Einschlag- und Sammelgebiete für den Rohstoff Holz und die Aschenbereitung zu vermitteln. Man kann darüber somit letztlich nur mehr oder weniger fundiert spekulieren. Allerdings wird im Mainzer Försterweistum für den Spessart von etwa 1338/1339 für die Glasmacher der Einzugsbereich für das erlaubte Sammeln von dürrer Holz zum Aschebrennen vermutlich auf den Umkreis der Sichtweite von der Hütte aus eingeschränkt (so Loibl 2008, 56).

Dies waren bei der üblichen Lage an kleinen Bächen oder Quellen in oft engen Tälern teils gerade einmal 0,5 bis 1,5 km, insbesondere im Solling mit seinen eher sanften langgezogenen Tälern und Kuppen kann es aber auch deutlich mehr sein, wenn man von einem lichten Laubmischwald mittelalterlicher Prägung ausgeht. Demnach konnte es sehr sinnvoll sein, mit der Trennung der Herstellung von Fritte bzw. Rohglas einerseits und der Weiterverarbeitung zu Fertigprodukten den Einzugsbereich der Holzgewinnung beträchtlich zu erweitern. Möglicherweise konnte man sogar noch unabhängig davon Aschenhütten mit zusätzlich ausgeweiteter Sammeltätigkeit errichten. Ein weiterer überaus erwünschter Effekt derartiger Arbeitsteilung dürfte die dadurch ermöglichte längere Standortfestigkeit der Haupthütten gewesen sein.

Aus dem Fundmaterial der Grabungen auf der Ein-Ofen-Anlage der Zeit um 1230-1250 am Kleinen Mittelberg wurden von Dr. Marie-Luise Hillebrecht bisher 279 Einzelproben von Holzkohlen untersucht. Dabei handelt es sich ausschließlich um Buche (*Fagus sylvatica* L.). Etliche Proben weisen Gasauftreibungen wie bei einer Verkohlungsgrünen Holzes auf. Holzkohlen aus geringmächtigem Ausgangsholz (Äste) sind eher selten (unter 20 %), Hölzer mit großem Durchmesser von mehr als 90 cm, also von starken Baumstämmen hohen Alters überwiegen. Dies ist überaus bemerkenswert und steht in deutlichem Gegensatz zu den Verhältnissen in der Neuzeit (Hillebrecht 1982). Demnach liegt die Annahme nahe, dass damals im Zentralsolling ein alter, vom Menschen nicht übermäßig stark ausgebeuteter natürlicher oder quasi-natürlicher artenarmer Buchenwald vorhanden war. Ganz ähnlich wie auf den Waldglashütten des 9. und des 12. Jahrhunderts weist die Analyse der Holzkohlen auf einen Rotbuchenwald hin, in welchem den Glasmachern eine sehr gute und reichhaltige Energieressource zur Verfügung stand.

Deutlich anders waren etwa zu dieser Zeit, eine genauere Datierung als mutmaßlich ins lange 13. Jahrhundert ist derzeit nicht möglich, die Vegetationsverhältnisse am Nordostrand des Solling bei Fredelsloh. Im Bereich der Töpfereiwüstung Bengerode wurde im Gegensatz zu nicht weit entfernten frühneuzeitlichen Waldglashütten keine gezielte Auswahl der für den Ofenbrand verwerteten Hölzer nachgewiesen, was bei dem Betrieb von Keramikbrennöfen aber auch nicht notwendig war. Der Anteil der Buche lag in der allerdings recht kleinen Probe nur bei etwa der Hälfte, gefolgt von Erle und Eiche mit jeweils ca. 15 Prozent, aber auch lichtliebende Pioniergehölze bzw. Degenerationsanzeiger wie Birke, Eberesche und Hainbuche sind vertreten (Hillebrecht 1982). Auf diesem günstigen Muschelkalkboden bestand somit ein

lichter artenreicher Laubholzmischwald, wie seinerzeit im Solling üblich (noch) ohne Nadelhölzer.

Wichtig ist in diesem Kontext die Feststellung, dass auf der Waldglashütte am Kleinen Mittelberg ganz offensichtlich kein Holzangel bestand. Dies war für eine Zeit, in welcher der mittelalterliche Landesausbau im Weser-Leine-Bergland seinem Höhepunkt zustrebte, nicht unbedingt zu erwarten. Im Gegensatz zu der nicht weit entfernten frühneuzeitlichen Glashütte am Lakenborn (1655-1681), welche in den schwierigen Zeiten nach dem Dreißigjährigen Krieg betrieben wurde und wo man zwar fast ausschließlich Buchenholz, aber solches von geringem Stammdurchmesser nutzte (Hillebrecht 1982, 123), verfügte man nach den holzbotanischen Untersuchungen vielmehr problemlos über ausreichende Mengen von vorzüglichem Buchenstammholz. Ganz ähnliche Ergebnisse liegen wie bereits ausgeführt für die Waldglashütten der Zeit um 1100-1150 im Rumohrtal am Nordwestsolling vor. Damals war die Versorgungslage für die Glashütten offenbar sogar noch besser als gut 100 Jahre später, was allerdings nicht sonderlich verwunderlich ist, denn die großen Rodungen hatten gerade erst eingesetzt (Stephan 2010). Somit waren die Glasmacher im Zentralsolling selbst im ausgehenden Hochmittelalter nicht gezwungen in nennenswertem oder gar in großem Umfang minderwertiges Holz zu verbrauchen, wie dies spätmittelalterliche und vor allem frühneuzeitliche Verträge und Anordnungen der Waldeigentümer, Förster und Landesherren vielfach forderten. Ob Norm und Realität im Einklang standen darf nach den holzbotanischen Untersuchungen bezweifelt werden (Hillebrecht 1982, 126-130). Die leider stark vernachlässigten Holzkohlenuntersuchungen wären bei gezielter Anwendung in Gestalt von Serienanalysen ein vorzüglicher Ansatz zur Klärung der tatsächlichen ökologischen Verhältnisse nicht allein, aber gerade auch in schriftarmen oder schriftlosen Zeiten und Gebieten. Glashütten bieten aufgrund ihrer fast stets geringen Betriebszeit und ihrer nicht selten ungewöhnlich genauen zeitlichen Einordnung besonders günstige weiterführende Ansatzpunkte für künftige Forschungen zur Umweltgeschichte.

Überschreitungen der Befugnisse werden vor allem auf Seiten der Gläser, eine gewisse Willkür auf der Seite der Grundherren und ihrer lokalen Vertreter, etwa der Vögte, Amtleute und Förster vorgekommen sein. Dies gilt umso mehr, als die Glasmacher nicht selten entlegene Grenzsituationen bevorzugten bzw. auf diesen angesiedelt wurden, weil dort keine andere lukrative Nutzung des Holzes möglich war. Möglicherweise war gelegentlich die Ausdehnung der Einzugsgebiete sogar auf Seiten nicht nur der Waldnutzer, sondern auch der Eigentümer einseitig erwünscht, bzw. wenn nicht gefördert, so doch geduldet. Andererseits mag man Überschreitungen der Befugnisse tief im Walde in jener Zeit allein schon aufgrund der noch nicht allzu effizient organisierten Aufsicht über die Forstgebiete und die tendenziell weniger strengen Reglementierungen wohl eher selten geahndet haben. Meinungsverschiedenheiten und Übergriffe auf allen Seiten sind sodann in der Neuzeit zunehmend bezeugt. Aus dem Mittelalter sind dazu im Untersuchungsgebiet keine Schriftzeugnisse bekannt.

Insofern ist es alles andere als leicht, generell überzeugende oder gar allgemein gültige Parameter für die Rekonstruktion der ökologischen Einzugsbereiche und Auswirkungen von „Erzeugerkreisen“ bzw. für in etwa gleichzeitig tätige Glashütten zu erstellen. Über mehr oder weniger einleuchtende naheliegende Behauptungen und Vermutungen wird man derzeit kaum hinauskommen. Wir müssen uns deshalb zunächst einmal an den Istzustand unserer derzeitigen Erkenntnisse zur räumlichen Verteilung der Glashütten in bestimmten Zeiträumen halten. Dabei ist allein schon die nähere zeitliche Einordnung oft ein großes Problem, ganz besonders bei den überaus fundarmen Ein-Ofen-Anlagen.

Bezogen auf unseren konkreten Fall ist festzuhalten, dass keine der bekannten hochmittelalterlichen Haupthütten in Sichtweite der Nebenhütte am Kleinen Mittelberg liegt. Vielmehr hätte man ggfs. recht große Distanzen von etwa 2-6 km in der Luftlinie und teils mehrere

Täler und Höhen überwinden müssen. Immerhin könnte es sich demnach um eine in diesem Falle allerdings recht weit entlegene Nebenhütte bzw. einen Zulieferbetrieb einer bzw. mehrerer der derzeit greifbaren mutmaßlichen Haupthütten im Süden am Neuen Teich bzw. im Ital oder im Osten „Am Knobben“ handeln. Eine konkrete oder auch nur hypothetische hinreichend begründete Zuordnung ist jedoch derzeit ausgeschlossen, da keine der infrage kommenden mutmaßlichen Haupthütten ausgegraben ist und etliche der Standorte nur sehr grob oder überhaupt nicht näher datierbar sind als in das Mittelalter.

Räumlich liegt am ehesten ein Kontext mit denjenigen Glashütten nahe, die „Am Eichenwasser“ unweit des Neuen Teiches oder aber auch im Ital nördlich sowie westlich des Glaseberges lokalisiert wurden (Abb. 75, Nr. 31-35). In diesen hat man vor allem wohl im späteren 12. und 13. Jahrhundert in größerem Umfang Glas produziert und zu Fertigprodukten verarbeitet, wie Glastropfen und Fragmente von Häfen an einer ganzen Anzahl von Plätzen erweisen. Besonders günstig in durchaus überschaubarer Nähe von nur etwa 1,5 km und nicht durch größere natürliche Hindernisse getrennt liegt der mit zwei gut erkennbaren Hügeln recht stattlich wirkende Standort „Am Eichenwasser“ (Nr. 31). Leider ist dieser derzeit nicht näher zeitlich einzuordnen als ins 13./14. Jahrhundert.

Alternativ käme einer der Hüttenplätze im immer noch recht gut erreichbaren etwas weniger exponiert gelegenen Ital zu Füßen des Glaseberges in Richtung auf das Uslarer Becken infrage, welche allerdings mindestens die doppelte und teilweise sogar die dreifache Entfernung zur Nebenhütte am Kleinen Mittelberg haben. Der nächstgelegene Standort nahe dem Talschluss (Nr. 32) ist ebenfalls derzeit nicht exakt datierbar, und der nur wenig weiter talabwärts gelegene stark zerstörte Fundplatz gehört sehr wahrscheinlich ins spätere 12. Jahrhundert, ist also deutlich älter (Nr. 33). Vom Fundmaterial am ehesten der Zeit um 1200-1250 würde vor allem noch eine Hütte im mittleren Ital im „Rott“ (Rodeland) als Mutterhütte infrage kommen (Nr. 34). Allerdings wirkt die Entfernung mit gut 4 km von der Ein-Ofen-Anlage an der Franzosenstraße doch relativ groß.

Fast die gleiche recht große räumliche Distanz besteht von der Hütte am Kleinen Mittelberg zu einer ganz ungewöhnlich dichten Konzentration von vermutlich ins lange 13. Jahrhundert zu setzenden, ebenfalls nicht näher datierbaren Ofenhügeln im Waldort „Lichte Höbel“ am Rande des Ahletals ziemlich weit im Westen (Nr. 20-23), welche allerdings vom Franzosenweg aus über mehrere Höhen und Täler deutlich schwieriger erreichbar waren. Ähnliches gilt für die nächstgelegene Gruppe von teils nicht näher datierbaren, teilweise den Funden gemäß gewiss ins 13. Jahrhundert gehörenden Glashütten im Osten, am Hülsebach, an der Lummerke und im Wolfstal (Nr. 36-40). Ein genetischer Zusammenhang der ausgegrabenen Nebenhütte mit diesen dürfte nicht allzu wahrscheinlich sein, sie ist aber dennoch nicht völlig auszuschließen.

Wenn man die Ein-Ofen-Anlage am Kleinen Mittelberg als eine nicht an eine bestimmte Haupthütte gebundene selbstständige Betriebseinheit ansieht, welche mehrere Endprodukte herstellende, Glas schmelzende und verarbeitende Glashütten in den genannten Gebieten oder möglicherweise auch räumlich noch etwas weiter entfernte Hütten versorgte, wäre die Lage ungefähr in der Mitte zwischen etlichen derartigen Betrieben als gut gewählt und überaus günstig zu bezeichnen.

Heute liegt ein großes Waldgebiet nördlich des früh- und hochmittelalterlichen Altsiedelraumes im südlichen Solling um Sohlingen, Uslar-Eschershausen, Volpriehausen, Hardeggen und Moringen, welches sich bis Dassel, Stadtoldendorf, Bevern, Holzminden und Hörter-Corvey im Osten und Nordwesten erstreckt. Es war allerdings seit dem 12./13. Jahrhundert nicht allein durch die intensive Waldwirtschaft, sondern partiell auch infolge von großangelegten Rodungen in Verbindung mit der Neuanlage oder erheblichen Vergrößerung älterer Siedlungen stellenweise sehr viel stärker aufgelockert als heute. Erst im späteren Mittelalter fiel die Mehrzahl der Dörfer wüst, die resistenten Orte und die Kulturlandschaft

schrumpften auf ein säkulares Minimum zusammen, Wälder, Ödland und Heiden breiteten sich stark aus.



Abb. 76 Ein-Ofen-Anlage am Kleinen Mittelberg. Ofenhügel vor der Ausgrabung

Zur Klärung der trotz aller einleuchtenden Analogien und Überlegungen letztlich doch in mancher Weise ungewissen Befundsituation fanden im Sommer und Herbst 2016 sowie ergänzend dazu auch 2017 Grabungen im Bereich des von Roland Henne vor etwa 17 Jahren entdeckten mutmaßlichen Ofenhügels am Franzosenweg aus dem 13. Jahrhundert statt. Der Ofen wurde komplett freigelegt und seine Umgebung mit der Metallsonde sowie kleineren Probeeinschlägen an erfolgversprechend erscheinenden Stellen und in zwei unmittelbar angrenzenden kleineren Flächen (letztere umfassten insgesamt knapp 60 m²) erkundet, um möglicherweise weitere Öfen, eine Produktionshalde oder auch Werk- und Wohnbereiche zu erfassen.

Die ursprüngliche Vermutung des Vorhandenseins einer kleinen Abwurfhalde oder gar eines zweiten Ofens bestätigte sich nicht. Ein weiterer kleiner Hügel in geringer Entfernung erwies sich, wie allerdings schon zuvor vermutet, als der Windwurf einer umgestürzten Fichte. Insgesamt erfassten die Sondierungen eine Fläche von etwa 15 m². Zweifellos handelt es sich hier um eine der immer noch ziemlich rätselhaft erscheinenden, jedoch sehr häufigen „Ein-Ofen-Anlagen“. Diese sind im Weserbergland ganz offensichtlich als zumindest zum großen Teil recht frühe Standorte einer von uns immer noch nicht hinreichend gut erforschten und erst ansatzweise verstandenen mehrstufigen Glasproduktion vor allem wohl des 13./14. Jahrhunderts gesichert.

2.7.3.1. Der technische Ofen



Abb. 77 Ein-Ofen-Anlage am Kleinen Mittelberg. Erhaltene Relikte des Glasofens

Der im Grundriss ovale Ofen wirkt in seinem starkem gut erhaltenen Fundamentsockel mit zentralem Feuerungskanal mit 4,1 m Länge und 3,8 m Breite recht stattlich (Abb. 77).

Dies erklärt das eindrucksvolle Erscheinungsbild des Ofenhügels vor der Ausgrabung (Abb. 76). Die Grundmauern bestehen aus einem überaus massiven Unterbau, vor allem an den Außenseiten hat man sie mit großen grob behauenen oder auch naturbelassenen roten (vermutlich lokal anstehenden) Buntsandsteinen versehen, und einem bis zu 3 m langen, aus kleineren Sandsteinen gemauerten Feuerungskanal mit einer lichten Breite von ca. 0,4-0,7 m (Abb. 78). Der Feuerungskanal liegt beinahe auf der Nord-Süd-Achse, lediglich um ca. 15° im Uhrzeigersinn von dieser gedreht, mit der Schüröffnung im Süden. Die starke, durch besonders langanhaltende offenbar kräftige Hitzeeinwirkung hervorgerufene Rötung des Lehms zwischen den Steinen des Mauerwerks ist besonders hervorzuheben. Sie reicht bis zu den Außenschalen. Dies dürfte ein Indiz für eine ziemlich lange Nutzung darstellen. Das innere Füllmauerwerk bis hin zum Gewölbe des Feuerungskanals besteht aus kleineren bis mittleren Sandsteinblöcken, welche in viel sandigen Lehm verlegt sind, was der Stabilität förderlich gewesen sein dürfte.

Das aus ebenfalls in Lehm gesetzten handlichen, tendenziell relativ flachen Sandsteinblöcken, aber keineswegs, wie man eigentlich erwarten könnte aus plattigem Material gemauerte Gewölbe des Feuerungskanals war zum Zeitpunkt der Freilegung zwar partiell eingestürzt, aber in seiner Struktur vollständig erhalten, sodass auch die ursprüngliche lichte Höhe des Kanals von ca. 0,75-0,8 m rekonstruiert werden konnte. Der sorgfältig, gewiss zur Dämmung der Feuchtigkeit und zwecks Erleichterung der Reinigung mit Sandsteinen ausgelegte Boden des Schürkanals steigt zunächst leicht um 7°, sodann aber im letzten Drittel ausgesprochen steil um 26° nach hinten an. In diesem rückwärtigen Ofenabschnitt waren keine Relikte des Gewölbes mehr vorhanden. Eine stattdessen angetroffene Konzentration besonders stark von offenbar hoher langanhaltender Hitze und der Einwirkung der offenen Flammen und Gase teils

fast zerstörter, größerer weiß verfärbter stark angegriffener, leicht verglaster, teils sich zu Sand auflösender Sandsteine kann als Relikt eines ehemaligen Rauchabzug-Fundamentes gedeutet werden.



Abb. 78 Ein-Ofen-Anlage am Kleinen Mittelberg. Orthofoto des Ofens erstellt aus einem 3D-Leserscan (nach Siebe 2017)

Der Ofen besaß offenbar lediglich eine Ofenkammer, die wahrscheinlich allein vom Osten her durch eine Öffnung im Gewölbe zugänglich war. Das ehemalige Vorhandensein einer Hafenbank ist auszuschließen. Der Ofen wurde im Fundament mindestens einmal grundlegend erneuert: aufgrund der wachsenden Abfallschichten, vor allem der Asche, die man direkt neben dem Ofen entsorgte, musste das Ofenfundament durch Aufmauern einer neuen Lage großer Sandsteine über dem alten Fundament um ca. 0,5 m erhöht werden. Der mit plattigen Sandsteinen ausgelegte Feuerungskanal blieb dabei unverändert.

Bei dem freigelegten Ofen, welcher der einzige Ofen in dieser Hütte war, handelt es sich nicht um einen Glasschmelzofen im klassischen Sinne. Allein die deutlich niedrigere Betriebstemperatur, die sich an der Art der weniger ausgeprägten, nur partiellen Oberflächenverglasung der innen im Fundament und vor allem im Feuerungskanal eingebauten Sandsteine erkennen lässt, erweist dies. Aber auch einige grundlegende Konstruktionsmerkmale wie z. B. das Fehlen von Hafenbänken für Schmelzgefäße zeigen eindeutig, dass hier kein Glas erschmolzen wurde.

2.7.3.2. Überlegungen zur Funktion und Betriebsdauer des Ofens und der Hütte

In seiner gedrungeneren, nicht allzu weit von der Quadratform entfernten Grundrissgestalt ähnelt der Ofen grundsätzlich stark etlichen in der weiteren Region Weserbergland ausgegrabenen Glasschmelzöfen des 12. Jahrhunderts und auch großräumig betrachtet in Mitteleuropa und Frankreich gängigen Haupt- und Nebenöfen des 13. Jahrhunderts (Horat 1991; Kurzmann 2004). Dies gilt auch für das breite Fundament. Die Größe übertrifft allerdings diejenige der meisten in der Bauweise des Fundamentes ähnlichen Schmelzöfen des 12./13. Jahrhunderts.

Dies erscheint vollkommen angemessen, wenn man annimmt, dass es sich um einen Frittofen handelt, in welchem auf einem Herd über der Feuerung größere Mengen von Asche und Sand zu einem Vorprodukt geschmolzen wurden. Vor allem die leichte und in erheblichen Mengen als Flussmittel benötigte Holzasche hatte vor der Partialschmelze ein großes Volumen. Die Rötung auch der äußeren Lehmportien des Fundamentes erklärt sich dann zwanglos durch die für die Herstellung der Fritte bei Kaliumgläsern benötigten Temperaturen im Bereich von schätzungsweise etwa 900-1000 °C. Allerdings konnten sowohl aus der Ofenverfüllung als auch aus anderen untersuchten Bereichen der Fundstelle keine erkennbaren Reste von Fritte geborgen werden.

Dazu geben Laborversuche im Kleinen für ein Holzaschegemenge mit einem Gewichtsteil Quarzpulver und zwei Gewichtsteilen Holzasche (wie im Rezept des Theophilus) in einem Schamotte-Tiegel hoch interessante Aufschlüsse (Kurzmann 2003, 285-287). Demnach erfolgte bei einer Erhitzung über 5 Stunden bei 600 Grad kein Sintern, nach weiteren 5 Stunden bei 800 Grad war eine Volumenverringerung um ca. 34 % und ein bröseliger Sinterkörper zu beobachten. Selbst nach weiteren 5 Stunden und einer Erhöhung der Hitze auf 1000 Grad war lediglich ein bröseliger, noch keineswegs ein kompakter glasiger Sinterkörper entstanden, es trat nunmehr eine Volumenverringerung auf ca. 44 % ein.

Nach nochmals 2 Stunden und Temperaturerhöhung auf 1300 Grad bis zur Schmelze stellte sich ein Glas und eine Volumenverringerung um ca. 92 % des ursprünglichen Gemenge-Volumens ein. Der bis etwa 1000 Grad entstandene bröckelige Sinterkörper dürfte sich kaum im Boden erhalten. Dies mag eine Erklärung dafür bieten, dass derartige Vorprodukte bislang archäologisch so gut wie nie eindeutig im Fundmaterial belegt sind. Erst bei höheren Temperaturen bildeten sich Aggregate, für welche Nachweischancen bestehen. In jedem Falle sollte und durfte die Fritte nicht verglasen. Vermutlich hat der Vorgang des Frittens, wie er in der *Schedula Diversarum Artium* beschrieben wird, abhängig von der Zusammensetzung des Glasansatzes die Grenze von etwa 1000 oder höchstens 1100 Grad allenfalls lokal und vermutlich eher unbeabsichtigt überschritten. Dabei könnten dann beim Probenziehen vielleicht Glastropfen entstanden sein.

Zusätzliche, für die Deutung der Funktion der Hütte und die Rekonstruktion des Ofens ebenfalls entscheidende Faktoren sind das komplette Fehlen von Glasschmelzgefäßfragmenten, von charakteristischen Ofenbauteilen wie Rahmen der Arbeitsöffnungen oder der Ofenversätze, von Kühlgefäßen usw. in allen untersuchten Bereichen der Ein-Ofen-Anlage am Kleinen Mittelberg. Es konnten auch keine Tonmodelle für die Dekoration von Hohlgläsern oder eiserne Glasmacherwerkzeuge gefunden werden. Schließlich fehlen im Fundspektrum vor allem auch Bruchstücke von Glasprodukten oder zur Weiterverarbeitung bestimmte Rohgläser.



Abb. 79 Ein-Ofen-Anlage am Kleinen Mittelberg. Opake, leuchtend grüne, türkisgrüne, türkisblaue und fast farblose Glastropfen

Insofern könnte man die Frage stellen, ob es sich überhaupt um einen Ofen handelt, welcher in Zusammenhang mit der Glasherstellung steht. Dies ist dann aber doch uneingeschränkt zu bejahen. Zum einen zeigen Teeröfen, Öfen zum Aschebrennen, Kalköfen, metallurgische Öfen oder Töpferöfen andere Konstruktionsweisen und ganz andersartige Befunde (vgl. z. B. Agricola 1977; Heege 2007; Röber 2015). Zum anderen gelang uns die Auffindung einiger weniger für Glashütten typischer Produktionsrelikte. Es handelt sich um insgesamt immerhin 37 meist tropfenförmig oder oval, seltener unregelmäßig ausgebildete Glastropfen mit einem Gesamtgewicht von 49 g. Festgestellt wurden folgende Farbwerte: 12 mal (20 g) opak, 10 mal (18 g) leuchtend grün, 7 mal (3,2 g) türkisgrün, 3 mal (2 g) türkisblau, 2 mal (1,1 g) blassgrün, sowie jeweils einmal (3,5 g) olivgrün, einmal (0,4 g) blassblau und einmal (0,5 g) um eine nahezu farblose Glasprobe (Abb. 79).

Demnach wurden im mutmaßlichen Frittofen zumindest partiell doch wohl Temperaturen von schätzungsweise etwa 1100-1250 Grad Celsius erreicht. Die mit der zerstörungsfreien RFA ermittelten Kalium- und Calcium-Konzentrationen clustern gemeinsam mit den Glastropfen der karolingischen Hütte (s. Abb. 38).

Insofern gehen wir von Probenentnahmen zur Überprüfung des Gemenges in etwas zu hoch erhitzten kleinen Teilbereichen aus, welche bereits in die Glasphase übergingen, oder um an besonders heißen Stellen des Ofens zufällig ausgeschmolzenes abgetropft Glasgemenge. Es versteht sich, dass man einerseits das Vorprodukt so stark als möglich erhitzen und homogenisieren wollte, andererseits jedoch eine vollkommene Verglasung verhindern musste. Auf diese Thematik gehen die *Schedula Diversarum Artium* ebenso wie Georg Agricola in seinem Werk zum Berg- und Hüttenwesen und die glastechnische Literatur der frühen Neuzeit, so Antonio Neri und Johann Kunckel ausführlicher ein.

Auch bei dieser Ein-Ofen-Anlage bleibt letztlich aus dem negativen Befund heraus ungewiss, auf welche Art von Halbfertig- oder Vorprodukt(en) die Glasmacher tatsächlich abzielten. Auf zahlreichen, insbesondere den frühen ins 12. bis 14. Jahrhundert zu datierenden Waldglashütten einschließlich der Haupthütten stellen Glastropfen nicht allein bei Oberflächensondierungen, sondern selbst bei Ausgrabungen oft die alleinigen oder doch fast die einzigen nicht völlig korrodierten und damit nach konventioneller Auffassung für Analysen geeigneten Gläser dar (Stephan 2010; Maus, Jenisch 1999).

Am wahrscheinlichsten ist nach Abwägung aller infrage kommenden Möglichkeiten die Herstellung einer Fritte als Arbeitsziel und Vorprodukt für die Glasschmelze in einer Haupthütte. Die Fritte erschmolz man ganz offensichtlich im Mittelalter (wie auch in der Antike, seinerzeit in großen Tanköfen, welche seitlich von unten her beheizt wurden) üblicherweise nicht in Glashäfen, allerdings auch nicht ebenerdig wie in der Antike, sondern

auf einer zweiten Ebene über dem Gewölbe des gemauerten Feuerungskanal. Letzteres erschwert allerdings die Nachweischancen im archäologischen Befund erheblich. Recht gut vorstellbar wäre etwa eine Partialschmelze auf einer Wanne oder Lehmtenne oberhalb des Steingewölbes. Allerdings fanden sich dafür keine gesicherten bzw. von uns erkannten Relikte.

Aus der frühen Neuzeit ist überliefert, dass man die erstarrte noch inhomogene, poröse Fritte abschreckte, in kleine Teile zerschlug und dann vielfach über längere Zeit hinweg der Witterung aussetzte, damit diese durch Regen, Schnee und Bodenfeuchtigkeit quasi natürlich so weit als möglich gereinigt wurde. Wie dem auch sei, es bleiben hinsichtlich der an diesem Standort erfolgten technischen Vorgänge noch erheblich Ungewissheiten, die letztlich nur unseren weiterhin unvollständigen Kenntnisstand derartiger grundlegend wichtiger prozesstechnischer Abläufe im Mittelalter unter Beweis stellen. Für das Weserbergland bleibt noch abschließend zu klären, ob es neben den vermutlich eine Fritte erzeugenden Hütten weiterhin solche gab, in denen man Rohglas herstellte, aber nicht zu Fertigprodukten weiterverarbeitete. Schließlich muss man nüchtern feststellen, dass zumindest aus dem 13. und 14. Jahrhundert auch noch keine Hüttenbefunde vorliegen, welche eindeutig alle Fertigungsschritte vollzogen haben.

Man kann aber mit ziemlicher Sicherheit sagen, dass es sich bei der untersuchten Anlage am Kleinen Mittelberg um eine Hütte handelt, die keine Glasfertigprodukte, sondern vielmehr ein im Fundspektrum abgesehen von den Glastropfen nicht mehr fassbares Glas-Vorprodukt hergestellt hat, das später auf einer oder mehreren Haupthütten zu Gläsern weiterverarbeitet wurde.



Abb. 80 Ein-Ofen-Anlage am Kleinen Mittelberg. Stark korrodierte eiserne Sichel. Ein Indiz für Landwirtschaft oder Mobilität?

Unter Berücksichtigung der Tatsache, dass im näheren und weiteren Umfeld des Platzes während des Mittelalters keine Rodung für eine Dorfsiedlung erfolgte, mag ein bequemer, rentabler, jedoch für den Wald nicht allzu schädlicher Holzeintrag und den holzbotanischen Untersuchungen gemäß ganz gewiss auch ein Holzeinschlag im engeren Bereich des Kleinen Mittelberges oder räumlich etwas darüber hinaus vielleicht maximal über 3-6 Jahre hinweg umsetzbar gewesen sein. Damit gewinnt man eine annähernde Vorstellung von der alternativ möglicherweise aber auch nur ein bis zwei Jahre langen Verweildauer einer wohl sehr kleinen Gruppe von vielleicht nur drei bis sechs Personen an dieser Stelle.

2.7.3.3. Haushaltskeramik und sonstige Funde



10 cm

Abb. 81 Ein-Ofen-Anlage am Kleinen Mittelberg. Oberteil eines Kugeltopfes mit Schulterriefen (harte hell-scherbige graue Irdenware)



10 cm

Abb. 82 Ein-Ofen-Anlage am Kleinen Mittelberg. Oberteil eines kleinen Kugeltopfes (klingend harte graue Irdenware)

Mit entscheidend für die zeitliche Einordnung und die Einschätzung der Betriebszeit sowie Betriebsgröße ist wie stets vor allem die Gebrauchskeramik, die sich bei den Grabungen am Kleinen Mittelberg in doch recht stattlicher Zahl fand. Es handelt sich bei den Funden fast ausschließlich um die für den Zeitraum von etwa 1150-1500 in weiten Teilen Europas verbreitete reduzierend gebrannte unglasierte Irdenware. Die wichtigste Leitform bildet als Universalgefäß des Mittelalters vor allem für das Kochen und die Bevorratung, der Kugeltopf. Bei den ersten Sondierungen ab 2001 waren bereits mehrere Wandstücke und das größere Bruchstück eines kleinen gehenkelten Kugeltopfes oder eines bauchigen Tafelgeschirrs aus hell-scherbiger harter grauer Irdenware der Zeit ab etwa 1220 gefunden worden. Das für Oberflächensondierungen an einem derartigen Fundplatz recht beachtliche Aufkommen von immerhin 12 teils technologisch und typologisch einigermaßen aussagekräftigen Bruchstücken harter grauer Irdenware mit Schulterriefen legte zumindest ansatzweise eine Datierung ins 13. Jahrhundert nahe (Abb. 81).

Durch die Grabungen in den Jahren 2016/2017 vermehrte sich der Gesamtbestand der Gebrauchskeramik auf 713 Fragmente (4300 g), die teils zusammengefügt werden konnten. Daraus erstellten wir etwa 500 Datensätze. Allerdings gibt es für zahlreiche gerade auch der signifikanten Gefäßfragmente nach Machart und formalen Merkmalen definitiv keine exakten Entsprechungen im ausgegrabenen Fundbestand, so dass insgesamt gewiss von einer recht hohen Anzahl von Gefäßen auszugehen ist. Schätzungsweise ist mit mindestens etwa 50-80 oder auch noch etwas mehr ehemals vorhandenen Gefäßen zu rechnen.

Von Bedeutung für die Datierung und die weiterführende kulturgeschichtliche Auswertung der Gebrauchskeramik ist der vergleichsweise sehr gute Forschungsstand für die regionale Keramik und Töpferei des 12./13. Jahrhunderts (hierzu und zum Folgenden: besonders König 2009; Stephan 1979a; Stephan 1979b; Stephan 1995b; Stephan 2000a; Stephan 2000b; Stephan 2012b mit Lit.). Hinzu kommt noch, dass gerade diese Epoche von zahlreichen Innovationen geprägt war, welche eine weitaus präzisere Einordnung erlauben als es für die meisten anderen Zeitabschnitte des Mittelalters möglich ist und in diesem Zeitraum die Mehrzahl der auch nachfolgend regional bedeutenden Töpfereien bzw. Töpferorte entstand (Stephan 2000b; Stephan 2012b).

Auf dieser soliden Basis ist nach zahlreichen regionalen Vergleichsfunden eine Provenienzbestimmung der Gefäßfragmente und eine grobe Datierung etwa ins zweite Viertel des 13. Jahrhunderts unzweifelhaft. Dem Fehlen von Dellen- und anderen schlichten Eindruck-

dekoren auf der Schulter zufolge ist eine Zeitstellung um 1200 auszuschließen. Für die nähere zeitliche Einordnung außerordentlich wichtig ist weiterhin die Beobachtung, dass Kugeltöpfe mit glatten Schulterzonen fehlen, anders als etwa auf der Waldglashütte Steimcke im Bramwald (Stephan 1995b). Dies unterstreicht die Datierung zweifellos nach etwa 1200, eher noch in die Zeit ab 1210/1220.



Abb. 83 Ein-Ofen-Anlage am Kleinen Mittelberg. Fragmente eines mittelgroßen mit Vertikalstempeldekor versehenen Kruges



Abb. 84 Ein-Ofen-Anlage am Kleinen Mittelberg. Fragment von heller grauer Irdenware jüngerer Machart mit Rollstempeldekor

Für eine Datierung frühestens etwa in die 1220er Jahre spricht weiterhin das Vorkommen eines mittelgroßen mit Vertikalstempeldekor versehenen Kruges vom südostwestfälischen Typ, auf den nun näher einzugehen ist (Abb. 83). Nahe kommen diesem besonderen Krug aus der Glashütte am Kleinen Mittelberg von der Beschaffenheit des Scherbens her zahlreiche in Ortswüstungen gefundene Gefäßfragmente aus dem Raum Steinheim-Lügde-Schieder (Gerking 1986; Halle 1992; Stephan 1979b; Stephan 2003b). Der RFA zufolge passt das Spurenelementmuster der Gefäßfragmente mit Vertikalstempel zu keinem der bisher bekannten Muster regionaler Töpfereien im engeren Oberweserraum, sondern setzt sich deutlich davon ab. Es stimmt jedoch bis auf einen erhöhten Eisengehalt, der möglicherweise auf die Bodenlagerung zurückzuführen ist, mit morphologisch sehr ähnlichem Töpfereiabfall aus Neuenheerse und Fundmaterial von der Stadtwüstung Stoppelberg überein (Stephan 2003b).

Im vorliegenden Falle liegt insofern zumindest die Vermutung nahe, dass dieses ganz besondere, im Solling geradezu exotisch wirkende Tafelgefäß ein indirektes Indiz für die vorhergehende Tätigkeit der am Kleinen Mittelberg im Solling tätigen Glasmacher z. B. im Gebiet um Schieder und Blomberg, bei Sandebeck oder bei Bad Driburg-Neuenheerse bereits in der Zeit um 1230/1250 darstellt. Diese in der frühen Neuzeit bis ins 18./19. Jahrhundert hinein bezeugten Aktivitätszonen sind ansonsten bislang nur an der Egge bei Bad Driburg-Altenbeken im 12. Jahrhundert archäologisch und sodann erst vereinzelt ab etwa 1400/1550 schriftlich und schließlich in der frühen Neuzeit klar als wichtigste Glasmacherregionen in Westfalen belegt (Bergmann 2008; Krawinkel 1933; Wichert-Pollmann 1963; Stephan 2014).

Der RFA zufolge hat man die im Scherben helle graue Irdenware, insbesondere die mit horizontal umlaufenden reichen Rollstempeldekoren verzierten Tafelgeschirre der Waldglashütte am Kleinen Mittelberg (Abb. 84) weitestgehend nicht aus dem Raum Fredelsloh im Solling, sondern aus dem Reinhardswald importiert. Der auffällig hohe Anteil der Erzeugnisse aus dem Reinhardswald auf der Glashütte am Franzosenweg könnte sehr wohl damit zusammenhängen, dass schon in der Mitte des 13. Jahrhunderts etliche Glasmacher häufiger zwischen Standorten im Solling und dem Reinhardswald wechselten. Zumindest aber müssen Austauschbeziehungen bestanden haben zwischen den Herstellern von Vorprodukten und den Inhabern von Haupthütten. An dieser Stelle ist es wichtig, darauf hinzuweisen, dass im Reinhardswald bislang fast ausschließlich Ein-Ofen-Anlagen des 13./14. Jahrhunderts aufge-

funden wurden, während im Solling eine stattliche Anzahl von Glas verarbeitenden Haupt-
hütten bekannt sind. Insofern wären enge Austauschbeziehungen besonders naheliegend.

Es erweist sich weiterhin einmal mehr, welch großes bisher europaweit allzu wenig
beachtetes, geschweige denn in einer dem Gegenstand angemessenen Weise umfassend
genutztes Potential für die Keramikforschung und darüber hinaus allgemeiner für die
Kulturgeschichte der kleinen Dinge bzw. das Alltagsleben und die Umweltgeschichte in den
Bodenfunden aus den extrem kurzlebigen Waldglashütten steckt. Die im Vorfeld aufgrund
relativ weniger Keramikfunde vermutete zunächst zwangsläufig noch relativ unsichere bzw.
weit gesteckte Datierung ins 13. Jahrhundert konnte grundsätzlich bestätigt, stichfest
begründet und erheblich auf um 1230-1250 präzisiert werden.

2.7.3.4. Perspektivischer Ausblick zu Nebenhütten/Ein-Ofen-Anlagen

Keine andere Ein-Ofen-Anlage im Solling oder irgendeiner anderen mitteleuropäischen
Glasmacherregion ist derzeit mit guten Gründen derart exakt datierbar und im Befund
eindeutig erfasst sowie funktionell weitgehend sicher angesprochen worden. Damit ist ein
neuer guter Anhaltspunkt für die bisher fast durchweg nur vage zu erahnende zeitliche
Einordnung der nicht allein im Weserbergland so überaus zahlreichen Anlagen dieser Art
gewonnen. Es ist unbedingt anzustreben, weitere „Nebenhütten“ zu erforschen, um noch
mehr derartige weiterführende und gewiss in vielerlei Hinsicht hochspannende Einsichten in
die Ökologie, die Produktions- und die Lebensweise der Glasmacher zu gewinnen. Auch das
Potential für gut begründete Rückschlüsse auf frühe schriftlich nicht belegte interregionale
Verflechtungen und wirtschaftliche Raumstrukturen in der mittelalterlichen Glasmacherei ist
durchaus überraschend und höchst aufschlussreich. In Deutschland wurden ansonsten bislang
lediglich ein oder allenfalls zwei Ein-Ofen-Anlagen ausgegraben.

Keinerlei nähere Informationen, welche eine substantielle Beurteilung ermöglichen, gibt es
über einen vor Jahrzehnten von einem Förster bei Lembach im Bayerischen Wald (Landkreis
Grafenau-Freyung) freigelegten Ofen, welcher 3,2 m hoch (lang?) sowie 3,1 m breit und innen
angeblich stark angeschmolzen war (Wolf 2003). Funde fehlen offenbar gänzlich, eine C-14
Datierung soll auf den Zeitraum von 1430-1470 hinweisen. Es erscheint daher fraglich, ob es
sich wirklich, wie ohne hinreichende Begründung gemutmaßt, um das Relikt einer Glashütte
und ganz konkret um einen Frittofen handelt.

Ansonsten ist noch auf die Waldglashütte am Heiderkopf im Reinhardswald zu verweisen, die
zweifelsfrei als Ein-Ofen-Anlage unter einem ungewöhnlich großen etwa 5 mal 6 m großen
rundlichen Schutthügel anzusehen ist. Darunter wurde ein etwa hufeisenförmiger stattlicher
Ofen mit Glasfluss auf einigen Steinen freigelegt, welcher ähnlich wie der Ofen am Kleinen
Mittelberg im Solling deutlich größer ist als die Mehrzahl der bekannten Glasschmelzöfen auf
Hauptstätten des 13. Jahrhunderts. Allerdings ist der Ofen auf den bisher veröffentlichten
Fotos nur partiell bzw. ausschnitthaft erkennbar. Es fanden sich dort neben etwas
Gebrauchskeramik angeblich einige wenige Glastropfen sowie auch einige Fragmente
möglicherweise von Glashäfen (Recker 2003a; Recker 2003b; Recker 2003c). Letzteres
erscheint allerdings höchst fraglich (so auch Roland Henne mündlich). Von einer angeblichen
Hafenbank ist in späteren Publikationen ebenso wie von Häfen nicht mehr die Rede (Recker
2012). Die Datierung ist wohl etwa ins 13. Jahrhundert anzunehmen, eine wissenschaftlich
fundierte, hinreichend gut nachvollziehbare Begründung mit angemessener Dokumentation
und Fundvorlage steht allerdings noch aus.

2.7.4. Spätmittelalterliche Waldglashütte im Kreickgrund bei Bodenfelde



Abb. 85 Blick auf die Grabungsstelle der spätmittelalterlichen Glashütte Bo 5. Im Hintergrund der historische Glasmacherort Polier, links der Fuß des Glaseberges

Die Ausgrabung der Glashütte der ersten Hälfte des 15. Jahrhunderts auf einem plateauartig ausgeprägten Wiesengelände am unteren Lauf eines namenlosen ganzjährig Wasser führenden Baches nördlich der Talerweiterung von Bodenfelde erfolgte 2012-2016 (Stephan 2013b; Stephan 2014; Stephan 2015b; Myszka, Stephan 2016). Der Platz liegt 100 m östlich der Landesstraße 551, unweit von Amelith-Polier im Nahbereich der Dorfwüstung Bredenbeke, welche jedoch zur Betriebszeit der Waldglashütte vermutlich bereits seit längerer Zeit verlassen war (Abb. 19; Stephan 2010). Im oberen Abschnitt des Reiherbachtals liegt in nicht allzu großer Entfernung die vor 1144 errichtete ehemalige gräfliche Burg Nienover. Sie wurde im 15. Jahrhundert nach langen Phasen der Verpfändung des 1303 eingerichteten Amtssitzes der Herzöge von Braunschweig-Lüneburg von Herzog Otto Cocles wieder intensiver genutzt (Streich 1996; Weise 1989). In vier Grabungskampagnen konnten der zentrale Produktionsbereich der Glashütte mit einem Hauptofen und zwei Nebenöfen, wie auch Teile der am Südrand der Fundstelle, vornehmlich am Hangfuß in direkter Nähe des Baches lokalisierten, ziemlich umfangreichen Produktionshalde freigelegt werden.

Im Rahmen des Waldglasprojektes der DBU war es ab 2015 unser gemeinsam mit den Restaurierungs- und Konservierungswissenschaften formuliertes und vorrangig angestrebtes Ziel, Verfahrensweisen für die möglichst schonende Bergung, Erstversorgung, Konservierung und Restaurierung von bei Ausgrabungen gefundenen, durch Umwelteinflüsse mehr oder minder stark geschädigten Holzasche- und Holzaschekalkgläsern zu entwickeln. Die wissenschaftlichen Mitarbeiter Diplom-Restauratorin Olga Emgrund (HTW Berlin) und Sören Siebe, M. A. (Universität Bamberg), begleiteten zeitweise die Grabungsarbeiten, um Glasfunde für Analysen zu nehmen und gemeinsam mit uns vor allem Methoden der schonenden Bergung sowie Erstfundbehandlung zu erproben und zu erklären (s. Beiträge der HTW Berlin und der Universität Bamberg). Dabei wurde das umgebende Bodenmilieu auch unter umweltgeschichtlichen Fragestellungen in Hinblick auf Schadstoffanreicherungen und deren mögliche Auswirkungen auf die Erhaltung der Gläser untersucht. Bislang lag der Fokus der Restauratoren und der Restaurierungswissenschaften bezüglich mittelalterlicher abendländischer Gläser auf der Behandlung von obertägig erhaltenen Fensterverglasungen und musealem Material. Die Erhaltung derartiger nicht fortlaufend durch starken Wechsel von Feuchtigkeit und Trockenheit belasteter Artefakte ist in der Regel deutlich besser.

Aus der Perspektive unseres neuartigen interdisziplinären Forschungsprojektes zusammen mit den Denkmal-, Konservierungs- und Restaurierungswissenschaften war das Ziel der

Grabungskampagnen 2015/2016 primär, Holzaschegläser in verschiedenen Erhaltungszuständen im Fundmilieu besonders sorgfältig zu erfassen, zu dokumentieren, zu bergen und auch bei nicht zu vermeidender Abwesenheit der Restauratorin an die Projektpartner aus Berlin und Bamberg adäquat zwischenzulagern und zumindest in einer repräsentativen Auswahl besonders aussagekräftiger Fundstücke auch zeitnah zu übergeben.

Dabei wurde von vornherein eine möglichst gemeinsam entwickelte materialschonende, den Erfordernissen einer transdisziplinären archäologischen Lehr- und Forschungsgrabung voll angemessene Arbeitsweise angestrebt, in mehreren Schritten erfolgreich erprobt und so weit als möglich auch praktiziert. Im Rahmen der nachfolgenden Fundbearbeitung ergab sich einiger Diskussionsbedarf zur Absicherung und Absprache einer als optimal anzusehenden Herangehensweise. Weiterhin wurden Bodenproben zur Klärung der Bodenbelastung und möglicher Umweltschädigungen fragiler Materialien entnommen und seitens der Bamberger Arbeitsgruppe analysiert (s. Beitrag von Sören Siebe).

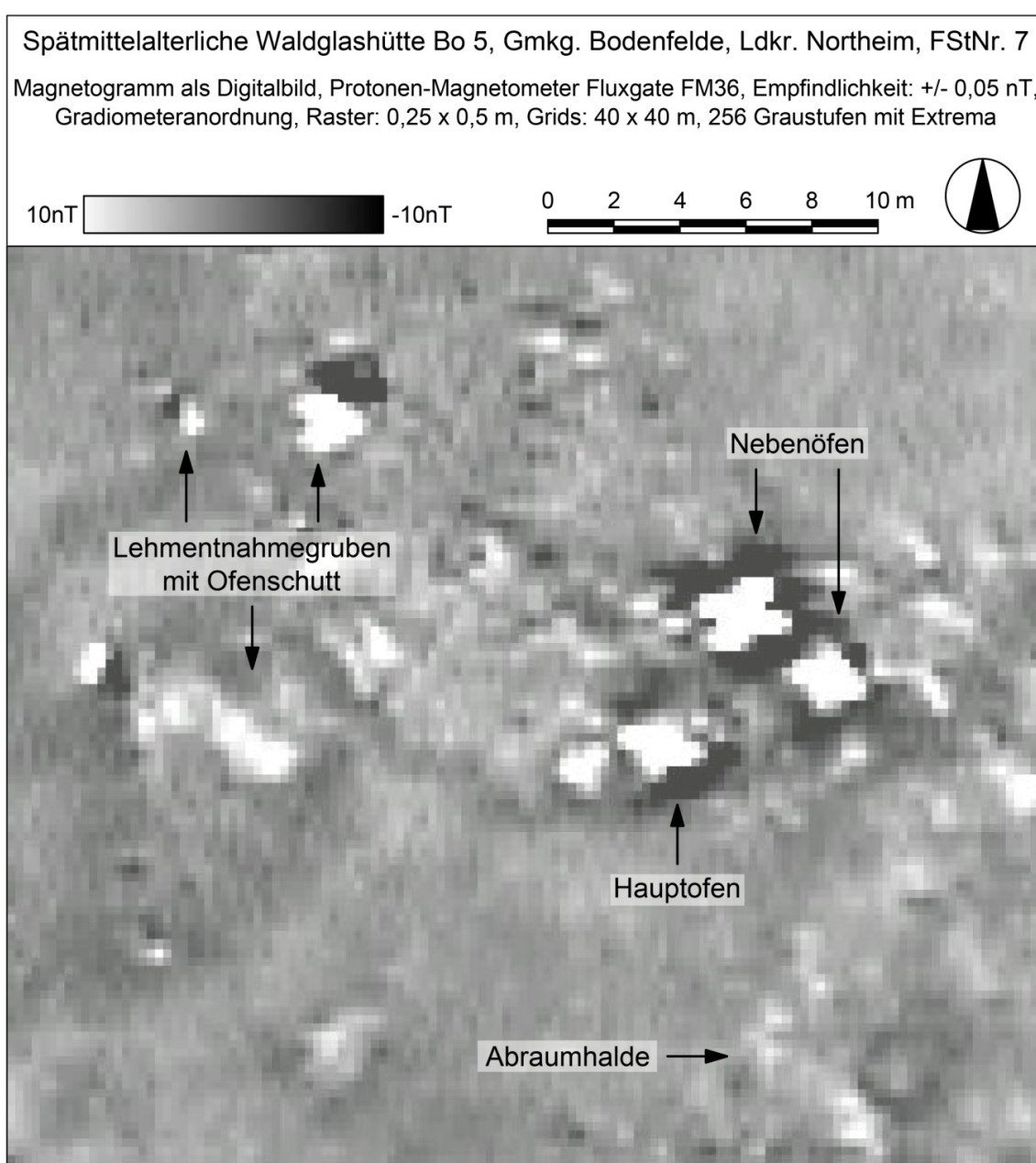


Abb. 86 Spätmittelalterliche Glashütte Bo 5. Ergebnis der geomagnetischen Prospektion der Fundstelle (nach Reich 2012, Myszka 2019)

Aus archäologischer Sicht galt es mit den 2015 und 2016 durchgeführten Grabungskampagnen, die nach Prospektionen vor allem im Westen und Norden des Fundplatzes gelegenen, bis dahin erst ansatzweise ausgegrabenen Randbereiche der Glashütte zu untersuchen. Dort waren im Zuge der 2012 durchgeführten geomagnetischen Prospektion der Fundstelle große und starke Anomalien beobachtet worden (Abb. 86), deren weiterführende Interpretation ohne eine archäologische Ausgrabung und Auswertung der Befunde und Funde nicht in befriedigender Art und Weise möglich war.



Abb. 87 Spätmittelalterliche Glashütte Bo 5. Profilschnitt durch eine U-förmige mit Ofenschutt verfüllte Lehmentnahmegrube

Die meisten Anomalien stellten sich als zum Teil große, mit Ofenschutt, technischer Keramik und Produktionsabfällen verfüllte Lehmentnahmegruben heraus (Abb. 87). Da diese sehr viele sowohl relativ gut erhaltene, als auch aus zum Teil stark korrodierte Glasfunde wie Bruchstücke roher Glasmasse, Glastropfen, Pfeifenabschläge und andere Produktionsabfälle, in kleinerem Umfang aber auch Glasscherben enthielten, schaffte ihre Untersuchung eine hervorragende Grundlage für die Durchführung der erforderlichen chemischen Analysen und die Entwicklung neuer Bergungs-, Aufbewahrungs- und Konservierungsmethoden.

Die auf dieser Fundstelle ziemlich schlecht erhaltenen, nur sehr schwer interpretierbaren Ofenbefunde wurden bereits während der Grabungskampagnen 2012-2014 freigelegt. Im Zuge der 2015 durchgeführten Ausgrabung wurden keine weiteren Relikte glastechnischer Ofenanlagen angetroffen. Im Bereich einer östlich des Hauptofens angelegten Sondage, wo in der Geomagnetik eine längliche, von Nordwest nach Südost verlaufende Anomalie erkennbar gewesen war, wurde nach dem Entfernen des Oberbodens und der durch Hangerosion angeschwemmten Lössschicht eine deutliche Konzentration mittelgroßer, teils auch großer Buntsandsteine angetroffen. Da es möglich schien, dass es sich dabei um die Reste des Fundamentes eines weiteren Glasofens oder auch eines Gebäudes handeln könnte, wurde im Sommer 2015 die Sondage durch Anlage einer 37 m² großen Fläche erweitert. Nach vollständiger Freilegung erwies sich der Befundkomplex als unregelmäßige, ca. 2,6 mal 2 m

große Steinschüttung in einer flachen Grube. Diese bestand vorwiegend aus großen Sandsteinen, deren Oberflächen meistens keine Hitzeeinwirkung aufwiesen (Abb. 88). Darunter befanden sich u. a. zwei Hälften eines nahezu fertiggestellten, aber offenbar kurz vor der Vollendung zerbrochenen großen runden Schleifsteins (Abb. 89) sowie zwei Fragmente von Halbfertigfabrikaten angefangener Schleif- oder Mahlsteine, die bereits in einer frühen Phase der Bearbeitung zu Bruch gegangen waren.



Abb. 88 Spätmittelalterliche Glashütte Bo 5. Fläche 4. Steinschüttung mit Fragmenten bearbeiteter Sandsteine – kein Ofen



Abb. 89 Spätmittelalterliche Glashütte Bo 5. Zwei Fragmente eines zerbrochenen halbfertigen Schleifsteins

2.7.4.1. Glas

Die Häufigkeit der Glasfunde ist wesentlich größer als bei Glashütten aus dem 13. Jahrhundert und deutlich geringer als bei jüngeren Glashütten der Zeit ab etwa 1500. Bedingt durch den relativ hohen Anteil von Holzasche als Flussmittel zur Herabsetzung der Schmelztemperatur der Glasmasse auf schätzungsweise etwa 1100-1200 Grad für die traditionellen einfachen Holzaschegläser und ca. 1250-1350 Grad Celsius für Kalium-Calcium-Gläser sind die Gläser mehr oder auch weniger stark angegriffen. Teils wohl infolge zu geringer Gehalte an Stabilisatoren (Calcium) sowie das wechselfeuchte Bodenmilieu ist das gängige hoch- und spätmittelalterliche deutsche Holzascheglas generell, so auch hier, in der Regel ziemlich schlecht erhalten. Daneben kommt jedoch mit deutlich zunehmender Tendenz im 15. Jahrhundert auch besser erhaltenes Waldglas vor, bei dem es sich analytisch zumeist um „Holzasche-Kalk-Glas“ (nach Wedepohl 2003; Wedepohl, Simon, Kronz 2011) handelt. Beide Glastypeen bzw. Glaserhaltungen, mit einer Vielzahl von Übergängen, fanden sich auf der Glashütte im unteren Kreickgrund bei Bodenfelde.

Nicht selten verschlechtert sich der Zustand des Fundmaterials durch Trocknung bereits während der Freilegung, unmittelbar oder doch ziemlich rasch nach der Bergung. Als bald setzt ein kaum mehr aufzuhaltender Zerfallsprozess ein, der bis zur völligen Zersetzung des Glases führen kann. Die im Fokus des Projektes stehenden restaurierungswissenschaftlichen, geochemischen und umwelthistorischen Fragestellungen zum Umgang mit dem fragilen Werkstoff Glas können und sollen von Seiten der Archäologie an dieser Stelle zunächst nur ganz kurz angesprochen werden. Sie waren und sind Gegenstand restaurierungs- bzw. naturwissenschaftlicher Untersuchungen in unserem Kooperationsprojekt (s. die Beiträge der Arbeitsgruppen der HTW Berlin und der Universität Bamberg).

Unter den Glasfunden der spätmittelalterlichen Waldglashütte bei Bodenfelde-Polier befanden sich vor allem Produktionsabfälle – grüne, blaue, gelbliche und vereinzelt auch rote Glaspfropfen sowie die meistens stark zersetzten Bruchstücke roher Glasmasse, bei denen es

sich wohl vorrangig um die von Böden der Glashäfen abgeschlagenen Reste erstarrter Glasmasse handeln wird. Das Spektrum der Glasfunde von der Hütte im unteren Kreickgrund wird durch die relativ selten vorkommenden andersartigen hüttentypischen Produktionsreste wie Pfeifenabschläge, Köbelansätze und abgeschnittene Ränder von Flachglaszylindern ergänzt.



Abb. 90 Spätmittelalterliche Glashütte Bo 5. Gut erhaltenes grünes, blaues, gelbes, rot überfangesenes und violetttes Fensterglas

Bei den Fertigprodukten überwiegen ganz deutlich Flachglasfragmente in den folgenden vielfältig variierenden Farbnuancen: grün, leuchtend dunkelgrün, blau, im Kern hellgrün, jedoch violett und rot überfangen. Von den 698 aufgenommenen Flachglasscherben (1190 g) sind 592 Fragmente (1060 g) grün, 77 (75 g) blau, 24 grün mit rotem Überfang, 2 (3,9 g) gelb und 2 (3,4 g) violett (Abb. 90). Die Scherben sind sowohl stark wie auch mehr oder minder mäßig korrodiert, gelegentlich auch, allerdings deutlich seltener, relativ gut erhalten. Bei den sicher ansprechbaren Fertigprodukten handelt es sich fast durchweg eindeutig um im Zylinderblasverfahren hergestelltes Fensterglas. Bemerkenswert sind vereinzelt Reste von Butzenscheiben sowie offenbar durch starke Korrosion nur noch wenige Millimeter starkes Flachglas.



Abb. 91 Spätmittelalterliche Glashütte Bo 5. Kleiner Ausschnitt aus dem reichen Fundgut: Glastropfen und andere Produktionsrelikte

Der bereits frühzeitig gewonnene Eindruck, dass die Glashütte vor allem auf die Fensterglasherstellung spezialisiert war, kann aufgrund der mehrfachen gründlichen Sichtung der Vielzahl der geborgenen Glasfunde vollauf bestätigt werden. Aufgrund des hohen Fragmentierungsgrades ist die Zuordnung zu bestimmten Formen bedauerlicherweise weitestgehend nicht möglich. Zu den wenigen zumindest grob ansprechbaren Gefäßtypen zählen dünnwandige Flaschen mit schlankem langem Hals. Eindeutige Bruchstücke von für das 15. Jahrhundert zeittypischen Formen wie Kreuzrippenbechern und (runden) Stangengläsern mit oder ohne Fadenaufgaben fehlen. Zumal auch bei den Fenstergläsern Exemplare mit gekröselten Kanten, also von Segmenten in Bleirahmen gefasster Fenster vorkommen, bleibt derzeit ohne naturwissenschaftliche Analysenserien ungewiss, inwieweit Recycling oder Hüttenfertigung vorliegt. Auffällig viele zylindrische und meist dünnwandige Hohlglasbruchstücke sind mit großer Wahrscheinlichkeit Trinkgefäßen zuzuordnen. Sie weisen Durchmesser von ca. 5-13 cm auf, immerhin ein Viertel dieser Scherben sind aus blauem, alle anderen aus grünlichem Glas gemacht. Bei einigen, größtenteils blauen kugeligen Wandungsscherben, die zumindest teilweise Flaschen zuzuordnen sind, variieren die Durchmesser zwischen ca. 3 und 15,5 cm. Dreizehn Fragmente hochgestochener Böden, davon zehn grüne und drei blaue, zeigen Bodendurchmesser von 3,5-8 cm. Neben Trinkgefäßen wurden auch neun dünnwandige Glasröhrchen-Fragmente mit Durchmessern von 0,5-2,2 cm erkannt.

In der spätmittelalterlichen Glashütte bei Bodenfelde ist eine in der Region des Weserberglandes ansonsten ungewöhnliche Spezialisierung auf Fensterglas festzustellen. Dies, wie auch der sehr beachtliche Anteil von Farbglas, könnten Indizien für eine primär den letzten Welfenherzog des Fürstentums Göttingen Otto IV. im nahen Uslar beliefernde „Hofglashütte“ sein. Bemerkenswert ist weiterhin die zumindest partielle bis dahin weniger übliche stärkere Ausrichtung auf die Fertigung von korrosionsbeständigerem hochwertigerem „Holzasche-Kalk-Glas“ anstelle von traditionellem einfachem Holzascheglas, das allerdings weiterhin zum Produktionsspektrum zählte. Wie die Anteile dieser beiden Grundsorten des Glases und auch der Farbgläser konkret einzuschätzen sind, ist nur durch möglichst zerstörungsfreie archäometrische Serienanalysen zu klären.

2.7.4.2. Technische Keramik

2.7.4.2.1. Ofenbauelemente

Auffällig im Vergleich vor allem zu jüngeren Glashütten ist die relativ geringe Zahl der gefundenen Fragmente der Arbeitsöffnungen und insbesondere der dazugehörigen Verschlüsse des

Glasschmelzofens. Letztere werden lediglich durch ein teilweise zusammengesetztes Exemplar und einige kleine Bruchstücke repräsentiert. Immerhin konnten aber doch etliche überwiegend nicht sonderlich gut erhaltene Fragmente der Rahmen und Verschlüsse von Arbeitsöffnungen des Glasschmelzofens geborgen werden. Es ist anzunehmen, dass weitere Bruchstücke in den nicht ausgegrabenen Teilen der Produktionsschutthalde am Bachrand und in nicht untersuchten Randbereichen der Glashütte verborgen sind. Es fällt auf, dass man auf dieser Hütte wohl parallel zwei unterschiedliche Arten von Rahmen der Arbeitsöffnungen verwendet hat. Bei der ersten Variante handelt es sich um dünne, sorgfältig aus Hafenton hergestellte Rahmen, die durch ihre rundliche Form eher archaisch wirken. Die zweite Variante stellen massive, ovale, aus gewöhnlichem Lehm gefertigte Rahmen dar, die in einer etwas weniger massiven Variante bereits auf der romanischen Glashütte „Im Rumohratal“ vorkommen und sowohl auf der frühneuzeitlichen Glashütte „Am Lakenborn“ als auch auf deutlich jüngeren Glasmanufakturen weit verbreitet waren.

2.7.4.2.2. Glasschmelzgefäße



Abb. 92 Spätmittelalterliche Glashütte Bo 5. Weitgehend erhaltener Glashafen.
Höhe: 18,5 cm; Durchmesser Rand: 40 cm; Durchmesser Boden: 24 cm

Bei den vier Grabungskampagnen wurden 6358 Fragmente (ca. 870 kg), also große Mengen an kleinen, mittelgroßen und großen Bruchstücken von Häfen geborgen. Generell bestand in Hinblick auf das Volumen der Großteil der geborgenen Funde aus Fragmenten der formal und größenmäßig recht einheitlich ausgeprägten schalenförmigen, relativ niedrigen Glasschmelzgefäße mit stark konisch zur Mündung hin sich erweiternder Wandung und einer runden, schlicht ausgeprägten Randpartie von ca. 40 cm Durchmesser, einem Bodendurchmesser von ca. 25 cm und einer Höhe von ca. 20 cm (Abb. 92). Man kann somit von einer gewissen Normung der handaufgebauten Häfen sprechen, die sich deutlich von dem größeren Variantenreichtum auf hochmittelalterlichen Glashütten der Region unterscheidet. Bei den nicht eben zahlreichen andersartigen Fragmenten könnte es sich eventuell um Bruchstücke kleiner Proberhäfen handeln.

Die in der Aufsicht breiten runden, dickwandigen Häfen besitzen üblicherweise deutlich größere Formate als im Hochmittelalter, sie sind tendenziell in der Gefäßkontur konisch zur Mündung hin erweitert und nicht sonderlich steilwandig. Der Rand ist wenig ausgeprägt, allenfalls leicht verdickt und schwingt nur schwach nach innen ein. Die ermittelten Raddurchmesser variieren zwischen 35 und 55 cm, die gängigsten Größen liegen bei ca. 45 und 40 cm, seltener bei ca. 35 und ca. 50 cm. Die Bodendurchmesser betragen ca. 22-35 cm mit deutlichem Schwerpunkt bei ca. 22 und ca. 26 cm, die Höhe ist nur selten zu ermitteln. Der Scherben ist üblicherweise grau, aber auch gelbe Scherbenkerne sind keineswegs selten. Das Volumen der gängigen Häfen muss noch genauer ermittelt werden, es mag bei etwa 15-20 bzw. 20-25 Litern gelegen haben. Die Füllhöhe wird aus praktischen Gründen etwas geringer gewesen sein.

Nach archäologischen Funden und Befunden von Ausgrabungen auf Glashütten, die in Deutschland allerdings fast ausschließlich dem ausgehenden Mittelalter, der Zeit um 1440 bis 1520 angehören, wurden seit dem 15. Jahrhundert deutlich größere und zumeist steilwandigere Schmelzhäfen für die Glasmasse verwendet als zuvor üblich, das Volumen erreichte bis zu etwa 60 Liter (Černá 2016; Frommer, Kottmann 2004; Horat 1991; Lang 2001; Kurzmann 2004; Stephan 2003; Steppuhn 2009; Steppuhn, Berg 2006; Steppuhn, Berg 2011; Tarcsay 2009).

Die Häfen fassten mit im Laufe des 15. Jahrhunderts nunmehr deutlich zunehmender Tendenz immer mehr Glasmasse und auch die Schmelzöfen, die generell deutlich größer sind als im 12. und 13. Jahrhundert boten Platz für eine größere Anzahl von Häfen, die Zahl der Nebenöfen nahm tendenziell deutlich zu. Die Hütten wurden allem Anschein nach vielfach größer und wohl auch langlebiger. Dies dürfte mit den höheren Investitionen zusammenhängen, die für die Produktion von bei höheren Temperaturen erschmolzenen stärker calciumreichen, und damit verwitterungsresistenteren Gläsern und das Experimentieren vor allem auch mit Farbgläsern notwendig waren.

In das 15. Jahrhundert gehört der große Aufschwung der Glasproduktion im Kaufunger Wald und der Aufstieg Großalmerodes als Ort nahezu einzigartig hochwertiger technischer Keramik. Es galt demnach nicht zuletzt auch zu klären, inwieweit das jahrhundertlang aufgrund der schriftlichen Überlieferung des 16./17. Jahrhunderts vertretene Dogma der Vorherrschaft des Hessischen Glasmacherbundes mit Sitz in Großalmerode aufgrund des Hafentonmonopols etwa 100 Jahre zuvor bereits bestand. Rein optisch-haptisch ist eine sichere Bestimmung der Herkunft der Häfen bzw. des Hafentons nicht möglich. Wir haben dies deshalb anhand der Funde von der spätmittelalterlichen Waldglashütte bei Bodenfelde-Polier archäometrisch überprüft. Das Ergebnis war ernüchternd und andererseits methodisch von erheblicher Bedeutung, denn es zeigte sich, dass die Orientierung (allein) an jüngeren Schriftzeugnissen und die daraus oft resultierenden Vermutungen zur Rückschreibung in ältere Zeiten große Gefahren birgt. Keine der mit der zerstörungsfreien RFA analysierten Proben wies das Elementmuster des berühmten hochwertigen Großalmeroder Glashafentons auf (Stephan, Wilke 2018). Damit bleibt die Herkunftsfrage weiterhin offen.

2.7.4.2.3. Model

Hinsichtlich der ansonsten im vorliegenden Falle nur äußerst schwer methodisch einwandfrei zu klärenden Fragenkreise um die mögliche Fertigung von Hohlgläsern auf der spätmittelalterlichen Glashütte bei Bodenfelde von entscheidender Bedeutung sind einige Model, die meist einen gelblichen, feinen porösen Scherben zeigen. In der extremen Seltenheit solcher Funde im Kreckgrund dokumentiert sich in Analogie zu den wenigen eindeutigen Hohlglasfunden der vermutlich geringe Umfang der Hohlglasproduktion. Allerdings ist anhand der Model der unzweifelhafte Nachweis der Hüttenproduktion von dekorierten Hohlgläsern erbracht, von

denen ansonsten nichts zu erahnen wäre. Von daher gesehen ist dieser Produktionssektor im einwandfrei fassbaren Glasbestand wohl doch nicht hinreichend repräsentiert und von besonderem Interesse. Er ist typologisch noch weit entfernt von dem durch Bodenfunde auf Waldglashütten und Funde aus dem städtischen Verbrauchermilieu recht gut fassbaren spätgotischen Formenspektrum des ausgehenden 15. und frühen 16. Jahrhunderts.



Abb. 93 Spätmittelalterliche Glashütte Bo 5. Gerades leistenartiges, auf der Oberseite gezahntes Model aus rosafarbenem, stark gemagertem Hafenton

Leider nur fragmentarisch erhalten ist ein vom Typus her aus spätmittelalterlichen und vor allem frühneuzeitlichen Glashütten gut bekannter, wohl aus Hafenton gefertigter feinteiliger Einblas-Rippenmodel, der als eindeutiger Nachweis der Hohlglasproduktion und der Anwendung der modelgeblasenen Dekore auf dieser Glashütte gelten kann. Ein weiteres planes Modelbruchstück mit einem X-förmigen tief eingeschnittenen Zentralmotiv im rechteckigen Rahmen ist deutschland- und europaweit als Unikat zu bezeichnen. Vermutlich diente es der Verzierung von Tafelgeschirr, am ehesten von Bechern. Nachdem dieses Modelfragment bislang gänzlich unbekannter Art bereits ausführlicher diskutiert wurde (Stephan 2014), fand sich später noch ein ganz andersartiges Fragment eines Models, das ebenfalls ein Unikat darstellt, zu dem europaweit keine Vergleichsstücke bekannt sind. Es handelt sich um ein gerades leistenartiges, auf der Oberseite gezahntes Exemplar aus rosafarbenem, stark gemagertem Hafenton (Abb. 93). Man kann sich fragen, ob hier ganz besondere Model vorliegen, oder ob solche vielleicht doch gelegentlich benutzt wurden, jedoch aus dem Werkstoff Holz gefertigt waren, weshalb sie im archäologischen Fundgut nicht erhalten sind. Für welche Art von Erzeugnissen bzw. Verzierungen man diese Model verwendete, bleibt mangels Analogien derzeit ziemlich rätselhaft. Gewiss kommt nur Hohlglas infrage. Man könnte bei dem leistenartigen Werkzeug beispielsweise an eine Nutzung zur Kerbung von Fußringen an Bechern denken. Allerdings fanden sich bislang keine derartigen Gefäßreste auf der Glashütte.

2.7.4.2.4. Kühlkeramik

Die in frühneuzeitlichen Glashütten geläufige speziell für den Gebrauch auf Glashütten ausgerichtete Kühlkeramik, wie sie etwa am Lakenborn im Solling (1655-1681/82) oder auf

der Großen Niestehütte im Kaufunger Wald im 16./17. Jahrhundert gut vertreten ist, war zur Betriebszeit der Glashütte am Kreckgrund offenbar noch nicht üblich (Stephan 1995a).

2.7.4.3. Gebrauchskeramik

Die Keramikfunde aus der Glashütte bei Bodenfelde gehören noch ganz der spätmittelalterlichen Formenwelt an. Bei der Gebrauchskeramik der Glasmacher spielen neben der traditionellen reduzierend gebrannten grauen Irdeware unglasierte oxidierend gebrannte Irdeware und Steinzeug zahlenmäßig nur eine geringe Rolle, bleiglasierte Irdeware fehlt. Im Zuge der vier Grabungskampagnen wurden insgesamt 3550 Fragmente (34,08 kg) von Gebrauchskeramik geborgen. Die Gesamtzahl aller spätmittelalterlichen Gefäße dürfte unseren Analysen zufolge mindestens etwa 300 bis 400 betragen, möglicherweise bewegt sie sich sogar in der Größenordnung von 500 oder 600 Exemplaren. Damit handelt es sich um einen überraschend umfangreichen, für die noch wenig entwickelte regionale Feinchronologie der Keramik des späteren 14. und 15. Jahrhunderts aufschlussreichen und überaus wichtigen Fundkomplex. Gute Vergleichsmaterialien liegen nicht zuletzt aus Höxter vor (König 2007).

Hinsichtlich der Herkunft der Keramik, insbesondere der Irdeware, erbrachten die archäometrischen Untersuchungen mit der zerstörungsfreien RFA sehr wichtige, z. T. überraschende Ergebnisse (Stephan, Wilke 2019; Stephan 2020). So fällt beim erwartungsgemäß auf einer Glashütte nicht allzu reich vertretenen Steinzeug auf, dass Erzeugnisse aus dem nahe gelegenen Reinhardswald, aber auch aus dem Solling (Fredelsloh) nicht vertreten sind. Die dortige Produktion dürfte allerdings einige Zeit vor 1430 bereits (weitgehend) zum Erliegen gekommen sein. Hingegen kommen Importe von Faststeinzeug und sogar etwas Irdeware aus dem Raum Duingen/Coppengrave vor, dem wichtigsten niedersächsischen Zentrum der Fertigung von Steinzeug im Mittelalter (Stephan 2012b). Gleiches gilt für das nahezu im gesamten Handelsraum der spätmittelalterlichen Hanse vornehmlich über Kölner und später auch niederländische Kaufleute verbreitete Siegburger Steinzeug. Hingegen könnte das Vorkommen von Tafelgeschirr aus bräunlichem Faststeinzeug bzw. klingend hart gebrannten Irdewaren mutmaßlich aus Nordhessen mit besonders engen Beziehungen der Glasmacher in diesen Raum zusammenhängen. Stattdessen fehlt Großalmeroder Faststeinzeug jedoch völlig.

Zu erwarten war, dass ein namhafter Teil der grauen Irdeware aus den Töpfereien am Reinhardswald stammt, während der sehr geringe Anteil von grauen Irdewaren aus Fredelsloh bemerkenswert ist. Gänzlich unerwartet sind die archäometrischen Ergebnisse im Hinblick auf die Masse der Gebrauchskeramik. Diese ist nach dem Elementmuster zwei oder auch drei bislang gänzlich unbekanntem Töpfereien bzw. Töpferorten zuzuordnen, welche ganz in der Nähe zu suchen sind. Möglicherweise waren die Keramikproduzenten in Bodenfelde oder zumindest in der nächsten Umgebung tätig, wo in der Neuzeit einzelne Töpfer nachweisbar sind, so z. B. in Vernawahlshausen, Oedelsheim und Uslar.

Eine Datierung der Gebrauchskeramik etwa in die 1410er bis 1430er Jahre ist nach Abwägung aller zur Verfügung stehenden Anhaltspunkte sehr wahrscheinlich. Die große Menge an Gefäßresten spricht für eine relativ lange Betriebszeit. Allerdings ist nur schwer abzuschätzen, ob diese in der Größenordnung von etwa einem halben Dutzend oder auch von zwei Dutzend Jahren lag, um zumindest den mutmaßlich infrage kommenden groben Spielraum zu skizzieren. Die hohe Fundfrequenz, das Vorkommen von Ofenkacheln, Milchsatten (Rahmschüsseln) und Spinnwirteln als Geräten zur Wollverarbeitung und als Indiz für die Anwesenheit von Frauen sprechen dafür, dass die Glasmacher zumindest in der Zeit von Ostern bis Martini auf der Hütte wohnten, wie dies in der Neuzeit sodann zweifelsfrei bezeugt ist. Im Winter könnte ein Teil der nicht benötigten Arbeitskräfte in einer anderen ländlichen Siedlung oder Stadt gelebt haben.

2.7.4.4. Metall

Metallfunde sind in mittelalterlichen Siedlungen, auch in Glashütten nicht allzu häufig. Tendenziell nimmt ihre Zahl im Laufe des späteren Mittelalters jedoch zu. Das Spektrum der Funde von der Waldglashütte des 15. Jahrhunderts bei Bodenfelde ist erfreulich vielfältig und qualitativ hochwertig. Es umfasst normale Gebrauchsgegenstände aus Eisen ebenso wie Werkzeuge der Glasmacher. Buntmetall ist auffallend selten, es fehlen näher ansprechbare Gegenstände. Dafür kommt etwas Edelmetall vor, das kulturhistorisch besonders aufschlussreich ist und weiterhin eine Hilfe bei der näheren zeitlichen Einordnung darstellt.



Abb. 94 Spätmittelalterliche Glashütte Bo 5. Silberpfennig („Sware“) der Stadt Bremen. Durchmesser: 1,9 cm

Dies gilt insbesondere für die Bremer Silbermünze, einen zweiseitig geprägten kleinen Pfennig („Sware“) mit dem Wappen des Erzstifts und der Stadt Bremen, dem in gotischer Gestalt dargestellten Schlüssel des Heiligen Petrus auf der einen und dem Patron des Petridoms, dem Heiligen Petrus in faltenreichem Gewand auf der anderen Seite (Abb. 94). Die im Gegensatz zu den ansonsten in Niedersachsen gängigen Hohlpfennigen mit ca. 0,9 g relativ schwere Münze wurde um 1385-1390 geprägt (Jungk 1875; ergänzende Hinweise von Dr. Manfred Mehl, Hamburg 2017). Derartiges „gutes altes Geld“ hatte eine längere Umlaufzeit bis etwa 1450, allerdings mit im zweiten Viertel des 15. Jahrhunderts nachlassender Frequenz. Nach 1450 waren derartige Pfennige kaum noch im Verkehr. Das Geldstück ist insofern überaus bemerkenswert, als es keine typische regionale Kleinmünze war. Es stellt vielmehr sehr wahrscheinlich ein Indiz für direkte wirtschaftliche Beziehungen der Glasmacher nach Bremen dar. Die bedeutende Hansestadt war der traditionelle Endpunkt des Handels der Binnenschiffer aus dem Werra- und Weserbergland und der Ausgangspunkt des Seehandels, welcher

für den Fernhandel mit Glas im 16.-19. Jahrhundert nachweislich von enormer Bedeutung war. Einen überaus seltenen Fund stellt weiterhin die kleine silberne Nadel mit gedrückt kugelförmigem, mutmaßlich hohlem vergoldetem oder goldenem Kopf dar (Abb. 95). Die erhaltene Länge des feinen runden Schaftes beträgt ca. 4,9 cm, er ist leider am unteren Ende abgebrochen. Der größte Durchmesser des runden Kopfes liegt bei ca. 5 mm, seine Höhe bei 4 mm.



Abb. 95 Spätmittelalterliche Glashütte Bo 5. Silbernadel mit goldenem oder vergoldetem Kopf

Die Objekte aus Eisen und Stahl sind in dem sauren Boden auf Buntsandsteinuntergrund wie auch bedingt durch zusätzliche ungünstige Umwelteinflüsse in aller Regel schlecht erhalten, teils sind sie völlig korrodiert und deshalb oft nur sehr schwer näher ansprechbar. Einige der relativ zahlreichen von uns geborgenen Eisenfunde, darunter Fragmente von Glasmacherwerkzeugen, wurden an die Kolleginnen der HTW Berlin übergeben, wo sie dankenswerter Weise in der Bundesanstalt für Materialprüfung geröntgt und teils im Rahmen studentischer Übungen und Abschlussarbeiten restauriert worden sind.



Abb. 96 Spätmittelalterliche Glashütte Bo 5. Gradbartschlüssel mit dreiteiligem Bart



Abb. 97 Spätmittelalterliche Glashütte Bo 5. Endstück einer Glasmacherpfeife

Es ist aufgrund der Fundsituation in geringer Tiefe auf einer zwischenzeitlich auch als Acker oder Gartenland genutzten Weide vor allem bei einigen weniger typischen bzw. chronologisch unempfindlichen Objekten allerdings nicht gänzlich auszuschließen, dass es sich um neuzeitliche Eisengegenstände handelt. Solche werden hier nicht näher behandelt. Grundsätzlich kann man trotz des vielfach fragmentarischen Erhalts gängige Gebrauchsgegenstände identifizieren. Darunter befinden sich Baubeschläge von häuslichem Zubehör bzw. Inventar wie etwa hölzerne Türen, Fenster, Truhen oder anderweitigem Mobiliar, Nägel ganz unterschiedlicher Ausführung und Größe, darunter relativ große Exemplare mit breitem Kopf, Schlüssel, Messer, Zwingen, Schnallen von Gürteln oder Gurten, die man z. B. bei Zugtieren bzw. Reitzug verwendete, Pferdehufeisen und anderes mehr (Abb. 96).

Besonders hervorzuheben ist ein fragmentarisch erhaltener Rädchensporn aus Eisen oder Stahl, der typologisch ins spätere 14./15. Jahrhundert einzuordnen ist. Dieser dokumentiert die Anwesenheit von Reitpferden.

Zu den auf offenen ländlichen Siedlungen und speziell auch Glashütten recht seltenen Gegenständen gehören mehrere Spitzen von langen schmalen, überwiegend jedoch kurzen

schweren Armbrustbolzen wie sie für das 14./15. Jahrhundert charakteristisch sind. Sie könnten Teile von Schutz Waffen der Glasmacher gewesen sein, oder aber, und dies ist wahrscheinlicher, bei einer der zahlreichen spätmittelalterlichen Fehden und räuberischen Übergriffe auf die weitgehend des wirksamen Schutzes durch eine stärkere Befestigung entbehrende Landbevölkerung während eines Angriffes auf die Glashütte verschossen worden sein.

Spezifisch allein für Glashütten ist das geläufige Vorkommen von 4,7-8,8 cm langen abgeschnittenen Enden der Glasmacherpfeifen zum Blasen von Zylindern für die Flachglasproduktion und von Hohlgläsern (Abb. 97). Der Durchmesser der innen hohlen Zylinder beträgt 0,4-0,7 cm. Die gewiss aus bestem Stahl gefertigten Blasinstrumente waren infolge des Dauergebrauchs im Feuer mit der anhaftenden glühenden viskosen Glasmasse extrem starken Beanspruchungen ausgesetzt und mussten nach einiger Zeit abgeschnitten und erneuert werden.



Abb. 98 Spätmittelalterliche Glashütte Bo 5. Trenneisen



Abb. 99 Spätmittelalterliche Glashütte Bo 5. Glasmacherhammer

Charakteristisch für Glashütten sind die zwei gefundenen Trenneisen (Abb. 98) und ein Fragment einer Glasmacherschere. Zu den überaus seltenen Funden gehört ein relativ kleiner Hammerkopf, bei dem es sich wahrscheinlich um einen Glasmacherhammer handelt (Abb. 99). Alternativ kann der Hammer mit hüttentechnischen Reparaturarbeiten nicht zuletzt an den Glasmacherpfeifen, Scheren, Zangen und Pontilen in Zusammenhang gebracht werden. Vermutlich stehen auch massive, im Querschnitt runde Eisenstäbe zumindest teilweise in unmittelbarem funktionalem Zusammenhang mit der Hüttenarbeit, zumal sie sonst nur selten auf mittelalterlichen Siedlungen gefunden werden. Man benötigte sie für vielerlei Arbeitsgänge mit dem heißen Werkstoff. Darüber hinaus wurden ein Zimmermannsbeil und ein für den Transport der Baumstämme benötigter Wendehaken gefunden. Beide Objekte stellen unentbehrliche Werkzeuge auf einer Glashütte dar.

Die Metallfunde weisen, soweit sie chronologisch empfindlich sind, am ehesten grob in die Zeit um 1350-1450, so insbesondere die Silbermünze von etwa 1385/1390, die kleine silberne Haar- oder Schleiernadel mit vergoldetem oder goldenem Rundkopf, der Rädchensporn mit geschweiftem Bügel und die kurzen kräftigen Armbrustbolzen.

2.7.4.5. Abschließende Betrachtungen

Die glastechnischen und formalen Merkmale der Erzeugnisse wie auch der Produktionsmittel der Glashütte ermöglichen zwar keine nähere Datierung, sie wirken allerdings älter als die sämtlicher oder zumindest der Mehrzahl bisher ausgegrabener deutscher Waldglashütten des 15. Jahrhunderts. Die ziemlich standardisiert wirkenden, noch der älteren mittelalterlichen Formenwelt der Zeit ab etwa 1200 (Stephan 1998; Stephan 2003a) zugehörigen schalenförmig weiten und relativ niedrigen Glasschmelzgefäße in gängigen mittleren Größen gehören typologisch sehr viel wahrscheinlicher ins 14. oder die erste Hälfte des 15. Jahrhunderts als in spätere Zeit. Spätestens in der zweiten Hälfte des 15. Jahrhunderts wurden steilwandige und vielfach noch größere Häfen üblich, wie die Relikte einer ganzen Reihe archäologisch erforschter und wissenschaftlich bearbeiteter Hütten dieses Zeitraumes in Mitteleuropa zeigen (Stephan 2003a mit Lit.).

Ein sehr ähnliches Spektrum an Funden wie die spätmittelalterliche Glashütte bei Bodenfelde weist der umfangreiche Glashüttenfundkomplex auf der Flur „Sibelburg“ im Ahletal zwischen Schönhagen und Neuhaus auf (Henne 2016, 50-51). Dort waren ein oder zwei Glashütten in etwa der gleichen Zeit wie die Hütte im Kreickgrund bei Bodenfelde in Betrieb, die durch umfangreiche Oberflächenfunde, aber noch nicht durch Grabungen greifbar sind. Möglicherweise handelt es sich um Vorgänger- oder Nachfolgebetriebe, vielleicht sogar derselben Meister, die an mindestens fünf Standorten zwischen Bodenfelde, Polier und Wahmbeck nachweisbar sind, darüber hinaus wahrscheinlich auch im Reinhardswald und vielleicht im Bramwald. Vermutlich belieferten zumindest einige der genannten Glashütten den landgräflichen Hof in Kassel und den herzoglichen Hof in Hannoversch Münden und Uslar. Es liegt nahe anzunehmen, dass sie auch das farbige Glas für den ab 1428 neu errichteten repräsentativen Chor der Pfarrkirche gegenüber der welfischen Burg in Uslar herstellten, der als Grablege der herzoglichen Familie vorgesehen war.

Viel spricht dafür, dass mehrere der genannten Glashütten im Kontext der langen Regierungszeit des letzten Welfenherzogs der Linie Göttingen, Ottos IV., „des Einäugigen“ (1394-1463) im Rahmen einer Art von Wirtschaftsförderung bzw. aufgrund der unmittelbaren Nähe der herzoglichen Residenz entstanden. Auch nach seiner formellen Abdankung behielt sich Otto Burg und Amt Uslar vor, wo er auch schon zuvor oft weilte (Witt 1981, 66, 67). Die Einwohner der alten, vermutlich immer noch relativ großen und wichtigen, günstig an der Weser gelegenen Ortschaft Bodenfelde stattete er 1437 mit einem sehr günstigen Stadtrechtsprivileg aus, gewiss um seine fortan bevorzugte engere Aufenthaltsregion am Solling wirtschaftlich zu stärken. Da bereits 1435 anlässlich der formellen, real aber keineswegs vollzogenen Abdankung des Herzogs ausdrücklich von fürstlichen Einkünften aus der Saline in Bodenfelde und von den dort ansässigen Juden die Rede ist, müssen diese Rechte eine gewisse Relevanz und der Ort schon vor der Erteilung der Stadtrechte offenbar eine ökonomische Bedeutung besessen haben. Die Auswertung der Holzkohlen durch Dr. Marie-Luise Hillebrecht ist in Arbeit, grundsätzlich lässt sich beim derzeitigen Erkenntnisstand bereits absehen, dass auch auf dieser Glashütte die Buche ganz im Vordergrund stand.

2.8. Zusammenfassung – Ausblick

Trotz des nicht unbeträchtlichen Fördervolumens, das allerdings auf lediglich zwei Jahre Laufzeit und auf drei Teilprojekte ausgelegt war, erwiesen sich die Mittel wie der Zeitrahmen für unser ehrgeiziges innovatives Vorhaben letztlich doch als sehr eng bemessen. Deshalb, aber auch aufgrund der relativ großen räumlichen Entfernung und anderweitiger Diskordanzen im Projektablauf, waren bedingt durch die sehr divergierende Ausgangssituation der beteiligten Personen und Fächerkulturen die Arbeiten nicht immer in wünschenswertem Umfang zu

koordinieren und in Einklang zu bringen. Die zur Verfügung stehenden Mittel erwiesen sich nur bedingt als für eine erwünschte optimale Projektdurchführung ausreichend. Komplementärmittel konnten in größerem Umfang für die Archäologie und in gewissem Umfang auch für die Aufarbeitung der konservierungswissenschaftlichen Problematik seitens der HTW eingeworben werden. Insgesamt gelang es uns zweifellos unter den in mancher Hinsicht nicht eben einfachen Rahmenbedingungen, grundlegende neuartige Erfahrungen und vielerlei wichtige weiterführende Einsichten und Forschungsergebnisse zu gewinnen. Diese betreffen einerseits die archäologischen Grundlagen, andererseits die besonderen Gegebenheiten, welche bei der Bergung und Fundversorgung der fragilen Kaliumgläser aus Bodenfunden zu beachten sind.

- Die konservierungswissenschaftlichen Untersuchungen fokussierten auf Einflussgrößen und Parameter der Glaskorrosion. Entsprechend wurden die Zusammensetzungen und vorliegenden Korrosionsphänomene der Holzasche-Gläser erschlossen und in einem Korrosionsbildkatalog zusammengefasst. Dieser bildet die unterschiedlichen Erhaltungszustände ab und beschreibt die Phänomene ergänzend, so dass zukünftig eine verbesserte Einschätzung der auf archäologischen Grabungen erschlossenen Glasfunde und ihrer Erhaltungszustände erfolgen kann. Diese Einschätzung ist ein elementarer Bestandteil für die Planung weiterer Maßnahmen, sowohl feldarchäologischer als auch konservierungswissenschaftlicher Art.
- Vor dem Hintergrund der erfassten naturwissenschaftlichen Ergebnisse und der aus dem Erhaltungszustand resultierenden konservatorischen Notwendigkeiten wurden Methoden der optimierten Fundbergung und verbesserten Versorgung entwickelt und im Zuge der Grabungskampagne 2015 an den Funden der spätmittelalterlichen Glashütte bei Bodenfelde erprobt. Der Einsatz und die Auswertung des optimierten Equipments und Bergungsmethoden konnte zeigen, dass sich der Gesamtzustand der fragilen Glasfunde maßgeblich verbessern lässt, was sowohl durch optische Methoden als auch mit instrumenteller Analytik nachgewiesen werden konnte.
- Da die im Projekt durchgeführte Sichtung bestehender Handreichungen und Standardwerke der Feldarchäologie eine starke Veralterung und fehlende Aussagekraft bezüglich praktischer Hinweise aufzeigt, wurden die Ergebnisse des konservatorischen Projektteils in einen Leitfaden zur verbesserten Fundbergung und Fundversorgung integriert. Dieser richtet sich an die Landesdenkmalämter und Institutionen der Archäologie. Des Weiteren ist im Rahmen des Projekts ein Schlagwortkatalog (WIKI) zu Begrifflichkeiten der Glasarchäologie, der Fundbergung und -versorgung sowie der Konservierung und Restaurierung von archäologischen Gläsern entstanden, der die involvierten Wissenschaften zukünftig dabei unterstützen kann, eine einheitliche Sprache und somit ein besseres Verständnis der verschiedenen Standpunkte und Argumentationslinien zu finden. Beide Kompendien befinden sich in Druckvorbereitung, ihre (Online-) Publikation ist für das Jahr 2019 geplant.
- Ofenbefunde und weitere materielle Relikte der vermuteten frühmittelalterlichen Produktionsstätte wurden freigelegt, dokumentiert und untersucht. Wir haben damit erstmals im Abendland die primäre Herstellung von Holzascheglas in einer karolingerzeitlichen Waldglashütte nachgewiesen. Rohglas und vielleicht auch Fertigprodukte wurden vermutlich in die 822 gegründete Benediktinerabtei Corvey geliefert und dort weiterverarbeitet, wie einschlägige Relikte nahelegen.
- Eine in Niedersachsen einzigartige Glashütten-Mikroregion des 12. Jahrhunderts mit Spezialisierung auf die Fertigung von farbigen bleihaltigen Kaliumgläsern für anspruchsvolle frühe sakrale Fensterverglasungen der Romanik wurde neu entdeckt. Einer der Standorte konnte ausgegraben werden und erbrachte hervorragende Einblicke in die komplexe Betriebsstruktur. Die dortige Glaserzeugung stand auch unter gesamtabendländischer Perspektive auf der Höhe ihrer Zeit. Es gelang reichhaltige, gut erhaltene

Fundmaterialien zu bergen. Auch diese Glashütten stehen sehr wahrscheinlich in direktem Zusammenhang mit der nahe gelegenen Reichsabtei Corvey.

- Erstmals wurde in Niedersachsen eine der überaus zahlreichen unscheinbaren, fundarmen mutmaßlichen „Ein-Ofen-Anlagen“ systematisch untersucht und umfassend ausgewertet. In dieser Hütte aus der Zeit um 1230-1250 stellte man ein Vorprodukt für die Glasmelze, vermutlich Fritte her. Die Weiterverarbeitung zu Glas erfolgte vielleicht in nicht weit entfernten „Hauptstätten“. Eine mehrstufige Glasproduktion ist offenbar in Zentraleuropa insbesondere für das Hochmittelalter charakteristisch, kann aber z. B. in Böhmen und in der Toskana auch noch für das 14. Jahrhundert und frühe 15. Jahrhundert nachgewiesen werden. Es mangelt bisher europaweit an Grabungen und eindringlichen Analysen der Befunde und Funde an derartigen Plätzen. Dies ist eine große Herausforderung für künftige Forschungen, die grundlegend für unser Verständnis der mittelalterlichen Glasproduktion im Abendland sind, welche sich in dieser Hinsicht stark von der Praxis in der Antike und der Neuzeit unterscheiden haben muss.
- Ebenfalls erstmalig gelang es im Weserbergland, eine Waldglashütte des 15. Jahrhunderts auszugraben und deren Hinterlassenschaften umfassend zu dokumentieren, Gläser in enger Kooperation mit den Restaurierungswissenschaften zu bergen und den umfangreichen Gesamtfundus an Gläsern und Keramik archäometrisch zu analysieren und auszuwerten. Auch dieser Betrieb war, allerdings vermutlich nicht ganz so stark wie die Glashütte des 12. Jahrhunderts, auf die Fertigung von überwiegend grünlichen, jedoch auch farbigen Fenstergläsern ausgerichtet. Neben stark verwitterungsanfälligen Kaliumgläsern mit hohem Flussmittelanteil und relativ niedrigem Calciumanteil kommen vermehrt auch „Holzasche-Kalk-Gläser“ vor, welche sodann in der frühen Neuzeit zu dominieren begannen.
- Den noch nicht abgeschlossenen holzbotanischen Serienanalysen von Holzkohlen an den früh-, hoch- und spätmittelalterlichen Glashütten zufolge verwendeten die Glasmacher sowohl für die Feuerung der technischen Öfen auf den Waldglashütten im Solling wie vermutlich auch für die Gewinnung von Asche als Flussmittel so gut wie ausschließlich Holz von Rotbuchen. Die Nutzung von minderwertigem Holz wie Ästen und von anderen Baumarten ist allenfalls für die Frittefertigung, sonst nur in minimalem Umfang zu fassen. Die Glasmacher hatten somit stets ausreichenden Zugriff zu optimal für ihre Zwecke geeignetem hochwertigem Holz. Dies könnte die besondere Häufung von mittelalterlichen Glashütten im Weserbergland mit erklären helfen. Starke Einschränkungen der Holznutzung wie sie anhand von Schriftzeugnissen und einzelnen botanischen Analysen von Holzkohlen frühneuzeitlicher Glashütten greifbar sind, müssen insofern als ein weitgehend jüngeres Phänomen angesehen und wohl grundsätzlich stark relativiert werden. Derartige Restriktionen könnten jedoch zu den Ursachen des starken Abklingens der ersten großen Konjunktur der Waldglashütten im Weserbergland um 1250/1300 gehört haben. Die viel zu selten durchgeführten Analysen von Holzkohlen eröffnen vorzügliche Einblicke in die Umweltentwicklung und Ressourcennutzung der Wälder, wobei Glashütten aufgrund ihrer kurzen Bestehenszeit und oft exakten Datierungen optimale Perspektiven eröffnen.
- Glashütten und ihre Erzeugnisse, die Holzascheggläser, stellen einen bisher zu wenig beachteten, ganz besonderen, nur in bestimmten Landschaften relativ häufigen, durch anthropogene Einflüsse in der immer stärker ökonomischen Druck ausübenden und die Natur belastenden und dezimierenden modernen Industriegesellschaft stark gefährdeten historischen Denkmalfundus dar, der eines verstärkten Schutzes, einer möglichst besseren Konservierung als bislang üblich und einer intensivierten Erforschung bedarf.
- Zusammenfassend bleibt festzuhalten, dass die Erfassung und systematische archäologische Erforschung der Waldglashütten in den weiten Gebirgslandschaften und Niederrungszonen Europas noch überaus unausgewogen und unbefriedigend ist und deshalb ein großes Desiderat der Technik-, Wirtschafts-, Umwelt- und Kulturlandschaftsforschung

darstellt. Glashütten und deren vielfältige Begleiterscheinungen waren über viele Jahrhunderte hinweg ein teils wesentlicher ökonomischer Faktor der von bestimmten natürlichen Ressourcen (besonders Gehölzen, Wasser und Quarz) mit geprägten Ökosysteme und bildeten Grundlagen der daran orientierten Waldwirtschaft mit aus. Sie stellen gleichzeitig einen Indikator des jeweils zu bestimmten Zeiten erreichten gehobenen Standes der Kultur und einen Motor der ausgesprochen exportorientierten, in viele Bereiche der Gesellschaft ausstrahlenden innovativen „High-Technology“ dar, welche die neuzeitlichen Natur- und Humanwissenschaften experimentell wie auch mit ganz besonderen, teils künstlerisch hochwertigen Erzeugnissen mit begründen und die Kultur zu bereichern half.

- Die europäischen Waldglashütten des Mittelalters und der Neuzeit und ihre vielfältigen Erzeugnisse stellen ohne jeden Zweifel ein kostbares historisches Erbe der europäischen Zivilisation dar, das auch im globalen Kontext einen hohen Rang beanspruchen darf und das es für die Zukunft zu bewahren und wahrzunehmen gilt. Wie unsere vorläufige Bilanzierung der im Abendland derzeit einzigartig zahlreichen Geländestandorte zeigt, sind die auf den ersten Blick unscheinbaren Relikte der Glasherstellung bereits in der Vergangenheit aufgrund geringer Beachtung seitens der amtlichen Denkmalpflege und der Forstwirtschaft überaus stark in Mitleidenschaft gezogen worden. Es gibt nur noch relativ wenige offensichtlich gut erhaltene Plätze, welche es verstärkt zu schützen, aber auch zu erforschen und für die Öffentlichkeit in Wert zu setzen gilt.



2.9. Summary – Perspectives

Despite a considerable grant volume which, however, was designated to a two years research program only, and with three subprojects, the means and the timeframe for this ambitious project ultimately proved to be very narrow. On top of this due to the relatively large geographic distances among the archaeological sites and the headquarters of the participating academic groups, and a quite divergent initial conceptualization of the people involved, the work was not always as coordinated as would be desirable under ideal conditions. Fortunately complementary funds could be acquired on a larger scale for the archaeological part of the project, and to some extent also for the progress of conservation research on behalf of the HTW. In summary we were able to achieve many new important insights and substantial results from the established interdisciplinary research network. This concerns both the archaeological basics as well as the particular circumstances which must be taken into account in the recovery and immediate handling of fragile potassium glasses from soil finds.

- The conservation studies focused on factors and parameters influencing glass corrosion. Accordingly, the compositions and preexisting corrosion phenomena of wood ash glasses were determined and summarized in a catalog of corrosion photographs. The catalog reflects the different corrosion phenomena and states of conservation, and thus allows for an improved assessment of fragile glass finds from excavations and its immediate conservation. This assessment is a basic and essential component for future planning processes, both of field-archaeological and conservation scientific nature.
- Based on the acquired scientific results and considering the conservation measures resulting from the conservation status, methods of optimized recovery and improved care were developed and tested during the excavation campaign 2015 with a large number of finds from the late medieval glasswork near Bodenfelde. The use and evaluation of the optimized equipment and salvage methods showed that the overall condition of the fragile glass finds can be significantly improved, which was demonstrated both by optical methods and instrumental analysis.
- Since the screening of existing handouts and standard archaeological artefacts carried out in the project shows a strong obsolescence and lack of explanatory power regarding practical hints, the results of the conservatory part of the project have been integrated into a guideline for improved recovery and retrieval. This is addressed to the state monumental heritage and other institutions concerned with historical and archaeological remains. In addition, the project has developed a catchphrase catalog (WIKI) on terms of glass archaeology, finding and preserving, preserving and restoring archaeological glass, which can help the various disciplines involved to develop a consistent terminology and thus a better understanding and communication. Both compendia are in preparation as print media, and its (online) publication is scheduled for 2019.
- Furnace remains and other material relicts of the presumed early medieval production site were recovered, documented and examined. For the first time in the Occident, we have demonstrated the primary production of wood ash glass in a Carolingian forest glasswork. Raw glass and perhaps even finished products may have been supplied to the nearby Benedictine Abbey of Corvey, founded in 822, where they might have been further processed, as relevant glass relicts suggest.
- A glassworks microregion of the 12th century, unique in Lower Saxony if not in the Western World at all, specializing in the production of colored lead-potassium glass for sophisticated early Romanesque sacral window glazing was rediscovered. One of the sites was excavated and provided excellent insights into the complex operating structure. The local glass production was even on a pan-European perspective at the height of its time. Rich and predominantly quite well-preserved finds could be

recovered. These glassworks were most likely were directly affiliated to the nearby Imperial abbey of Corvey.

- For the first time in Lower Saxony, one of the many inconspicuous, suspected "one-furnace glassworks" was systematically examined and comprehensively evaluated. In this hut from the period around 1230-1250, a glass precursor was made, probably frit. Further processing to glass may have taken place in nearby "main huts". A multi-stage glass production is obviously characteristic in Central Europe, especially for the High Middle Ages, but in Bohemia and Tuscany also for the 14th and early 15th century. So far there is a lack of excavations and insistent analyzes of the findings and finds in such places throughout Europe. This is a great challenge for future research, which is fundamental to our understanding of medieval glass production in the West, which in this respect must have been quite different from the procedure of ancient and modern times.
- It was also for the first time in the Upper Weser Mountains that a forest glasswork of the 15th century was excavated and comprehensively document, thereby collecting the glass remains in close cooperation with the conservation sciences and to analyze and evaluate the extensive total find of glass and ceramics with accompanying archaeometry. Although the production of the 15th century glasswork was probably not quite as excellent as the glassworks of the 12th century, it aimed at the production of predominantly greenish, but also colored window glass of superior standard. In addition to highly weather-prone potassium glasses with a high flux content and relatively low calcium content, "wood ash-lime glasses" were increasingly made, which then began to dominate the early modern period.
- According to the botanical series analyses of charcoal in the early, high and late medieval glassworks, the glassworkers almost exclusively used beech wood for the firing of the technical furnaces at the glassworks in the Solling and probably also for the preparation of wood ashes as flux. Charcoal of inferior quality such as from branches and other tree species is almost absent. The glassmakers thus always had access to high quality beech wood. This may explain the special accumulation of medieval glassworks in the Weserbergland in the geographical center of Germany. Strong restrictions on the use of wood, as can be seen from written evidence and individual botanical analyzes of the charcoals of early-modern glassworks, must be regarded as a largely younger phenomenon in this respect, and probably needs to be fundamentally qualified. However, restrictions to the use of beech wood could have been among the causes of the strong decline of the first large boom of forest glassworks in the Weserbergland around 1250/1300 when the extension of settlements, population and agricultural clearings reached a peak. The far too exceptional analyzes of charcoals offer excellent insights into the environmental development and resource use of forests, with glassworks offering optimal prospects due to their extremely short duration and often accurate dating.
- Glassworks and their products, the wood-ash glass, represent a historical monument fund that has hitherto been underreported, seems to be very rare, relatively frequent only in certain landscapes. It is obviously endangered by anthropogenic influences of the ever-increasing agricultural and industrial economy, and thus needs enhanced protection, better preservation more intensive research than hitherto considered.
- In summary, it should be noted that the documentation and systematic archaeological research of forest glassworks in the vast mountain landscapes and lowland areas of Europe is still very unbalanced and in total unsatisfactory. Therefore it represents a major desideratum of technical, economic, environmental and cultural landscape research. Glassworks and their manifold accompanying phenomena were for many centuries a quite significant economic factor for natural resource exploitation of wood, water and quartz sand with impact on the ecosystem and deep consequences on

forest management. At the same time, glassworks represent an indicator of cultural and technological development, with many impacts on local society and considerable cross-border, export-orientation. Modern and human sciences are experimental as well as very special to give reasons for artistic value and to enrich culture.

- The European forest glassworks of the Middle Ages and the modern era and their diverse products are undoubtedly a precious historical legacy of European civilization, which can claim a high rank also on a global scale. We have to be aware to preserve it for the future and to value it better. As our preliminary analysis of the currently unique number of locations, about 300 just in the Upper Weser Region, shows that the inconspicuous relicts of glass production have already been seriously affected in the past due to the low regard paid by institutional conservation of archaeological historic monuments, and by forestry responsible for the local find places. There are only relatively few obviously well-preserved locations of medieval and early modern glassworks, which deserve better protection, intensified research and more public attention.

2.10. Danksagung

Die Durchführung unseres transdisziplinären Forschungsprojektes ermöglichte die Deutsche Bundesstiftung Umwelt in Osnabrück durch die Bereitstellung von Mitteln für das Vorhaben „Die modellhafte Bergung, Konservierung und Restaurierung umweltgeschädigter archäologischer Funde am Beispiel mittelalterlicher Gläser und Glashütten im Weserbergland“ mit dem Bewilligungsbescheid vom 17. September 2014. Im Rahmen der Treffen des wissenschaftlichen Beirates waren insbesondere die Beiträge von und Diskussionen mit Dr. Eva Černá (Most), Dr. Gerhard Eggert (Staatliche Akademie der Bildenden Künste, Stuttgart) und Dr. Peter Steppuhn (Nienburg/Weser) wichtig für unsere Arbeit. Weiterführend waren im Rahmen der öffentlichen Veranstaltungen weiterhin die Anregungen von Fachkollegen aus den Bereichen Archäologie, Glasforschung und Restaurierung, insbesondere seitens Dr. Detlef Wilke (Wennigsen).

Der Flecken Bodenfelde und der Sollingverein (Heinrich H. Noack, Dr. Wolfgang Schäfer) übernahmen die finanzielle Trägerschaft für ergänzende Forschungsprojekte, die nicht an der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg verankert werden konnten. Die Geländearbeiten und die Aufarbeitung wurden logistisch unterstützt von der Gemeindeverwaltung, den Mitarbeitern des Bauhofs, vom Heimatmuseum (Reinhard Papesch) und der Gesamtschule Bodenfelde (Schulleiter Andreas Heinrich). Weiterhin, auch von der Stadt Uslar (Bürgermeister Torsten Bauer, Stadtarchivar Dr. Daniel Althaus) und dem Katasteramt Holzminden (Ingo Meyer, Bernd Hotopp). Unser ganz besonderer Dank gilt Herrn Bürgermeister Mirko von Pietrowski sowie den neuen Besitzern des Schlosses Nienover (Familie Funk) für ihre Gastfreundschaft bei den Projekttreffen.

Für die Unterstützung der archäologischen Untersuchungen und Auswertungen vor Ort danken wir stellvertretend weiterhin für all die vielen anderen, die hier nicht namentlich genannt sind, den Mitarbeitern der Niedersächsischen Landesforsten: Forstamtsleiter Walter Hennecke (Neuhaus), Revierförster Axel Bunge; Forstamtsleiter Thomas Reulecke (Dassel), Revierförster Franz-Josef Strotmann und Uwe Sonnabend.

Die vielfältigen, umfangreichen Arbeiten wären ohne die zusätzliche Hilfe folgender Sponsoren nicht in der angestrebten Art und Weise umsetzbar gewesen, denen wir deshalb besonders verbunden sind: Kultur- und Denkmalstiftung des Landkreises Northeim (Joachim Stünkel), KSN-Stiftung der Sparkasse Northeim (Gernot Bollerhei), AKB-Stiftung in Einbeck und Dr. Walter Liebehenz-Stiftung in Göttingen (Prof. Dr. Werner Rutz).

Für die stets gute Kooperation sind wir Dr. Petra Lönne (Kreisarchäologie Northeim) und Dr. Christian Leiber (Kreisarchäologie Holzminden) sehr verbunden. Für die Durchführung von Geländeprospektionen bedanken wir uns bei Prof. Dr. Thomas Schenk (HTW Berlin), Serge Reich (Göttingen) und dem Leibniz-Institut für Angewandte Geophysik Hannover (Dr. Jan Igel, Robert Meyer). Schließlich erfreuten wir uns der Unterstützung und des Rates von zahlreichen Fachkollegen, Heimatforschern und Heimatpflegern. Insbesondere zu nennen sind in diesem Kontext Detlef Creydt (Holzminden), Dr. Karin Hahn (Wiensen), Marina Herdt (Göttingen), Fabian Klinge (Verliehausen), Jürgen Krug (Holzminden), Familie Schönig (Uslar, Gut Steimke), Heinz Wasmuth (Bodenfelde), Dr. Klaus Weber (Hellental) und Horst Weinreis (Uslar).

Im Rahmen von Arbeitsgelegenheits-Maßnahmen des Jobcenters Uslar konnten bei den Geländearbeiten und der Fundbearbeitung zeitweise mehrere Langzeitarbeitslose beschäftigt werden, wofür wir Frau Kerstin Schall und ihren Mitarbeitern sehr verbunden sind. Für ihre gute zuverlässige Arbeit danken wir Jens Brauns (Bodenfelde), Malte Gierke (Schoningen), Ralf Haase (Volpriehausen), Marion Hotop (Holzminden) und ganz besonders Stefan Vandrey (Verliehausen). An den Lehr- und Forschungsgrabungen nahmen Studenten der Archäologie

der Universitäten Halle-Wittenberg, Bamberg, Berlin, Bochum, Frankfurt, Freiburg, Münster und Tübingen, des Aufbaustudiengangs Monumental Heritage an der Hochschule Anhalt in Dessau (Prof. Dr. Rudolf Lückmann, Annemarie Reimann) und des Studiengangs Konservierung und Restaurierung/Grabungstechnik der Hochschule für Technik und Wirtschaft Berlin teil. Die örtliche Grabungsleitung lag in den Händen von Radoslaw Myszka, in den Jahren 2012-2014 bzw. für Teilprojekte bei Serge Reich (Göttingen), Claudia Schaller und Sebastian Gierschke (Halle), Sascha Bock und Konstantin Gnybek (Berlin). Als Schnittleiter haben sich Ana Gürschner Vidart (Berlin), Yvonne Schmied (Bochum) und Frederic Claus (Halle) besonders bewährt. Hilfe bei der Aufarbeitung der Grabungsdokumentation und der Funde leistete Mag. Piotr Wolanin (Zielona Góra).

In uneigennütziger überaus kollegialer Weise haben uns mit vielfältigen Hilfestellungen im Rahmen unserer Forschungsarbeiten Herr Roland Henne (Gieselwerder), Dr. Marie-Luise Hillebrecht (Göttingen), Dr. Andreas Kronz (Göttingen), Dr. phil. Dr. Ing. Peter Kurzmann (Gärtringen) und Dr. Detlef Wilke unterstützt. Sie trugen maßgeblich zum Erfolg unseres Projektes bei.

2.11. Literatur

Agricola 1977: Georg Agricola, Vom Berg- und Hüttenwesen (nach dem lateinischen Original von 1556. Mit der Vorrede zur deutschen Ausgabe, Basel 1557 und einer biographischen Skizze), Reprint München 1977.

Althaus 2015: Daniel Althaus, Die Fabrik im Wald. Glas und Spiegel aus Ameltih und Polier, Holzminden 2015.

Balcon-Berry et al. 2009: Sylvie Balcon-Berry, Françoise Perrot, Christian Sapin (Hrsg.), Vitrail, verre et archéologie entre le V^e et le XII^e siècle, Paris 2009.

Baumgartner, Krueger 1988: Erwin Baumgartner, Ingeborg Krueger, Phönix aus Sand und Asche. Glas des Mittelalters. Ausstellungskatalog Rheinisches Landesmuseum Bonn und Historisches Museum Basel, München 1988.

Berg, Steppuhn 2011: Ingrid Berg, Peter Steppuhn mit einem Beitrag von Christian Jung, Glas aus dem Taunus. 500 Jahre Glashandwerk im Hochtaunus. Begleitpublikation zur Ausstellung in der Taunusgalerie des Hochtaunuskreises, Bad Homburg v. d. H. 2011.

Bergmann 2008: Rudolf Bergmann (Hrsg.), Studien zur Glasproduktion seit dem 12. Jahrhundert im östlichen Westfalen. Mit Beiträgen von Norbert Buthmann, Andreas Kronz, Uwe Lobbedey, Elisabeth Schnepf, Karl Hans Wedepohl, Benno Zickgraf, Münster 2008.

Bezborodov 1975: Michail Alekseevič Bezborodov, Chemie und Technologie der antiken und mittelalterlichen Gläser, Mainz 1975.

Bloß 1977: Otto Bloß, Die älteren Glashütten in Südniedersachsen.- Veröffentlichungen des Instituts für historische Landesforschung der Universität Göttingen 9, Hildesheim 1977.

Brepohl 1999/2014: Erhard Brepohl, Theophilus Presbyter und das mittelalterliche Kunsthandwerk. Bd. 1. Malerei und Glas, Köln, Weimar, Wien 1999 (erweiterte durchgesehene Neuauflage 2014).

Bruijn 1965: Anton Bruijn, De middeleeuwse pottenbakkerijen in Zuid-Limburg (Nederland), Tongeren 1965.

Casemir, Menzel, Ohainski 2005: Kirsten Casemir, Friderike Menzel, Uwe Ohainski, Die Ortsnamen des Landkreises Northeim, Bielefeld 2005.

Černá 1994: Eva Černá (Hrsg.), Středověké sklo v zemích Koruny české. Katalog výstavy, Most 1994.

Černá 2016: Eva Černá, Mittelalterliche Glashütten in Nordwestböhmen. Beitrag der Archäologie zur Geschichte des böhmischen Glashüttenwesens. Mit einem Beitrag von Roman Gramblička, Most 2016.

Černá et al. 1993: Eva Černá, Roland Kirsch, Miloslav Brabenec, Pokus o rekonstrukci středověké sklářské technologie. – Sklář a keramik 43, 6-7, 1993, 143-150.

Clemens 2012: Ludwig Clemens, Hochmittelalterliche Glasproduktion auf der Kordeler Hochmark. In: Ludwig Clemens, Peter Steppuhn (Hrsg.), Glasproduktion – Archäologie und Geschichte. Beiträge zum 4. Internationalen Symposium zur Erforschung mittelalterlicher und frühneuzeitlicher Glashütten Europas, Trier 2012, 29-42.

Dell`Acqua, Silva 2001: Francesca Dell`Acqua, Romano Silva (Hrsg.), *Il Colore Nel Medioevo. Arte Simbole Tecnica, La vitrata in occidente dal` IV all` XI Secolo*, Lucca 2001.

Dodwell 1961: Charles Reginald Dodwell (Hrsg.), *Theophilus, De Diversis Artibus*, translation (lateinisch – englisch), London u. a. 1961.

Drauschke, Keller 2010: Jörg Drauschke, Daniel Keller (Hrsg.), *Glass in Byzantium – Production, Usage, Analyses*, Mainz 2010.

Drewello 1998: Rainer Drewello, *Mikrobiell induzierte Korrosion von Silikatglas – unter besonderer Berücksichtigung von Alkali-Erdalkali-Silikatgläsern* (ungedruckte Dissertation), Erlangen 1998.

Effmann 1929: Wilhelm Effmann, *Die Kirche der Abtei Corvey*, Paderborn 1929.

Ericsson, Sanke 2004: Ingolf Ericsson, Markus Sanke (Hrsg.), *Aktuelle Forschungen zum ehemaligen Reichs- und Königskloster Lorsch. – Bamberger Beiträge zur Archäologie des Mittelalters und der Neuzeit 1*, Darmstadt 2004.

Farkaš, Turčan 1998: Zdenek Farkaš, Vladimir Turčan, *Frühmittelalterlicher Glasofen in Bratislava auf Devinska Kobyla. – Slovenska Archaeologia 46*, 1998, 31-54.

Foy, Sennequier 1989: Danièle Foy, Geneviève Sennequier (commissaires de l`exposition), *À travers le verre du moyen âge à la renaissance*, Rouen 1989.

Foy, Nenna 2001: Danièle Foy, Marie-Dominique Nenna, *Tout feu, tout sable. Mille ans de verre antique dans le Midi de la France, Aix-en-Provence* 2001.

Foy 2017: Daniele Foy, *Entre Orient et Occident, le verre Islamique (VIIIe-XIIe siècle): apports récents et réflexions sur les échanges et les influences*. In: *Annales du 20e Congres de l`Association Internationale pour l`Histoire du Verre* (Fribourg/Romont 2015), Rahden/Westfalen 2017, 10-34.

Franz 1974: Franz, Günther, *Quellen zur Geschichte des deutschen Bauernstandes im Mittelalter*, Berlin 1974.

Freise 1981: Eckhardt Freise, *Roger von Helmarshausen in seiner monastischen Herkunft. – Frühmittelalterliche Studien 15*, 1981, 180–294.

Frey 2018: Jonathan Frey, *Die frühmittelalterlichen Glasschmelzgefäße vom Münsterhof. Form und Funktion*. In: Harald Stadler und Lisa Obojes in Zusammenarbeit mit Marion Römer und dem Vorstand des Arbeitskreises Keramikforschung (Hrsg.). *Keramik zwischen Werbung, Propaganda und praktischem Gebrauch. Beiträge vom 50. Internationalen Symposium Keramikforschung in Innsbruck 2017. – NEARCHOS 23*, Innsbruck 2018, 331-346.

Frommer, Kottmann 2004: Sören Frommer, Aline Kottmann, *Die Glashütte Glaswasen im Schönbuch. Produktionsprozesse, Infrastruktur und Arbeitsalltag eines spätmittelalterlichen Betriebs. – Tübinger Forschungen zur historischen Archäologie 1*, Buchbach 2001.

Fuertes, Krekel 2010: Helena Fuertes, Christoph Krekel, *What Color Has Saffron? Understanding German Recipes for the Production of Colored Glazes in the 16th Century*. *Glass and Ceramics Conservation 2010. Interim Meeting of the CC-Working Group*, 3-6 October 2010, Corning, New York, U.S.A. Hannelore Roemich Editorial Coordinator, 32-40.

Gai 1999: Sveva Gai, Glas in der Karolingerzeit. In: Christoph Stiegemann, Matthias Wemhoff (Hrsg.), 799. Kunst und Kultur der Karolingerzeit. Karl der Große und Papst Leo III. in Paderborn, Mainz 1999, 160-174.

Gai 2001: Sveva Gai, Überreste karolingischer Glasproduktion: Die Ofenanlage und das gläserne Fundspektrum aus den Pfalzgebäuden in Paderborn. In: Jochem Pfrommer, Rainer Schreg (Hrsg.), Zwischen den Zeiten. Archäologische Beiträge zur Geschichte des Mittelalters in Mitteleuropa. Festschrift für Barbara Scholkmann, Rahden/Westfalen 2001, 305–317.

Gai et al. 2012: Sveva Gai, Karl Heinrich Krüger, Bernd Thier, Die Klosterkirche Corvey. Bd. 1.1 Geschichte und Archäologie, Darmstadt 2012.

Gehring 2000: Horst Gehring, Lokalisierung historischer Glashüttenstandorte im Bayerischen Wald. Eine Darstellung der Glashüttengeschichte vom ausgehenden 13. Jahrhundert an bis an den Beginn des Industriezeitalters (ungedruckte Dissertation), Bamberg 2000.

Gerber et al. 2010-2015: Christophe Gerber (Hrsg.), Court, Paturage de l'Envers. Une verrerie forestiere jurassienne du debut du 18e siecle. Volume 1: Les vestiges. Avec contributions de Christoph Bronnbacher, Angela Schlumbaum, Nicolas Stork et Lucia Wick, Bern 2010. Volume 2: Des matieres premieres aux productions. Approches historiques, techniques et archeometriques. Christophe Gerber, Yvonne Gerber, Willem B. Stern, Laetitia Kaiser et Giacomo Eramo. Avec des contributions de Lara Tremblay, Jonathan Frey et Chris Lucianu, Bern 2012. Band 3: Die Kühl- und Haushaltskeramik. Jonathan Frey. Mit einem Beitrag von Gisela Thierrin-Michael, Bern 2015. Volume 4: Le mobilier en verre, metal, pierre et autres materiaux. Christophe Gerber. Lara Tremblay, Suzanne Frey-Kupper, Stephen Doswald, Andreas Heege, Marc Nussbaumer, Andre Rehazek et Naomi Jones. Avec des contributions de Sabine Brechbühl Trijasse, Margret Gosteli, Edith Joseph et Antoinette Rast-Eichler, Bern 2015.

Gerking 1986: Willy Gerking, Die mittelalterlichen Siedlungen der Großgemeinde Lügde. – Schriften des Lippischen Landesmuseums Detmold II, Detmold 1986.

Giertz 1996: Wolfram Giertz, Middle Meuse valley ceramics of Huy-type: a preliminary analysis. – Medieval Ceramics 20, 1996, 33-64.

Glass of the Sultans 2001: Stefano Carboni and David Whitehouse, with contributions by Robert Brill and William Gudenrath, Glass of the Sultans, New York: The Metropolitan Museum of Art in collaboration with the Corning Museum of Glass, Benaki Museum and Yale University Press, 2001.

Haase 1988: Gisela Haase, Sächsisches Glas, Leipzig 1988.

Halle 1992: Uta Halle, Keramik des Mittelalters aus Schieder. Scherbenfunde der Ausgrabung Barkhof. – Lippische Studien 12, 1992.

Harden et al. 1988: Donald B. Harden, Hansgerd Hellenkemper, Kenneth Painter, David Whitehouse (Hrsg.), Glas der Cäsaren, Mailand, Köln u. a. 1988.

Heege, Roth Heege 2002: Andreas Heege, Eva Roth Heege, Einbeck im Mittelalter. Eine archäologisch-historische Spurensuche, Oldenburg 2002.

Heege 2007: Andreas Heege (Hrsg.), Töpferöfen – Pottery kilns – Fours de potiers. Die Erforschung frühmittelalterlicher bis neuzeitlicher Töpferöfen (6.–20. Jh.) in Belgien, den Niederlanden, Deutschland, Österreich und der Schweiz. – Basler Hefte zur Archäologie 4, Basel 2007.

Henne 2002: Roland Henne, Standorte mittelalterlicher Waldglashütten im Bramwald und im Uslar nahen Solling. – Sollinger Heimatblätter 4, Uslar 2002, 8-18.

Henne 2016: Roland Henne, Waldglashütten im Bergland an der oberen Weser. 20 Jahre Geländebegehung im Überblick. – Verein Heimat und Kultur Gieselwerder e. V., Bd. 3, Gieselwerder 2016.

Hillebrecht 1982: Marie-Luise Hillebrecht, Die Relikte der Holzkohlewirtschaft als Indikatoren für Waldnutzung und Waldentwicklung. Untersuchungen an Beispielen aus Südniedersachsen. – Göttinger Geographische Abhandlungen 79, Göttingen 1982.

Hodges, Leppard, Mitchell 2011: Richard Hodges, Sarah Leppard, John Mitchell, San Vincenzo Maggiore and its workshops. – Archaeological Monographs of the British School at Rome, Rom 17, 2011.

Horat 1991: Heinz Horat, Der Glasschmelzofen des Priesters Theophilus: Interpretiert aufgrund einer Glasofen-Typologie, Bern, Stuttgart 1991.

Jakobi 1979: Franz-Josef Jakobi, Wibald von Stablo und Corvey (1098-1158), Benediktinischer Abt in der frühen Stauferzeit. – Veröffentlichungen der Historischen Kommission für Westfalen X: Abhandlungen über Corveyer Geschichtsschreibung 5, Münster 1979.

Jahns 2010: Susanne Jahns, Die Geschichte der Vegetation am Ahlequellmoor von der Jungsteinzeit bis zur Gegenwart. In: Hans-Georg Stephan (Hrsg.), Der Solling im Mittelalter. Archäologie – Landschaft – Geschichte im Weser und Leinebergland. Siedlungs- und Kulturlandschaftsentwicklung. Die Grafen von Dassel und Nienover. Mit Beiträgen von Hans Dieter Tönsmeier, Hans-Rudolf Bork, Wolfgang Südekum, Michael Grinat, Jan Igel, Joachim Sauer, Rüdiger Schulz, Roland Henne, Hans-Georg Stephan und Susanne Jahns. – Hallesche Beiträge zur Archäologie des Mittelalters und der Neuzeit Bd. 1, Dormagen 2010, 572-574.

Jannin 1980: Francois Jannin, Fouilles de l'atelier du verrerie de Pérupt. Forêt domaniale de La Chalade, Meuse, Découverte de l'Argonne 11, Sainte-Menehould, 6-25.

Jörn 2009: Erhard Jörn, Rudolf Jörn, (...) am Hartz guet glaß (...) also das solches zu Hoff zu jederzeit begehrtet wirdet. – Wiedaer Hefte 9 (2 Bände), Selbstverlag der Autoren, Wieda 2007-2009.

Jungk 1875: Hermann Jungk, Die Bremischen Münzen. Münzen und Medaillen des Erzbistums und der Stadt Bremen, Bremen 1875.

Kaminsky 1972: Hans Heinrich Kaminsky, Studien zur Reichsabtei Corvey in der Salierzeit. – Veröffentlichungen der historischen Kommission Westfalens X. Abhandlungen zur Corveyer Geschichtsschreibung 4, Münster 1972.

Killing 1927: Margarethe Killing, Die Glasmacherkunst in Hessen. Ein Beitrag zur Gewerbe- und Kunstgeschichte der deutschen Renaissance, Marburg 1927.

Kind 2011: Thomas Kind, Das Kloster Fulda im 9.-10. Jahrhundert aus archäologischer Sicht. Siedlungsstruktur und Alltagskultur. In: Gregor Stasch, Frank Verse (Hrsg.), König Konrad I. Herrschaft und Alltag. Begleitband zur Ausstellung 911 Königswahl zwischen Karolingern und Ottonen, Vonderau Museum, Fulda, 83-102.

Kind, Kronz, Wedepohl 2004: Thomas Kind, Andreas Kronz, Karl Hans Wedepohl, Karolingerzeitliches Glas aus dem Kloster Fulda. Aufarbeitung der Altfunde Joseph Vonderaus von 1998-99. – Zeitschrift für Archäologie des Mittelalters 31, 2004, 61-93.

- Kirsche 2003: Albrecht Kirsche, Glas und Holz: Vorindustrielle Glashütten im Erzgebirge und im Vogtland und ihr Einfluss auf die Seiffener Holzkunst (Dissertation Technische Universität Dresden), Dresden 2003.
- Knowles 1922: J. A. Knowles, Processes and Methods of Mediaeval Glass Painting. – Journal of the Society of Glass Technology, Scheffield 6, 1922, 255-274.
- Koch 1996: Ursula Koch, Glas – Luxus der Wohlhabenden. In: Die Franken. Wegbereiter Europas. Katalog-Handbuch, Mainz 1996, 605-617.
- Koch, König, Stephan 2006: Michael Koch, Andreas König, Hans-Georg Stephan, Höxter und Corvey. Westfälischer Städteatlas Lieferung IX, No. 3, Altenbeken 2006.
- König 2007: Andreas König, Keramikfunde aus höxterschen Haushalten der ersten Hälfte des 15. Jahrhunderts. In: Keramik auf Sonderwegen. 37. Internationales Hafnerei-Symposium, Herne 19. bis 25. September 2004. – Denkmalpflege und Forschung in Westfalen 44, Mainz 2007, 121-130.
- König 2009: Sonja König, Die Stadtwüstung Nienover im Solling. Auswertung der archäologischen Funde der Ausgrabungen 1996-2001. – Materialhefte zur Ur- und Frühgeschichte Niedersachsens 39, Rahden/Westfalen 2009.
- König, Stephan, Wedepohl 2002: Andreas König, Hans-Georg Stephan, Karl Hans Wedepohl, Mittelalterliche Gläser aus Höxter (ca. 800 bis 1530). Archäologie, Chemie und Geschichte. – Neue Ausgrabungen und Forschungen in Niedersachsen 2, 2002, 325-373.
- König et al. 2003: Andreas König, Holge Rabe, Gerhard Streich (Hrsg.), Höxter. Geschichte einer westfälischen Stadt. Band 1. Höxter und Corvey im Früh- und Hochmittelalter, Hannover 2003.
- Kottje 1991: Raymund Kottje, Stichwort Hrabanus Maurus. In: Lexikon des Mittelalters Bd. V Hiera-Mittel bis Lukanien, München und Zürich 1991, Spalte 144-147.
- Krawinkel 1933: August Krawinkel, Die Lippischen Glashütten. – Mitteilungen aus der Lippischen Geschichte und Landeskunde 14, Detmold 1933, 56-93.
- Krimm 1982: Stefan Krimm: Die mittelalterlichen und frühneuzeitlichen Glashütten im Spessart. – Veröffentlichungen des Geschichts- und Kunstvereins Aschaffenburg e. V. 18, 1, 1982.
- Kunckel 1689 (1992): Johann Kunckel, Ars vitraria experimentalis oder Vollkommene Glasmacher-Kunst. Mit einem Vorwort von Günther Stein, Nachdruck der Ausgabe Frankfurt und Leipzig 1689, Hildesheim-Zürich-New York 1992.
- Kurzmann 2004: Peter Kurzmann, Mittelalterliche Glastechnologie. Archäologie – Schriftquellen – Archäometrie – Experimente, Frankfurt am Main (Dissertation Tübingen 2003), Frankfurt am Main 2004.
- Landau 1843a: Georg Landau, Geschichte der Glashütten in Hessen. – Zeitschrift des Vereins für Hessische Geschichte und Landeskunde 3, 1843, 280-352.
- Landau 1843b: Georg Landau, Die Thongrube in Großalmerode. – Zeitschrift des Vereins für Hessische Geschichte und Landeskunde 3, 1843, 353-363.

Lang 2001: Walter Lang, Spätmittelalterliche Glasproduktion im Nassachtal, Uhingen, Kreis Göppingen. Mit Beiträgen von Uwe Gross und Anton Hegele. – Materialhefte zur Archäologie in Baden-Württemberg 59, Stuttgart 2001.

Legner 1985: Anton Legner (Hrsg.), Ornamenta ecclesiae. Kunst und Künstler der Romanik. Bd. 1-3 Katalog zur Ausstellung des Schnütgen-Museums in der Josef-Haubrich-Kunsthalle, Köln 1985.

Leiber 1991: Christian Leiber, Hic officinae vitrarum. Die hoch- und spätmittelalterlichen Glashütten im Hils bei Grünenplan, Landkreis Holzminde. – Die Kunde N. F. 41/42, 1990/91, 1991, 511-552.

Leiber 2012: Christian Leiber, Zur Frage der Existenz von Ein-Ofen-Anlagen unter den hoch- und spätmittelalterlichen Waldglashütten im südniedersächsischen Leine-Weser-Bergland. In: Lukas Clemens, Peter Steppuhn, (Hrsg.), Glasproduktion – Archäologie und Geschichte. Beiträge zum 4. Internationalen Symposium zur Erforschung mittelalterlicher und frühneuzeitlicher Glashütten Europas, Trier 2012, 63–77.

Lesemann 1968: Bernhard Lesemann, Pollenanalytische Untersuchungen eines Flachmooses bei Bodenfelde. – Berichte der Naturhistorischen Gesellschaft Hannover 112, 91–96.

Loibl 1996: Werner Loibl (Hrsg.), Asche zu Glas. Die Flußmittel Asche, Pottasche und Soda in fränkischen Glashütten vom 17. bis zum 19. Jahrhundert, Spessartmuseum Lohr am Main 1996.

Loibl 2008: Werner Loibl, Historische Voraussetzungen und technologische Bedingungen der Spessarter Glasmacherordnung von 1406. In: Helmut Flachenecker, Gerrit Himmelsbach, Peter Steppuhn (Hrsg.), Glashüttenlandschaft Europa. Beiträge zum 3. Internationalen Glassymposium, Regensburg 2008, 35-73.

Loibl 2012: Werner Loibl, Die kurmainzische Spiegelmanufaktur Lohr am Main (1698-1806) und die Nachfolgebetriebe im Spessart. Bd. 1 Die kurmainzische Spiegelmanufaktur Lohr am Main (1698-1806) im Rahmen der allgemeinen Geschichte. Bd. 2 Der Regiebetrieb. Die kurmainzische Spiegelmanufaktur Lohr am Main. Bd. 3 Die Zweig- und Nachfolgebetriebe. Die kurmainzische Spiegelmanufaktur im Spessart. – Studien zur Geschichte des Spessartglases Bd. 3, Folge 3-5, Aschaffenburg 2012.

Maus, Jenisch 1999: Hanjosef Maus, mit einem Beitrag von Bertram Jenisch, Schwarzwälder Glas, Rohmaterial und Produkte der Glasmacherei vom 12.-19. Jahrhundert. – Alemannisches Jahrbuch 1997/1998, Freiburg im Breisgau 1999, 327-524.

Mecking 2013: Oliver Mecking, Naturwissenschaftliche Untersuchungen an Bleiglasringen aus Erfurt, Trommsdorfstraße – ein Beitrag zu Bleigläsern in Mittel- und Nordeuropa im Mittelalter. – Alt-Thüringen 42, 2010/11, 2013, 324-349.

Mendera 1989: Marja Mendera, La produzione del vetro nella Toscana bassomedievale. Lo scavo della vetraria di Germagnana in Valdelsa. - Quaderni del Dipartimento di Archeologia e storia delle art. Sezione Archeologica 15, Florenz 1989.

Mendera 1991: Marja Mendera (Hrsg.), Archeologia e storia della produzione del vetro preindustriale, Venedig 1991.

Mendera 2002: Marja Mendera, Glass production in Tuscany 13th to 16th century: The archaeological evidence. In: Johan Veeckman, Sarah Jennings, Claude Dumortier, David

Whitehouse, Frans Verhaeghe (Hrsg.), *Majolica and glass. From Italy to Antwerp and beyond. The transfer of technology in the 16th-early 17th century*, Antwerpen 2002, 263-294.

Mester 2003: Edit Mester, *Research of medieval glass vessels and glasshouses in Hungary*. In: Sabine Felgerhauer-Schmiedt, Alexandrine Eibner, Herbert Knittler (Hrsg.), *Auf gläsernen Spuren. Der Beitrag Mitteleuropas zur archäologisch-historischen Glasforschung*. – Beiträge zur Mittelalterarchäologie in Österreich 19, 55-75.

Myszka, Stephan 2016: Radoslaw Myszk, Hans-Georg Stephan, *Archäologische Forschungen zur karolingischen und spätmittelalterlichen Glasproduktion bei Bodenfelde (2015)*. – Göttinger Jahrbuch 64, 2016, 249-260.

Nenna 2001: Marie Daniele Nenna (Hrsg.), *La route du verre: Ateliers primaires et secondaires du second millénaire av. J.-C. au Moyen Age*. – Travaux de la Maison de l'Orient Méditerranéen 33. Table Ronde, Lyon 2001.

Neri 1612: Antonio Neri, *L'arte vetraria distinta in libri sette*, Firenze 1612.

Nonn 2007: Ulrich Nonn (Hrsg.), *Quellen zur Alltagsgeschichte im Früh- und Hochmittelalter*, 2. Teil (= *Freiherr-vom-Stein-Gedächtnisausgabe 40b*), Darmstadt 2007.

Pactat et al 2015: Ines Pactat, Bernard Gratuze, Martine Derbois, *Un atelier de verrier carolingien a Méru, "ZAC Nouvelle France" (Oise)*. – Bulletin de l'Association Francaise pour l'Archeologie du Verre 2015, 73-78.

Pactat et al. 2017: Ines Pactat, Magalie Guerit, Laure Simon, Bernard Gratuze, Stephanie Raux, Celine Aulnay, *Evolution on glass recipes during the early middle-ages in France: Analytical evidence*. In: *Annales du 20e Congres de l'Association Internationale pour l'Histoire du Verre (Fribourg/Romont 2015)*, Rahden/Westfalen 2017, 334-340.

Päffgen 2003: Bernd Päffgen, *Glasherstellung spätrömischer und frühmittelalterlicher Zeit im Rheinland und dessen Nachbargebieten*. In: Sabine Felgenhauer-Schmiedt, Alexandrine Eibner, Harald Knittler (Hrsg.), *Auf gläsernen Spuren. Der Beitrag Mitteleuropas zur archäologisch-historischen Glasforschung*. – Beiträge zur Mittelalterarchäologie in Österreich 19, 9-28.

Prohaska-Gross 1991: Christine Prohaska-Gross, *Die Glas- und Schmelztiegelfunde aus dem gemauerten Schacht bei St. Peter und Paul, Kloster Hirsau 1091-1991, Teil 1: Zur Archäologie und Kunstgeschichte*. – *Forschungen und Berichte der Archäologie des Mittelalters in Baden-Württemberg* 10/1, 179-198.

Rahrig 2012: Max Rahrig, *Das Flachglas der Wüstungskirche von Winnefeld im Kontext hoch- und spätmittelalterlicher Glashütten in Südniedersachsen*, Magisterarbeit Universität Bamberg 2012 (ungedruckt).

Raux et al. 2015: Stéphanie Raux, Bernard Gratuze, Jean-Yves Langlois, Emmanuelle Coffineau, *Indices d'une production verriere du Xe siecle a La Milesse (Sarthe)*. – Bulletin de l'Association Francaise pour l'Archeologie du Verre 2015, 66-70.

Rademacher 1933: Franz Rademacher, *Die deutschen Gläser des Mittelalters*, Berlin 1933.

Recker 2003a: Udo Recker, *Hochmittelalterliche Glasproduktion im Reinhardswald. Ein Beitrag zur Wirtschaftsarchäologie des nordhessischen Mittelgebirgsraumes*. – *Berichte der Kommission für Archäologische Landesforschung in Hessen* 7, Wiesbaden 2002/2003, 229-245.

Recker 2003b: Udo Recker, Eine mittelalterliche Glashütte im Reinhardswald bei Gieselwerder. Ein Vorbericht zur Grabungskampagne des Jahres 2003. In: Peter Steppuhn (Hrsg.) im Auftrag des Kulturkreises Glashütten e. V., Glashütten im Gespräch. Berichte und Materialien vom 2. Internationalen Symposium zur archäologischen Erforschung mittelalterlicher und frühneuzeitlicher Glashütten Europas, Lübeck 2003, 50-54.

Recker 2003c: Udo Recker, Hochmittelalterliche Glasproduktion im Reinhardswald. Ein Beitrag zur Wirtschaftsarchäologie des nordhessischen Mittelgebirgsraumes. – Berichte der Kommission für Archäologische Landesforschung 7, 2002/2003, Rahden/Westfalen 2003, 229-245.

Recker 2012: Udo Recker, Zum aktuellen Stand der archäologischen Erforschung mittelalterlicher und frühneuzeitlicher Glasproduktion in Hessen. – Hessen-Archäologie, Sonderband 2, Neustart Landesarchäologie 2001-2011 (2012), 249-262.

Reuschel 2009: Andreas Reuschel, Hagenhufensiedlungen oder Hägerhufensiedlungen in der Ithbörde? Ein Beitrag zur Ausdifferenzierung eines siedlungsgeographischen Terminus und Phänomens. Diss. Math.-Nat. Bonn 2009 (Internetpublikation).

Reuter 1984: Marianne Reuter, Text und Bild im Codex 132 der Bibliothek von Montecassino „Liber Rabani de originibus rerum“. Untersuchungen zur mittelalterlichen Illustrationspraxis, München 1984.

Richardson 1997: H. Wayne Richardson, Handbook of Copper Compounds and Applications, New York, Basel, Hongkong 1997.

Röber 2015: Ralph Röber (Hrsg.), GlasKlar. Archäologie eines kostbaren Werkstoffes in Südwestdeutschland. Zusammengestellt von Ralph Röber. Herausgegeben vom Archäologischen Landesmuseum Baden-Württemberg, Konstanz, Stuttgart 2015.

Sanke, Wedepohl, Kronz 2002: Markus Sanke, Karl Hans Wedepohl, Andreas Kronz, Karolingerzeitliches Glas aus dem Kloster Lorsch. – Zeitschrift für Archäologie des Mittelalters 16/17, 1998/1999, 65-90.

Schlosser 1896: Julius von Schlosser, Schriftquellen zur Geschichte der karolingischen Kunst, Wien 1896.

Sippel 2001: Klaus Sippel, Mittelalterliche und frühneuzeitliche Glashütten im Kaufunger Wald und im Reinhardswald. Ergebnisse archäologischer Geländeforschungen zur älteren Glasproduktion in Nordhessen. In: Ingrid Baumgärtner, Winfried Schich (Hrsg.), Nordhessen im Mittelalter. Probleme von Identität und überregionaler Integration. – Veröffentlichungen der Historischen Kommission für Hessen 64, Marburg 2001, 231-302.

Speer 2014: Andreas Speer in Zusammenarbeit mit Maxime Mauriege und Hiltrud Westermann-Angerhausen (Hrsg.), Zwischen Kunsthandwerk und Kunst: Die „Schedula diversarum artium“, Berlin, Boston 2014.

Stephan 1979a: Hans-Georg Stephan, Die Wildburg, eine Höhenburg aus der Mitte des 12. Jahrhunderts an der Oberweser. In: Uwe Lobbedey (Hrsg.), Beiträge zur archäologischen Burgenforschung und zur Keramik des Mittelalters in Westfalen, Teil 1, Denkmalpflege und Forschung in Westfalen 2, Bonn 1979, 123-130.

Stephan 1979b: Hans-Georg Stephan, Höxteraner Keramik im 13. Jahrhundert. Ein Beitrag zur mittelalterlichen Kulturgeschichte. In: Uwe Lobbedey (Hrsg.), Beiträge zur archäologischen Burgenforschung und zur Keramik des Mittelalters in Westfalen, Teil 1, Denkmalpflege und Forschung in Westfalen 2, Bonn 1979, 179-217.

- Stephan 1983: Hans-Georg Stephan, Die hochmittelalterliche Töpferei bei Boffzen (Weserbergland). – Archäologisches Korrespondenzblatt 13, 1983, 395-408.
- Stephan 1986: Hans-Georg Stephan, Großalmerode. Ein Zentrum der Herstellung von technischer Keramik, Steinzeug und Irdenware in Hessen. Die Geschichte der keramischen Gewerbe in Großalmerode und die Entwicklung ihrer Produktion vom 12. bis zum 19. Jahrhundert. Teil I, 1986.
- Stephan 1993: Hans-Georg Stephan, Rezension von: Heinz Horat, Der Glasschmelzofen des Priesters Theophilus: Interpretiert aufgrund einer Glasofen-Typologie, Bern 1991. – Bonner Jahrbücher 193, 1993, 633-636.
- Stephan 1994: Hans-Georg Stephan, Archäologische Erkenntnisse zu karolingischen Klosterwerkstätten in der Reichsabtei Corvey. – Archäologisches Korrespondenzblatt 24, 1994, 207-216.
- Stephan 1995a: Hans-Georg Stephan, Großalmerode. Ein europäisches Zentrum der Herstellung von technischer Keramik. Die Geschichte der keramischen Gewerbe in Großalmerode und Epterode und die Entwicklung ihrer Produktion vom 12. bis zum 19. Jahrhundert, Teil II, Großalmerode 1995.
- Stephan 1995b: Hans-Georg Stephan, Die Gebrauchskeramik der Glashütte Steimcke im Bramwald. Beiträge zu Typologie, Technologie, Keramikhandel, Funktion und Wandel in der ersten Hälfte des 13. Jahrhunderts. – Nachrichten aus Niedersachsens Urgeschichte 64/1, 1995, 33-92.
- Stephan 1998: Hans-Georg Stephan, Die Glasschmelzgefäße der hochmittelalterlichen Waldglashütte Steimcke im Bramwald. – Zeitschrift für Archäologie des Mittelalters 25/26, 1998, 107-140.
- Stephan 2000a: Hans-Georg Stephan, Studien zur Siedlungsentwicklung und -struktur von Stadt und Kloster Corvey (800-1670). Eine Synopse auf der Grundlage der archäologischen Quellen. – Göttinger Schriften zur Ur- und Frühgeschichte 26, 3 Bände, Neumünster 2000.
- Stephan 2000b: Hans-Georg Stephan, Die mittelalterliche Töpferei in Niederhessen. – Fundberichte aus Hessen 32/33, 1992/1993 (2000), 207-279.
- Stephan 2003a: Hans-Georg Stephan, Glasschmelzgefäße. Grundzüge der Entwicklung von den Anfängen im Alten Orient bis zur Neuzeit. In: Peter Steppuhn (Hrsg.) im Auftrag des Kulturkreises Glashütten e. V., Glashütten im Gespräch. Berichte und Materialien vom 2. Internationalen Symposium zur archäologischen Erforschung mittelalterlicher und frühneuzeitlicher Glashütten Europas, Lübeck 2003, 136-162.
- Stephan 2003b: Hans-Georg Stephan, Die Stadtwüstung Stoppelberg bei Steinheim im Weserbergland. Zu den Stadtgründungen und Zentralorten der Grafen von Schwalenberg. Mit einem Anhang von Thomas Küntzel, Gedanken zum ursprünglichen „Stadtplan“ der Siedlung auf dem Stoppelberg. – Neue Ausgrabungen und Forschungen in Niedersachsen 24, 2003, 253-296.
- Stephan 2010: Hans-Georg Stephan (Hrsg.), Der Solling im Mittelalter. Archäologie – Landschaft – Geschichte im Weser und Leinebergland. Siedlungs- und Kulturlandschaftsentwicklung. Die Grafen von Dassel und Nienover. Mit Beiträgen von Hans Dieter Tönsmeier, Hans-Rudolf Bork, Wolfgang Südekum, Michael Grinat, Jan Igel, Joachim Sauer, Rüdiger Schulz, Roland Henne, Hans-Georg Stephan und Susanne Jahns. – Hallesche Beiträge zur Archäologie des Mittelalters und der Neuzeit Bd. 1, Dormagen 2010.

Stephan 2012a: Hans-Georg Stephan, Aspekte von Glasherstellung und Glasgebrauch im 12./13. Jahrhundert in Mitteleuropa – Fächerübergreifende Forschungsperspektiven aus der Sicht der Archäologie. In: Der Naumburger Meister. Bildhauer und Architekt im Europa der Kathedralen. Landesausstellung Sachsen-Anhalt 2011. – Schriftenreihe der Vereinigten Domstifter zu Merseburg und Naumburg und des Kollegiatstifts Zeitz 5, Petersberg 2012, 428-473.

Stephan 2012b: Hans-Georg Stephan, Das Pottland: Mittelalterliche und neuzeitliche Töpferei von landesgeschichtlicher Bedeutung und Keramik von europäischem Rang in Niedersachsen. In: Christian Leiber (Hrsg.), Aus dem Pottland in die Welt. Eine historische Töpferregion zwischen Weser und Leine, Holzminden 2012, 9-70.

Stephan 2013a: Hans-Georg Stephan, Mittelalterliche Waldglashütten im Weserbergland. Neue Forschungen zu den Anfängen der Technologie des europäischen Holz-Asche-Glases in der Karolingerzeit und zu einer Hüttenlandschaft des 15. Jahrhunderts an der Oberweser. In: Stadt – Land – Burg. Festschrift für Sabine Felgenhauer-Schmiedt zum 70. Geburtstag. Hrsg. von Claudia Theune, Gabriele Scharrer-Liska, Elfriede Hannelore Huber und Thomas Kühtreiber, Rahden/Westfalen 2013, 377-393.

Stephan 2013b: Hans-Georg Stephan, Archäologische Untersuchungen zu mittelalterlichen Dorfwüstungen und Waldglashütten im Solling bei Bodenfelde im weiteren regionalen und gesamteuropäischen Kontext. – Göttinger Jahrbuch 61, 2013, 325-353.

Stephan 2013c: Hans-Georg Stephan, Marsberg-Horhusen. Eine bedeutende frühe Bergbauregion am Ostrand des Rheinischen Schiefergebirges: Modell und Sonderfall. In: Yves Hoffmann, Uwe Richter (Hrsg.), Die Frühgeschichte Freibergs im überregionalen Vergleich. Städtische Frühgeschichte – Bergbau – früher Hausbau, Halle (Saale) 2013, 243-294.

Stephan 2013d: Hans-Georg Stephan, Sachsen und Franken, Slawen und Wikinger, Heiden und Christen – ungewöhnliche archäologische Funde der Karolingerzeit im Tal der Oberweser im Wesertal und im Solling und ihre Verbindungen zur karolingischen Reichsgeschichte in Sachsen und an der Niederelbe. In: Immo Heske, Hans-Jörg Nüsse, Jens Schneeweiß (Hrsg.), Landschaft, Besiedlung und Siedlung. Archäologische Studien im nordeuropäischen Kontext. Festschrift für Karl-Heinz Willroth zu seinem 65. Geburtstag. – Göttinger Schriften zur Vor- und Frühgeschichte 33, Neumünster/Hamburg 2013, 69-82.

Stephan 2013e: Mittelalterliche Glasmacherei an der Oberweser. Ein vergessenes „high-tech“ Exportgewerbe von weltweiter Bedeutung. – Sollingkurier No. 1 Dezember 2013. Rundbrief des Sollingvereins für Solling, Vogler und Wesertal, 6-9.

Stephan 2014: Hans-Georg Stephan, Mittelalterliche Glashütten im Weserbergland – Die karolingerzeitlichen Anfänge der Waldglashütten und der Umbruch der Glaserzeugung im 15. Jahrhundert im regionalen und weiteren europäischen Kontext. In: Eva Černá, Peter Steppuhn (Hrsg.), Glasarchäologie in Europa. Regionen – Produkte – Analysen. Beiträge zum 5. Internationalen Symposium zur Erforschung mittelalterlicher und frühneuzeitlicher Glashütten Europas. Seiffen/Erzgebirge 2012, Most 2014, 35-78.

Stephan 2015a: Hans-Georg Stephan, Die archäologischen Untersuchungen 2014 im Bereich der spätmittelalterlichen Glashütte bei Bodenfelde-Polier. – Göttinger Jahrbuch 63, 2015, 323-330.

Stephan 2015b: Hans-Georg Stephan, Die Mittelalterlichen Glashütten. Forschungen zwischen Bodenfelde und Polier. – Sollingkurier für Solling, Vogler und Wesertal. Die Geschichte des Kulturwaldes Solling, Nr. 9 Dezember 2015, 4-8.

Stephan 2015c: Hans-Georg Stephan, Wittenberg – Gedanken und Befunde zur Entstehung und Entwicklung der Stadtopographie und Baustruktur im Mittelalter und in der frühen Neuzeit. – Jahrbuch für Hausforschung 62, Lutherstadt Wittenberg, Torgau und der Hausbau im 16. Jahrhundert, Marburg 2015, 13-72.

Stephan 2015d: Hans-Georg Stephan, Hochmittelalterliche Töpferei in Wittenberg – Mitteldeutschland zwischen Nordwesteuropa und slawischer Keramiktradition. In: Lutz Grunwald (Hrsg.), Den Töpfern auf der Spur. Orte der Keramikherstellung im Licht der neuesten Forschung. – Römisch-Germanisches Zentralmuseum Mainz Tagungen 21, Mainz 2015, 263-274.

Stephan 2017a: Hans-Georg Stephan, Das Waldglasprojekt der deutschen Bundesstiftung Umwelt. Archäologen, Naturwissenschaftler und Restauratoren im Diskurs. – Der Glasfreund. Zeitschrift für altes und neues Glas 22, 2017, 16-24.

Stephan 2017 b: Hans-Georg Stephan, Die älteste mittelalterliche Waldglashütte Europas. – Antike Welt. Zeitschrift für Archäologie und Kulturgeschichte 1, 17, Darmstadt 2017, 5.

Stephan 2018: Hans-Georg Stephan, Een Karolingische Waldglashut in het hart van Europa. Archeologische vondsten bij Bodenfelde en de abdij van Corvey in een cultuurhistorisch kader. – Jaarboek Historisch Gebruiksglas 2017. Uitgave van de stichting Het Historisch Gebruiksglas. Rotterdam 2018, 56-83.

Stephan 2019a: Hans-Georg Stephan, Helmarshausen und der Oberweserraum im Mittelalter. Archäologie, Geschichte und Kunst. Siedlungsentwicklung und Baugeschichte von Kloster, Markt und Stadt Helmarshausen mit der Krukenburg im reichs-, landes- und städtegeschichtlichen Kontext. Mit einem Ausblick in die Neuzeit. – Beiträge zur Geschichte der Stadt Karlshafen und des Weser-Diemel-Raumes 19, Bad Karlshafen 2019 (in Druckvorbereitung).

Stephan 2019b: Hans-Georg Stephan, Archäologie und Alchemie. Archäologische Funde aus einem frühneuzeitlichen Wittenberger Laboratorium im Rahmen der Technik-, Wirtschafts-, Wissenschafts- und Kulturgeschichte Europas. Herstellungsgebiete, Ursprünge, formale Gestaltung, Funktion, kulturgeschichtliche Einordnung und Datierung von Laborgläsern, Gusstiegeln und mehrkantigen Stangengläsern, Leitformen europäischer Trinkgläser der Renaissance. Wissensdurst, Innovationen und Trinkgefäße im späten Mittelalter und in der frühen Neuzeit. Alchemisten, Apotheker, Ärzte, Destillatoren, Fürsten, gemeine Leute, Glasmacher, Töpfer. Aqua Vitae oder die Suche nach dem Stein der Weisen. – Archäologie in Sachsen-Anhalt Sonderband, Halle (Saale), 2019 (in Druckvorbereitung).

Stephan 2020: Hans-Georg Stephan (Hrsg.), Das Waldglasprojekt: Archäologen, Restauratoren und Naturwissenschaftler auf den Spuren der mittelalterlichen Glasmacher im Weserbergland. Mit Beiträgen von Olga Emgrund, Marie-Luise Hillebrecht, Alexandra Jeberien, Andreas Kronz, Radoslaw Myszk, Sören Siebe, Hans-Georg Stephan und Detlef Wilke. – Hallesche Beiträge zur Archäologie des Mittelalters 4, Langenweißbach 2020.

Stephan 2021: Hans-Georg Stephan, Die Grafen von Everstein und ihre namengebenden Residenzburgen Großer Everstein und Kleiner Everstein im Landkreis Holzminden (in Vorbereitung für 2021).

Stephan 2022: Hans-Georg Stephan, Die Homburg bei Stadtoldendorf im Landkreis Holzminden. Von der Residenz Graf Siegfrieds IV. von Boyneburg-Norheim und der Edelherrn von Homburg zum Herzoglich Braunschweigischen Amtssitz (in Vorbereitung für 2022).

Stephan et al. 2009: Hans-Georg Stephan unter Mitwirkung von Stefan Dembinski, Silvana Streichardt, Arno Beyer und Hans-Rudolf Bork, Archäologische und bodenwissenschaftliche Forschungen in den mittelalterlichen Dorfwüstungen Smedersen und Winnefeld im Solling – Ergebnisse der Grabungskampagne 2008. – Göttinger Jahrbuch 57, 2009, 177-193.

Stephan et al. 2010: Hans-Georg Stephan unter Mitwirkung von Stefan Dembinski, Sebastian Gierschke, Johannes Litzel und Kathrin Wrobel, Archäologische Ausgrabungen an den mittelalterlichen Dorfwüstungen Schmeeßen und Winnefeld im Solling – Ergebnisse der Grabungskampagne 2009. – Göttinger Jahrbuch 58, 2010, 147-160.

Stephan et al. 2011: Hans-Georg Stephan unter Mitwirkung von Sarah Bergner, Sebastian Gierschke and Kathrin Wrobel, Grabungen in mittelalterlichen Dorfwüstungen im Solling. Ergebnisse der Untersuchungen im Jahre 2010. – Göttinger Jahrbuch 59, 2011, 207-217.

Stephan, Gierschke 2012: Hans-Georg Stephan unter Mitwirkung von Sebastian Gierschke, Archäologische Untersuchungen in der mittelalterlichen Dorfwüstung Schmeeßen im Solling im Jahre 2011. – Göttinger Jahrbuch 60, 2012, 345-360.

Stephan, Hoffmann 2016: Hans-Georg Stephan, Yves Hoffmann, Brandis, ein unbekanntes hochmittelalterliches Töpfereizentrum in Nordwestsachsen. Graue, gelbe und bleiglasierete Irdenware, Gebrauchskeramik, Kleingefäße und Miniaturfiguren im Kontext der nordwest- und mitteleuropäischen Entwicklung. In: Hans-Georg Stephan (Hrsg.), Keramik und Töpferei im 15./16. Jahrhundert. Beiträge des 47. Internationalen Symposiums für Keramikforschung vom 8. bis 12. September 2014 in der Lutherstadt Wittenberg September. – Hallesche Beiträge zur Archäologie des Mittelalters 2, Langenweißbach 2016, 199-222.

Stephan, Myszka, Wilke 2017: Hans-Georg Stephan, Radoslaw Myszka unter Mitwirkung von Detlef Wilke, Archäologische und archäometrische Forschungen zu karolingischen und zu hochmittelalterlichen Waldglashütten im Solling. – Göttinger Jahrbuch 65, 2017, 239-259.

Stephan, Myszka, Wilke 2018: Hans-Georg Stephan, Radoslaw Myszka, Detlef Wilke, Ausgrabungen und Forschungen zu einer Waldglashütte der Zeit um 1080 bis 1130 bei Neuhaus im Solling – Abschlusskolloquium zum „Waldglasprojekt“. – Göttinger Jahrbuch 66, 2018, 307-336.

Stephan, Wedepohl 1989: Hans-Georg Stephan, Karl Hans Wedepohl, Zur Technologie hochmittelalterlicher Glasherstellung am Beispiel der Funde von der Waldglashütte Steimcke im Niemetal (Bramwald). Mit chemischen Analysen von Gerald Hartmann. – Göttinger Jahrbuch 37, 1989, 5-18.

Stephan, Wedepohl, Hartmann 1992: Hans-Georg Stephan, Karl Hans Wedepohl, Gerald Hartmann, Die Gläser der hochmittelalterlichen Waldglashütte Steimcke. Berichte über die Grabungsergebnisse. Teil 2: Chemische und formenkundliche Analysen der Gläser. – Zeitschrift für Archäologie des Mittelalters 20, 1992, 89-123.

Stephan, Wedepohl, Hartmann 1994: Hans-Georg Stephan, Karl Hans Wedepohl, Gerald Hartmann, Chemische Analysen von Gläsern aus dem ehemaligen Kloster Brunshausen bei Bad Gandersheim – Beiträge zur Geschichte des mittelalterlichen Glases und zur archäologischen Datierung des Siedlungsablaufes. – Zeitschrift für Archäologie 28, 1994, 353-369.

Stephan, Wedepohl 1997: Hans-Georg Stephan, Karl Hans Wedepohl, Mittelalterliches Glas aus dem Reichskloster und der Stadtwüstung Corvey. Mit einem Nachtrag zu den Analyseergebnissen von Gläsern aus dem Kloster Brunshausen. – Germania 75, 1997, 673-715.

Stephan, Wilke 2018: Hans-Georg Stephan, Detlef Wilke, Natur- und kulturwissenschaftliche Untersuchungen zu frühmittelalterlichen bis frühneuzeitlichen Glashäfen. In: Harald Stadler und Lisa Obojes in Zusammenarbeit mit Marion Römer und dem Vorstand des Arbeitskreises Keramikforschung (Hrsg.). *Keramik zwischen Werbung, Propaganda und praktischem Gebrauch*. Beiträge vom 50. Internationalen Symposium Keramikforschung in Innsbruck 2017. – NEARCHOS 23, Innsbruck 2018, 379-399.

Stephan, Wilke 2019: Hans-Georg Stephan, Detlef Wilke, Glashäfen und Gebrauchskeramik des 15. Jahrhunderts aus einer Glashütte des 15. Jahrhunderts im Weserbergland. In: 49. Internationales Keramik-Symposium des Arbeitskreises für Keramikforschung. *Keramik als Handelsgut – Distribution – Absatzmarkt*, Bonn 19.9. bis 23.9. 2016 (in Druckvorbereitung).

Steppuhn 1998: Peter Steppuhn, Glasfunde des 8.-13. Jahrhundert in Siedlungen. Veränderungen vom frühen zum späten Mittelalter, dargestellt am Beispiel Haithabu/Schleswig. In: Anke Wesse (Hrsg.), *Studien zur Archäologie des Osterraumes. Von der Eisenzeit zum Mittelalter*. Festschrift für Michael Müller-Wille. Neumünster 1998, 461-467.

Steppuhn 1999: Peter Steppuhn, Der mittelalterliche Gniedelstein: Glättglas oder Glasbarren? Zu Primärfunktion und Kontinuität eines Glasobjektes vom Frühmittelalter bis zur Neuzeit. – *Nachrichten aus Niedersachsens Urgeschichte* 68, 1998, (1999), 113-139.

Steppuhn 2000: Peter Steppuhn, Stichwort Kordel. In: Hans Beck, Heiko Steuer und Dieter Timpe (Hrsg.), *Reallexikon der Germanischen Altertumskunde* (2. Auflage) Band 17, Berlin, New York 2000, 250-252.

Steppuhn 2009: Peter Steppuhn, Archäologie einer Glaslandschaft – Der Hochtaunus. - *Berichte der Kommission für Archäologische Landesforschung in Hessen* 9, 2009, Rahden/Westfalen 2009, 21-130.

Steppuhn, Berg 2006: Peter Steppuhn unter Mitarbeit von Ingrid Berg, Waldglashütten im Taunus. *Geschichte, Archäologie und Produkte*. – *Schriften des Hessischen Freilichtmuseums Der Hessenpark*, Neu Anspach 2006.

Steppuhn, Berg 2011: Peter Steppuhn, Ingrid Berg, mit einem Beitrag von Christine Jung, *Glas aus dem Taunus: Glashandwerk von 1200-1700*. Begleitpublikation zur Ausstellung in der Taunus-Galerie im Kreishaus des Hochtäunuskreises, Bad Homburg vor der Höhe, Hrsg.: Hochtäunuskreis, Bad Homburg v. d. H., 2011.

Stern, Gerber 2009: Willem Stern, Yvonne Gerber, Ancient Potassium-Calcium Glass and its raw materials (Wood-Ash, Fern-Ash, Potash) in Central Europe. – *Mitteilungen der Naturforschenden Gesellschaften beider Basel* 11, 2009, 107-122.

Stern, Schlick-Nolte 1994: Marianne E. Stern, Birgit Schlick-Nolte, *Frühes Glas der alten Welt. 1600 v. Chr. – 50 n. Chr.* Sammlung Ernesto Wolf, Stuttgart 1994.

Stiegemann, Westermann-Angerhausen 2006: Christoph Stiegemann, Hiltrud Westermann-Angerhausen (Hrsg.), *Schatzkunst am Aufgang der Romanik. Der Paderborner Dom-Tragalтар und sein Umkreis*, München 2006.

Streich 1996: Gerhard Streich (Hrsg.), *Historisch-Landeskundliche Exkursionskarte von Niedersachsen 1:50 000, Blatt Höxter*. – *Veröffentlichungen des Instituts für Historische Landesforschung der Universität Göttingen* 2, Teil 13, Bielefeld 1996.

Streich 1997: Gerhard Streich (Hrsg.), *Historisch-Landeskundliche Exkursionskarte von Niedersachsen 1:50 000, Blatt Holzminden*. – *Veröffentlichungen des Instituts für Historische Landesforschung der Universität Göttingen* 2, Teil 15, Bielefeld 1997.

Szóke, Wedepohl, Kronz 2004: Béla Miklós Szóke, Karl Hans Wedepohl, Andreas Kronz, Silver-stained windows at carolingian Zalavar, Mosaburg (Southwestern Hungary). – *Journal of Glass Studies* 46, 2004, 85-104.

Tarcsay 2009: Kinga Tarcsay, Frühneuzeitliche Glasproduktion in der Herrschaft Reichenau am Freiwald, Niederösterreich. – *Fundberichte aus Österreich Materialheft A 19*, Horn 2009.

The *Schedula diversarum artium* – a digital critical Edition. Internetportal der Universität Köln (<http://schedula.uni-koeln.de/index.shtml>)

Theobald 1933: Wilhelm Theobald, Technik des Kunsthandwerks im 10. Jahrhundert. Des Theophilus Presbyter *Diversarum artium schedula*, Berlin 1933 (Neuaufgabe: Düsseldorf 1984).

Velde, Barrera 1986: Bruce Van de Velde, Jorge Barrera, Composition of medieval blown glass fragments found at Orléans. – *Archéologie Médiévale* 16, 1986, 93-103.

Weber 2012: Klaus A. E. Weber, Waldglashütten in den Solling-Forsten des Hellentals: Beiträge zur Glashüttengeschichte im Solling vom 12./13. bis 18. Jahrhundert. Teil 1: Glashüttenforschung im Umfeld des Hellentals; Teil 2: Glashütten des Mittelalters im Umfeld des Hellentals, 12.-14. Jahrhundert; Teil 3: Glashütten der frühen Neuzeit im Umfeld des Hellentals, 1. Hälfte 17. Jahrhundert; Teil 4: Glashütten der Frühen Neuzeit im Hellental, 1. Hälfte des 18. Jahrhunderts. – *Sollinger Heimatblätter* 21, Heft 1-4, Uslar 2012, 14-21; 8-17; 13-22; 15-24.

Wedepohl 1993: Karl Hans Wedepohl, Die Herstellung mittelalterlicher und antiker Gläser. – *Abhandlungen der Akademie der Wissenschaften und der Literatur Mainz, Mathematisch-Naturwissenschaftliche Klasse* 3, 1993, 1-38.

Wedepohl 2003: Karl Hans Wedepohl, Glas in Antike und Mittelalter. Geschichte eines Werkstoffes, Stuttgart 2003.

Wedepohl, Bergmann, Kronz 2010: Karl Hans Wedepohl, Rudolf Bergmann, Andreas Kronz, Die Holzasche-Kalk-Blei-Gläser der Hütte am Füllenberg bei Altenbeken-Buke. – *Archäologie in Westfalen-Lippe* 2009, Langenweißbach 2010, 207-213.

Wedepohl, Simon, Kronz 2011: Karl Hans Wedepohl, Klaus Simon, Andreas Kronz, Data on 61 chemical elements for the characterization of three major glass compositions in late antiquity and the middle ages. – *Archaeometry* 53, 81-102.

Weise 1989: Erich Weise, Geschichte von Schloß Nienover im Solling. – *Veröffentlichungen des Instituts für Historische Landesforschung der Universität Göttingen* 27, Hildesheim 1989.

Wichert-Pollmann 1963: Ursula Wichert-Pollmann, Das Glasmacherhandwerk im östlichen Westfalen. Eine volkskundliche Untersuchung, Münster 1963.

Wilke, Stephan, Myszka 2016: Detlef Wilke, Hans-Georg Stephan, Radoslaw Myszka, Glasschmelzgefäße und Gebrauchskeramik einer früh- und einer spätmittelalterlichen Waldglashütte bei Bodenfelde an der Oberweser. In: Susanne Greiff, Andreas Kronz, Frank Schlütter und Michael Prange (Hrsg.), *Archäometrie und Denkmalpflege* 2016. Jahrestagung an der Georg-August-Universität Göttingen 28. September - 1. Oktober 2016. – *Metalla. Sonderheft* 8, Bochum 2016, 152-155.

Witt 1981: Gertrud Witt, Uslar. Amt und Festung, Uslar 1981.

Wittekind 2004: Susanne Wittekind, Altar – Reliquiar – Retabel. Kunst und Liturgie bei Wibald von Stablo, Köln, Weimar, Wien 2004.

Wolf 2003: Helmut Wolf, Glashütten im Bayerischen Wald und Oberpfälzer Wald. In: Peter Steppuhn (Hrsg.) im Auftrag des Kulturkreises Glashütten e. V., Glashütten im Gespräch. Berichte und Materialien vom 2. Internationalen Symposium zur archäologischen Erforschung mittelalterlicher und frühneuzeitlicher Glashütten Europas, 2003, 55-56.

Wolff 1871: Emil Wolff, Aschen-Analysen von landwirtschaftlichen Produkten, Fabrik-Abfällen und wildwachsenden Pflanzen, Berlin 1871.

Zimmermann 2014: Martin Zimmermann, Glashandwerker im Frühmittelalter, Lübeck 2014.



3. Projektanteil der Universität Bamberg (Sören Siebe)

3.1. Einführung

Die Erforschung archäologischer Gläser und deren Korrosion erfolgt schon seit einigen Jahrzehnten. Wilhelm Geilmann veröffentlichte seine Erkenntnisse 1956 in dem Artikel „Beiträge zur Kenntnis alter Gläser IV: Die Zersetzung der Gläser im Boden“⁴. Ausführliche Berichte zur Zusammensetzung historischer Gläser in größerem Umfang sind zum Beispiel bei Bezborodov⁵ oder Wedepohl⁶ zu finden, wobei letzterer auf die Glaskorrosion nur am Rande eingeht.

Generell ist zu sagen, dass in den letzten Jahrzehnten eine Vielzahl von Publikationen erschienen sind, die sich mit der Schädigung und dem Schutz historischer Gläser auseinandersetzen. In der Regel betreffen diese aber Glasmalereien und Buntglasfenster an Gebäuden oder museale Glasgefäße⁷. Forschungen zu archäologischen Gläsern und deren Schädigung sind ganz klar die Ausnahme. Hier wäre beispielhaft der Aufsatz von Bellendorf et al. „Archaeological Glass: The Surface and Beyond“ zu nennen⁸.

Glashütten waren in der letzten Zeit zwar vermehrt im Fokus der archäologischen Forschung, allerdings lag hier der Schwerpunkt nicht auf den Analysen der Gläser, auf den Forschungen zur Glaskorrosion noch weniger⁹. Das Projekt „Die modellhafte Bergung, Konservierung und Restaurierung umweltgeschädigter archäologischer Funde am Beispiel mittelalterlicher Gläser und Glashütten im Weserbergland (Niedersachsen und Nordrhein-Westfalen)“ bietet die Möglichkeit, umfangreiche Untersuchungen an den geborgenen Gläsern, aber auch an Halbrohstoffen wie Fritten oder Abfallprodukten, wie Glastropfen oder Glasanhaftungen an Schmelzhäfen sowie Ofenwandungen durchzuführen. Zusätzlich werden die Rahmenbedingungen vor Ort untersucht. Nicht nur die Funde sondern auch das umgebende Sediment, also Bodenproben, die direkt auf dem Grabungsareal entnommen wurden, werden analysiert. Auch wurde die Aufarbeitung der extrem günstigen Rohstoffsituation in Bodenfelde genauer betrachtet, um Hinweise darauf zu bekommen, warum gerade hier die Glasmacher über einen so langen Zeitraum tätig waren.

3.2. Eigenschaften und Herstellung von Glas

Bei Glas handelt es sich um eine unterkühlte Schmelze. Das heißt, dass die geschmolzene Glasmasse beim Abkühlen nicht in einen kristallinen Zustand übergeht, wie es bei den meisten Materialien der Fall ist. Bei Glas ordnen sich die Atome nur im Nahbereich, den Großteil bildet eine amorphe, nicht kristalline feste Substanz. Zu diesen begrenzt kristallinen Gebilden zählen die Siliziumoxid (SiO_4)-Tetraeder in denen vier Sauerstoff-Ionen ein Silizium-Ion umgeben. Letztere gehören wiederum zu weiteren Tetraedern, die hierdurch

⁴ Wilhelm Geilmann, Beiträge zur Kenntnis alter Gläser IV: Die Zersetzung der Gläser im Boden. In: Glastechnische Berichte Jahrgang 29 (Frankfurt am Main 1956).

⁵ Michail Alekseevič Bezborodov – Chemie und Technologie der Antiken und mittelalterlichen Gläser (Mainz 1975).

⁶ Karl Hans Wedepohl, Glas in Antike und Mittelalter. Geschichte eines Werkstoffes (Stuttgart 2003).

⁷ Als Beispiel seien hier nur erwähnt: Falko Bornschein et al., Konservierung mittelalterlicher Glasmalerei im Kontext spezieller materieller und umweltbedingter Gegebenheiten (Stuttgart 2011) / Bauhütte St. Sebald, Nürnberg e. V. (Hrsg.), Sicherung und Erhalt der Glasmalereifenster des 14.-16. Jahrhunderts an den Kirchen St. Sebald und St. Lorenz sowie der Frauenkirche in Nürnberg (Stuttgart 2009) / Stephen P. Koop, Conservation And Care Of Glass Objects (London 2006).

⁸ Paul Bellendorf et al., Archaeological Glass: The surface and Beyond. In: Hannelore Roemich (Hrsg.), Glass and Ceramics Conservation 2010 (Corning NY 2010).

⁹ Als Beispiel seien hier nur erwähnt: Sören Frommer/Aline Kottmann, Die Glashütte Glaswasen im Schönbuch. Produktionsprozesse, Infrastruktur und Arbeitsalltag eines spätmittelalterlichen Betriebs. In: Barbara Scholkmann/Rainer Schreg, Tübinger Forschungen zur historischen Archäologie. Band 1 (Büchenbach 2004)/ Walter Lang, Spätmittelalterliche Glasproduktion im Nassachtal, Uhingen, Kreis Göppingen. In: Landesdenkmalamt Baden-Württemberg (Hrsg.), Materialhefte zur Archäologie (Stuttgart 2001).

miteinander verknüpft werden. Diese Vernetzung der Siliziumoxid-Tetraeder bildet das Grundmuster vieler Gläser. Auf jedes Silizium-Ion kommen somit vier Sauerstoff-Ionen, damit hat der Stoff die chemische Formel SiO_2 . In dieser reinen Form sprechen wir von Quarz, dass mit einer Schmelztemperatur von $1707\text{ }^\circ\text{C}$ in mittelalterlichen Glashütten so nicht zu schmelzen gewesen wäre. Um die Schmelztemperatur herunter zu setzen, wurden der Glasschmelze sogenannte Netzwerkzähler, oder Flussmittel, zugegeben. Diese Stoffe sind die häufig natürlich vorkommenden Alkali-Elemente Natrium (Na) und Kalium (K), die Erdkali-Elemente Calcium (Ca) und Magnesium (Mg), sowie auch Blei (Pb)¹⁰. Durch den Einbau dieser Elemente wird das regelmäßige SiO_2 -Gitter aufgebrochen und kleinräumig begrenzt. Die dadurch hervorgerufenen unterschiedlichen Ordnungsgrade der Atome im Nah- und Fernbereich führen dazu, dass Gläser einen Erweichungsbereich und keinen definierten Schmelzpunkt haben, wie es bei kristallinen Verbindungen der Fall ist. Dieser Erweichungsbereich ist der Grund dafür, dass die heiße zähe Glasmasse mit der Glasmacherpfeife bearbeitet werden kann¹¹.

In antiker Zeit wurde Natriumkarbonat als Flussmittel der Glasschmelze zugegeben. Diese konnte aus dem natürlich vorkommenden Mineral Trona gewonnen werden. Die Hauptbezugsquellen waren die Ufer des Salzsees Wadi El-Natron. Durch Erhitzen konnte aus Trona Soda gewonnen werden, ein Natriumkarbonat. Ebenso konnte auch die Asche von Strandpflanzen an Meeresküsten verwendet werden, die eine sehr ähnliche Zusammensetzung und einen sehr hohen Anteil von Natriumkarbonat aufweist.¹²

Im Laufe des Mittelalters führten europäische Glasmacher die Herstellung von Holzasche-Gläsern ein. Statt Soda oder Salzpflanzenasche nutzte man hier Holzasche von Bäumen, vornehmlich Buchen, oder seltener Farn-Asche. Holzasche weist einen hohen Anteil von Kaliumoxid (K_2O) auf, dass als Flussmittel in der Glasschmelze beigegeben wurde.¹³ Im späten Mittelalter wurde diese Rezeptur noch einmal abgewandelt indem man gezielt Kalk der Glasschmelze beimischte. Der Zusatz von Calcium hemmt die Wasserlöslichkeit der Alkaligläser erheblich.¹⁴ Durch die hiermit einhergehende reduzierte Zugabe von Holzasche sank auch der Anteil an Kaliumoxid. Dies ist oft durch den Zusatz von Natrium kompensiert worden; der Nachweis von Chlor lässt den Schluss zu, dass in diesen Fällen gezielt Natriumchlorid, also Kochsalz, der Glasschmelze beigemischt wurde.¹⁵

3.3. Probenauswahl und Probleme durch vorherige Behandlung der Glasfunde

Die Glasproben, die im Rahmen dieses Forschungsprojektes untersucht wurden, spiegeln nur einen sehr kleinen Teil des geborgenen Fundmaterials wider. Bei der schiereren Masse an Glasfunden, die während der Projektzeit und vor allem auch in den Grabungskampagnen davor geborgen wurden, musste eine kleine, aber repräsentative Auswahl an zu analysierenden Gläser bestimmt werden. In Zusammenarbeit mit der HTW-Berlin wurde daher eine Vorauswahl der Glasproben vorgenommen. Es wurde darauf geachtet, ein möglichst breites Spektrum an unterschiedlich gefärbten Gläsern mit einer Vielzahl unterschiedlicher Korrosionsphänomene auszuwählen. Der Fokus lag dabei besonders auf Hohl- und Flachglasscherben, sowie Pfeifenabschlägen, die als Produktionsabfall aus einer fertig aufgeschmolzenen Glasmasse bestehen. Daneben wurden auch Glastropfen, Verglasungen von Ofenwänden oder Häfen, sowie Fritten und Rohglas ausgewählt. Bei Letzteren kann jedoch nicht davon ausge-

¹⁰ Da bei den in diesem Projekt untersuchten Gläsern keine Bleigläser nachgewiesen werden konnten, werden diese Gläser im weiteren Verlauf nicht besprochen. Eine Übersicht hierzu findet sich beispielsweise bei: Karl Hans Wedepohl, Glas in Antike und Mittelalter. Geschichte eines Werkstoffs (Stuttgart 2003) S. 22 ff.

¹¹ Karl Hans Wedepohl, Die Herstellung mittelalterlicher und antiker Gläser (Stuttgart 1993) S. 3-4.

¹² Karl Hans Wedepohl, Die Herstellung mittelalterlicher und antiker Gläser (Stuttgart 1993) S. 7.

¹³ Karl Hans Wedepohl, Die Herstellung mittelalterlicher und antiker Gläser (Stuttgart 1993) S. 10-11.

¹⁴ Karl Hans Wedepohl, Die Herstellung mittelalterlicher und antiker Gläser (Stuttgart 1993) S. 6.

¹⁵ Karl Hans Wedepohl, Die Herstellung mittelalterlicher und antiker Gläser (Stuttgart 1993) S. 13.

gangen werden, dass es sich hierbei um eine fertige Glasmasse handelt, daher wurden diese Proben nur eingeschränkt bei der späteren Auswertung berücksichtigt. Insgesamt wurden 129 Glasproben ausgewählt. Wie erwähnt, wurde versucht einen möglichst vielfältigen Auszug aus den geborgenen Funden auszuwählen, daher kann man anhand dieser Proben keine statistischen Auswertungen, hinsichtlich der Häufigkeit der verschiedenfarbigen Gläser oder von bestimmten Korrosionsphänomenen, anstellen.

Da viele Glasfunde aus demselben Fundzusammenhang stammen, wurden sie auf der Ausgrabung auch mit derselben Fundnummer bezeichnet. Um jedoch jede Probe eindeutig ansprechen zu können, war es notwendig eine neue Nummerierungs-Systematik für die Glasproben anzuwenden. Die Proben wurden von 001 bis 129 durchnummeriert, dazu kam der Präfix BA_G_ (BA – da die Proben an der Otto-Friedrich-Universität Bamberg untersucht wurden; G – da es sich um Glasproben handelt)¹⁶. Die Proben wurden dabei nicht nach einem besonderen Schema sortiert.

Die so ausgewählten Proben wurden nochmals genauer begutachtet und schließlich 53 repräsentative Proben für die weiterführenden Analysen ausgewählt.¹⁷ Der Fokus lag dabei, wie bereits oben erläutert auf Resten von Hohl und Flachglas, andere Glasfunde wurden nicht ganz so häufig analysiert.

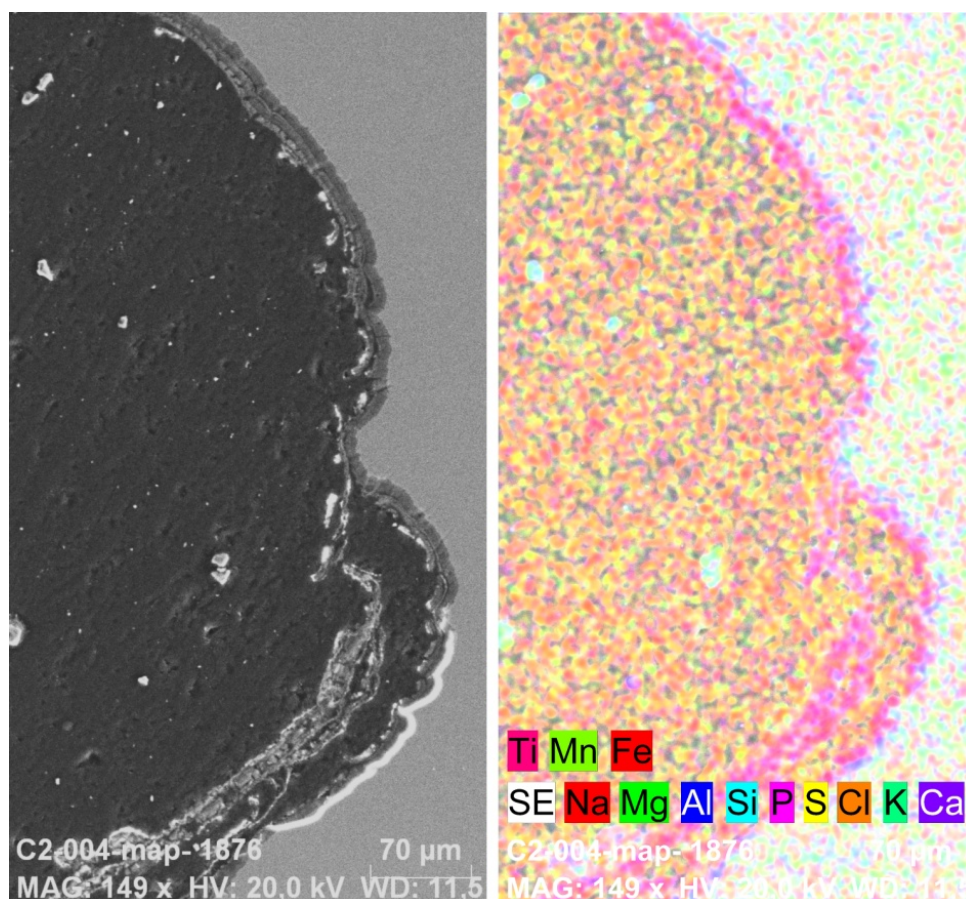


Abb. 100 Mapping durch REM/EDX-Messung. Links: Ansicht der Probe im Rasterelektronenmikroskop, Glasmasse auf der rechten Seite (helles Grau), Einbettmasse auf der linken Seite (dunkles Grau), dazwischen Korrosionsprodukte; Rechts: Verteilung der verschiedenen gemessenen Elemente in der Probe

¹⁶ Die untersuchten Bodenproben wurden hierzu analog mit BA_B_001 bis BA_B_039 bezeichnet (B - steht hier für Bodenprobe). Die untersuchte Salzprobe wurde mit BA_S_001 bezeichnet (S - steht hier für Salzprobe).

¹⁷ Vergl. hierzu auch den Probenkatalog im Anhang.

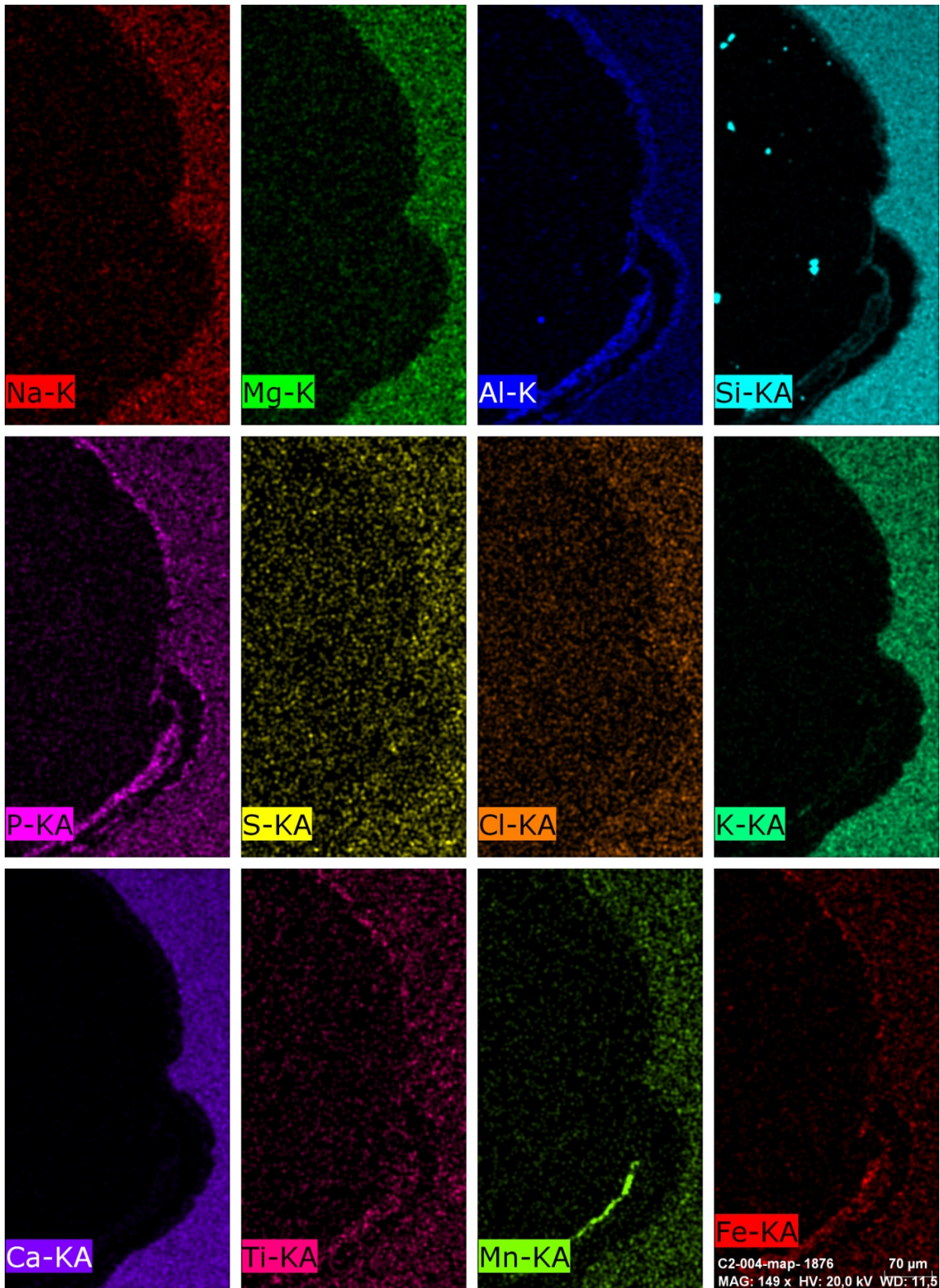


Abb. 101 Mapping durch REM/EDX-Messung. Verteilung der einzelnen Elemente; Beispielsweise sind Natrium und Kalium in den Korrosionsschichten größtenteils ausgelaugt, dafür bleiben Aluminium und Phosphor stärker erhalten. Im unteren Bereich der Korrosionsschicht gibt es eine Manganausfällung

Die Untersuchungen der Glasproben wurden im Labor der Restaurierungswissenschaft der Otto-Friedrich-Universität Bamberg vorgenommen. Es wurden orientierende Analysen

durchgeführt, die zwar nicht die exakte Zusammensetzung der Gläser klären, jedoch eine Bestimmung des Glassystems der Proben hinreichend ermöglichen. Zur Anwendung kam das Raster-Elektronen-Mikroskop (REM) mit der EDX¹⁸-Sensoreinheit *Bruker 129 eV/X-Flash Detektor 5010* der Firma Bruker AXS Microanalysis GmbH. Dieser Detektor arbeitet nach dem Prinzip des Silizium Drift Detektors (SDD)¹⁹. Die Auswertung erfolgte mit der dazugehörigen Software *Esprit 1.8*. Es wurden dabei pro Probe mehrere Messungen gemacht. Vorrangig ging es darum das Glassystem der Probe zu bestimmen, daher wurde zuerst eine Messung im Bereich der nicht korrodierten Glasmasse – soweit vorhanden – gemacht. Diese Messung wurde dann in der Regel mit zwei weiteren Messungen in der nicht korrodierten Glasmasse ergänzt und abgeglichen.²⁰ Ebenso wurden verschiedene Areale von korrodiertem Glas – soweit die Probe solche Bereiche aufwies – gemessen. Um die Glaskorrosion und die Verteilung der einzelnen Elemente innerhalb des Glases und der Korrosionsprodukte zu visualisieren eignet sich ein sogenanntes Mapping besonders gut. Dadurch lässt sich beispielsweise die Auslaugung des Kaliums in den Korrosionsschichten hervorragend nachvollziehen (Abb. 100).

Um dennoch die genaue Zusammensetzung einzelner Glasproben herauszufinden, wurden verschiedenen Proben zur Analyse an Speziallabors weitergegeben. Diese Untersuchungen wurden durch das Fachlabor Analytik Aurachtal GmbH²¹, sowie das Analytische Labor der Friedrich-Alexander-Universität in Erlangen, Werkstoffwissenschaften III – Glas und Keramik²² durchgeführt. Ebenso wurden RFA-Untersuchungen von der HTW-Berlin zur Verfügung gestellt.

Bei den analysierten Glasproben handelt es sich fast ausnahmslos um Proben aus Kampagnen, die dem Projekt vorausgingen. Lediglich die Proben BA_G_127, BA_G_128 und BA_G_129 wurden während der Projektlaufzeit geborgen. Hierbei handelt es sich jeweils um Glastropfen, die bei der Ausgrabung der karolingischen Glashütte gefunden wurden.

Alle anderen untersuchten Gläser stammen von der Glashütte des 15. Jahrhunderts, die während den Grabungskampagnen 2012 bis 2014 gefunden wurden. Diese Proben wurden gereinigt und anschließend nicht unter klimatisch kontrollierten Bedingungen gelagert.

Dies bringt eine Schwierigkeit mit sich, wenn es um die Ansprache der Korrosionsphänomene geht. Viele der untersuchten Proben weisen augenscheinlich keine oder nur geringe Korrosionsrückstände auf, andere hingegen eine flächige Korrosion, die die gesamte Oberfläche der Glasscherbe überdeckt. Demnach drängt sich die Frage auf, ob, und wenn ja, in welchem Umfang die Korrosionsschicht bei der Reinigung entfernt wurde. Besonders eine nasse und abrasive Reinigung wird zum Verlust der nicht besonders stabilen Korrosionsschichten geführt haben. Bei der Mehrheit der untersuchten Glasproben kann demnach nicht mit Gewissheit gesagt werden, ob der Korrosionszustand zum Untersuchungszeitpunkt dem Zustand bei der Bergung entspricht. Die unterschiedlichen Korrosionsgrade könnten demnach nicht unerheblich durch die vorhergehende Behandlung beeinflusst worden sein.

¹⁸Energiedispersive Röntgenspektroskopie.

¹⁹ Bruker AXS Microanalysis GmbH, Quantax Benutzerhandbuch (Berlin 2008) S. 56.

²⁰ Siehe hierzu die Spektren der REM/EDX-Analysen der jeweiligen Proben im Anhang.

²¹Analyse: RFA (Shimadzu EDX-700-HS [Detektierbare Elemente: Natrium bis Uran]); Methode/Norm: a AHV731701aur, 2006-04.

²²Analyse: Proben in Achatmühle zerkleinert; SiO₂: grav. Schmelzaufschluss; restliche Elemente: HF/HClO₄ Aufschluss mit ICP (Spectro Genesis SOP/EOP) analysiert; sowie: Environmental scanningelectronmicroscope (ESEM).

3.4. Glaskorrosion

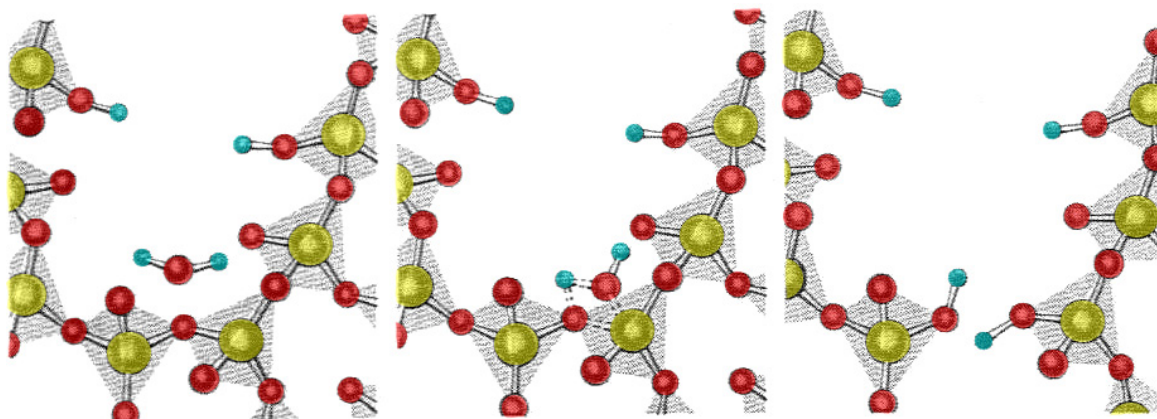


Abb. 102 Aufweitung eines Risses im Glasnetzwerk durch den Einfluss von Wasser. Hydrolytische Spaltung einer Si-O-Si-Bindung (Gelb: Silizium [Si]; Rot: Sauerstoff [O]; Blau: Wasserstoff [H]) (nach Volker Koesling, Vom Feuerstein zum Bakelit. Historische Werkstoffe verstehen (Stuttgart 2001) S. 246)

Der Hauptverursacher für Glaskorrosion ist Wasser (Abb. 102). Durch kleinste Risse und Kratzer an der Oberfläche kann Wasser in das Glas eindringen. Hier löst das Wasser die im Glas vorhandenen Alkalianteile, aus dem Flussmittel, heraus, sie werden durch Wasserstoffionen aus dem Wasser ersetzt. Die Siliziumoxid-Bindungen werden so aufgelöst. Besonders das Kaliumkarbonat aus der Holzasche ist hierbei sehr anfällig. Die dabei entstehende Lauge kann eine weitere hydrolytische Spaltung der Siliziumoxid-Bindungen beschleunigen. Bei einem pH-Wert oberhalb von 9 wird dieser Prozess weiter beschleunigt. Dazu kommt, dass in dem alkalischen Milieu auch Netzwerkstabilisatoren wie Calcium- oder Magnesiumionen abgebaut werden. Die Oberfläche der Gläser kann dabei völlig aufgelöst werden.²³

Die Folge ist, dass sich die Glasstruktur nach und nach in eine wasserquellbare, hygroskopische Gelschicht (Kieselgel) umwandelt, die sich in Form dünner irisierender Blättchen von der Oberfläche ablöst. So schillernde Oberflächen sind das erste Anzeichen von Glaskorrosion.

Durch schwankende Feuchtigkeitswerte quellen und schwinden die Gelschichten, was zu Spannungen in der mechanisch empfindlichen Gelschicht und letztendlich zu Rissen führt. Dies erleichtert es wiederum, dass Wasser immer tiefer in das Glas eindringen kann.²⁴

3.5. Korrosionsphänomene

Bei der Beschreibung der Korrosionsphänomene soll hier die Terminologie Verwendung finden, wie sie jüngst Fabian Maier im Begleitband zur Ausstellung „GlasKlar – Archäologie eines kostbaren Werkstoffes in Südwestdeutschland“²⁵ des Archäologischen Landesmuseums Baden-Württemberg in Konstanz (24.04. bis 20.09.2015) verwendet hat. Die untersuchten Gläser weisen verschiedene Korrosionsphänomene und -stadien auf. Dabei variiert der Grad der Schädigung von gar nicht geschädigten Gläsern bis hin zu vollkommen durchkorrodierten Scherben. Sechs Haupttypen der Korrosion konnten bei den analysierten Proben unterschieden werden, wobei jedoch anzumerken ist, dass die Übergänge zwischen diesen Haupttypen fließend sind.

²³ Volker Koesling, Vom Feuerstein zum Bakelit. Historische Werkstoffe verstehen (Stuttgart 2001) S. 247-248.

²⁴ Volker Koesling, Vom Feuerstein zum Bakelit. Historische Werkstoffe verstehen (Stuttgart 2001) S. 247-248.

²⁵ Fabian Maier, Getrübter Glanz und schillernde Farben. Korrosion an archäologischen Glasfunden, in: Ralph Röber, Archäologisches Landesmuseum Baden Württemberg (Hrsg.), GlasKlar. Archäologie eines kostbaren Werkstoffes in Südwestdeutschland (Friedberg 2015) S. 104-107.

3.5.1. Keine bis minimale Korrosion

- makroskopisch keine Korrosion festzustellen
- mikroskopisch minimale Punkt-, bzw. Ringkorrosion erkennbar
- originale Oberfläche des Glases ist noch großflächig erhalten
- makroskopisch keine Korrosionsschicht, bzw. -rückstände auf der Oberfläche zu erkennen
- Korrosionsrückstände zum Teil in tiefen Rissen nachweisbar. Diese ist gekennzeichnet durch den Abbau von Kalium, Natrium, Magnesium und Calcium, sowie die Konzentration von Eisen und Aluminium

Diese Korrosionsmerkmale konnten bei den Proben BA_G_009, BA_G_100, BA_G_111, BA_G_115, BA_G_117 und BA_G_118 beobachtet werden. Vier dieser sechs Proben (BA_G_009, BA_G_100, BA_G_117 und BA_G_118) bestehen dabei aus farblosem oder zumindest fast farblosem Glas.

3.5.2. Mäßige Punkt-, bzw. Ringkorrosion ohne, bzw. mit kaum Korrosionsschicht

- Punkt-, bzw. Ringkorrosion makroskopisch erkennbar, diese ist aber nicht besonders tief in das Glas eingedrungen
- Originale Oberfläche der Glasscherben sind immer noch zum Teil vorhanden
- Keine bis minimale Korrosionsschichten, bzw. -rückstände, vornehmlich in den Korrosionslöchern

Diese Korrosionsmerkmale konnten bei den Proben BA_G_004, BA_G_005, BA_G_008, BA_G_010, BA_G_012, BA_G_017, BA_G_029, BA_G_031, BA_G_032, BA_G_097, BA_G_098 und BA_G_099 beobachtet werden.

3.5.3. Mäßige Punkt-, bzw. Ringkorrosion mit Korrosionsschicht

- Punkt-, bzw. Ringkorrosion makroskopisch erkennbar, welche nicht besonders tief in das Glas eingedrungen ist
- Originale Oberfläche der Glasscherben sind immer noch zum Teil vorhanden
- Korrosionsschichten bzw. -rückstände sind deutlich erkennbar. Diese ist gekennzeichnet durch den Abbau von Kalium, Natrium und Calcium, teilweise auch von Magnesium und Silizium, sowie die Konzentration von Eisen, Phosphor und Aluminium.

Diese Korrosionsmerkmale konnten bei den Proben BA_G_006, BA_G_015, BA_G_024, BA_G_030, BA_G_064, BA_G_102 und BA_G_103 beobachtet werden.

3.5.4. Punkt-, bzw. Ringkorrosion mit flächendeckender Korrosionsschicht

- Punkt-, bzw. Ringkorrosion makroskopisch erkennbar, diese ist zum Teil recht tief in das Glas eingedrungen
- Originale Oberfläche der Glasscherben können zum Teil noch vorhanden sein
- Großflächige Auflage einer Korrosionsschicht (gelblich), sowohl in den Korrosionslöchern als auch auf der vermeintlich originalen Oberfläche. Diese ist gekennzeichnet durch den Abbau von Natrium, Kalium und Calcium, teilweise auch von Magnesium und Silizium, sowie die Konzentration von Aluminium, Phosphor und Eisen, und teilweise auch von Titan. In den äußeren Bereichen kommen vereinzelt Manganausfällungen vor
- Die Korrosionsschicht ist recht dünn und weist eine lamellenartige Struktur auf, in der Regel zwei bis drei Schichten, zum Teil einhergehend mit der Ablösung der äußeren Schichten

Diese Korrosionsmerkmale konnten bei den Proben BA_G_011, BA_G_013, BA_G_019, BA_G_028, BA_G_077 und BA_G_124 beobachtet werden.

3.5.5. Flächige Punkt-/Ringkorrosion mit großflächigem Verlust der originalen Oberfläche

- Stark ausgeprägte Punkt-, bzw. Ringkorrosion makroskopisch erkennbar, diese ist zum Teil tief in das Glas eingedrungen
- Originale Oberfläche der Glasscherben sind nicht mehr erkennbar
- Nahezu komplett flächendeckende Auflage einer Korrosionsschicht (weiß-gelblich). Diese ist gekennzeichnet durch den Abbau von Natrium, Magnesium, Kalium und Calcium, teilweise auch Silizium, sowie die Konzentration von Aluminium, Phosphor und Eisen
- Die Korrosionsschicht weist eine lamellenartige Struktur auf, mehrere Schichten stark, zum Teil einhergehend mit der Ablösung der äußeren Schichten
- Bildung einer Gelschicht zwischen Kernglas und Korrosionsschicht.

Diese Korrosionsmerkmale konnten bei den Proben BA_G_016 und BA_G_106 beobachtet werden. Beide Scherben bestehen aus hellgrünem Glas.

3.5.6. Flächendeckende Tiefenrissskorrosion

- Oberfläche der Gläser ist vollständig durchkorrodiert, keine Punkt-, bzw. Ringkorrosion, originale Oberfläche ist noch erhalten
- Oberflächen sind braun-schwarz verfärbt, darunter weist die Korrosion eine gelb-weiße Farbe auf
- Sehr tief reichende Korrosion, zum Teil ist das Glas komplett durchkorrodiert
- Die korrodierten Bereiche sind vollständig mit feinen Haarrissen durchzogen. Im Querschnitt ist deutlich eine lamellenartige Struktur der Korrosionsschicht erkennbar. Diese ist gekennzeichnet durch den Abbau von Natrium, Kalium und Calcium und Magnesium. In den äußeren Bereichen kommen häufig einzelne Manganausfällungen vor, diese sind auch für die braune Färbung der äußersten Korrosionsschicht verantwortlich.

Diese Korrosionsmerkmale konnten bei den Proben BA_G_014, BA_G_026, BA_G_107, BA_G_108 und BA_G_125 beobachtet werden. Alle Proben bestehen aus blauem Glas.

Neben den oben beschriebenen Korrosionsphänomenen tritt vereinzelt auch eine Flächen- oder Lamellenkorrosion auf, die durch mehr oder weniger große Partien, die sich unter Bildung einer irisierenden Schicht, von der Oberfläche ablösen.

Auffällig ist, dass die Tiefenrissskorrosion nur bei Blauen Gläsern festzustellen war, ein Phänomen, dass auch schon F. Neuburg 1949 beobachten konnte.²⁶ Die Punkt-, bzw. Ringkorrosion wurde hauptsächlich bei dunkelblauen und grünen Gläsern bemerkt, wobei diese Korrosionsform ebenso bei einem gelb-braunen und einem violetten Glas nachgewiesen werden konnte. Punkt-, bzw. Ringkorrosion in Kombination mit einer flächendeckenden weißlichen Korrosionsschicht (ohne braune Verfärbungen der äußeren Schichten) konnte nur bei grünen, nicht aber bei dunkelgrünen, Gläsern beobachtet werden. Bei farblosen, bzw. fast farblosen, Gläsern konnte kaum eine Schädigung durch Korrosion beobachtet werden. Wie oben bereits erwähnt, wurde nur ein kleiner Teil der geborgenen Gläser untersucht, daher soll die Kombination von bestimmten Gläsern und bestimmten Korrosionsphänomenen hier zwar als Beobachtung festgehalten werden, es soll jedoch nicht die Ableitung einer Gesetzmäßigkeit gemacht werden.

²⁶ Michail Alekseevič Bezborodov – Chemie und Technologie der Antiken und mittelalterlichen Gläser (Mainz 1975) S. 166.

Generell ist davon auszugehen, dass die Farbigkeit der Gläser, bzw. die Zugabe an färbenden Metallen wohl keinen allzu großen Einfluss auf das Korrosionsverhalten der Gläser hat. Eventuell muss aber davon ausgegangen werden, dass für bestimmte Farben bestimmte Glasrezepte verwendet wurden, die die Korrosion verschieden begünstigen.

Ebenso muss erwähnt werden, dass die zahlreichen Glastropfen sowie Verglasungen an Ofenwänden oder Häfen nur extrem wenig bis gar keine Anzeichen von Korrosion aufweisen. Da es sich bei diesen Objekten aber in der Regel nicht um eine fertige Glasmasse handelt, werden sie hier nur am Rande abgehandelt.

3.6. Zusammensetzung der Gläser des 15. Jahrhunderts

Bei den untersuchten Gläsern der Glashütte des 15. Jahrhunderts handelt es sich fast ausnahmslos um Holzasche-Kalk-Gläser²⁷, sehr viel Silizium, viel Calcium und deutlich mehr Kalium als Natrium aufweisen. Lediglich zwei Gläser weichen von dieser Glasart ab. Eine Übersicht über die Zusammensetzung der Glasproben gibt der Semiquantitative Vergleich in der Tab. 3.²⁸

Proben-Nr.	Na	Mg	Al	Si	P	S	Cl	K	Ca	Ba	Ti	Mn	Fe	Ni	Cu	Glasart
BA_G_002																Holzasche-Kalk-Glas
BA_G_003																Verglasung (Holzasche-Glas)
BA_G_004																Holzasche-Glas
BA_G_005																Holzasche-Kalk-Glas
BA_G_006																Holzasche-Kalk-Glas
BA_G_008																Holzasche-Kalk-Glas
BA_G_009																Holzasche-Kalk-Glas
BA_G_010																Holzasche-Kalk-Glas
BA_G_011																Holzasche-Kalk-Glas
BA_G_012																Holzasche-Kalk-Glas
BA_G_013																Holzasche-Kalk-Glas
BA_G_014																vollständig korrodiert
BA_G_015																Holzasche-Kalk-Glas
BA_G_016																Holzasche-Kalk-Glas
BA_G_017																Holzasche-Kalk-Glas
BA_G_019																Holzasche-Kalk-Glas
BA_G_021																Holzasche-Kalk-Glas
BA_G_024																Holzasche-Kalk-Glas
BA_G_026																Holzasche-Kalk-Glas
BA_G_028																Holzasche-Kalk-Glas
BA_G_029																Holzasche-Kalk-Glas
BA_G_030																Holzasche-Kalk-Glas
BA_G_031																Holzasche-Kalk-Glas
BA_G_032																Holzasche-Kalk-Glas
BA_G_034																Fritte
BA_G_044																Fritte
BA_G_064																Holzasche-Kalk-Glas
BA_G_075																Holzasche-Kalk-Glas
BA_G_077																Holzasche-Kalk-Glas
BA_G_079																Holzasche-Kalk-Glas
BA_G_080																Holzasche-Kalk-Glas
BA_G_082																Verglasung
BA_G_092																Tropfen
BA_G_097																Holzasche-Kalk-Glas
BA_G_098																Holzasche-Kalk-Glas
BA_G_099																Holzasche-Kalk-Glas
BA_G_100																Holzasche-Kalk-Glas

²⁷ Die Charakterisierung der Gläser folgt Karl Hans Wedepohl, wie er sie 1993 publiziert hat. Er unterscheidet sechs verschiedene Glasstypen: Soda-Kalk-Glas, Soda-Asche-Glas, Holzasche-Glas, Holzasche-Kalk-Glas, Holzasche-Blei-Glas und Blei-Glas (Karl Hans Wedepohl, Die Herstellung mittelalterlicher und antiker Gläser (Stuttgart 1993), S. 23.

²⁸ Ein Überblick über die einzelnen Glasproben und den dazugehörigen Analysen befindet sich im Anhang.

Proben-Nr.	Na	Mg	Al	Si	P	S	Cl	K	Ca	Ba	Ti	Mn	Fe	Ni	Cu	Glasart
BA_G_102																Holzrasche-Kalk-Glas
BA_G_103																Holzrasche-Kalk-Glas
BA_G_106																Holzrasche-Kalk-Glas
BA_G_107																Holzrasche-Kalk-Glas
BA_G_108																Holzrasche-Kalk-Glas
BA_G_111																Holzrasche-Kalk-Glas
BA_G_115																Holzrasche-Kalk-Glas
BA_G_117																Holzrasche-Kalk-Glas
BA_G_118																Soda-Kalk-Glas
BA_G_119																Verglasung
BA_G_120																Tropfen
BA_G_124																Holzrasche-Kalk-Glas
BA_G_125																Holzrasche-Kalk-Glas
BA_G_127																Karol. Tropfen
BA_G_128																Karol. Tropfen
BA_G_129																Karol. Tropfen
	sehr viel			viel			etwas		wenig				in Spuren			

Tab. 3 Semiquantitativer Vergleich der Glasproben der Glashütte des 15. Jahrhunderts (BA_G_002 bis BA_G_125) und der karolingischen Glashütte (BA_G_127 bis BA_G_129). Die verschiedenen Farben repräsentieren das ungefähre Vorkommen der einzelnen Elemente von „sehr viel“ bis „in Spuren“. Die Charakterisierung der Gläser folgt dabei Karl Hans Wedepohl (Karl Hans Wedepohl, Die Herstellung mittelalterlicher und antiker Gläser (Stuttgart 1993), S. 23

Zwei Glasproben fallen hier besonders ins Auge. Zum einen sei hier die Probe BA_G_004 genannt, die einen deutlich erhöhten Kaliumgehalt bei gleichzeitig geringem Calciumgehalt aufweist und somit als Holzrasche-Glas anzusprechen ist (siehe Tab. 4).

Proben-Nr.	Blei (PbO)	Nickel (NiO)	Zink (ZnO)	Zirkon (ZrO ₂)	Kobalt (CoO)	Kupfer (CuO)	Strontium (SrO)	Schwefel (SO ₃)	Titanium (TiO ₂)	Barium (BaO)	Mangan (MnO ₂)	Eisen (Fe ₂ O ₃)	Natrium (Na ₂ O)	Aluminium (Al ₂ O ₃)	Magnesium (MgO)	Phosphor (P ₂ O ₅)	Kalium (K ₂ O)	Calcium (CaO)	Silicium (SiO ₂)
Probe: BA_G_004		<0,01	0,03	0,01		0,02	0,09	0,49	0,12	0,45	2,32	0,54	1,04	2,41	3,3	1,93	14,72	16,91	55,32

Tab. 4 Analyse der Glasprobe BA_G_004 durch das Analytische Labor der FAU Erlangen, WW III – Glas und Keramik, Angaben in Gewichts-%. Bei dieser Probe handelt es sich um das einzige untersuchte Holzrasche-Glas

Die tief violette Färbung der Gläser wird durch den Zusatz von Mangan erreicht.

Zum anderen muss an dieser Stelle die Probe BA_G_118 erwähnt werden. Hierbei handelt es sich um ein farbloses Glas, das keinerlei Korrosion aufweist. Die Zusammensetzung, mit einem hohen Anteil an Natrium, kaum Kalium und deutlich weniger Calcium als Natrium, ist typisch für ein Soda-Kalk-Glas. Eine bräunliche Verfärbung am äußersten Rand konnte auf Eisen zurückgeführt werden. Drei Szenarien wären für die Anwesenheit eines so andersartigen Glases denkbar. Zum einen könnte es sich um speziell importiertes Glas handeln, dass der Glasmasse beim Schmelzprozess zugegeben wurde, um die Qualität der Glasmasse zu steigern. Zum anderen könnte es sich um ein Gefäß handeln, dass im persönlichen Gebrauch eines der Hüttenarbeiter war und gar nichts mit dem Herstellungsprozess zu tun hat. Als dritte Möglichkeit käme noch ein modernes Glas in Frage, dass evtl. durch Tiere in die tieferen Schichten des Bodens verlagert wurde.

3.7. Zusammensetzung der karolingischen Gläser

Die Untersuchungen zu Glasproben aus der karolingischen Glashütte erfolgten an drei Glastropfen. Allen ist gemein, dass sie einen extrem niedrigen Natriumgehalt, einen hohen Kaliumwert und einen im Vergleich zum Kalium deutlich niedrigeren Calciumwert aufweisen (siehe Tab. 5).

Blei (PbO)	<0,01
Nickel (NiO)	<0,01
Zink (ZnO)	0,01
Zirkon (ZrO ₂)	0,01
Kobalt (CoO)	<0,01
Kupfer (CuO)	0,1
Strontium (SrO)	0,05
Schwefel (SO ₃)	0,25
Titanium (TiO ₂)	0,21
Barium (BaO)	0,3
Mangan (MnO ₂)	0,64
Eisen (Fe ₂ O ₃)	0,8
Natrium (Na ₂ O)	0,36
Aluminium (Al ₂ O ₃)	3,24
Magnesium (MgO)	2,23
Phosphor (P ₂ O ₅)	0,98
Kalium (K ₂ O)	17,8
Calcium (CaO)	9,25
Silicium (SiO ₂)	63,35
Probe: BA_G_127	

Tab. 5 Analyse der Glasprobe BA_G_127 durch das Analytische Labor der FAU Erlangen, WW III – Glas und Keramik, Angaben in Gewichts-%. Bei dieser Probe handelt es sich um einen Glastropfen aus der karolingischen Glashütte

Damit widerspricht die Zusammensetzung der zu erwartenden Rezeptur von frühmittelalterlichen Holzasche-Gläsern, wie sie hier vielleicht zu erwarten war. Die durchschnittlichen Werte in Europa liegen für CaO etwa bei 17,58 % und für K₂O etwa bei 10,14 %. Nur bezogen auf Deutschland liegen die Werte für CaO etwa bei 18,50 % und für K₂O etwa bei 17,70 %.²⁹ Die Werte von Probe BA_G_127 weichen von diesen Durchschnittswerten erheblich ab, im europäischen Durchschnitt sind die Werte beinahe umgekehrt. Dabei ist jedoch zu beachten, dass es sich bei allen Proben der karolingischen Glashütte um Glastropfen handelt, die somit keine Produktionsabfälle von fertigen Gläsern sind. Demnach kann davon ausgegangen werden, dass es sich bei den untersuchten Proben nicht um eine fertig aufgeschmolzene Glasmasse handelt. Weitere Indizien sprechen ebenfalls dafür. So sind in den Proben BA_G_128 und BA_G_129 deutlich weiße Einschlüsse zu sehen (Abb. 103), die sich als Calcium herausgestellt haben.

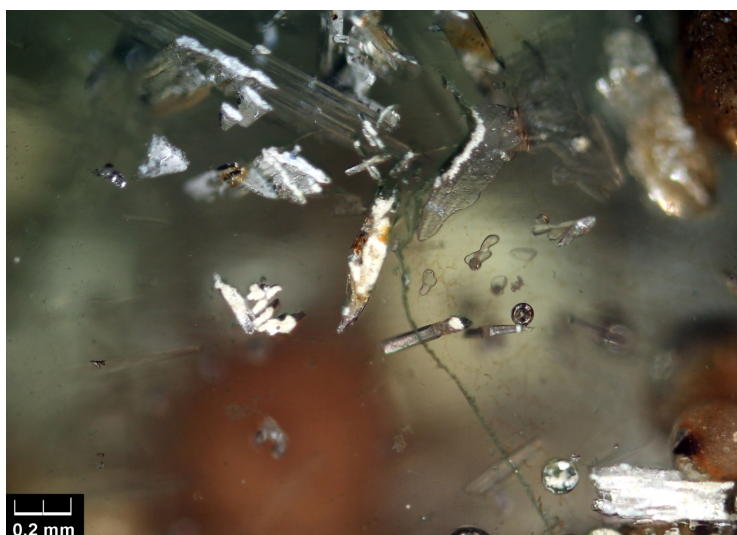


Abb. 103 Anschliff Glasprobe BA_G_129. Inhomogene Glasmasse mit weißen Einschlüssen (Calcium)

²⁹ Die Werte entstammen der Tabelle 6A aus Karl Hans Wedepohl, Glas in Antike und Mittelalter. Geschichte eines Werkstoffs (Stuttgart 2003), S.181-183.

Dass bei der Grabung an der karolingischen Glashütte keinerlei Reste von Flach- oder Hohlglas gefunden wurden könnte einen Hinweis darauf geben, dass die Gläser mit einer recht kaliumhaltigen Rezeptur hergestellt wurden, was den Korrosionsprozess sehr begünstigen und eine extrem schlechte Erhaltung im Boden zur Folge haben würde.

3.8. Analyse der Bodenproben

Im Rahmen des Projektes wurden zahlreiche Bodenproben für Analysen entnommen. Ziel war es herauszufinden, ob der Boden ein erhöhtes Risikopotential für die Schädigung der archäologischen Gläser birgt. Sämtliche Proben wurden auf Ihren Feuchtegehalt und pH-Wert hin untersucht, zusätzlich wurden bei ausgewählten Proben eine Pestizidanalyse und eine Bestimmung der Anionen und Kationen mit Schwermetallscreening durchgeführt.

Die Entnahme der Proben erfolgte auf dem Grabungsareal der Glashütte des 15. Jahrhunderts in Zusammenarbeit mit der HTW Berlin. Die Entnahmestellen wurden fotografisch dokumentiert und deren Lage in CAD-Plänen festgehalten (siehe Anhang). Es wurden dabei Proben sowohl aus den Grabungsschnitten als auch vereinzelt aus dem umliegenden Gelände genommen. Einige der Bodenproben wurden gezielt in unmittelbarer Nähe von stark korrodierten Glasscherben entnommen. Die Proben wurden von BA_B_001 bis BA_B_037 durchnummeriert. Alle wichtigen Daten wurden in einem Entnahmeprotokoll erfasst.

3.9. Bestimmung der Bodenfeuchte

Die Bodenfeuchte der Bodenproben wurde in mehreren Schritten bestimmt. Noch vor Entnahme der Probe wurde an den entsprechenden Stellen die Bodenfeuchtigkeit mit zwei tragbaren Messgeräten getestet. Ebenso wurde der prozentuale Wasseranteil der entnommenen Bodenproben im Labor der Universität Bamberg bestimmt. Zusätzlich erfolgte ein Abgleich der Ergebnisse durch ein spezialisiertes Fachlabor³⁰.

Eine Bestimmung der Bodenfeuchte direkt auf der Grabungsfläche, noch vor Entnahme der Bodenproben erfolgte bei einigen Proben (BA_B_027 bis BA_B_037) mit zwei mobilen Messgeräten (*Silverline 3-in-1 Soil Tester* und *PCE-SMM 1*), die beide im niedrigen Preissektor angesiedelt sind. Es sollte herausgefunden werden, ob mittels dieser Low-Tech-Methode eine schnelle Bestimmung der Bodenfeuchte auf der Grabungsfläche möglich ist. Die Messungen vor Ort waren in Einzelfällen nicht unproblematisch, da der kompakte Boden in einigen Fällen Schwierigkeiten bereitete, die Messgeräte in die gewünschte Tiefe des Bodens hineinzudrücken. Es wurden pro Entnahmestelle zwei Messungen in unterschiedlichen Tiefen durchgeführt, einmal nahe der Oberfläche (ca. 5 cm) und eine etwas tiefer (ca. 10 cm bis 20 cm). Die Ergebnisse der Messungen differierten zum Teil stark (siehe Tabelle), viel schwerwiegender ist allerdings das auch nach eingehendem Studium der zum Teil recht kurzen Bedienungsanleitung nicht herauszufinden war, was der angezeigte Messwert im Endeffekt aussagt. Für eine wissenschaftliche Arbeit eignen sich diese Geräte demnach nicht.

Zur genaueren Bestimmung der Bodenfeuchte (prozentualer Wasseranteil) wurden sämtliche Proben im Labor der Otto-Friedrich-Universität Bamberg analysiert. Teile der Proben jeweils in kleine Aluminiumschalen gegeben und gewogen, die Ergebnisse wurden notiert. Anschließend wurden die Proben über Nacht (10 Stunden) im Trockenschrank bei 105 °C getrocknet. Nach dem erneuten Wiegen der getrockneten Proben wurden die Ergebnisse ebenfalls notiert und die Differenz bestimmt und der prozentuale Wasseranteil errechnet (siehe Tab. 6).

³⁰ Hier für wurde das Fachlabor Analytik Aurachtal GmbH beauftragt.

Proben-Nr.	Bodenfeuchte PCE-SMM 1	Messtiefe (cm)	Bodenfeuchte Silverline 3-in-1 Soil Tester	Messtiefe (cm)
BA_B_027	11,9	20,0	6,50	20,0
	4,7	3,0	1,50	3,0
BA_B_028	13,8	20,0	8,50	20,0
	16,9	5,0	7,00	5,0
BA_B_029	12,9	16,0	8,00	16,0
	9,8	5,0	6,00	5,0
BA_B_030	16,9	15,0	9,50	15,0
	11,1	5,0	7,00	5,0
BA_B_031	18,0	16,0	10,00	16,0
	14,8	5,0	8,25	5,0
BA_B_032	21,2	10,0	10,00	10,0
	22,1	5,0	8,00	5,0
BA_B_033	16,3	15,0	8,50	15,0
	13,3	5,0	7,00	5,0
BA_B_034	21,9	15,0	10,00	15,0
	16,1	5,0	6,25	5,0
BA_B_035	28,1	13,0	10,00	13,0
	23	4,0	6,00	4,0
BA_B_036	6,3	7,0	1,50	7,0
	0,7	4,0	2,00	4,0
BA_B_037	-	-	1,50	3 cm Tiefe; 10 cm Unterhalb der Profilerkante
	- (Messgrät konnte nicht tief genug ins Erdreich gesteckt werden)	-	2,00	3 cm Tiefe; 13 cm Unterhalb der Profilerkante
	-	-	2,50	3 cm Tiefe; 18 cm Unterhalb der Profilerkante

Tab. 6 Messung der Bodenfeuchte auf dem Ausgrabungsgelände mit Hilfe der mobilen Messgeräte Silverline 3-in-1 Soil Tester und PCE-SMM 1. Da sowohl die einzelnen Messwerte der Geräte zum Teil sehr stark voneinander abweichen und auch keinerlei Angabe gemacht wird, was die angezeigten Werte im Endeffekt aussagen, sind diese Geräte für eine wissenschaftliche Arbeit ungeeignet

Um die Ergebnisse zu verifizieren, wurde ein Teil der Proben (BA_B_001 bis BA_B_026) in das Fachlabor Analytik Aurachtal GmbH zur Analyse gegeben, um ebenfalls den prozentualen Wasseranteil zu bestimmen (siehe Tab. 7).

Proben-Nr.	Wasseranteil % (Universität Bamberg)	Wasseranteil % (Analytik Aurachtal)
BA_B_001	19,2989	17,0
BA_B_002	17,1092	16,3
BA_B_003	17,3608	16,9
BA_B_004	10,8301	10,1
BA_B_005	8,6666	10,9
BA_B_006	6,5068	6,1
BA_B_007	5,2928	5,1
BA_B_008	5,9853	5,3
BA_B_009	14,8100	14,1
BA_B_010	15,7718	17,0
BA_B_011	14,6802	13,9
BA_B_012	15,4189	15,2
BA_B_013	15,8335	14,8
BA_B_014	21,0294	19,7
BA_B_015	19,4661	17,9
BA_B_016	26,9001	27,4
BA_B_017	25,0658	24,9
BA_B_018	28,7494	29,1
BA_B_019	26,1436	25,4
BA_B_020	20,7570	19,8
BA_B_021	14,1363	13,8
BA_B_022	19,2724	17,8
BA_B_023	20,6047	18,8
BA_B_024	19,9028	17,8
BA_B_025	16,1820	16,4
BA_B_026	16,3044	15,5
BA_B_027	11,3931	
BA_B_028	23,2741	
BA_B_029	23,8448	
BA_B_030	17,5605	
BA_B_031	17,8185	
BA_B_032	22,2266	
BA_B_033	20,4505	
BA_B_034	17,2644	
BA_B_035	23,5655	
BA_B_036	8,8992	
BA_B_037	11,4273	

Tab. 7 Vergleich der Bodenfeuchte-Messungen (Prozentualer Wasseranteil der Bodenproben)

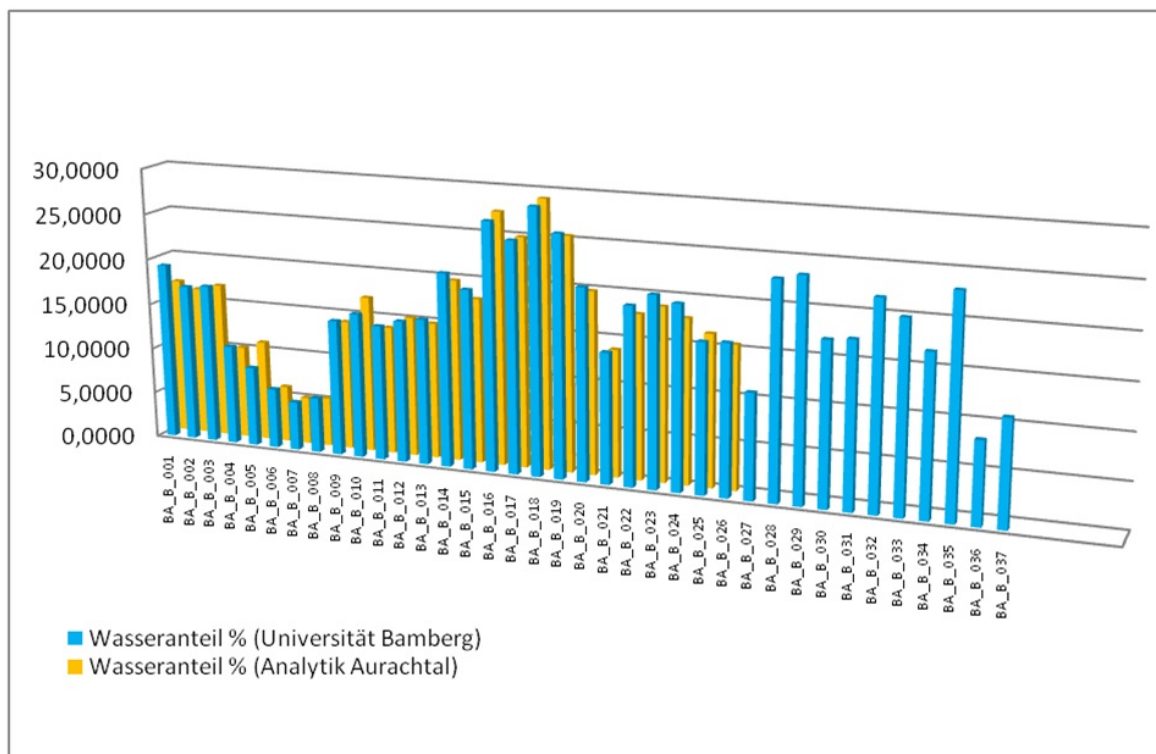


Abb. 104 Vergleich der Bodenfeuchte-Messungen (Prozentualer Wasseranteil der Bodenproben)

Die Ergebnisse beider Untersuchungen lassen sich durchaus vergleichen, lediglich geringe Abweichungen im Rahmen der Messtoleranz sind festzustellen. Die Tendenzen sind deutlich vergleichbar (Abb. 104).

Die Ergebnisse schwanken teilweise deutlich. Dies lässt sich durch die unterschiedlichen Entnahme-Situationen erklären. So wurden die Proben BA_B_014 bis BA_B_019 aus der obersten Humusschicht des Grabungsareals nach einem Regenschauer entnommen. Die Proben BA_B_004 bis BA_B_008 hingegen wurden aus Bereichen eines Profils entnommen, dass durch die Sonneneinstrahlung schon stark ausgetrocknet war. Die übrigen Proben, die aus dem Profil entnommen wurden lagen mehr am Rand und somit in schattigen Bereichen. Die schwankenden Werte sind demnach stark abhängig von der Witterung und der Entnahmestelle. Generell herrscht im Erdreich eine gesättigte Bodenfeuchte vor, nur in Bereichen mit direkter anhaltender Sonneneinstrahlung sinkt der Feuchtigkeitswert.

Gerade bei starkem Sonnenschein schreitet die Austrocknung des Bodens, vor allem in den freigelegten Profilstegen, besonders rasch voran. Auch auf den übrigen Grabungsflächen tritt dieses Problem auf, da eine schützende Vegetationsschicht hier nicht mehr vorhanden ist und der Boden somit schnell austrocknen kann. Eine Bergung und Versorgung der Glasfunde nach der Freilegung sollte demnach zügig erfolgen, da auch die Glasscherben genau wie der Boden sonst schnell austrocknen können, was mit einer zusätzlichen Schädigung der Gläser einhergehen würde. Die Veränderung des Feuchtigkeitshaushalts geht mit einem schwinden und anschwellen der stark hygroskopischen Gelschicht korrodierter Gläser einher, was wiederum zu mechanischen Spannungen in den darüber liegenden Korrosionsschichten führt. Die Folge ist ein abplatzen und der unwiederbringliche Verlust der originalen Glasoberfläche.³¹

³¹ Volker Koesling, Vom Feuerstein zum Bakelit. Historische Werkstoffe verstehen (Stuttgart 2001), S. 248.

3.10. Bestimmung des pH-Wertes

Um das Schädigungspotential des Bodens in Bodenfelde weiter zu untersuchen, wurde der pH-Wert der Bodenproben bestimmt, da besonders pH-Werte oberhalb von 9 die Glaskorrosion extrem beschleunigen.³²



Abb. 105 Bestimmung des pH-Wertes nach DIN 19684 im Labor der Otto-Friedrich-Universität Bamberg

Hierzu wurden die Proben (BA_B_001 bis BA_B_037) jeweils nach DIN 19684 in dem Labor der Otto-Friedrich-Universität Bamberg analysiert (Abb. 105). Es wurden immer 10 g des Probenmaterials in 25 ml 0,01-m-Calciumchloridlösung (1,47 g $\text{CaCl}_2 \times 2\text{H}_2\text{O}$ pro 1 l destilliertes Wasser) gelöst. Die Proben hatten unter mehrmaligem Rühren eine Stunde Zeit zu reagieren, bevor die Messung durchgeführt wurde. Die Messung erfolgte mit dem pH-Meter HI98128 *pHep 5 pH/Temperatur Tester* der Firma Hanna Instruments. Nach Eintauchen der Diode in das Probenmaterial wurde der pH-Wert immer nach 3 Minuten abgelesen und notiert. Dieser Zeitpunkt wurde gewählt, da der angezeigte Wert anfänglich schnell, dann immer langsamer gestiegen ist. Nach Ablauf von 3 Minuten ist der Wert jedoch kaum noch angestiegen, daher wurde für alle Messungen dieser einheitliche Zeitpunkt angesetzt.

Die Analysen haben gezeigt, dass alle gemessenen pH-Werte alle in einem Bereich von etwa 6,1 bis 7,2 lagen (siehe Tab. 8). Da, wie bereits oben erwähnt, eine erhöhte Schädigung des Glases erst ab einem pH-Wert oberhalb von 9 eintritt, ist davon auszugehen, dass die Bodenverhältnisse in Bodenfelde kein erhöhtes Schädigungspotential für die Glasfunde aufweisen. Allerdings bleibt zu beachten, dass die leicht sauren Böden nicht ideal für die Lagerung der Glasfragmente sind, sodass hier vor allem der Faktor Zeit zu beachten ist. Auch wenn eine erhöhte Schädigung erst ab einem pH-Wert von 9 zu erwarten ist, kann durch die jahrhundertelange Lagerung im leicht sauren Milieu eine Schädigung erfolgen.

³² Volker Koesling, Vom Feuerstein zum Bakelit. Historische Werkstoffe verstehen (Stuttgart 2001) S. 248

Proben-Nr.	pH-Wert (Universität Bamberg)	pH-Wert (Analytik Aurachtal)
BA_B_001	6,96	6,80
BA_B_002	6,94	6,80
BA_B_003	6,69	6,60
BA_B_004	6,95	6,50
BA_B_005	7,11	6,60
BA_B_006	7,13	6,40
BA_B_007	7,22	6,50
BA_B_008	7,14	6,50
BA_B_009	6,79	6,70
BA_B_010	7,06	6,60
BA_B_011	6,77	6,50
BA_B_012	6,99	6,60
BA_B_013	7,05	6,60
BA_B_014	6,97	6,30
BA_B_015	6,90	6,50
BA_B_016	6,14	5,80
BA_B_017	6,24	6,00
BA_B_018	6,86	6,20
BA_B_019	6,76	6,00
BA_B_020	6,59	6,40
BA_B_021	6,65	6,30
BA_B_022	6,75	6,40
BA_B_023	6,85	6,20
BA_B_024	6,77	6,40
BA_B_025	6,66	6,50
BA_B_026	6,71	6,40
BA_B_027	6,79	
BA_B_028	6,10	
BA_B_029	6,61	
BA_B_030	6,65	
BA_B_031	6,64	
BA_B_032	6,19	
BA_B_033	6,48	
BA_B_034	6,67	
BA_B_035	5,99	
BA_B_036	6,49	
BA_B_037	6,34	

Tab. 8 Bestimmung des pH-Wertes der entnommen Bodenproben durch die Universität Bamberg und das Fachlabor Analytik Aurachtal GmbH

3.11. Pestizidanalyse

Die Pestizidanalyse wurde beispielhaft an zwei Proben (BA_B_016 und BA_B_017) durchgeführt, um eine eventuell schädigende Wirkung durch den Eintrag chemischer Pflanzenschutzmittel an den im Boden befindlichen Gläsern zu untersuchen. Die Proben hierzu wurden aus der obersten Humusschicht des Grabungsareals entnommen.

Für diese Untersuchung wurde das Fachlabor Analytik Aurachtal GmbH beauftragt. Es wurde nach den gängigen Pestiziden Attrizin, Desethylatrazin, Desisopropylatrazin, Simazin, Terbutylazin, Propazin, Isoproturon, Chlortoluron, Diuron und Monolinuron gesucht. Alle Pestizid-Werte lagen unterhalb der Nachweisgrenze (siehe Tab. 9). Eine potentielle Gefährdung der archäologischen Gläser durch Pestizide kann damit ausgeschlossen werden.

Pestizid	BA_B_016	BA_B_017
Attrizin	< 0,05	< 0,05
Desethylatrazin	< 0,05	< 0,05
Desisopropylatrazin	< 0,05	< 0,05
Simazin	< 0,05	< 0,05
Terbutylazin	< 0,05	< 0,05
Propazin	< 0,05	< 0,05
Isoproturon	< 0,05	< 0,05
Chlortoluron	< 0,05	< 0,05
Diuron	< 0,05	< 0,05
Monolinuron	< 0,05	< 0,05
Summe der Pflanzenschutzmittel	Nicht nachweisbar	Nicht nachweisbar

Tab. 9 Pestizidanalyse durch das Fachlabor Analytik Aurachtal GmbH, Angaben in mg/kg TS. Alle getesteten Pestizide lagen unterhalb der Nachweisgrenze. Eine Pestizid-Belastung ist somit auszuschließen

3.12. Bestimmung der Anionen und Kationen mit Metallscreening

Es wurde eine Analyse der Bodenproben zur Bestimmung der Anionen und Kationen mit einem Metallscreening beim Fachlabor Analytik Aurachtal GmbH in Auftrag gegeben (siehe Tab. 10).

Das Metallscreening zeigte hauptsächlich Aluminium und Eisen, diese Werte lassen sich dadurch erklären, dass Eisen-Alumo-Silikate als natürliche Bestandteile des Bodens vorkommen – auch das Mangan lässt sich so erklären. Ebenso lässt sich das Mangan und auch das Calcium als Teil löslicher Tonminerale erklären, die ebenfalls Bestandteile des Bodens sind.

Auch Chlorid und Sulfat lassen sich durch die geologischen Gegebenheiten in Bodenfelde erklären. Diese Elemente reichern sich durch die Salzsole im Untergrund von Bodenfelde im Boden an.

Sulfat	12,9	47,9	50,8	50,9	41,0	75,8	40,2	35,1	18,9	2,2	7,0
Phosphat	19,1	11,2	11,8	18,0	22,0	10,6	24,0	28,4	18,2	33,8	23,4
Nitrat	5,8	41,1	37,7	4,0	2,4	2,9	2,4	4,8	<1,0	<1,0	2,6
Chlorid	10,2	22,1	29,3	7,8	14,8	9,0	4,7	16,0	2,5	1,2	3,2
Ammonium	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
Zink Zn	49	52	55	61	150	68	110	75	33	71	34
Zinn Sn	3,60	2,00	3,50	1,20	1,80	1,90	1,90	1,20	1,30	1,20	0,81
Silicium Si	180	230	160	160	200	220	250	230	230	210	310
Selen Se	<0,30	<0,30	0,33	<0,30	2,20	0,51	0,65	<0,30	<0,30	<0,30	<0,30
Blei Pb	9,4	18,0	19,0	12,0	110,0	19,0	16,0	12,0	7,5	21,0	10,0
Nickel Ni	12,0	15,0	14,0	13,0	31,0	17,0	22,0	14,0	10,0	14,0	11,0
Natrium Na	52	92	40	60	100	180	130	120	36	77	78
Mangan Mn	1000	1700	1600	1100	4500	2200	2100	1200	540	1200	390
Kalium K	100	220	210	420	580	330	1600	1300	660	110	880
Eisen Fe	6600	9200	8700	8000	9300	9700	13500	10800	9100	10700	9800
Kupfer Cu	20,0	290,0	53,0	35,0	150,0	240,0	70,0	52,0	<0,2	22,0	<0,2
Chrom Cr	10	12	13	12	15	14	23	17	15	17	17
Cobalt Co	7,2	9,3	8,5	6,8	19,0	9,5	10,0	7,8	5,8	8,6	6,7
Cadmium Cd	0,31	0,34	0,33	0,29	0,65	0,47	0,51	0,36	0,21	0,36	0,22
Calcium Ca	1500	2900	2000	2600	2100	720	1000	280	1400	3300	1600
Beryllium Be	0,34	0,48	0,46	0,40	0,66	0,59	0,75	0,55	0,40	0,53	0,43
Barium Ba	130	250	200	210	903	350	400	210	190	170	170
Bor B	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	2,00	5,30	12,00	10,00	4,30	7,90	6,50
Arsen As	3,2	5,4	4,6	3,5	4,6	5,5	5,5	4,2	4,2	4,5	4,7
Aluminium Al	6900	8100	8700	8000	10200	8900	15500	12400	11400	12100	13100
Silber Ag	<0,3	2,0	<0,3	<0,3	7,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3
Proben-Nr.	BA_B_001	BA_B_002	BA_B_003	BA_B_004	BA_B_005	BA_B_006	BA_B_007	BA_B_008	BA_B_009	BA_B_010	BA_B_011

Sulfat	4,0	2,4	69,1	16,3	61,8	37,1	291,2	11,0	16,1	6,1	36,9
Phosphat	16,9	33,8	5,4	18,8	10,2	1,9	255,0	3,7	<1,0	<1,0	9,1
Nitrat	<1,0	<1,0	<1,0	50,4	311,0	98,5	9,6	132,0	5,0	19,2	65,4
Chlorid	2,2	1,8	8,0	9,4	9,2	4,3	43,7	3,8	17,7	3,6	2,4
Ammonium	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
Zink Zn	64	31	94	32	45	48	35	49	38	40	52
Zinn Sn	3,90	<0,30	9,20	0,38	1,90	1,10	1,10	0,77	3,50	0,78	1,10
Silicium Si	260	150	230	170	370	380	410	290	280	270	340
Selen Se	<0,30	<0,30	1,20	<0,30	<0,30	<0,30	<0,30	<0,30	<0,30	<0,30	<0,30
Blei Pb	15,0	7,3	20,0	8,1	23,0	10,0	13,0	18,0	12,0	12,0	21,0
Nickel Ni	18,0	8,1	23,0	9,1	10,0	13,0	12,0	16,0	32,0	15,0	16,0
Natrium Na	88	36	73	22	59	45	70	76	55	41	58
Mangan Mn	1400	440	3000	280	780	630	270	670	1000	850	990
Kalium K	1800	220	580	240	340	510	690	510	280	390	850
Eisen Fe	16900	6800	11500	8400	10700	12600	5200	13700	13900	12500	12900
Kupfer Cu	8,9	<0,2	84,0	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	47,0	<0,2	<0,2
Chrom Cr	25	11	18	12	29	34	11	34	17	18	27
Cobalt Co	11,0	4,6	13,0	5,3	6,0	6,7	9,1	7,4	16,0	7,6	9,0
Cadmium Cd	0,48	<0,20	0,51	<0,20	0,45	0,48	0,45	0,47	0,46	0,37	0,51
Calcium Ca	3100	1200	3600	1200	1500	1800	2500	2800	1800	1700	2100
Beryllium Be	0,77	0,32	0,63	0,35	0,55	0,72	1,20	1,10	0,64	0,58	0,70
Barium Ba	210	190	580	120	170	190	170	140	200	200	200
Bor B	9,00	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	0,47	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	0,68
Arsen As	7,8	3,2	5,2	3,5	7,7	8,6	4,3	7,7	11,0	6,6	8,3
Aluminium Al	18800	8000	12500	8900	10500	11300	4800	10800	10200	10700	11000
Silber Ag	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3
Proben-Nr.	BA_B_012	BA_B_013	BA_B_014	BA_B_015	BA_B_016	BA_B_017	BA_B_018	BA_B_019	BA_B_020	BA_B_021	BA_B_022

Sulfat	96,6	46,5	56,2	50,6
Phosphat	8,8	2,9	2,8	2,8
Nitrat	5,0	9,5	3,2	18,6
Chlorid	5,5	1,5	1,1	1,0
Ammonium	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
Zink Zn	61	59	44	51
Zinn Sn	1,00	1,70	1,80	1,40
Silicium Si	260	230	200	190
Selen Se	<0,30	0,59	<0,30	<0,30
Blei Pb	17,0	22,0	14,0	19,0
Nickel Ni	17,0	23,0	15,0	17,0
Natrium Na	65	29	26	41
Mangan Mn	1500	1900	940	1100
Kalium K	840	780	680	580
Eisen Fe	12200	13200	13000	13000
Kupfer Cu	14,0	27,0	2,0	22,0
Chrom Cr	18	22	18	20
Cobalt Co	8,8	12,0	8,1	9,3
Cadmium Cd	0,40	0,43	0,37	0,47
Calcium Ca	1900	2700	1600	2000
Beryllium Be	0,66	0,83	0,63	0,66
Barium Ba	290	250	190	250
Bor B	<0,20	1,00	<0,20	<0,20
Arsen As	6,7	8,9	6,6	7,3
Aluminium Al	11000	12700	10000	9700
Silber Ag	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3
Proben-Nr.	BA_B_023	BA_B_024	BA_B_025	BA_B_026

Tab. 10 Anionen- und Kationenbestimmung mit Metallscreening der entnommenen Bodenproben durch das Fachlabor Analytik Aurachtal GmbH, Angaben in mg/kg TS

Von besonderem Interesse sind hier die gemessenen Kaliumwerte. Die Proben BA_B_007, BA_B_008 und BA_B_012 weisen extrem hohe Kaliumwerte auf. Die Proben BA_B_007 und BA_B_008 wurden bewusst in unmittelbarer Nähe einer stark korrodierten Glasscherbe entnommen. Hier ist davon auszugehen, dass durch die Auslaugung der Korrosionsschicht das Kalium in das umliegende Erdreich gewandert ist. Probe BA_B_012 wurde zwar nicht bewusst aus der unmittelbaren Umgebung einer korrodierten Scherbe geborgen, es kann jedoch nicht ausgeschlossen werden, dass zufällig eine korrodierte Scherbe in der Nähe der Entnahmestelle gewesen ist. Es wäre auf jeden Fall möglich und würde eine Erklärung für den hohen Kaliumwert liefern.

Ebenso weisen die Werte für Nitrat, Phosphat und Sulfat vereinzelt sehr hohe Werte auf (Abb. 106). Dies ist bei den Proben BA_B_016 bis BA_B_019 der Fall. Diese Proben wurden aus der obersten Humusschicht des Grabungsareals entnommen. Diese Werte weisen auf den Einsatz organischer Düngemittel hin.

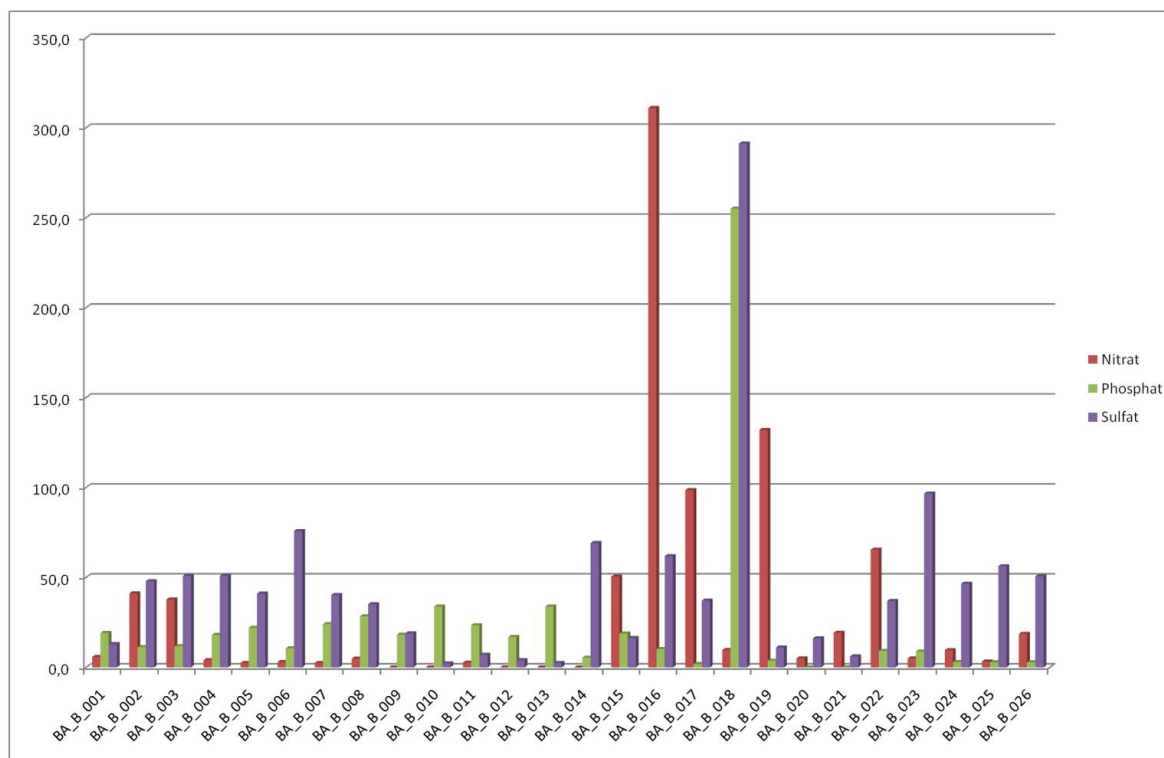


Abb. 106 Nitrat-, Phosphat- und Sulfatwerte der Bodenproben BA_B_001 bis BA_B_026 (Werte in mg/kg TS)

3.13. Rohstoffsituation in Bodenfelde

In Bodenfelde begegnet uns eine Region, die auf Grund ihrer besonderen Rohstoffsituation ganz besonders gut als Standort für Glashütten geeignet ist. Hauptbestandteil des Glases ist Siliziumdioxid, das in Form von Quarzsand in unmittelbarer Nähe der beiden Glashütten vorkommt. Die Sandgrube, die selbst zu Beginn des 20. Jahrhunderts noch von der Spiegelglashütte in Amelith-Polier ausgebeutet wurde, liegt nur wenige Meter von den beiden untersuchten mittelalterlichen Glashütten entfernt. Hier kommt neben einem rötlichen, eisenhaltigen Sand auch ein sehr heller und besonders feiner Sand vor, der hervorragend zum Glasmachen geeignet war. Es ist daher naheliegend, dass die mittelalterlichen Glashütten auf diesen leicht zugänglichen Rohstoff zurückgegriffen haben.³³

Der zweite unverzichtbare Rohstoff ist Holz. Dieser war durch die ausgedehnten Wälder des Sollings hinreichend gegeben. Holz diente zum einen als Brennmaterial für die Glasöfen, zum anderen wurde die Kaliumreiche Holzasche als Flussmittel zur Glasproduktion benötigt. Dieser Umstand war so wichtig, dass sich die mittelalterlichen Glashütten vornehmlich in waldreichen Gebieten angesiedelt haben, daher sprechen wir auch hier von Waldglashütten.

Ein weiterer wichtiger Standortfaktor war das Wasser. Einerseits war es für die tägliche Arbeit auf der Glashütte unverzichtbar, da Wasser zum Befeuchten und Abkühlen der Formen und Werkzeuge, zum Fritten des Glases oder auch zum anfeuchten des Tones für Häfen und Ofenbau benutzt wurde³⁴. In Bodenfelde schlängelt sich ein kleiner Bach entlang der beiden untersuchten Glashütten, sodass dieses Wasser mit Sicherheit für die täglichen Arbeiten in

³³Ausführliche Untersuchungen zu den Sandproben finden sich weiter unten im Text.

³⁴ Manfred Torge, Mittelalterliche Flachglasherstellung und Glasmalerei in: Arbeitshefte des Brandenburgischen Landesamtes für Denkmalpflege und Archäologischen Landesmuseums, Nr. 36 (2015). Historische Techniken und Rezepte, Teil 2 - vergessen und wiederentdeckt (Petersberg 2015) S. 83.

den Glashütten genutzt wurde. Andererseits ist mit der Weser ein Transportweg gegeben, der auch den überregionalen Handel mit den erzeugten Gläsern erlaubt.

Zuletzt muss noch die Saline angesprochen werden, die für Bodenfelde bereits im Jahre 833 urkundlich erwähnt wurde³⁵. Sowohl Schriftquellen aus der frühen Neuzeit als auch chemische Untersuchungen von Mittelalterlichen Gläsern haben gezeigt, dass der Glasschmelze in kleinen Mengen Kochsalz zugegeben wurde.³⁶

3.13.1. Sandproben

Zwei Sandproben wurden für weitere Untersuchungen in Bodenfelde entnommen. Dabei handelt es sich um einen auffallend hellen, fast weißen Sand (BA_B_038), sowie einen deutlich rotbraun gefärbten Sand (BA_B_039) (Abb. 107). Letzteres lässt auf einen hohen Anteil von Eisenoxid schließen.



Abb. 107 Sandproben: BA_B_039 (links) und BA_B_038 (rechts)



Abb. 108 Lage der ergrabenen Glashütten und der Sandgrube. Quelle: www.google.de/maps

³⁵ Hans-Georg Stephan, *Der Solling im Mittelalter* (Dormagen 2010) S. 143.

³⁶ Ausführliche Untersuchungen zu der Salzprobe finden sich weiter unten im Text.

Die Entnahmestelle der Sandproben liegt nur wenige hundert Meter von den beiden ergrabenen Glashütten des 9. und 15. Jahrhunderts entfernt (Abb. 108). Die Rohstoffe dieser Sandgrube wurden nachweislich auch in späterer Zeit zur Glasherstellung genutzt. Ab dem 19. Jahrhundert wurden die Sandvorkommen von der nahegelegenen Spiegelglashütte Amelith ausgebeutet, die damals wegen ihrer besonderen Qualität geschätzt wurden.³⁷

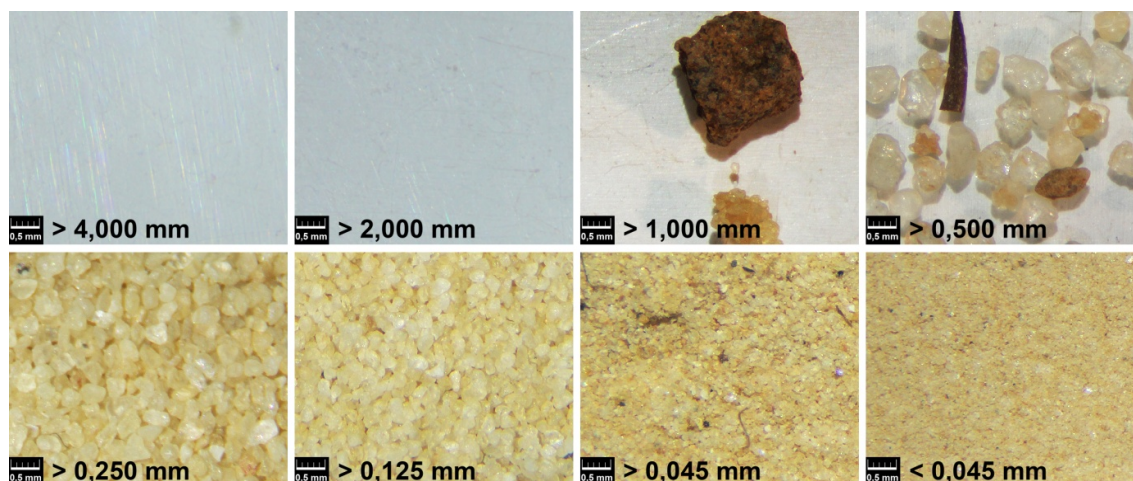


Abb. 109 Sieblinie der Sandprobe BA_B_038

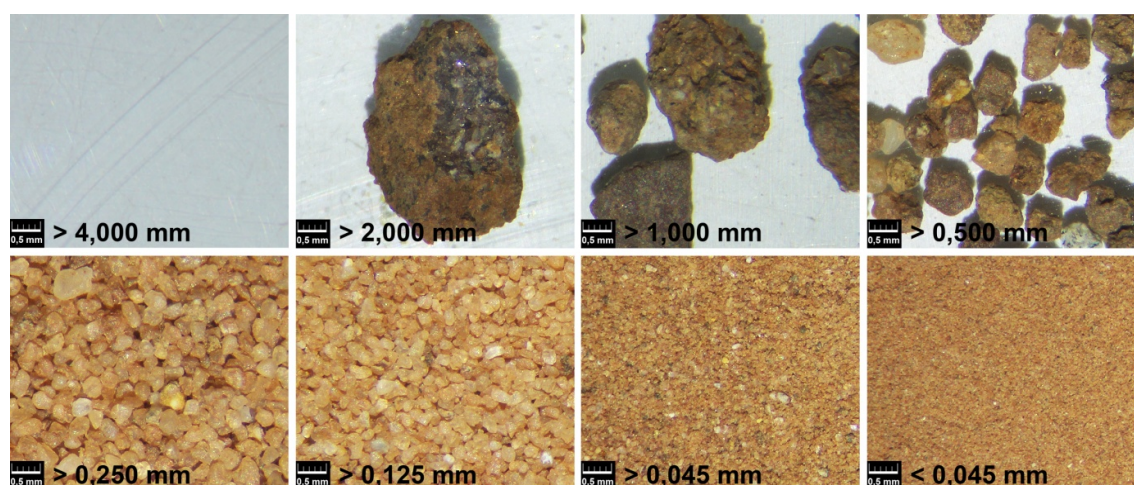


Abb. 110 Sieblinie der Sandprobe BA_B_039

Naturwissenschaftliche Analysen bestätigen diese Aussage. Sieblinien haben gezeigt, dass bei beiden Proben außerordentlich kleine Korngrößen dominieren (Abb. 109-110). Korngrößen zwischen 0,5 und 0,125 mm machen bei beiden Proben nahezu 100% des Sandes aus (Abb. 111-112).³⁸ Nach DIN 4022 handelt es sich um Mittel- (Korngröße über 0,2 und bis 0,6 mm) und Feinsand (Korngröße über 0,06 und bis 0,2 mm).³⁹ Sand in dieser Feinheit eignet sich besonders gut zum Glasschmelzen, da die aufwendige Prozedur des Zerkleinerns von größerem Sand oder gar Steinen in einem Pochwerk, wie es beispielsweise Georg Agricola beschreibt, entfällt.⁴⁰

³⁷ Daniel Althaus, Die Fabrik im Wald. Glas und Spiegel aus Amelith und Pollier (Holzminden 2015) S. 160 ff.

³⁸ Die Sieblinien wurden vom Verfasser in den Laboren der Universität Bamberg angefertigt.

³⁹ https://de.wikipedia.org/wiki/DIN_4022 (abgerufen: 20.07.2016).

⁴⁰ Georg Agricola/Georg-Agricola-Gesellschaft zur Förderung der Geschichte der Naturwissenschaften und der Technik e. V. (Hrsg.), Zwölf Bücher vom Berg- und Hüttenwesen (München 1994) S. 500-501.

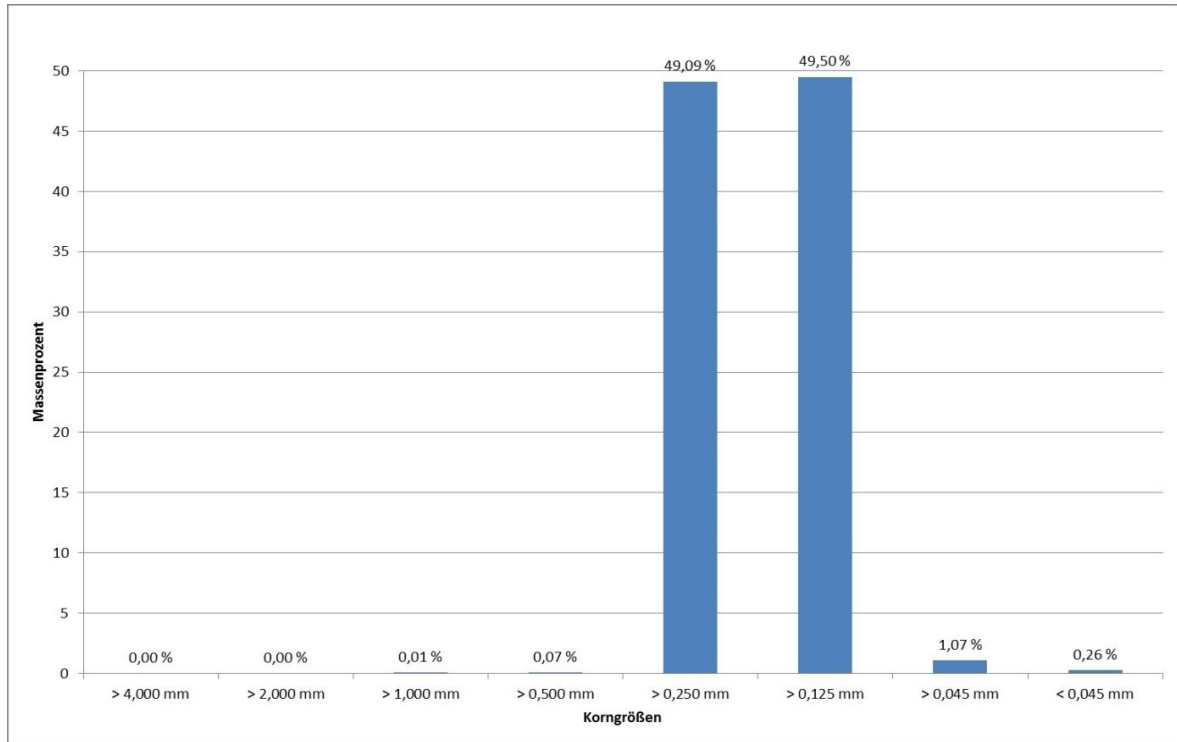


Abb. 111 Verteilung der Korngrößen BA_B_038

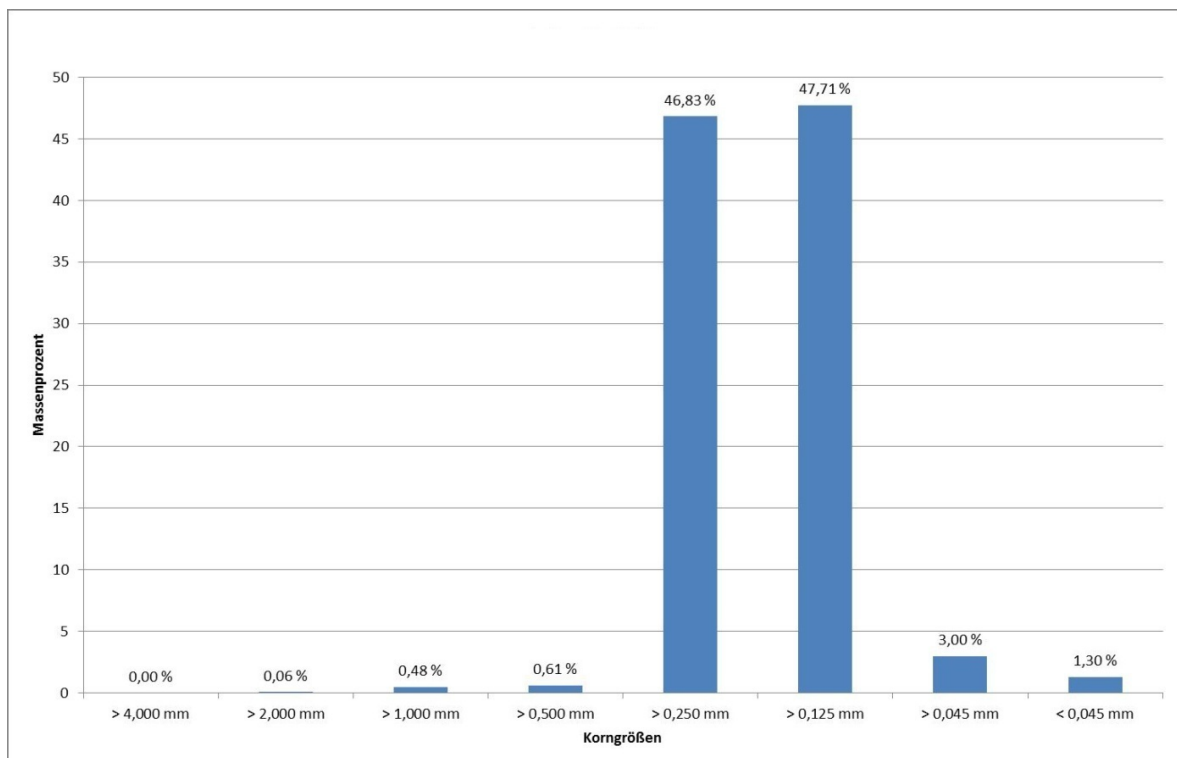


Abb. 112 Verteilung der Korngrößen BA_B_039

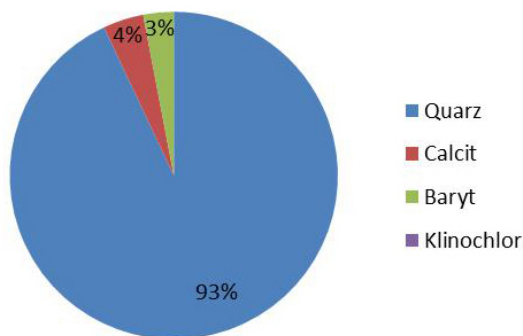


Abb. 113 Zusammensetzung der Sandprobe BA_B_038

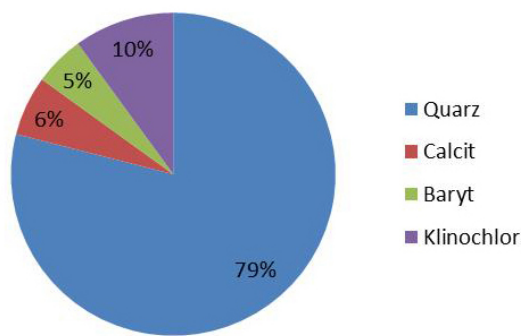


Abb. 114 Zusammensetzung der Sandprobe BA_B_039

Eine qualitative und quantitative Phasenbestimmung mittels Röntgendiffraktometer, durchgeführt vom Deutschen Bergbau-Museum Bochum, Forschungsbereich Materialkunde, hat die Qualität der Sande ebenso bestätigt. Besonders Probe BA_B_038 bietet mit einem Quarz-Anteil (SiO_2) von 93 % beste Eigenschaften als Glas-Rohstoff. Probe BA_B_039 weist mit 79 % immer noch einen sehr hohen Quarz-Anteil auf⁴¹ (Abb. 113-114). Zusätzlich enthält der Sand noch bis zu 6 % Calcit, was als Stabilisator im Glas wirkt. Der Anteil an Klinochlor kann durch die Chloride erklärt werden, die sich durch die Salzsole (vor allem Natriumchlorid) im Boden angereichert haben.

Besonders der helle Sand (BA_B_038) kommt auf Grund seines hohen Quarzgehaltes und der geringeren Eisenverunreinigungen, die für eine deutliche Grünfärbung des Glases sorgen, für die Herstellung besonders qualitätvoller Gläser in Frage.

Doch auch der eisenhaltigere Sand könnte evtl. bei der Glasproduktion eine Rolle gespielt haben. Schließlich weisen die Mehrheit der bisher in Bodenfelde gefundenen Glasscherben eine grünliche Färbung auf. Da grüne Trinkgläser zu verschiedenen Zeiten im Mittelalter durchaus in Mode waren⁴² ist es denkbar, dass dieser eisenhaltige Sand auch gezielt zur Herstellung grüner Gläser genutzt wurde.

Untersuchungen am Rasterelektronenmikroskop mit EDX-Einheit der Otto-Friedrich-Universität Bamberg haben bei Probe BA_B_038 einen eher niedrigen Eisenanteil ergeben. Probe BA_B_039 hingegen wies einen deutlich höheren Eisenanteil auf.

Die Qualität des Sandes und die Lage des Vorkommens in unmittelbarer Nähe der mittelalterlichen Glashütten legt die Vermutung nahe, dass schon die mittelalterlichen Glasmacher auf diese Rohstoffe zugegriffen haben. Da Sand einer der wichtigsten Rohstoffe der Glasherstellung ist, war diese Sandlagerstätte ein ungemein wichtiger Standortfaktor und hat mit Sicherheit zur Wahl des Standortes der mittelalterlichen Glashütten beigetragen.

3.13.2. Salzprobe

Ein weiterer Aspekt in Bezug auf die spezielle Rohstoffsituation in Bodenfelde, der im Rahmen des Projektes genauer untersucht wurde, ist die Rolle der Salinen und des Salzes. Die näheren Untersuchungen des Salzes erfolgten auch auf Grund der Bodenanalysen. Hier waren Chloride

⁴¹ Prüfbericht vom 06.07.2016, Deutschen Bergbau-Museums Bochum, Bereich Materialkunde.

⁴² Miriam Anders, Glas im frühen Mittelalter. In: Ralph Röber/Archäologisches Landesmuseum Baden-Württemberg (Hrsg.), GlasKlar. Archäologie eines kostbaren Werkstoffes in Südwestdeutschland (Friedberg 2015) S. 35 / Ralph Röber, Auf der Tafel und im Vorratsschrank. In: Ralph Röber/Archäologisches Landesmuseum Baden-Württemberg (Hrsg.), GlasKlar. Archäologie eines kostbaren Werkstoffes in Südwestdeutschland (Friedberg 2015) S. 84.

nachweisbar, die durch eine Anreicherung im Boden, verursacht durch die Salzsole im Untergrund, erklärt werden können.

Seit der frühen Neuzeit ist aus Schriftquellen bekannt, dass Salz der Glasschmelze zugegeben wurde. Georg Agricola behandelt in seinem *12. Buch Vom Berg- und Hüttenwesen* sowohl die Salzgewinnung als auch die Herstellung von Glas. Dabei vermischt, bzw. verwechselt er zwar die Gewinnung von Speisesalz und von Pottasche⁴³, weshalb man mutmaßen könnte, dass Agricola Pottasche meint, wenn er die Zugabe von Salz in die Glasschmelze erwähnt. In einem Rezept zur Glasherstellung nennt er jedoch ausdrücklich Salz, welches aus Salzsole oder Meerwasser gewonnen wurde, demnach eindeutig Speisesalz ist.⁴⁴

Auch erwähnt der französische Naturforscher Glasmaler und Emaillekünstler Bernard Palissy, dass es unmöglich sei ohne Salz Glas zu machen.⁴⁵ Erst das Salz bewirkt, dass sich fein zermahlene Kieselsteine zur Glasmasse verbinden.⁴⁶ Auch Matthäus Merian schreibt: „Zum Fensterglaß machen muß Soetasche [Sudasche], welche in den Saltzwanen vnd Kothen gebrannt, nebst dem Sande gebraucht werden“.⁴⁷

Chemische Untersuchungen der letzten Jahre haben die Zugabe von Salz in die Glasschmelze auch für das Mittelalter bestätigt.⁴⁸

Zwangsläufig stellt sich nun die Frage, ob im Mittelalter reines Speisesalz der Glasschmelze zugegeben wurde, oder ob es als „Verunreinigung“ mehr oder weniger versehentlich in die Schmelze gelangte. Leider fehlen uns eindeutige Schriftquellen für diese Zeit. Nach Theophilus Presbyters Grundrezept benötigt man für die Glasmasse lediglich zwei Grundzutaten. Man nimmt erstens Asche von Buchenholz, sowie zweitens gereinigten Flusssand und vermischt beides im Verhältnis zwei zu eins.⁴⁹ Da Theophilus Presbyter wohl selbst nur wenig Erfahrung mit der Herstellung von Glas hatte, ist es denkbar, dass er die Glasrezeptur nur sehr oberflächlich wiedergegeben hat und den Zusatz von Speisesalz deshalb nicht erwähnt.

Eine andere Möglichkeit ist, dass das Speisesalz zusammen mit der Asche in die Glasschmelze gelangt ist. So schreibt der Alchemist und Glasmacher Johannes Kunckel, dass Salzasche aus Salinen auf Grund des hohen Alkaligehaltes sich gut zum Glasmachen eignet.⁵⁰ Die Asche der Siedeöfen der Salinen kam immer wieder absichtlich, oder unabsichtlich durch undichte Sudpfannen, mit der Salzsole in Kontakt. Die Asche wurde vorzugsweise an Glasmacher verkauft, da sie auf Grund des erhöhten Natriumgehaltes ein gutes Flussmittel war.⁵¹ So wurde im 17. Jahrhundert von einer Glashütte in der Blankenroder Mark bei Paderborn die Asche der Salinen der benachbarten Klöster Salz- und Westerkotten angekauft.⁵² Ebenso

⁴³Georg Agricola/Georg-Agricola-Gesellschaft zur Förderung der Geschichte der Naturwissenschaften und der Technik e. V. (Hrsg.), *Zwölf Bücher vom Berg- und Hüttenwesen* (München 1994), S. 477-478.

⁴⁴Georg Agricola/Georg-Agricola-Gesellschaft zur Förderung der Geschichte der Naturwissenschaften und der Technik e. V. (Hrsg.), *Zwölf Bücher vom Berg- und Hüttenwesen* (München 1994), S. 501.

⁴⁵Alexander Bruno Hanschmann, Bernard Palissy der Künstler, Naturforscher und Schriftsteller (Leipzig 1903), S. 111.

⁴⁶Jean-François Bergier, *Die Geschichte vom Salz* (Frankfurt/New York 1989), S. 143.

⁴⁷Matthäus Merian (Hrsg.), *Topographia und Eigentliche Beschreibung Der Vornembsten Stäte, Schlösser auch anderer Plätze und Örter in denen Hertzogthümer[n] Braunschweig und Lüneburg*: Greene (Frankfurt 1654), S. 95.

⁴⁸Jean-François Bergier, *Die Geschichte vom Salz* (Frankfurt/New York 1989) S. 143 / Karl-Hans Wedepohl, *Glas in Antike und Mittelalter. Geschichte eines Werkstoffs* (Stuttgart 2003), S. 29-30.

⁴⁹Erhard Brepohl, *Theophilus Presbyter und das Mittelalterliche Kunsthandwerk* (Köln/Weimar/Wien 2013), S. 147-148.

⁵⁰Werner Loibl (Hrsg.), *Asche zu Glas. Die Flussmittel Asche, Pottasche und Soda in fränkischen Glashütten vom 17. Bis zum 19. Jahrhundert* (Lohr am Main 1996), S. 61.

⁵¹Theo Simon, *Salz und Salzgewinnung im nördlichen Baden-Württemberg. Geologie-Technik-Geschichte* (Sigmaringen 1995) S. 55 / Werner Loibl (Hrsg.), *Asche zu Glas. Die Flussmittel Asche, Pottasche und Soda in fränkischen Glashütten vom 17. Bis zum 19. Jahrhundert* (Lohr am Main 1996), S. 61.

⁵²Udo Schlicht, „Holtzhauer“ und feine Gefäße. Die Glashütten im Fürstbistum Paderborn zwischen 1680 und 1800, in: *Paderborner Beiträge zur Geschichte. Band 11* (Köln 2000), S. 82-83.

verhielt es sich mit Glashütten im Hills⁵³, sowie im Spessartraum.⁵⁴ Auch wurde die Asche der Saline in Rosenheim als Abfallprodukt an Pottaschesieder abgegeben.⁵⁵

Wir sehen also, dass die besondere Qualität der Salinenasche für die Glasmacher in der Frühen Neuzeit bekannt und oft belegt ist. Es ist daher naheliegend, dass schon die mittelalterlichen Glashütten im Solling genau diese Eigenschaften gekannt haben. In Bodenfelde ist eine Saline bereits seit der ersten urkundlichen Erwähnung im Jahre 833 belegt.⁵⁶ Dieser Umstand könnte durchaus eine Rolle dabei gespielt haben, dass sich die Glasmacher genau hier angesiedelt haben. Die Salzasche der Saline wäre demnach ein nicht zu unterschätzender Standortfaktor.

Bei den im Projekt untersuchten Gläsern der Glashütte des 15. Jahrhunderts handelt es sich fast ausnahmslos um Holzäsche-Kalk-Gläser⁵⁷, bei denen immer sowohl Natrium, als auch Chlor nachgewiesen werden konnte (siehe Anhang). Dies weist eindeutig auf eine planmäßige Zugabe von Natriumchlorid, also Kochsalz, hin. Ob die Zugabe in reiner Form oder durch Salzasche erfolgt ist, kann nicht mit Bestimmtheit gesagt werden, jedoch ist klar, dass eine rein zufällige Zugabe von Kochsalz durch nur sporadische Beimischung von Salinenasche sich deutlich in den Analysen, durch gelegentliches Fehlen dieser Elemente, widerspiegeln müsste.

Da heutzutage keine Salzsole mehr in Bodenfelde gefördert wird, wurde für die durchgeführten Untersuchungen auf die Salzsole aus Bad Karlshafen, in unmittelbarer Nähe zu Bodenfelde, zurückgegriffen. Dort wird die Sole noch heute für den Betrieb eines Heilbades genutzt.



Abb. 115 Eingedampfte Salzsole aus Bad Karlshafen bei Bodenfelde

⁵³ Otto Bloß, Die älteren Glashütten in Südniedersachsen (Hildesheim 1977), S. 44.

⁵⁴ Werner Loibl (Hrsg.), Asche zu Glas. Die Flussmittel Asche, Pottasche und Soda in fränkischen Glashütten vom 17. Bis zum 19. Jahrhundert (Lohr am Main 1996), S. 61.

⁵⁵ Stefan Freundl, Salz und Saline. Dargestellt am Beispiel der ehemaligen Saline Rosenheim, in: Albert Aschl (Hrsg.), Quellen und Darstellungen zur Geschichte der Stadt und des Landkreises Rosenheim. Band IX (Rosenheim 1978), S. 138.

⁵⁶ Hans-Georg Stephan, Der Solling im Mittelalter (Dormagen 2010), S. 143.

⁵⁷ Die Charakterisierung der Gläser erfolgt nach Karl-Hans Wedepohl. Monika Maria Wegstein, Vergleichende chemische und technische Untersuchungen an frühneuzeitlichen Glashüttenfunden Nordhessens und Südniedersachsens, in: Fachbereich Geowissenschaften der Johann Wolfgang-Goethe-Universität Frankfurt (Hrsg.), Frankfurter Geowissenschaftliche Arbeiten. Serie C – Mineralogie. Band 15 (Frankfurt am Main 1996), S. 44-45.

Für die Untersuchungen an der Universität Bamberg wurde die Salzsole zunächst eingedampft (Abb. 115), wobei aus ca. 800 ml Salzsole 232,32 g Salz gewonnen werden konnte. Das Salz wurde durch zwei Analysen auf seine Zusammensetzung hin untersucht.

Natrium	Kalium	Magnesium	Chlorid	Nitrat	Sulfat
418,624	2,249	2,497	698,040	2,048	12,424

Tab. 11 Anionen- und Kationenmessung eingedampften Salzsole aus Bad Karlshafen durch das Fachlabor Drewello & Weißmann GmbH, Werte in g/kg. Als Hauptbestandteil konnte Natriumchlorid nachgewiesen werden

Die Anionen- und Kationen-Bestimmung erfolgte mittels Ionenchromatographie durch das Labor Drewello & Weißmann GmbH (Tab. 11).⁵⁸ Als Hauptbestandteil konnte Natriumchlorid nachgewiesen werden, des Weiteren kamen untergeordnet Sulfate und Nitrate vor.⁵⁹ Es handelt sich demnach um eine ziemlich reine Salzsole.

Weitere Untersuchungen durch die Bauhaus-Universität Weimar haben die ersten Ergebnisse bestätigt. Die qualitative XRD-Phasenanalyse hat vor allem Halit/Salz (NaCl) und Spuren von Gips ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) nachgewiesen; die quantitative XRD-Phasenanalyse hat dabei ein Verhältnis von 97,1 Massen-% Halit/Salz zu 2,9 Massen-% Gips ergeben.⁶⁰ Diese Untersuchungen korrespondieren durchaus mit den Bodenuntersuchungen, die ebenfalls Chloride und Sulfate aufgewiesen haben.

3.13.3. Holzasche/Pottasche

Ein weiterer Aspekt der Rohstoffsituation in Bodenfelde ist die Beschaffung der Holzasche, die als Flussmittel der Glasschmelze beigemischt wurde. Zwar lieferten die ausgedehnten Wälder ausreichend Holz für Aschebrenner, aber zugleich war es als Brennmaterial für die Glasöfen oder als Baumaterial gefragt. Es ist daher schwer zu glauben, dass Buchenholzstämmen allein zur Gewinnung von Holzasche verfeuert wurden. Man wird daher auch auf andere Quellen für die Holzasche zurückgegriffen haben. Naheliegend ist natürlich, dass die Asche der Glasschmelzöfen ebenfalls verwendet wurde. Auch dass die Asche der nahegelegenen Saline genutzt wurde ist plausibel, jedoch bringt dies eine Schwierigkeit mit sich. Holzasche hat ein relativ großes Volumen, 1 kg Asche hat in etwa ein Volumen von 6 Litern. Lagerung und Transport muss deshalb ein nicht zu unterschätzendes Problem gewesen sein.⁶¹ Das Auslaugen und Eindampfen der Asche, also die Herstellung von Pottasche aus Holzasche, würde dieses Problem lösen.

In der Neuzeit war es üblich, dass Glashütten ihre Pottasche von teils selbständigen, oder den Glashütten angegliederten Pottaschesiedern bezogen. Diese verbrannten nicht nur selbst das Holz zur Pottaschegewinnung, sondern sammelten auch Asche von Herdfeuern oder Glashütten.⁶² Schriftliche Quellen beschreiben dieses Verfahren der Pottaschegewinnung zwar erst

⁵⁸ Ein herzlicher Dank für die Untersuchungen geht an dieser Stelle an Fr. Ursula Drewello, Labor Drewello & Weißmann GmbH.

⁵⁹ Prüfbericht vom 16.06.2016, Labor Drewello und Weißmann GmbH.

⁶⁰ Prüfbericht FIP-BP 044-16 vom 23.06.2016, Bauhaus-Universität Weimar, Fakultät Bauingenieurwesen, Professur Bauchemie und Polymere Werkstoffe.

⁶¹ Manfred Torge, Mittelalterliche Flachglasherstellung und Glasmalerei in: Arbeitshefte des Brandenburgischen Landesamtes für Denkmalpflege und Archäologischen Landesmuseums, Nr. 36 (2015). Historische Techniken und Rezepte, Teil 2 - vergessen und wiederentdeckt (Petersberg 2015), S. 83.

⁶² Udo Schlicht, „Holtzhauer“ und feine Gefäße. Die Glashütten im Fürstbistum Paderborn zwischen 1680 und 1800, in: Paderborner Beiträge zur Geschichte. Band 11 (Köln 2000), S. 81.

im 17. Jahrhundert, Analysen von Gläsern des 14. Jahrhunderts aus Erfurt legen jedoch den Schluss nahe, dass dieses Verfahren schon im 14. Jahrhundert zur Anwendung kam.⁶³



Abb. 116 Volumenvergleich von Holzasche, sowie ausgelaugten und eingedampften Salzurückständen. Von ca. 250 g Asche (links) bleiben lediglich ca. 30 g Salzurückstände (rechts) übrig

Versuchsweise wurde deshalb Buchenasche in dem Labor der Otto-Friedrich-Universität Bamberg ausgelaugt und anschließend eingedampft. Dazu wurden 250,10 g Buchenasche in Wasser unter mehrmaligem Rühren aufgelöst. Die entstandene Flüssigkeit wurde zunächst durch ein Sieb gegossen um große Verunreinigungen wie Holzkohlestücke herauszufiltern, anschließend wurde die Lösung zentrifugiert, um auch kleinere, nicht wasserlösliche Teile abzusondern. Die Flüssigkeit wurde dann zunächst auf einer Kochplatte und anschließend über Nacht im Trockenschrank eingedampft. Von den anfänglichen 250,10 g Buchenasche blieben lediglich 30,03 g Salzurückstand übrig. Dies entspricht lediglich 12,01 % des Ausgangsgewichtes (Abb. 116). Auch wenn es nur eine Hypothese ist, könnte so das Problem des Aschetransportes gelöst worden sein.

Festzuhalten bleibt, dass die frühen mittelalterlichen Glasmacher hochspezialisierte Fachleute waren, die ein absolutes Luxusgut und High-Tech-Produkt herstellten. Höchstwahrscheinlich kamen die ersten Glasmacher im Zusammenhang mit dem Bau des Klosters Corvey, das von Mönchen der französischen Abtei Corbie gegründet wurde, nach Bodenfelde. Die Tradition der Glasherstellung mit dem Flussmittel Trona war in Südeuropa vom 9. bis 13. Jahrhundert bekannt, hier gab es ein nahezu gleichwertiges Nebeneinander von ägyptischer Trona und Soda-Asche, die aus salzhaltigen Pflanzen gewonnen wurde.⁶⁴ Es ist daher anzunehmen, dass auch die Glasmacher, die mit den Mönchen aus Corbie in die Gegend um Bodenfelde kamen, sich dieser Tradition bewusst waren. Die Qualität des Flussmittels war demnach so entscheidend, dass extrem lange Lieferwege von Ägypten bis auf das europäische Festland in Kauf genommen wurden. Es steht also außer Frage, dass die herausragende Qualität der Rohstoffe extrem wichtig war. Auch in Zeiten, als man mit Asche aus salzhaltigen Pflanzen eine Alternative hatte, wollte man nicht ganz auf das mineralische Trona aus Ägypten verzichten.

⁶³ Manfred Torge, Mittelalterliche Flachglasherstellung und Glasmalerei in: Arbeitshefte des Brandenburgischen Landesamtes für Denkmalpflege und Archäologischen Landesmuseums, Nr. 36 (2015). Historische Techniken und Rezepte, Teil 2 - vergessen und wiederentdeckt (Petersberg 2015), S. 89.

⁶⁴ Karl Hans Wedepohl, Glas in Antike und Mittelalter. Geschichte eines Werkstoffs (Stuttgart 2003), S. 13.

Auf Grund dieser Tatsache ist es nur sehr schwer vorstellbar, dass man in Zentraleuropa, wo die Holz-, bzw. Buchenasche, als einziges Flussmittel in ausreichender Menge zur Verfügung stand, sich keine Gedanken über die Qualität der Asche gemacht haben soll. Gerade am Beispiel von Bodenfelde lässt sich sehr gut nachvollziehen, dass dieser abgelegene Standort auf Grund seiner exzellenten Rohstoffsituation gewählt wurde. Wenn also die Qualität der Rohstoffe der entscheidende Faktor ist, dann muss man zwangsläufig davon ausgehen, dass man auch beim Rohstoff Asche Wege und Möglichkeiten gesucht hat, die Qualität der Asche durch irgendeine Form der Reinigung zu steigern. Geht man weiter davon aus, dass in Bodenfelde das Vorhandensein der Sudasche aus den Salinen ein entscheidender Standortfaktor war, dann konnte man dabei womöglich auch auf das Know-How der Salzsieder zurückgreifen. Spätestens seit Agricola ist belegt, dass diese besondere Methoden kannten, die Qualität des Salzes zu steigern,⁶⁵ aber auch schon vorher werden ähnliche Verfahren bekannt gewesen sein.

In Bodenfelde wird es aber noch keine Aufbereitung der Asche im Sinne der neuzeitlichen Pottascheherstellung gegeben haben, das angeführte Beispiel der experimentellen Pottaschegewinnung wurde lediglich als illustrierendes Beispiel gewählt, weil dies die älteste und bekannteste überlieferte Art der Holzasche-Aufbereitung ist. Es soll lediglich ein Denkanstoß sein, der einerseits auf die Qualitätssteigerung des Rohstoffs Holzasche hinzielt und andererseits einen möglichen Versuch zur Lösung des Transportproblems der Asche liefert. Es gibt keinen Nachweis, dass in den Glashütten bei Bodenfelde Pottasche verwendet wurde, wie chemische Analysen belegen, die einen deutlichen Unterschied zwischen Holzasche-Kalk-Glas und Pottasche-Glas aufweisen.⁶⁶ Dennoch sollte man davon ausgehen, dass es irgendeine Aufbereitung oder Reinigung der Asche gegeben haben wird. Beispielsweise weist Bezborodov darauf hin, dass in Russland eine Art Pottasche durch auslaugen und eindampfen von Asche hergestellt wurde, die so bereits im 11. Jahrhundert existiert hat.⁶⁷

Unglücklicherweise gibt es keinerlei schriftliche Überlieferung zu einer irgendwie gearteten Aufbereitung der Asche im Mittelalter. Jedoch sollte man nicht davon ausgehen, dass diese nicht existierte, nur weil es nirgends schriftlich festgehalten wurde. Zeitgenössische Texte zur mittelalterlichen Glasproduktion sind selten und selbst bei den Texten des Theophilus Presbyter ist sich die Wissenschaft sicher, dass einige Aspekte der Glasherstellung vernachlässigt wurden. Die wenigen schriftlichen Quellen dürfen also nicht kritiklos gelesen werden.

In Bodenfelde kommen zwei Phänomene vor, die ebenfalls nicht in den schriftlichen Überlieferungen erwähnt werden, aber hier archäologisch nachweisbar sind. Zum einen gibt es im Solling eine große Anzahl von sogenannten Einofenanlagen, also Glashütten, die lediglich einen Glasofen aufweisen. Sie können eigentlich nur zur Produktion von Rohglas, bzw. Fritte gedient haben, nicht aber zur Herstellung fertiger Glaswaren. Diese mussten in einem weiteren Schritt an einer größeren Glashütte, die neben einem Schmelzofen auch eine Kühl-, bzw. Streckofen hatte, produziert werden.⁶⁸ Auch die äußerst zahlreichen Glastropfen, die bei den Ausgrabungen zum Vorschein kamen lassen sich bisher nicht erklären und finden auch in den Schriftquellen keinen Niederschlag. Eventuell muss man auch bei Theophilus Glasrezept davon ausgehen, dass nicht alle Einzelheiten erfasst wurden und es sich demnach nicht zwangsläufig um einfache Asche gehandelt haben muss, vielleicht hat es sich auch um eine aufbereitete Form der Holzasche gehandelt.

⁶⁵ Georg Agricola/Georg-Agricola-Gesellschaft zur Förderung der Geschichte der Naturwissenschaften und der Technik e. V. (Hrsg.), *Zwölf Bücher vom Berg- und Hüttenwesen* (München 1994), S. 473.

⁶⁶ Freundlicher Hinweis von Herrn Dr. Andreas Kronz.

⁶⁷ Michail Alekseevič Bezborodov - *Chemie und Technologie der Antiken und mittelalterlichen Gläser* (Mainz 1975), S. 53.

⁶⁸ Siehe auch: Max Rahrig, *Das Flachglas der Wüstungskirche von Winnefeld im Kontext hoch- und spätmittelalterlicher Glashütten in Südniedersachsen* (unveröffentlichte Magisterarbeit der Otto-Friedrich Universität Bamberg) (Bamberg 2012), S. 12-14.

3.14. Terrestrisches 3D-Laserscanning von Grabungsbefunden



Abb. 117 Terrestrischer 3D-Laserscanner Faro Focus 3D im Einsatz auf der Ausgrabungsstätte

Um herausragende und komplexe Befunde auf der Ausgrabung effizient zu dokumentieren wurde die Technik des terrestrischen Laserscanning genutzt. Der Scankopf des 3D-Scanners *Faro Focus 3D* (Abb. 117) dreht sich horizontal um 360°, zusätzlich wird der Laserstrahl vertikal durch einen rotierenden Spiegel abgelenkt. Trifft der Laserstrahl auf ein Objekt, wird er reflektiert und vom Scanner wieder aufgenommen. Durch die Berechnung von Entfernung und Winkel zum Standpunkt des Scanners wird ein dreidimensionales Bild der Umgebung in Form einer Punktwolke erzeugt. Die Dichte der Punktwolke kann dabei jeweils an die gegebenen Bedingungen, wie zum Beispiel die Entfernung zum aufzunehmenden Objekt angepasst werden.⁶⁹ In Bodenfelde wurde eine Auflösung von ca. 3 mm in einer Entfernung von 10 m zum Scanner gewählt.

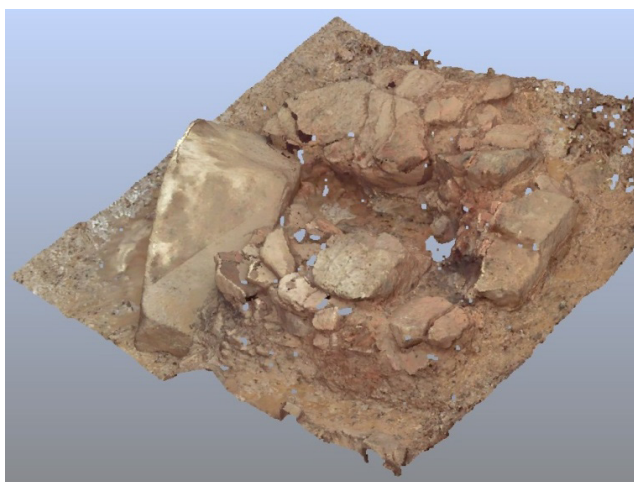


Abb. 118 3D-Punktwolke des gescannten Glasofens der Karolingischen Glashütte

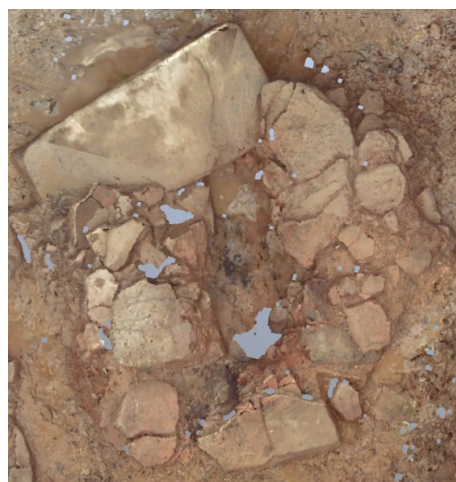


Abb. 119 Orthogonale Aufsicht auf den gescannten Glasofen der Karolingischen Glashütte

⁶⁹ Paul Bellendorf, Hoch aufgelöste 3D-Dokumentation mittelalterlicher Oberflächen. In: Ingrid Bennewitz, Andrea Schindler, Farbe im Mittelalter. Materialität - Medialität - Semantik. Band 1 (Berlin 2011).

Es ist möglich, mehrere Scanpunktewolken miteinander zu kombinieren und somit auch komplexe Strukturen von allen Seiten zu erfassen. Hierzu werden Messmarken, die ein schwarz-weißes Schachbrett-Muster zeigen im Sichtbereich des Scanners platziert. Werden diese Marken jeweils in mehreren Scans erfasst, ermöglicht die passende Software, *Faro Scene*, die verschiedenen Einzelscans zueinander auszurichten. Das Ergebnis ist eine große Punktwolke des gescannten Grabungsareals ohne verschattete Bereiche (Abb. 118). Hieraus können verzerrungsfreie Orthobilder generiert werden (Abb. 119), die eine Umzeichnung und Planerstellung, zum Beispiel in *Autodesk AutoCAD* ermöglichen.

In der ersten Kampagne wurde eine auffällige Lage großer Steine dokumentiert, die noch nicht vollständig freigelegt waren. Die Vermutung, dass es sich hier um einen verstärkten Ofen gehandelt hat lag nahe.



Abb. 120 Orthogonale Aufsicht auf den gescannten Glasöfen an der Franzosenstraße; auch kleinste Details sind deutlich zu erkennen

In der zweiten Kampagne wurden die beiden Glasöfen der Karolingischen Glashütte und der Glashütte an der Franzosenstraße gescannt. Die verzerrungsfreie Aufsicht auf die Öfen im Orthobild lässt alle Details der Öfen erkennen (Abb. 120). Ebenfalls ermöglichen die Scans

Querschnitte oder auch Längsschnitte an beliebiger Stelle durch die Öfen (Abb. 121, oben), die beispielsweise einen genauen Blick auf den Feuerungskanal zulassen (Abb. 121, unten).

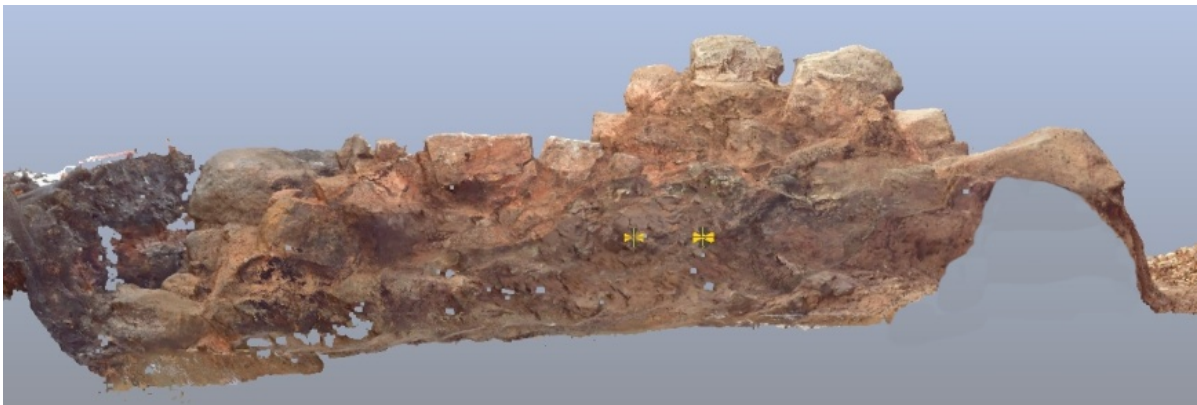


Abb. 121 Oben: Querschnitt durch den Scann des Karolingischen Glasofens; deutlich sind der Feuerungskanal und die noch erhaltenen Ofenwände zu erkennen; Unten: Der Längsschnitt durch den Ofen an der Franzosenstraße erlaubt einen detaillierten Blick in das Innere des Feuerungskanals

3.15. Literatur

Georg Agricola/Georg-Agricola-Gesellschaft zur Förderung der Geschichte der Naturwissenschaften und der Technik e. V. (Hrsg.), Zwölf Bücher vom Berg- und Hüttenwesen (München 1994).

Daniel Althaus, Die Fabrik im Wald. Glas und Spiegel aus Amelith und Pollier (Holzminde 2015).

Miriam Anders, Glas im frühen Mittelalter. In: Ralph Röber/Archäologisches Landesmuseum Baden-Württemberg (Hrsg.), Glasklar. Archäologie eines kostbaren Werkstoffes in Südwestdeutschland (Friedberg 2015).

Paul Bellendorf et al., Archaeological Glass: The surface and Beyond. In: Hannelore Roemich (Hrsg.), Glass and Ceramics Conservation 2010 (Corning NY 2010), S. 137-143.

Paul Bellendorf, Hoch aufgelöste 3D-Dokumentation mittelalterlicher Oberflächen. In: Ingrid Bennewitz, Andrea Schindler (Hrsg.), Farbe im Mittelalter. Materialität – Medialität – Semantik. Band 1 (Berlin 2011), S. 95 – 101.

Jean-François Bergier, Die Geschichte vom Salz (Frankfurt/New York 1989).

Michail Alekseevič Bezbodov, Chemie und Technologie der Antiken und mittelalterlichen Gläser (Mainz 1975).

Otto Bloß, Die älteren Glashütten in Südniedersachsen (Hildesheim 1977).

Falko Bornschein et al., Konservierung mittelalterlicher Glasmalerei im Kontext spezieller materieller und umweltbedingter Gegebenheiten (Stuttgart 2011).

Erhard Brepohl, Theophilus Presbyter und das Mittelalterliche Kunsthandwerk (Köln/Weimar/Wien 2013).

Bruker AXS Microanalysis GmbH, Quantax Benutzerhandbuch (Berlin 2008).

Stefan Freundl, Salz und Saline. Dargestellt am Beispiel der ehemaligen Saline Rosenheim. In: Albert Aschl (Hrsg.), Quellen und Darstellungen zur Geschichte der Stadt und des Landkreises Rosenheim. Band IX (Rosenheim 1978).

Sören Frommer/Aline Kottmann, Die Glashütte Glaswasen im Schönbuch. Produktionsprozesse, Infrastruktur und Arbeitsalltag eines spätmittelalterlichen Betriebs. In: Barbara Scholkmann/Rainer Schreg, Tübinger Forschungen zur historischen Archäologie. Band 1 (Büchenbach 2004).

Wilhelm Geilmann, Beiträge zur Kenntnis alter Gläser IV: Die Zersetzung der Gläser im Boden. In: Glastechnische Berichte Jahrgang 29 (Frankfurt am Main 1956).

Alexander Bruno Hanschmann, Bernard Palissy der Künstler, Naturforscher und Schriftsteller (Leipzig 1903).

Stephen P. Koop, Conservation And Care Of Glass Objects (London 2006).

Volker Koesling, Vom Feuerstein zum Bakelit. Historische Werkstoffe verstehen (Stuttgart 2001).

Walter Lang, Spätmittelalterliche Glasproduktion im Nassachtal, Uhingen, Kreis Göppingen. In: Landesdenkmalamt Baden-Württemberg (Hrsg.), Materialhefte zur Archäologie (Stuttgart 2001).

Werner Loibl (Hrsg.), Asche zu Glas. Die Flussmittel Asche, Pottasche und Soda in fränkischen Glashütten vom 17. bis zum 19. Jahrhundert (Lohr am Main 1996).

Fabian Maier, Getrübler Glanz und schillernde Farben. Korrosion an archäologischen Glasfunden. In: Ralph Röber, Archäologisches Landesmuseum Baden Württemberg (Hrsg.), GlasKlar. Archäologie eines kostbaren Werkstoffes in Südwestdeutschland (Friedberg 2015), S. 104-107.

Matthäus Merian (Hrsg.), Topographia und Eigentliche Beschreibung Der Vornembsten Städte, Schlösser auch anderer Plätze und Örter in denen Hertzogthümer[n] Braunschweig und Lüneburg: Greene (Frankfurt 1654).

Max Rahrig, Das Flachglas der Wüstungskirche von Winnefeld im Kontext hoch- und spätmittelalterlicher Glashütten in Südniedersachsen (unveröffentlichte Magisterarbeit der Otto-Friedrich Universität Bamberg) (Bamberg 2012), S. 12-14.

Ralph Röber, Auf der Tafel und im Vorratsschrank. In: Ralph Röber/Archäologisches Landesmuseum Baden-Württemberg (Hrsg.), GlasKlar. Archäologie eines kostbaren Werkstoffes in Südwestdeutschland (Friedberg 2015), S. 82-91.

Udo Schlicht, „Holtzhauer“ und feine Gefäße. Die Glashütten im Fürstbistum Paderborn zwischen 1680 und 1800. In: Paderborner Beiträge zur Geschichte. Band 11 (Köln 2000).

Bauhütte St. Sebald, Nürnberg e. V. (Hrsg.), Sicherung und Erhalt der Glasmalereifenster des 14.-16. Jahrhunderts an den Kirchen St. Sebald und St. Lorenz sowie der Frauenkirche in Nürnberg (Stuttgart 2009).

Theo Simon, Salz und Salzgewinnung im nördlichen Baden-Württemberg. Geologie-Technik-Geschichte (Sigmaringen 1995).

Hans-Georg Stephan, Der Solling im Mittelalter (Dormagen 2010).

Manfred Torge, Mittelalterliche Flachglasherstellung und Glasmalerei. In: Arbeitshefte des Brandenburgischen Landesamtes für Denkmalpflege und Archäologischen Landesmuseums, Nr. 36 (2015). Historische Techniken und Rezepte, Teil 2 – vergessen und wiederentdeckt (Petersberg 2015), S. 81-90.

Karl Hans Wedepohl, Die Herstellung mittelalterlicher und antiker Gläser (Stuttgart 1993).

Karl Hans Wedepohl, Glas in Antike und Mittelalter. Geschichte eines Werkstoffes (Stuttgart 2003).

Monika Maria Wegstein, Vergleichende chemische und technische Untersuchungen an frühneuzeitlichen Glashüttenfunden Nordhessens und Südniedersachsens. In: Fachbereich Geowissenschaften der Johann Wolfgang Goethe-Universität Frankfurt (Hrsg.), Frankfurter Geowissenschaftliche Arbeiten. Serie C – Mineralogie. Band 15 (Frankfurt am Main 1996).

https://de.wikipedia.org/wiki/DIN_4022 (abgerufen: 20.07.2016).

4. Projektanteil der Hochschule für Technik und Wirtschaft (Alexandra Jeberien unter Mitwirkung von Olga Emgrund)



Abb. 122 Stark abgebaute Glasfragmente der Grabung Bodenfelde in-situ

Mittelalterliche Holzasche-Gläser liegen oftmals in stark abgebautem Erhaltungszustand vor (Abb. 122) und erfordern besondere Methoden der Fundbergung und Fundbehandlung. Obschon eine objektgerechte Fundversorgung unerlässlich für den langfristigen Erhalt von Glasfunden ist, lässt diese sich oftmals nur bedingt in gängige Grabungsabläufe einbinden und stellt die Grabungsorganisation vor besondere Herausforderungen. Bleibt eine adäquate Fundbergung und -versorgung aus, folgen irreversible Schäden oder ein kompletter Objekt- und Informationsverlust der Gläser.

Im Projektteil der Hochschule für Technik und Wirtschaft Berlin (HTW) wurden Methoden der verbesserten Fundbergung eruiert sowie nachhaltige Maßnahmen der Fundsicherung am Beispiel fragiler mittelalterlicher Gläser der mittelalterlichen Glashütten Bodenfelde (Weserbergland) erprobt. Zunächst erfolgte eine Umfrage zu gängigen Methoden der Fundbergung bei den mit Glasfunden beschäftigten Grabungsteams im deutschsprachigen Raum. Die Ergebnisse der Befragung wurden mit der aktuellen Literatur, u. a. den Grabungsleitfäden der Landesdenkmalämter, abgeglichen und hieraus *Best-practice* Methoden abgeleitet. Diese konnten während der Grabungskampagne 2015 am Beispiel der mittelalterlichen Glashütten Bodenfelde eruiert werden. Um die Effektivität der entwickelten Methoden zu untersuchen, wurde parallel sowohl das mit herkömmlichen Methoden geborgene Fundmaterial, als auch die mittels innovativer Verfahren gesicherten Glasfunde optisch und instrumentell analysiert und die jeweiligen Erhaltungszustände miteinander verglichen. Anschließend konnten die notwendigen konservatorischen Maßnahmen für die Glasfunde abgeleitet werden. Im Ergebnis des Projektteils der HTW Berlin steht ein Leitfaden zur Bergung und Erstversorgung mittelalterlicher Holzasche-Gläser, der auf Basis der Projektergebnisse die Essentials der Fundbergung und -versorgung ausweist.

4.1. Konservatorische Problemstellungen und Anforderungen an die Fundbergung

Mittelalterliche Holzasche-Gläser weisen im Vergleich zu den Glasprodukten der römischen Antike hohe Anteile an Kalium-Ionen auf, die der Glasmasse zur Absenkung der Produktions-

temperaturen in Form von Buchenholzasche zugefügt wurden⁷⁰. Die hohen Kalianteile führen zu deutlich gravierenderen Abbauprozessen während der Bodenlagerung⁷¹. Entsprechend liegen Holzasche-Gläser in einem stark korrodierten und oftmals extrem fragilen Erhaltungszustand vor.

Stark korrodierte Gläser stellen sehr hohe Anforderungen an die Feldarchäologie und Konservierungswissenschaftler. Speziell die Bergung korrodierteter Gläser erfordert besonderes Know-how, den Einsatz spezieller Equipments und eine nachhaltige Planung der Arbeitsabläufe⁷². Die aktuelle Literatur weist deutlich darauf hin, dass archäologische Gläser milieuerhaltend zu bergen, konditioniert zu lagern und zügig in restauratorische Bearbeitung zu überführen sind. Dennoch kommt es im Zuge archäologischer Ausgrabungen häufig zu weiterführenden Maßnahmen⁷³, u. a. nass-chemische und mechanische Reinigung sowie unkontrollierte Trocknung.

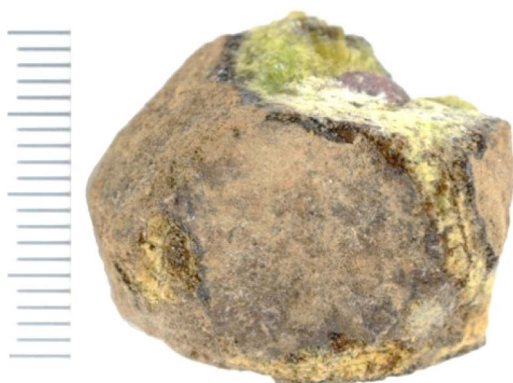


Abb. 123 Glasfragmente der Grabung Bodenfelde direkt nach der Bergung

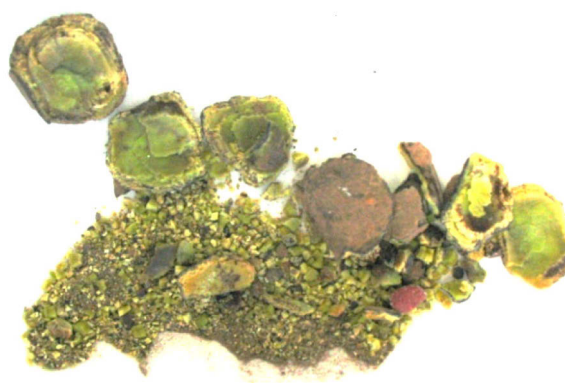


Abb. 124 Glasfragment der Grabung Bodenfelde nach unkontrollierter Trocknung

Speziell die Reinigung, bei der unter den Bedingungen der Feldarbeit nur eingeschränkt zwischen Objekt und anhaftendem Sediment differenziert werden kann, greift deutlich in die Originalsubstanz der Gläser ein. In Kombination mit einer unkontrollierten Trocknung führen diese Erstmaßnahmen zu irreversiblen Schäden, die einen erheblichen konservatorischen Mehraufwand oder im schlimmsten Fall den kompletten Substanz- und Informationsverlust zur Folge haben (Abb. 123-124).

4.2. Stand der Konservierungswissenschaften und der Feldarchäologie

Die Korrosion historischer Gläser wird seit langem erforscht (GEILMANN 1956, COX/FORD 1993, STERPENICH 1998, SCHALM/ANAF 2015). Eine systematische Untersuchung zum Schutz und Erhalt historischer Gläser erfolgt hingegen nur zögerlich. Die wenigen Projekte, die sich konservierenden Maßnahmen widmen, fokussieren auf frei bewitterte Fenstergläser (MUELLER et al. 1997, BRINKMANN/WITTSTADT 2013); eine noch geringere Anzahl an Projekten beschäftigt sich mit dem Erhalt archäologischer Gläser (ROEMICH et al. 2004).

Die aus der desolaten Forschungslage resultierende Gefährdung archäologischer Gläser, speziell während und nach der Fundbergung, ist den betreffenden Fachdisziplinen der Archäologie, Grabungstechnik und Konservierungswissenschaften bekannt. Entsprechende Vorgaben zum Umgang mit Gläsern im Zuge von Ausgrabungen finden sich in den zahlreichen

⁷⁰ Davison 2003, S. 29

⁷¹ Koob 2006, S. 13

⁷² Davison 2003, S. 243

⁷³ Koob 2006, S. 15

Richtlinien der Bodendenkmalpflege und sind in den Empfehlungen der Landesarchäologen enthalten (VDL 2006). Leider sind diese Handreichungen weder einheitlich formuliert, noch weisen sie Details bezüglich der praktischen Durchführung von erforderlichen Maßnahmen auf. Ähnlich uneinheitlich und unpräzise stellt sich die (internationale) Literatur zur Bergung und Behandlung archäologischer Gläser in den Publikationen zur Feldarchäologie dar (SEASE 1994, BRINCH MADSEN 1994, WATKINSON/NEAL 2001).

4.3. Arbeitsprogramm der HTW Berlin

Das Arbeitsprogramm der HTW Berlin wurde in Hinblick auf die benannte Problemstellung zum Schutz und Erhalt historischer Gläser konzipiert. Hierbei sind die im Projektantrag skizzierten Vorhaben weitgehend berücksichtigt worden. Aufgrund des leicht geänderten und gekürzten Projektrahmens konnten jedoch nicht alle im Antrag vorgeschlagenen Maßnahmen, speziell des Kapitels 5.4, untersucht und erprobt werden.

4.3.1. Arbeitsprogramm der HTW Berlin

Analog zum Kapitel 5.3 *Fundbergung und Objektsicherung* der Antragsunterlagen stellte sich das Arbeitsprogramm der HTW Berlin wie folgt auf:

- I. Anforderungskatalog für eine verbesserte Fundbergung und -versorgung mittelalterlicher Gläser;
- II. Arbeitsablauf und Auswahl von Equipments zur verbesserten Fundbergung und -versorgung mittelalterlicher Gläser;
- III. Bewertung des Arbeitsablaufs und Equipments zur verbesserten Fundbergung und -versorgung mittelalterlicher Gläser;
- IV. Qualität der Korrosion der in Bodenfelde geborgenen mittelalterlichen Glasfunde;
- V. Möglichkeiten der konservatorischen Behandlung;
- VI. Vergleich der herkömmlich geborgenen Gläser mit den durch optimierte Verfahren geborgenen Funden;
- VII. Diskussion und Empfehlungen für eine verbesserte Fundbergung und -versorgung mittelalterlicher Gläser.

4.3.2. Methodisches Vorgehen

Das Arbeitspaket I – *Anforderungskatalog für eine verbesserte Fundbergung und -versorgung mittelalterlicher Gläser* – umfasste die Sichtung der Literatur sowie den Abgleich von Richtlinien der Bodendenkmalbehörden in Deutschland und Nordeuropa. Letztere wurden insbesondere hinsichtlich der Vorschriften zur Glasbergung und Fundversorgung abgeglichen.

Im Arbeitspaket II – *Arbeitsablauf und Auswahl von Equipments zur verbesserten Fundbergung und -versorgung mittelalterlicher Gläser* – waren insgesamt vier Teilbereiche enthalten. Zunächst sollte der wissenschaftliche Forschungsstand zur Fundbergung und -versorgung mittelalterlicher Gläser aus den vorliegenden Publikationen zur Feldarchäologie erschlossen werden. Dieser weist, anders als die Richtlinien der Bodendenkmalbehörden, eine deutlich detailliertere Beschreibung von Methoden bzw. die konservatorische Begründung der entsprechenden Vorgehensweise auf. In Ergänzung wurde eine Erhebung von best-practice Methoden per Umfrage vorgenommen. Die Befragung wurde direkt an die mit archäologischen Gläsern beschäftigten Grabungsteams der Bodendenkmalpflege im deutschsprachigen und mitteleuropäischen Raum gerichtet. Mit der Befragung sollten nicht in der Forschungsliteratur

enthaltene Erfahrungen und Weiterentwicklungen der Fundbergung und -versorgung für mittelalterliche Gläser erschlossen werden.

Aus den Ergebnissen des Forschungsstandes und der *best-practice* Angaben der Befragung sollten im Anschluss Equipments und Materialien ausgewählt sowie – falls erforderlich – erweitert und optimiert werden. Zudem sollte aus den Informationen der Befragung ein idealer Arbeitsablauf (Work-Flow) zur verbesserten Fundbergung und -versorgung mittelalterlicher Gläser, inklusive konservatorischer Anforderungen an die Lagerung, formuliert werden.

Die Grabungskampagne 2015 diente der anschließenden Betrachtung des *Arbeitsablaufs und Equipments zur Fundbergung und -versorgung* im Rahmen des Arbeitspakets III. Dieses beinhaltete die Bewertung des idealen Ablaufs (Work-Flow) zur Fundbergung und -versorgung mittelalterlicher Gläser. Schwerpunktmäßig wurden jedoch die Equipments und die Materialien auf der Grabung Bodenfelde hinsichtlich ihrer Anwendbarkeit evaluiert.

Das Arbeitspaket IV – *Qualität der Korrosion der in Bodenfelde geborgenen mittelalterlichen Glasfunde* – diente der Erschließung des vorliegenden Fundmaterials. Ausgewählte Funde wurden später zur Untersuchung und Analyse der Glasqualitäten und Erhaltungszustände herangezogen. Abermals bestand das Paket aus mehreren Teilbereichen: Zur generellen Erschließung des Fund- und (Proben-)materials sollten die mittelalterlichen Gläser Bodenfelde zunächst in ihrem Zustand erfasst und dokumentiert werden. Für die Charakterisierung der vorliegenden Erhaltungszustände mussten sie sowohl optischen Untersuchungen (Licht-/Elektronenmikroskopie), als auch diversen instrumentellen Analysemethoden (SEM-EDX, RFA und LA-ICP-MS) unterzogen werden. Aus den Ergebnissen sollten Erhaltungskategorien definiert und ein entsprechender Korrosionsbildkatalog entwickelt werden.

Die kategorisierten Erhaltungszustände sowie der Korrosionsbildkatalog stellten die Grundlage für das Arbeitspaket V dar – *Möglichkeiten der konservatorischen Behandlung*. Ergänzend wurde das aus den unterschiedlichen Kategorien resultierende Trocknungsverhalten der mittelalterlichen Gläser eruiert. Hieraus ließen sich die notwendigen konservatorisch-restauratorischen Maßnahmen für die Gläser ableiten, die exemplarisch-modellhaft an einer Auswahl der mittelalterlichen Gläser Bodenfelde umgesetzt wurden.

In Ergänzung zur *Bewertung des Arbeitsablaufs und Equipments* (AP III) wurde im Arbeitspaket VI – *Vergleich der herkömmlich geborgenen Gläser mit den durch optimierte Verfahren geborgenen Funden* – versucht, die Effektivität des idealen Arbeitsablauf sowie der optimierten Equipments durch instrumentelle Analytik zu belegen. Abermals sollten die Ergebnisse der optischen und messtechnischen Verfahren, u. a. LM/REM sowie SEM-EDX, RFA und LA-ICP-MS, als Grundlage herangezogen werden.

Das letzte Arbeitspaket VII – *Diskussion und Empfehlungen für eine verbesserte Fundbergung und -versorgung mittelalterlicher Gläser* – sah vor, die Ergebnisse der Untersuchungen sowie der praktischen Anwendungen zu einem Leitfaden zur verbesserten Bergung, Fundversorgung und Lagerung archäologischer Glasfunde zusammenzufassen.

4.3.3. Zeit- und Projektplanung

Unter Berücksichtigung der gekürzten Projektlaufzeit und -budgets wurde zum Auftakt der Arbeiten eine dem Antrag entsprechende interne Zeitplanung entwickelt (Tab. 12). Demnach nehmen die Phasen 1, 2 und 4 den Punkt 5.3.1 des Antrags auf. Analog wird das Paket 5.3.2 in der Phase 3 und 5 verortet. Letztlich wurde versucht, dem Paket 5.4 in den Phasen 6-7 gerecht zu werden.

	2015					2016												
	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sept	Okt	Nov	Dez	Jan	Feb	Mar	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sept
Phasen	1. Planung Projektrahmen																	
		2. Literatursichtung und Umfrage zu Verfahren																
		3. Untersuchungen und Analysen des vorliegenden Materials																
			4. Best Practice/Anwendung der Fundbergung															
					5. Untersuchungen und Analysen an geborgenem Material aus 4.													
									6. Auswertung von Ergebnissen zwischen Material 3. und 5.									
													7. Ableitung von Strategien zur verbesserten Fundbergung am Glas					
																		8. Abschluss

Tab. 12 Interne Zeitplanung für das Arbeitsprogramm der HTW Berlin

4.4. Durchführung der Arbeitspakete – HTW Berlin

4.4.1. Arbeitspaket I – Anforderungskatalog

4.4.1.1. Literatur zur Glaskorrosion

Die Korrosion von Gläsern ist Gegenstand vieler Forschungsprojekte. Deutlich befördert wurde die Glasforschung seit Mitte des 20. Jahrhunderts durch das *Radioactive Waste Management*, welches die Möglichkeiten der Endlagerung nuklearer Abfallprodukte untersuchte (HEIMANN 1986). Dennoch sind die Prozesse der Glaskorrosion lediglich ansatzweise geklärt. Weder konnten bestimmte Korrosionsphänomene mit der Glaszusammensetzung korreliert, noch die Reaktionsabläufe präzise erschlossen werden. Anhand von Untersuchungen mit Modellgläsern (MUELLER et.al 1997; ROEMICH et al. 2004, MC LOUGHLIN et al. 2006) können jedoch Tendenzen für das Korrosionsverhalten archäologischer Gläser abgeleitet werden.

Sowohl frühe Publikationen, vgl. GEILMANN 1956, CRONYN 1990, COX/FORD 1993, als auch aktuellere AutorInnen wie DAVISON 2003, KOOB 2006 und BELLENDORF et al. 2010 stimmen dahingehend überein, dass Wasser in Form von Wasserdampf oder wässrigen Lösungen den größten Einfluss auf die Glaskorrosion ausübt. In Abhängigkeit von der Zusammensetzung der Gläser können die Reaktionen jedoch sehr unterschiedlich verlaufen. SCHOLZE 1988 beschreibt, dass sich bei niedriger Reaktionsgeschwindigkeit lediglich eine dünne alkaliarme Schicht bildet, die stabilisierend wirkt und die weitere Korrosion hemmen kann. Reaktionen finden insbesondere an den Oberflächen der Gläser statt. Nach POLLARD/HERON 2008 kommt es hierbei zu zwei Grundreaktionen: der Auslaugung und der Auflösung des Glasnetzwerks.

Während die Auslaugung in saurer Umgebung durch Ionenaustausch stattfindet, verläuft die Auflösung des Glasnetzwerkes vorzugsweise im basischen Milieu. Zunächst werden die Alkalien durch $H^+/-H_3O^+$ Protonen ersetzt. Hierbei bildet sich eine nahezu alkalifreie, aber stark hydratisierte Schicht von reduzierter Dichte, die als Gelschicht angesprochen wird.

Hingegen erfolgt die Auflösung des Glasnetzwerkes durch Abspaltung der Silicium-Ionen. Obschon bereits Wasser diesen Prozess verursachen kann, verläuft die Netzwerkauflösung vor allem in alkalischen Lösungen und hier wesentlich schneller.

Im neutralen Bereich laufen beide Reaktionen im Wechsel, da sich der pH-Wert an der Grenzfläche zur Glasmatrix reaktionsbedingt wiederholt verschiebt. Während die Alkalien des Ionentauschs den pH-Wert der Lösung ansteigen lassen, was die Netzwerkauflösung zur Folge hat, senken die hierbei austretenden Siliziumanteile den pH-Wert der Lösung, so dass die Auslaugung erneut beginnt. Ab einem pH-Wert 9 wird das Netzwerk jedoch sehr schnell und direkt zerstört, ohne dass sich eine schützende Gelschicht auf dem Glas bilden kann.

Die bei der Glaskorrosion entstehende Gelschicht kann von der Oberfläche bis zum Kernglas reichen. Nach SCHALM et al. 2011 ist die Gelschicht eher inhomogen aufgebaut und mit Erdalkali- bzw. Metallverbindungen angereichert, die mit dem Aufbrechen des Glasnetzwerkes mobil werden. Die Gelschicht löst sich beim Trocknen entweder direkt an der Phasengrenze zum Kernglas ab oder wird in millimeterdünne Schichten, sogenannte Lamellen aufgetrennt (vgl. Jeberien/Emgrund 2016). Bestandteile aus der Umgebung können ebenfalls in die Oberfläche der Gelschicht migrieren und führen u. a. zur Verbräunung. Diese beeinträchtigt das ästhetische Erscheinungsbild und die Transparenz des Objekts, sorgt aber auch für eine Verdichtung der Oberfläche, so dass Wasser langsamer diffundieren kann und weitere Korrosionsprozesse minimiert werden (WEBER 2005).

Im Allgemeinen zählen die antiken römischen Soda-Kalk-Gläser zu den beständigsten historischen Glasprodukten. Ihre Zusammensetzung blieb bis in die Spätantike nahezu konstant und entspricht in etwa der Zusammensetzung heutiger Gebrauchsgläser (vgl. Untersuchungen bei WEDEPOHL 2003). Die Ausnahme bilden zumeist farblose spätrömische Gläser, die u. a. bei WITTSTADT 2017 beschrieben werden und die durch geringe Calcium-Gehalte auffallen. Auch HUISMAN et al. 2008 beschäftigen sich mit den an diesen Gläsern vorliegenden Tiefenrissen, deren Korrosionsbild als „Kleinstscherben-Teppich“ oder als „sugering“ (SCHÖFER 2012) beschrieben wird. Auch frühmittelalterliche Gläser zählen zum Soda-Kalk-Typ. Nach WEDEPOHL 2003 weisen sie im Vergleich zum römischen Glas jedoch deutlich höhere Eisenbestandteile auf und sind stärker oberflächlich korrodiert. Hierbei irisieren sie stark oder zeigen bräunliche Krustenbildung.

Ab dem 8. Jahrhundert verändert sich die Glasqualität deutlich. Die mittelalterlichen Holzasche-Gläser enthalten als Flussmittel Kalium und zeigen einen signifikant schlechteren Erhaltungszustand. Folgt man abermals SCHOLZE 1988, sind für den schlechteren Erhalt einerseits niedrigere Silizium- Werte verantwortlich (< 60 Gew%), andererseits werden die Kalium-Ionen schneller ausgelaugt, als das Natrium der Soda-Kalk-Gläser. Mit sinkendem Si-Anteil der Holzasche-Gläser (45 Gew%) (Wedepohl 2003), zeigt sich auch eine breite Variante an Erhaltungszuständen und Korrosionsphänomenen. Erst spätmittelalterliche Gläser zeigen wieder einen besseren Erhaltungszustand, was durch gezielte Aufwertung der Rohstoffe erreicht wird, u. a. Aufbereitung der Holz- zu Pottasche und Zugabe von Calcium (DAVISON 2003).

Neuzeitliche Gläser, die sehr niedrige Calcium-Anteile aufweisen, sind ebenfalls problematisch. Oft liegen sie in historischen Sammlungen als „*krank*, *weinend*“ Gläser vor, da sich bei erhöhter Luftfeuchte kleine Tröpfchen an der Oberfläche bilden (SCHWARZ 2002.). Laut ROEMICH et al. 2004 bilden diese Objekte im Boden ebenfalls das für die spätantiken Gläser beschriebene Rissnetzwerk.

4.4.1.2. Vorgaben der Denkmalbehörden in Deutschland zur Fundbergung

Die hohe Gefährdung archäologischer Gläser während und nach der Fundbergung ist der Archäologie und Grabungstechnik bekannt. Entsprechend liegen Vorgaben zum Umgang mit den fragilen Funden sowohl auf Länderebene, als auch auf Bundesebene vor, die in der Regel online stehen und die den unterschiedlichen Mitarbeitern archäologischer Grabungen frei zugänglich sind.

Für das Arbeitspaket I – *Anforderungskatalog für eine verbesserte Fundbergung und -versorgung mittelalterlicher Gläser* wurden neben der konservierungswissenschaftlichen Literatur zur Glaskorrosion ausgewählte Richtlinien der Bodendenkmalpflege sowie die Handreichung des Verbands der Landesarchäologen in der Bundesrepublik Deutschland gesichtet. Hierbei wurden insbesondere die Aspekte Fundbergung und -versorgung, Hinweise zum Umgang mit Glas, Angaben zur Durchführung von Blockbergungen sowie Empfehlungen zur Verpackung und Lagerung ausgewertet (Tab. 13).

	Umfang gesamt	Fundbergung als eigenes Kapitel	Fundversorgung als eigenes Kapitel	Glas als eigenes Kapitel	Spezielle Bergungstechniken	Vorgaben Verpackung und Lagerung	Restauratorische Behandlung empfohlen
VDL 2006	65 S.	Nein, einzelne kurze Kapitel bei Befunden, u.a. Glasproduktionsstätten und die Bergung der Funde	Nur in Form von Hinweisen zur Reinigung und Verpackung. Leider sehr widersprüchliche Aussagen bzgl. Glasreinigung im Kap 6.1.2	Nein, wenige Zeilen zur Verpackung, Dokumentation und Lagerung	Ja, Durchführung von Blockbergungen samt Material gut beschrieben, verschiedene Fälle angerissen, jedoch keine Anlässe benannt, Beschriftung, keine Abbildung	Verpackung: Hinweise für Fundmaterial allgemein; grundlegende Verpackungsmaterialien benannt; Sonderbedingungen für Nassfunde Lagerung: Angabe der Klimabedingungen für Organik; Vermeidung mechanischer Belastungen, Sauerstoffkontakt und Kondensation/Schimmel	„Die Festigung von Funden vor Ort hat nur im Einvernehmen mit den zuständigen Restauratoren zu erfolgen.“
BLDAM 2006	46 S.	Nein, nur in der Einleitung Kap. II.1; Notwendigkeit des Milieuerhalts wird erwähnt	Nein, Reinigung und Verpackung als Maßnahmen und eigene Kapitel benannt	Nein, im Kap. II. 1, II.2 und II.4 jedoch gesondert erwähnt	Kaum, Blockbergungen werden als kurzer Abschnitt nicht sehr detailliert dargestellt	Verpackung: Hinweise für Fundmaterial allgemein; grundlegende Verpackungsmaterialien benannt; Beschriftungsform Lagerung: Kaum Angaben, wenig zum Transport	Eigenes Kapitel II.1 der restaurierungsbedürftigen Funde, jedoch keine Details zu den speziellen Anforderungen
BLFD 2012	20 S.	Nein, da die Vorgaben sich dezidiert mit der Fundbehandlung beschäftigen, ist die Bergung in einem anderen Dokument verankert	Fundversorgung als erhaltende Maßnahme ab der Grabung benannt, ebenso was zu vermeiden ist: Festigung, Biozide	Nicht direkt, Glas wird lediglich bei der Erstversorgung und den nicht zu waschenden Materialien erwähnt	Ja, Durchführung von Blockbergungen samt Materialien gut beschrieben, verschiedene Befundsituationen aufgezählt, Beschriftung, keine Abbildung	Verpackung: Hinweise für Fundmaterial allgemein; umfangreiche Auflistung der Verpackungsmaterialien; Beschriftungsform Lagerung: keine speziellen Angaben	„Alle Funde, die eine konservatorische (Erst-) Versorgung benötigen, müssen unmittelbar nach der Bergung an die Restaurierung des BLFD weitergeleitet werden.“

Tab. 13 Auswertung der Richtlinien aus der Bodendenkmalpflege zur Fundbergung und -versorgung

Wie Tabelle 13 verdeutlicht, wird die Fundbergung kaum in den betrachteten Richtlinien behandelt. Vielmehr setzen die Empfehlungen mit der Fundversorgung ein, bleiben hierbei jedoch sehr allgemein und umfassen als Maßnahmen der Erstversorgung die Reinigung und Verpackung der Funde (VDL, BLDAM). Bezüglich der Fundversorgung von Glas weist insbesondere die Rahmenrichtlinie des Verbandes der Landesarchäologen sehr widersprüchliche Aussagen auf. Eine Reinigung von Glas wird nicht kategorisch ausgeschlossen und hierfür Bürsten und Pinsel empfohlen. In einem späteren Absatz hingegen, wird vom Waschen stark

verwitterter Gläser abgeraten. Immerhin beschreibt die VDL Richtlinie die Verpackung, Lagerung und Dokumentation archäologischer Gläser in einem gesonderten Absatz.

Auch die Blockbergung wird in der Rahmenrichtlinie des VDL vergleichsweise ausführlich beschrieben, während die Empfehlungen aus Brandenburg hier erstaunlich allgemein bleiben. In der bayerischen Version wird die Notwendigkeit einer Blockbergung mit umfassenden Befundsituationen verbunden (die entsprechend Glas enthalten können).

Die Angaben zur Verpackung sind in der Regel fundiert und benennen mehr oder weniger dezidiert die erforderlichen Materialien und Techniken. Angaben zur Lagerung liegen lediglich in der Rahmenrichtlinie des VDL vor. Restauratorische Empfehlungen finden sich punktuell, sind jedoch für jegliche archäologische Funde formuliert. Die Angaben beschränken sich auf Warnungen zur Reinigung, zur unkontrollierten Trocknung sowie zur Gefahr der Schimmelbildung.

Zusammenfassend zeigt die Sichtung der Richtlinien zur Fundbergung und -versorgung, dass die speziellen Anforderungen empfindlicher Fundgruppen von der Archäologie und Bodendenkmalpflege erkannt wurden, jedoch detaillierte Handlungsempfehlungen zur Glasbergung zumeist fehlen. Zwar werden Gläser unter den empfindlichen oder nicht auf der Grabung zu reinigenden Materialien aufgeführt, bilden im Gegensatz zur Organik und den Nassfunden aber nicht den Schwerpunkt der Erläuterungen. Somit bleiben die Informationen fragmentarisch. Da die konservierungswissenschaftliche Literatur, wie im Kapitel 4.4.1.1 dargestellt wurde, ebenfalls Limits aufweist, kann der *Anforderungskatalog für eine verbesserte Fundbergung und -versorgung mittelalterlicher Gläser* lediglich mit den vorliegenden Erkenntnissen formuliert werden.

Für archäologische, mittelalterliche Gläser gelten folgende Anforderungen der Fundbergung und Fundversorgung:

1. Die Bergung archäologischer Gläser erfolgt unter Einhaltung der Milieubedingungen, d. h. nach der Entnahme aus dem Boden werden die Bodenparameter, speziell die Temperatur und Feuchtigkeit, bis zur restauratorischen Bearbeitung aufrecht erhalten;
2. Die Bergung einzelner Funde und Fragmente aus Glas erfolgt ebenfalls mit anhaftendem Sediment;
3. Die Bergung komplexer Befunde, sowie stark fragmentierter und fragiler Einzelfunde aus Glas erfolgt im Rahmen von Blockbergungen;
4. Die Fundversorgung archäologischer Gläser erfolgt unmittelbar nach der Bergung;
5. Eine temporäre Sicherung (Festigung) archäologischer Gläser sollte nur nach restauratorischer Begutachtung und durch Fachpersonal ausgeführt werden;
6. Eine permanente Festigung archäologischer Gläser ist mit Bezug auf gegenwärtige Restaurierungsethik zu vermeiden und ist im Rahmen der Erstversorgung auszuschließen;
7. Die Fundversorgung archäologischer Gläser umfasst eine objektgerechte Verpackung und Lagerung nach präventiven Maßstäben;
8. Die Verpackung bietet insbesondere fragilen Gläsern Schutz vor mechanisch-physikalischen Kräften;
9. Die Verpackung bietet archäologischen Gläsern weiterhin Schutz vor schwankendem Klima sowie dem Einfluss von Biologischem Befall, Schadstoffen und Stäuben;
10. Die Lagerung archäologischer Gläser erfolgt direkt nach der Bergung und Verpackung, sie endet mit der Übergabe an die Restaurierung;
11. Die Lagerung archäologischer Gläser erfolgt in adäquaten Räumlichkeiten, die eine gleichmäßige Klimatisierung aufweisen;
12. Die Lagerung bodenfeuchter oder nasser sowie blockgeborener Gläser erfolgt gekühlt;
13. Die restauratorische Bearbeitung archäologischer Gläser schließt sich zeitnah an die Bergung und Fundversorgung an, da sie den Ausgangspunkt für ihre wissenschaftliche Erschließung und denkmalpflegerische Erhaltung darstellt.

4.4.2. Arbeitspaket II – Arbeitsablauf und optimiertes Equipment

4.4.2.1. Forschungsstand zur Fundbergung und Fundversorgung mittelalterlicher Gläser

Nachdem im Arbeitspaket I die konservierungswissenschaftliche Literatur zur Glaskorrosion sowie die Richtlinien der Bodendenkmalpflege in Deutschland gesichtet wurden, erfolgte im Zuge des Arbeitspakets II – *Arbeitsablauf und Auswahl von Equipments zur verbesserten Fundbergung und -versorgung mittelalterlicher Gläser* die Auswertung der internationalen Standardwerke zur Feldarchäologie.

- First Aid for Finds, WATKINSON et al. 1998 (1972)

David Watkinson, Virginia Neal (und David Leigh) haben mit „*First Aid for Finds: Practical Guide for Archaeologists*“ im Jahr 1972 (Erstausgabe) definitiv das umfangreichste Grundlagenwerk der Feldarchäologie vorgelegt und sich hierbei eingehend mit der Fundbergung befasst. Das Handbuch entstand in Zusammenarbeit mit dem *United Kingdom Institute for Conservation, Rescue/UKIC Archaeology Section*. Inzwischen liegen sowohl zwei ergänzte (1978, 1981), als auch zwei Neuauflagen (1987, 1998) sowie ein Reprint (2001) vor. Aktuell ist das Werk nicht mehr erhältlich, jedoch plant der UKIC-Nachfolger *Institute of Conservation (ICON)* für das Jahr 2019 eine Neuauflage.

In den ersten Kapiteln stellen WATKINSON und NEAL die notwendigen Vorbereitungen für archäologische Ausgrabungen vor, speziell in Bezug auf konservatorische Maßnahmen. Es folgen die Bedingungen der Bodenlagerung sowie die hieraus resultierenden Abbauprozesse – jeweils auf das gesamte Fund- und Materialspektrum bezogen. Ein weiteres Kapitel widmet sich den Bedingungen nach der Bergung und den hieraus resultierenden physikalisch-chemischen Veränderungen für Objekte. Ein weiteres sehr ausführliches Kapitel behandelt das Verpacken, Beschriften und Lagern, letzteres differenziert nach trockenem und nassem Zustand. Die langen Kapitel 4-6 stellen die Objektmaterialien, je unterschieden nach Metallen, anorganische und organische Materialien ausführlich vor. Das Handbuch schließt mit einer Übersicht zur Bergung sehr fragiler Funde und den hierfür geeigneten Techniken.

Auf das Material las gehen WATKINSON und NEAL im Kapitel Anorganik auf leider nur drei Seiten ein. Nachdem sie zunächst die Zusammensetzung und Identifikation sowie die Abbauprozesse vorgestellt haben, folgen Methoden der Ausgrabung, Verpackung und Lagerung. Prioritär Stelle wird empfohlen, Glas milieuerhaltend zu bergen. Des Weiteren wird vor dem Einsatz von Festigungsmitteln am Material (nicht dem umgebenden Sediment) gewarnt und verdeutlicht, warum Glas auf der Grabung weder zu reinigen noch zu waschen ist. In diesem Zusammenhang erläutern die Autoren auch, ob und wie Glasfunde getrocknet werden könnten. Für stabile Funde wird empfohlen, einen Testlauf an einer Scherbe durchzuführen. Im Falle von Nassfunden gilt jedoch erneut der Milieuerhalt.

Für die Verpackung wird darauf hingewiesen, dass insbesondere fragiles Material gut unterstützt werden sollte, ansonsten gilt es die Lagerung in PE-Schaum, säurefreiem Zellstoff und PE-Beuteln zu und in kalter Umgebung realisieren. Wassergelagerte Funde sind zusätzlich in ein Sandwichsystem einzubringen. Für die Umverpackung werden PS-Boxen empfohlen, was mit heutigem Kenntnisstand kritisch betrachtet werden sollte.

- A Conservation Manual for the Field Archaeologist, SEASE 1994 (1987)

Catherine Sease's "*Conservation Manual for the Field Archaeologist*" liegt ebenfalls in mehrfach überarbeiteten Versionen vor. Erstmals erschienen im Jahr 1987, wurde für die

Literaturdurchsicht in diesem Projekt die dritte Auflage von 1994 herangezogen. Das Werk gliedert sich in fünf grundlegende Kapitel. Nachdem einleitend zum Verhältnis aus Umgebungsparameter und Fundmaterial reflektiert und ein tabellarischer Überblick zu den verschiedenen Bodenlagerungen gegeben wurde, erfolgen Sicherheitshinweise, eine umfangreiche Auflistung erforderlicher Materialien und Equipments sowie die Einführung in generelle (Bergungs-)techniken, die vom Dokumentieren über das Bandagieren im Rahmen von Blockbergungen bis zum Transport reichen und durch Skizzen ergänzt werden. Den Schwerpunkt setzt SEASE auf die Abhandlungen zu einzelnen archäologischen Materialien. Diese bieten jeweils einen Überblick zum Werkstoff und zur Herstellung, welchen die Abbauprozesse und unterschiedlichen Erhaltungszuständen folgen. Anschließend werden verschiedene Befundsituationen beschrieben und entsprechende Hinweise zur Bergung geliefert.

Das Kapitel zum archäologischen Glas ist ebenfalls nach diesem Muster aufgebaut. Ausführlich werden die Glaszusammensetzung und die hieraus resultierende Korrosionen in unterschiedlichen Bedingungen erläutert. Die Empfehlungen zur Bergung sind entsprechend fundiert und beziehen zumeist trockene/bodenfeuchte Gläser ein. Sehr klar werden die sich aus den Erhaltungszuständen ableitenden Bergungsmethoden und vor allem die erforderliche Fundversorgung in Form unterschiedlicher Verpackungslösungen, samt Hinweisen zu entsprechenden Materialien, beschrieben. Verweise auf das vorherige Kapitel der grundlegenden Techniken und die hier verankerten Abbildungen ergänzen die Empfehlungen. Das Kapitel schließt mit alternativen Methoden zur Bergung und Verpackung nassgelagerter Gläser. Somit legt SEASE einen ausführlichen Leitfaden zur Bergung und Versorgung archäologischer Funde auf internationalem Niveau vor. Einziger kritikwürdig ist die ambivalente Haltung zur Glasreinigung während der Feldarbeit und der weiterführenden Bearbeitung (Klebung) für die Fundzeichnung und -beschreibung.

- Handbook of Field Conservation, BRINCH MADSEN 1994

Helge Brinch Madsen's „*Handbook of Field Conservation*“ basiert auf dem Handout eines Ausbildungskurses, den er zu Techniken der Feldarchäologie in den 1980er Jahre gegeben hat. Nach mehrfacher Überarbeitung und Ergänzung des Skripts durch weitere KollegInnen wurde es im Jahr 1994 mit Fokus auf die Archäologie und Bodendenkmalpflege der nordischen Länder veröffentlicht. Entsprechend wird nach der kurzen Einleitung zu Funden und Material in der Bodenlagerung die Historie der Feldarchäologie in Dänemark seit dem frühen 19. Jahrhundert dargestellt. Analog zu SEASE folgt im nächsten Kapitel die Darstellung der verschiedenen Bergungstechniken.

Die archäologischen Gläser sind im dritten Kapitel, das die Bergung, Reinigung und Fundversorgung silikatischer Materialien behandelt, integriert. Das Kapitel startet erneut analog zu SEASE und stellt zunächst den Werkstoff und die Abbauprozesse dar, allerdings im Vergleich weniger fundiert, als *A Conservation Manual*. Die folgenden Abschnitte skizzieren Möglichkeiten der Bergung und der Fundbehandlung: das Reinigen in Wasser und Sichern mittels Acrylharzen. Bei der Reinigung wird von einem robusten Zustand der Funde ausgegangen und kaum berücksichtigt, dass in der Feldsituation die feinen Unterschiede zwischen Korrosionsschicht und anhaftendem Sediment oft nicht differenzierbar sind. Zwar wird von der Sicherung zunächst abgeraten, dennoch werden Erhaltungszustände dargelegt, die einen Eingriff dieser Art notwendig machen. Applikationsmethode und mögliche Materialien werden ergänzend benannt – ohne den Hinweis zu liefern, dass diese Maßnahmen deutlich restauratorische Aufgabenbereiche sind, die besser in einem Labor zu bewerkstelligen sind. Man muss dem Autor jedoch zu Gute halten, dass das Kapitel mit der Empfehlung zur Blockbergung und/oder Sockelung endet, die alternativ für fragile Gläser zur Anwendung gelangen könnten.

BRINCH MADSEN orientiert sich strukturell deutlich an den Vorgängerwerken von WATKINSON und SEASE, geht jedoch weniger in die Details und kann keine neuen Erkenntnisse oder Ergänzungen vorlegen – im Gegenteil stellenweise erscheint der Autor kontraproduktiv.

- Elements of Archaeological Conservation, CRONYN 1990

Janey M. Cronyn's umfassendes Werk *"Elements of Archaeological Conservation"* ist ein ähnlicher Klassiker wie *"First Aid for Finds"*. Während WATKINSON oder auch SEASE jedoch deutlich auf die Feldarchäologie fokussieren, richtet sich CRONYN schwerpunktmäßig an restauratorisches Personal. Dennoch stellt das Werk den gesamten Objektweg, von der Bodenlagerung über die Bergung und Fundversorgung bis zur Restaurierung und präventiven Konservierung dar. Entsprechend widmet sich ein gesamtes Kapitel der Fundbergung und stellt sehr ausführlich die verschiedenen Methoden und Materialien vor.

Ähnlich den bereits genannten Werken, bietet auch CRONYN zu jedem Material ein eigenes Kapitel an – das Thema Glas ist abermals in die silikatischen Materialien integriert – und legt hierin zunächst die Zusammensetzung und Herstellung des Werkstoffes dar, um anschließend die Mechanismen der Korrosion zu beschreiben. Auch zum Thema Glas werden sehr deutlich die unterschiedlichen Abbaugrade erläutert und die hieraus resultierenden Erhaltungszustände bzw. konservatorischen Maßnahmen dargelegt. Im Anschluss werden diese, zwar nicht explizit als Fundversorgung, jedoch als generelle konservatorische Maßnahmen vertieft. Sie umfassen die Untersuchung, Reinigung sowie passive und aktive Sicherung/Stabilisierung. Deutlich wird darauf hingewiesen, dass Wasser der Hauptverursacher von Abbauprozessen am Glas ist, sowohl während der Bodenlagerung als auch in atmosphärisch gebundener Form, und daher von Gasoberflächen fernzuhalten ist. Vielmehr sollte die Reinigung im noch feuchten Zustand und rein mechanisch erfolgen, unter Erhalt der feinen korrosiven Schichten.

- Archaeological Evidence for Glasworking – Guidelines for Best Practice, PAYNTER/DUNGWORTH 2011

Eine der aktuellsten Arbeiten liefern Sarah Paynter und David Dungworth's *"Archaeological Evidence for Glasworking – Guidelines for Best Practice"*. Zwar setzt sich die Publikation im Kern mit der Glashüttenarchäologie auseinander, doch ist das Thema Glasfunde sowie die Bergung/Fundversorgung naturgemäß in einer derartigen Arbeit enthalten⁷⁴. Entstanden sind die Guidelines im Zuge der Aktivitäten des *English Heritage* (heute *Historic England*) und soll ForscherInnen dabei unterstützen, die Spuren historischer Glasverarbeitung in Großbritannien zu entdecken und zu erforschen. Entsprechend ist die Arbeit im gleichen Kontext wie *First Aid for Finds* zu betrachten und überrascht es auch nicht, dass sich PAYNTER/DUNGWORTH ausschließlich auf vorliegende Literatur des anglosächsischen Raums beziehen.

Nach einführenden Abschnitten zum Werkstoff Glas und den Herstellungstechniken, ist das Thema Fundbergung und -versorgung in das vierte Kapitel integriert, in dem es um Methoden zur Erforschung archäologischer Glashütten geht. Bezüglich der Bergung von Glasfunden verweisen PAYNTER/DUNGWORTH deutlich auf WATKINSON. Kurz erläutern sie die aus dem Kontakt mit Wasser resultierenden, meist fragilen Erhaltungszustände und geben den Hinweis, dass diese immer durch restauratorisches Fachpersonal zu beurteilen sind. Als einzige Maßnahmen wird erwähnt, dass archäologisches Glas mit anhaftendem Sediment und milieuerhaltend zu bergen und vor Stößen geschützt zu lagern ist. Im Abschnitt Konservierung wird erneut auf die führende Literatur verwiesen (NEWTON, POLLARD/HERON) und

⁷⁴ Surviving glassworking remains are likely to be regionally or nationally important, as archaeological evidence of glassworking is relatively rare. These guidelines provide advice on how to approach, investigate and interpret glassworking sites in order to maximise their archaeological potential. (PAYNTER/ DUNGWORTH 2011, S. 4)

hieraus die verschiedenen Stufen der Konservierung/Restaurierung zusammengefasst. Erneut wird jedoch betont, dass die Ausführung der Maßnahmen dem Fachpersonal zu übertragen ist. Somit werden PAYNTER/DUNGWORTH in dieser Arbeit leider wenig konkret. Vielmehr verweisen sie auf die vorliegende Fachliteratur, ohne Anwendungs- oder Fallbeispielen zu nutzen, die das Werk an anderer Stelle sehr sinnvoll ergänzen.

Zusammengefasst stellt sich die internationale Fachliteratur zur Feldarchäologie sehr homogen dar. In allen Publikationen wird darauf verwiesen, dass archäologische Funde mit anhaftendem Sediment und milieuerhaltend zu bergen sind. Im Anschluss sollten Funde stützend und puffernd verpackt und möglich ohne Sonneneinwirkung gelagert werden. Diese Aussagen lassen sich auch für archäologisches Glas anwenden. Die Blockbergung wird ebenfalls bei allen AutorInnen erwähnt, leider nicht als die bevorzugte Möglichkeit der Glasbergung.

In der Fundversorgung unterscheiden sich die AutorInnen hingegen durchaus. Einige raten konsequent von der Reinigung archäologischer Gläser ab, andere machen diese wie auch weiterführende Maßnahmen vom Erhaltungszustand abhängig, nur Einzelne gehen mit diesem Thema eher unkritisch um. Die Verpackung und Lagerung weist insbesondere bei SEASE die größte Detailtiefe auf. Diese Listung erscheint aus heutiger Sicht noch nahezu komplett und kann für das Projekt übernommen werden. Andere AutorInnen scheinen sich ebenfalls an diesem Programm zu orientieren bzw. legen sich auf das Standardprogramm aus PE-Schaum, -Beuteln und -Boxen fest, die verschiedentlich eingesetzt werden können.

4.4.2.2. Erhebung von best-practice Methoden zur Fundbergung und -versorgung von mittelalterlichen Gläsern

Zur Erhebung von *best-practice* Methoden der Fundbergung und -versorgung mittelalterlicher Gläser wurde eine Befragung unter Kolleginnen und Kollegen durchgeführt, die regelmäßig mit der Bergung und Versorgung mittelalterlicher Gläser konfrontiert sind. Da ein möglichst breiter Erfahrungshorizont erfasst werden sollte, wurde sowohl an die Bereiche Archäologie und Grabungstechnik, als auch an die Konservierung-Restaurierung adressiert. Des Weiteren sollte ein möglichst breiter geografischer Raum erfasst werden, der nach Möglichkeit den Regionen mit einem erhöhten Glasfundaufkommen entspricht. Folglich wurden KollegInnen des gesamten mitteldeutschen Raums sowie auf europäischer Ebene die angrenzenden westlichen und östlichen Länder angesprochen, so dass die Fragebögen entsprechend deutsch-/englisch- als auch französischsprachig angeboten wurden.

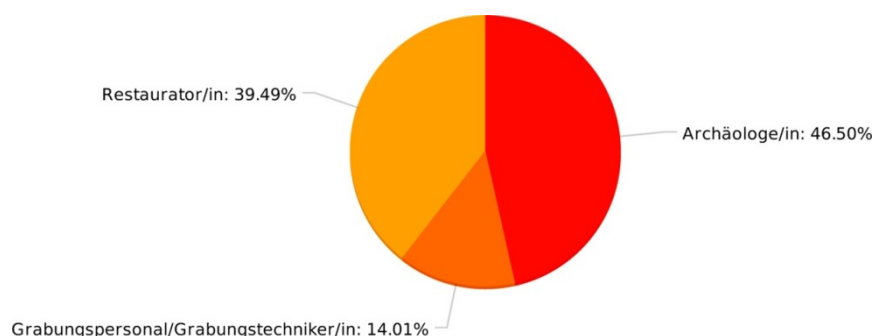


Abb. 125 Verteilung der Tätigkeitsfelder der 157 TeilnehmerInnen

Aus dem skizzierten geografischen Raum und den diversen Tätigkeitsbereichen wurden insgesamt 492 Einzelpersonen angeschrieben, von denen sich 157 an der Befragung beteiligten (= Rücklauf von 31,9 %). Die TeilnehmerInnen (TN) lassen sich in 73 ArchäologInnen, 22 GrabungstechnikerInnen und 62 RestauratorInnen untergliedern (Abb. 125). Zur Wahrung der

Anonymität wurden keine Provenienzen erfasst, es lässt sich bezüglich der 130 deutschsprachigen Rückläufe jedoch annehmen, dass ein hoher Anteil dieser TN aus dem deutschsprachigen Raum stammt. Hingegen liegen lediglich 21 englische und sechs französischsprachige Antwortbögen vor.

Im Sinne einer möglichst umfangreichen Beteiligung wurde der Arbeitsaufwand für die TN gering gehalten. Daher bestand die Befragung aus lediglich 16 zumeist geschlossen formulierten Fragen, die anzukreuzen waren. Mehrfachnennungen (MN) waren bei einigen Themen möglich. Nur wenige Fragen wurden offen gestellt und forderten zu selbst formulierten Eingaben auf (vgl. Fragebögen im Anhang 5.2.1).

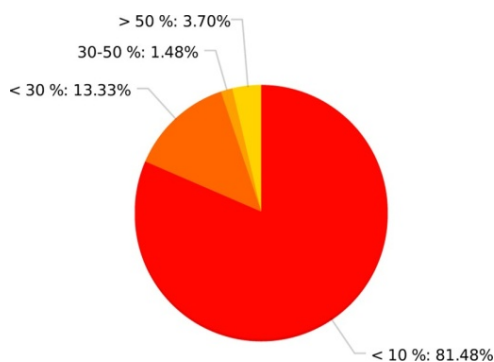


Abb. 126 Anteil der Gläser im Gesamtfundspektrum

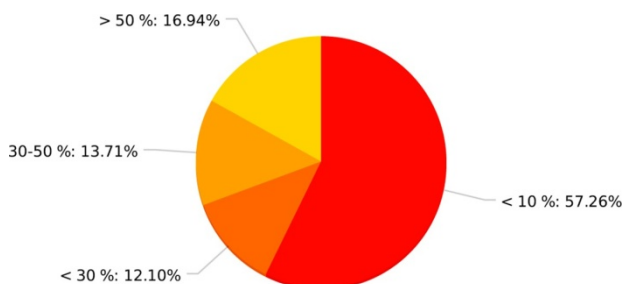


Abb. 127 Anteil der mittelalterlichen Glasfunde im Verhältnis zur Gesamtmenge der geborgenen Gläser

Neben dem Tätigkeitsfeld der Befragten, wurden eingangs die verwendeten Dokumentationsverfahren erfasst. Zudem wurde erbeten, den Anteil der gesamten Glasfunde im eigenen Zuständigkeitsbereich einzuschätzen und im Anschluss hiervon die Menge der mittelalterlichen Gläser zu differenzieren. Demnach macht Glas bei über 80 Prozent der TN weniger als ein Zehntel des gesamten Fundaufkommens aus (Abb. 126). Sofern jedoch Gläser zum Fundspektrum gehören, stellen mittelalterliche Gläser immerhin bei knapp 17 Prozent mehr als die Hälfte und bei weiteren 13 Prozent der Befragten, zwischen einem Drittel und der Hälfte des Fundspektrums dar (Abb. 127).

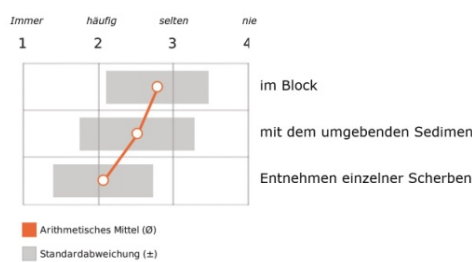


Abb. 128 Angaben zur Form der Bergung

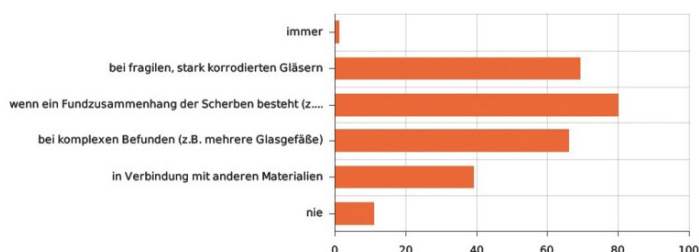


Abb. 129 Angaben zum Anlass von Blockbergungen für fragile Glasfunde (in absoluten TN, MN möglich)

Die sich anschließenden Themenblöcke geben Aufschluss über den organisatorischen Ablauf vieler Grabungen, inklusive zur Bergungsform sowie zum Anlass von Blockbergungen. Demnach erfolgt die Bergung von Glasfunden in den meisten Fällen durch die direkte Entnahme der Fragmente, seltener milieuerhaltend mit Sediment oder per Blockbergung (Abb. 128). Im Block werden Glasfunde nur geborgen, sofern zusammenhängende Fragmente vorliegen, es sich um fragile und stark korrodierte Gläser oder komplexe Befunde handelt (Abb. 129). Ergänzend wurden der Zeitpunkt (Abb. 130) sowie die Art der Erstversorgung bzw. die Verpackungsoptionen für die Glasfunde erfasst, speziell bezüglich fragiler Objekte (Abb. 131). Während die eine Hälfte der Befragten angaben, die Gläser sofort (48 TN) oder

nach Abschluss der Grabung (42 TN) in die Restaurierung zu geben, versorgt die andere Hälfte der Teams die Funde direkt nach der Bergung (30 TN), im Laufe (29 TN) bzw. nach Abschluss der Grabung (34 TN) selbst. Zirka zwanzig Teams lassen die Funde komplett unversorgt und lagern sie ins Depot ein.

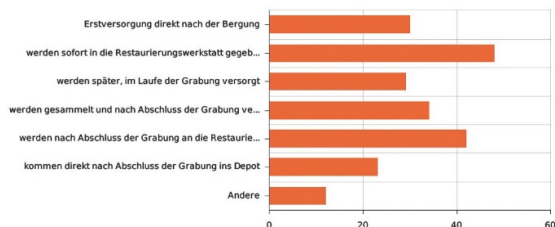


Abb. 130 Zeitpunkt der Erstversorgung fragiler Glasfunde auf der Grabung (in absoluten TN, MN möglich)

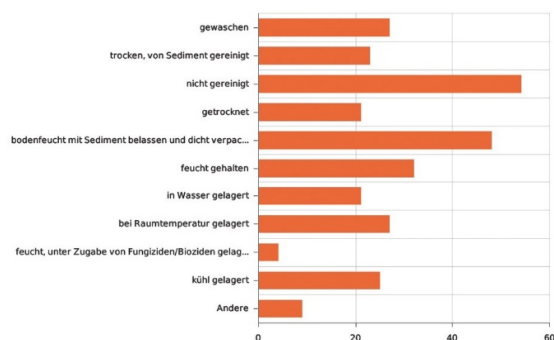


Abb. 131 Art der Erstversorgung fragiler Glasfunde auf der Grabung (in absoluten TN, MN möglich)

Sofern eine Erstversorgung erfolgt (Abb. 131), stellt diese sich äußerst divers dar. Größtenteils werden die Glasfunde nicht auf der Grabung gereinigt (54 TN). Eine gleiche Anzahl von Personen reinigt die Gläser hingegen feucht oder trocken (27/23 TN). Dennoch erfolgt die Lagerung mehrheitlich milieuerhaltend (105 TN), d.h. mit Sediment, feucht oder in Wasser bzw. unter Zugabe von Fungiziden. Über 50 TN gaben an, die Funde bei Raumtemperatur oder gekühlt zu lagern.

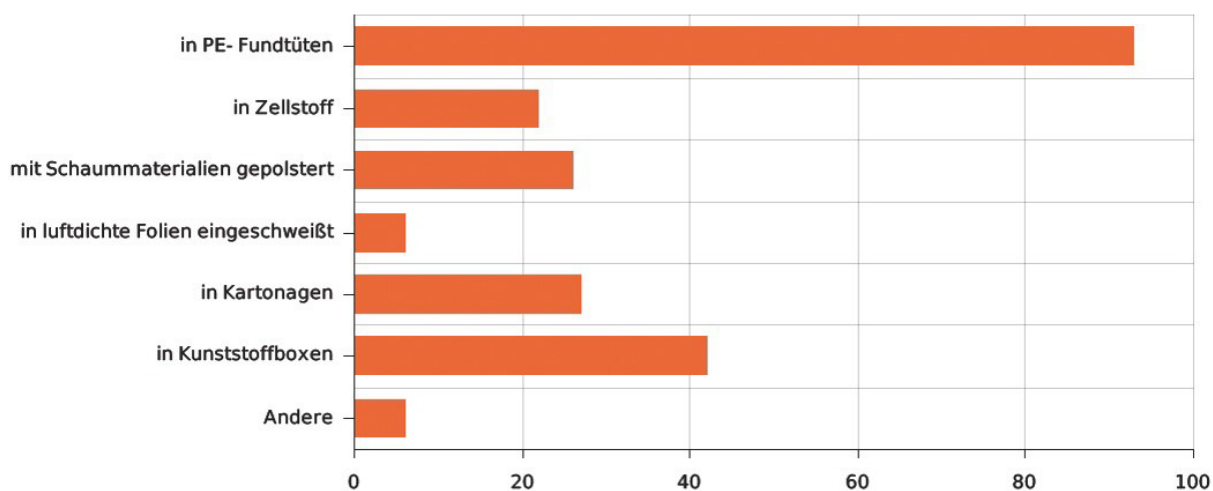


Abb. 132 Verpackungsformen für fragile Glasfunde auf der Grabung (in absoluten TN)

Die anschließenden Angaben zur Verpackung der Glasfunde stellen sich eindeutiger dar (Abb. 132). Mehrheitlich wird in PE-Fundtüten (93 TN) verpackt, die von Kunststoffboxen (42 TN), und deutlich geringer durch Kartonagen (27 TN) benannt werden. Ähnlich geringfügig scheinen puffernde Materialien, wie Zell- und Schaumstoff, zum Einsatz zu gelangen (48 TN). Während das luftdichte Einschweißen in Folien im Verhältnis kaum erwähnt wird (6 TN).

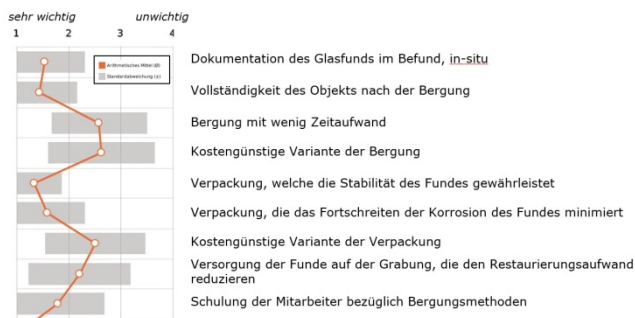


Abb. 133 Einschätzung der Faktoren zur Fundbergung und -versorgung von Glasfunden

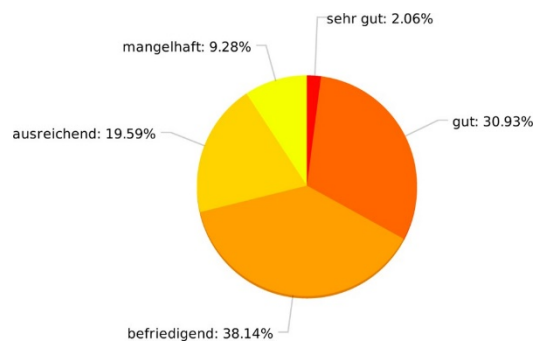


Abb. 134 Selbsteinschätzung zu vorgenommenen Versorgungsmaßnahmen

Zum Ende wurde gebeten, die unterschiedlichen Themenblöcke nach Relevanz zu beurteilen (Abb. 133). Die Ergebnisse belegen insbesondere die Bedeutung einer stabilisierenden bzw. vor Korrosion schützenden Verpackung, die von vielen Befragten als sehr wichtig eingestuft wurde. Des Weiteren werden die Vollständigkeit der Objekte sowie die Dokumentation der Funde *in-situ* als bedeutsam benannt. Im mittleren Bereich folgen Mitarbeiterschulungen (für die Glasbergung) und Maßnahmen, die den konservatorischen Aufwand reduzieren. Weniger relevant und gravierend erscheint den Befragten, dass die Bergung zeitaufwändig oder kostenintensiv sein könnte.

Die abschließende Selbsteinschätzung zur Qualität der im eigenen Tätigkeitsbereich durchgeführten Fundversorgungen von Gläsern (Abb. 134) zeigt, dass die Maßnahmen von weniger als der Hälfte der Befragten als sehr gut oder gut eingeschätzt werden (32,9 %). Über ein Drittel (38,1%) verortet die Maßnahmen im mittleren Bereich, während ein weiteres Drittel (28,8 %) sogar angibt, nur eine ausreichend bis mangelhafte Versorgung der Glasfunde vornehmen zu können.

Zusammenfassend ergab die Erhebung, dass Glasfunde mehrheitlich direkt aus dem Fundkontext entnommen und nur dann im Block geborgen werden, sofern fragile, stark korrodierte Gläser oder komplexe Befunde vorliegen. Die Mehrheit der Gläser wird milieuerhaltend verpackt und entsprechend gelagert. Hierbei kommen zumeist PE-Beutel oder Kunststoffboxen zum Einsatz. Puffernde Systeme, wie PE-Schaummaterialien, sind im Verhältnis noch weniger vertreten. Besorgnis sollte der verhältnismäßig hohe Anteil von Funden hervorrufen, der auf der Grabung gereinigt wird – sowohl trocken als auch feucht⁷⁵; ein weiterer hoher Anteil wird direkt getrocknet und ohne weitere Fundversorgung ins Depot verbracht. Aus konservatorischer Sicht zeigt sich, dass für die Lagerung, die teils bei Raumklima und unkonditioniert zu erfolgen scheint, ebenso Entwicklungspotential vorliegt, wie für zu optimierende Verpackungssysteme, die den Bergungszustand erhalten.

Letztlich verdeutlicht die abschließende Gesamtbewertung, dass nur ein Drittel der Befragten die in ihrer Verantwortung liegenden Glasfunde sehr gut oder gut zu bergen bzw. zu versorgen vermögen. Die in der Selbsteinschätzung als wichtig eingeschätzten Schulungen unterstreichen das hohe Interesse, an einer Verbesserung mitzuwirken und widerlegen die häufig argumentierten knappen Budgets, als Ursache für inadäquate Fundbergung und -versorgung.

⁷⁵ Hierzu ergab die Befragung, dass die Bergung mehrheitlich (88%) vom Grabungspersonal/-technikern durchgeführt wird.

4.4.2.3. Auswahl und Optimierung des Equipments und der Materialien zur Fundbergung und -versorgung von Glasfunden



Abb. 135 Ausgewählte Equipments und Materialien für die Bergung und Fundversorgung archäologischer Gläser

Aus den Ergebnissen der Erhebung sowie den Angaben der gesichteten Literatur zur Feldarchäologie wurde entsprechendes Equipment und Verbrauchsmaterial (Abb. 135) für die Bergung und Versorgung von mittelalterlichen Glasfunden ausgewählt und durch notwendige Artikel erweitert und optimiert.

Die **Verpackung** von Kulturgütern erfolgt gemäß den Prinzipien der Präventiven Konservierung in langzeitstabilen und geprüften inerten Materialien von Museumsqualität. Zu den Materialstandards zählen säurefreie Zellstoffe (Seidenpapier) und Kartonagen, zudem gehören Folien, Vliese, Druckverschlussbeutel und puffernde Schaummaterialien aus Polyethylen (PE) zum erprobten Materialkanon. Auch Klippboxen und größere Umverpackungen, wie Euronormkisten sollten aus PE bestehen, alternativ eignet sich Polypropylen (PP). Von Behältern aus Polystyrol (PS) ist aufgrund instabiler und somit nicht langzeitbeständiger Verbindungen im Kunststoff abzuraten, diese sind lediglich für kurze Zeiträume einzusetzen (Transport) und sollten sofern verwendet, regelmäßig gelüftet werden.

Glasfragmente und kleinste Funde könnten einzeln in PE-Beutel verpackt werden, die ähnlich wie blockgeborgene Glasfunde, zusätzlich in diffusionsdichte und Sauerstoff evakuierte Foliensysteme (ESCAL) eingebracht werden. Diese werden mit langen Clipleisten (Azzurro) verschlossen und anschließend verschweißt.

- PE-Fundtütchen
- PE-Vlies (TYVEK)
- PE-(Stretch)-Folie und PET-Folie (Mylar)
- PE-Schaummaterial (Plastazote, Ethafoam)
- PE und PP Klipp- bzw. Euronorm Boxen
- PET/PE Folie (ESCAL)
- PET/Aluverbund Folien
- Azzurro-Clips bzw. Drysafe Verschlussleisten

- Pumpe für Vakuum
- Folienschweißzange
- Sauerstoffabsorber (ATCO, ZerO2)
- Konditionierungsmittel/Silikagel (ProSorb!)
- Feuchtigkeitsanzeiger (Farbumschlag) und Sauerstoffindikatoren (Ageless, OxyEye)

Die Equipments und Materialien für die **(Block-)Bergung** archäologischer Gläser umfassen einen Querschnitt der Standardausrüstung aus Restaurierung und Feldarchäologie. Da die beste Möglichkeit zum Milieuerhalt die Entnahme im Block ist, sollten eine erweiterte Ausstattung und entsprechendes Material auf jeder Grabung, die Glasfunde erwarten lässt, vorrätig sein.

- Holzwerkzeuge und verschiedene Pinsel zum Präparieren der Sockelung⁷⁶
- Pinsel verschiedener Qualität und Stärke
- PE (Stretch-)Folien
- PE-Fundtüten (mittel-groß)
- Gipsbinden
- Loser Gips
- Synthetischer Stützverband (Glasfasergewebe mit Polyurethanharzgemisch⁷⁷)
- Nylongewebe, Glasseide
- Cyclododecan (alternative: Menthol, Tricyclen-Camphen)
- Siedegrenzbenzin
- Labor-/Becherglas, 300-500 ml, Rührstäbchen aus Glas
- Gipsbecher
- Campingkocher/Gasbrenner
- Bodenplatten aus Kunststoff/Acrylglas (ggf. Edelstahl-/Siebdruckplatten; Holzplatten nur sofern durch Folie abgesperrt)
- PE oder PP-Boxen
- Große Transportkisten

Unabhängig von der Bergungsmethode und Verpackung besteht die Anforderung, den bodenfeuchten Zustand der Gläser während der **Lagerung** und bis zur konservatorischen Bearbeitung aufrecht zu erhalten. Da nicht nur die unkontrollierte Austrocknung der Funde droht, sondern das feuchte Sediment gleichzeitig zu Schimmelbildung neigt, müssen Glasfunde möglichst sauerstoffarm und gekühlt (ca. 5 °C) gelagert werden⁷⁸. Eine dicht anliegende Umwicklung der Blockbergung mit PE-Folien/mehrschichtige Verpackung der Einzelfunde minimiert den Eintritt von Luftsauerstoff ins Sediment und an das Objekt. Eine weitere Option stellt die Konditionierung mit Sauerstoffabsorbieren dar.

- Sauerstoffabsorber (ATCO, ZerO₂)
- Konditionierungsmittel/Silikagel (ProSorb!)
- Feuchtigkeitsanzeiger und Sauerstoffindikatoren (Ageless, OxyEye)
- Datenlogger für Temperatur, Feuchtigkeit (z.B. EL-USB2, Testo)
- Handmessgerät für Temperatur, Feuchtigkeit, Lichtstärke, UV-Anteile (z. B. Elsec)
- Klimagepufferte Isotherm Box, alternativ mit PE-Schaumstoff ausgekleidete PE Box⁷⁹
- Kühlelemente (Pads, Akkus)

⁷⁶ Von groben Metallwerkzeugen (Kelle, Stuckateureisen etc.) wird in der Oberflächennähe des Glasfundes abgeraten, da dieses zu mechanischen Schäden führen kann.

⁷⁷ Nachteil: hochpreisig; Vorteile: bieten höhere Stabilität bei der Umwicklung und haben wesentlich geringeres Gewicht als herkömmliche Gipsbinde; resistent gegenüber biologischem Befall (Schimmel).

⁷⁸ Feuchte Glasfunde dürfen nicht eingefroren werden, da dieser Prozess zur Zerstörung der korrodierten Schichten führt.

⁷⁹ Leider konnten bisher keine aus inerten Materialien bestehenden Kühlboxen eruiert werden (das Puffermaterial enthält zumeist leicht flüchtige Verbindungen), so dass im Projekt mit PE-Schaumstoff gepolsterte Euronorm Boxen verwendet wurden.

- Alternativ: andere Kühlsysteme/-schränke

Ergänzend zu den Equipments und Materialien für die Bergung und Erstversorgung sollte ein Gerät zur Messung der Bodenfeuchte vorliegen. Sämtliches Equipment und Material sollte möglichst themensortiert und übersichtlich (Bergung, Blockbergung, Verpackung, Lagerung) in stabilen Aluminiumboxen und/oder Werkzeugkoffern verstaut sein.

Letztlich muss die persönliche Schutzausrüstung mit erwähnt werden, zu der mindestens eine Atemschutzmaske, eine Laborbrille und ein Set verschiedener Handschuhtypen (Stärke/Materialität) gehören.

4.4.2.4. Arbeitsabläufe und Methoden zur verbesserten Fundbergung und -versorgung mittelalterlicher Gläser

Die Bergung und Erstversorgung fragiler Glasfunde ist enorm komplex, da sie mit deutlichem Mehraufwand verbunden ist. Auch stellt die Versorgung auf der Grabung keinen Ersatz für eine fundierte konservatorische Bearbeitung dar⁸⁰. Dennoch bestimmen adäquat ausgeführte Versorgungsmaßnahmen den zukünftigen Erhaltungszustand der Gläser, sofern grundlegende Schritte – primär die Erhaltung der durch die Bodenlagerung vorgegebenen Parameter – bis zur Konservierung und Restaurierung eingehalten werden. Aus diesen Gründen sollte eine grundlegende Planung und Vorbereitung, sowohl der Arbeitsabläufe als auch der benötigten Equipments und Materialien (vgl. Kap. 4.4.2.3), erfolgen.

• Vorbereitungen

Zum langfristigen Erhalt der Gläser ist ein Gesamtablauf erforderlich, der auf präventiven Prinzipien basiert. Hierzu zählen witterungsgeschützte Grabungsflächen, die das Austrocknen der Bodenschichten und der Funde sowie einen unkontrollierten Wassereintrag verhindern (Planen, Grabungszelte, Schutzbauten) ebenso wie der umsichtige und nachhaltige Umgang mit dem Fundmaterial und Equipment.

Während der Arbeit an der Grabungsfläche ändern sich die Umgebungsbedingungen für die in den Schichten befindlichen Funde rapide. Insbesondere die Feuchtigkeit nimmt ab, während der Sauerstoffgehalt steigt. Entsprechend werden speziell die äußeren Schichten der Funde belastet, was zu Stress am Material und zu beschleunigter Korrosion führt. Um die Objektbelastungen zu minimieren, ist ein zügiger Workflow für die Freilegung, Dokumentation und Bergung zu planen, der erforderliche Equipments und Materialien bereithält⁸¹.

• Bergung und Fundversorgung

Um den Verlust der korrodierten Oberfläche zu vermeiden, sollten archäologische Gläser nicht vollständig freigelegt werden⁸². Idealerweise verbleibt eine dünne Sedimentschicht von bis zu 3-5 Millimetern am Objekt. Diese schützt den Fund vor Austrocknung sowie mechanischer Beschädigung und hält den Fund bis zur restauratorischen Bearbeitung zusammen.

⁸⁰ Diese muss zeitnah unter Laborbedingungen und durch spezialisierte Fachkräfte erfolgen.

⁸¹ Bei Temperaturen ab 25° Grad müssen entsprechende Maßnahmen, z.B. temporäres Abdecken der freigelegten Bereiche, getroffen werden. Direkte Sonneneinstrahlung und längere exponierte Zeiträume an der Atmosphäre sind unbedingt zu vermeiden.

⁸² Die Freilegung der Objekte auf der Grabung hat ihre Grenzen und soll nicht zu Reinigungsmaßnahme werden. Vielmehr dient die Freilegung der Lage im Befund und ersten Identifikation des Objekts. Eine vollständige Freilegung der Glasoberfläche im Sinne einer Reinigung, ist insbesondere an korrodierten Glasobjekten unter Laborbedingungen und von Fachkräften durchzuführen. Da Glaskorrosion immer materialimmanent ist, geht mit der Korrosionsschicht die originale Oberfläche des Objekts verloren.

Metallische Instrumente während der Freilegung sind zu vermeiden, da sie insbesondere an trockenen Funden aufgrund hoher Härte und fehlender Flexibilität zu Beschädigungen der Oberfläche führen⁸³. Geeignet sind weiche Instrumente, wie Spatel aus Holz und Kunststoff.

Stabile, kaum korrodierte Scherben und unfragmentierte, kleinere Glasobjekte werden direkt aus dem Befund entnommen und sofort in einen Druckverschlussbeutel entsprechender Größe verpackt⁸⁴. Für jedes Fragment/Objekt ist ein eigener PE-Beutel zu verwenden, so dass der Abrieb der Oberflächen minimiert wird. Die Abnahme aus dem Befund erfolgt mit einem flachen Werkzeug, das unterhalb des Objektes, jedoch nicht an der Glasoberfläche angesetzt wird.

Für stark korrodierte Einzelscherben im feuchten Zustand oder Kleinobjekte im Verbund (Perlen) eignet sich eine „Mini-Block“-Bergung⁸⁵. Hierbei werden die Gläser ebenfalls mit anhaftendem Sediment, das jedoch speziell an der Basis einen höheren Umfang aufweist, geborgen⁸⁶. Nach dem Abheben aus dem Befund ist der „Mini-Block“ direkt mit PE-Folie fest einzuwickeln. Dabei ist der Druck dem Erhaltungszustand des Fundes anzupassen, so dass feuchte, stark korrodierte Gelschichten nicht zerdrückt oder das Objekt deformiert werden.

Die beste Möglichkeit archäologische Gläser milieuerhaltend zu sichern, ist eine Bergung im Block. Aktuell kommen viele verschiedenen Techniken der Blockbergung zur Anwendung⁸⁷.

Einzelobjekte bzw. Fundkomplexe werden mit einer deutlichen Schicht des umgebenden Sediments gesockelt, mit PE-Folie umwickelt und ggf. mit Gipsbinden stabilisiert⁸⁸. Im oberen Bereich wird mit PE-Folie oder temporären Bindemitteln (BRUHIN et al. 2008, Jeberien 2002) eine Verschlusskappe ausgearbeitet⁸⁹. Anschließend wird der Block mit Hilfe einer Basisplatte aus Kunststoff oder Metall aus dem Befund entnommen⁹⁰.

• **Fundsicherung**

Die effektivste Sicherungsmaßnahme für archäologisches Glas ist das milieuerhaltene Bergen (im Block) und eine zügig durchgeführte konservatorische Bearbeitung. Dennoch werden für fragile und stark korrodierte Gläser oftmals Transportsicherungen und Stabilisierungsmaßnahmen notwendig.

Die Festigung von archäologischen Gläsern auf der Grabung ist ein enormer Eingriff und daher zu vermeiden. Das Einbringen von Festigungsmitteln in die korrodierte Glassubstanz führt zu irreversiblen Veränderungen am Objekt. Nachfolgende konservatorische und restauratorische Maßnahmen sowie naturwissenschaftliche Untersuchungen werden hierdurch stark eingeschränkt⁹¹.

⁸³ Der Einsatz grober Grabungsinstrumente (Kelle, Spatel, Stuckateureisen) ist zur Freilegung archäologischer Gläser zu unterbinden.

⁸⁴ Auch an Einzelfragmenten ist darauf zu achten, eine dünne Sedimentschicht am Fund zu belassen.

⁸⁵ Der Befund wird mit einem planen Werkzeug vollständig im Sockel präpariert, unterfangen und abgehoben. Dabei muss die Breite des Werkzeugs passend zu Objektgröße gewählt werden.

⁸⁶ Eine Bergung in dieser Form ist nur bei kompakten, formstabilen Böden möglich. Lockere Sand- oder Kiesböden können kaum als Mini-Block abgehoben werden, oftmals ist auch keine Haftung am Objekt gegeben.

⁸⁷ Vgl. SEASE 1994 oder WATKINSON 2001

⁸⁸ Bei größeren Ausmaßen wird ein meist ein Holzkasten gesetzt.

⁸⁹ Der Einsatz von Cyclododecan ist ausschließlich durch eingewiesenes Fachpersonal vorzunehmen.

⁹⁰ Der gesamte Block ist so zu stabilisieren, dass keine Bewegung des Materials im Block während der Bergung, Lagerung, Transport und des Handlings erfolgen kann.

⁹¹ Das Festigen von archäologischen Funden bedarf hoher Fachkenntnisse - sowohl zum Objektmaterial, dessen Korrosionszustands als auch zur Applikationsart und langfristigen Auswirkungen des Festigungsmittels. Eine Festigung von Funden auf der Grabung kann die konservierungswissenschaftliche Untersuchung und Maßnahmenplanung in Hinblick auf eine dauerhafte Erhaltung nicht ersetzen. Im Gegenteil, die weitere

Eine (Transport-)Sicherung von fragilen archäologischen Gläsern mit temporären Bindemitteln ist lediglich an trockenen Funden möglich, da das Bindemittel stark hydrophob ist und keine Haftung auf feuchten Flächen gegeben ist. Die Anwendung des Bindemittels erfolgt in der Schmelze und/oder Lösung und sollte nur nach Anweisung und von Fachpersonal ausgeführt werden.

- **Lagerung**

Konventionelle Fundbeutel oder PE-Folien weisen eine geringe Diffusionsdichte auf und halten die Gläser nur kurzzeitig feucht. Um das Austrocknen der Funde zu verhindern, werden die Fundbeutel und Blöcke zusätzlich in PET-Folie (Escal) verpackt. Die enthaltene Luft wird mittels einer Pumpe aus dem Folienschlauch gezogen und dieser mit einem langen Clip (Azzurro) verschlossen oder verschweißt.

Um den Diffusionsdruck weiterhin zu minimieren, werden die Glasfunde in dicht schließende Behältnisse (PE-Schaumstoff gepolsterte Euronorm oder inerte Kühl-Boxen) eingebracht. Diese sind mit Silikagel auf den der ursprünglichen Bodenfeuchte entsprechenden Feuchtewert zu konditionieren.

Zur Vermeidung von Schimmelbildung, sollten die Glasfunde langfristig möglichst sauerstoffarm und gekühlt (bei ca. 5 °C) gelagert werden⁹². Die Umwicklung der Blockbergungen sowie die PET-Folien minimieren bereits den Eintritt von Luftsauerstoff. Eine weitere Option stellen Sauerstoffabsorber, die in die (Um-)Verpackungen eingebracht werden dar. Ihre Wirksamkeit kann mit Indikatoren überprüft werden.

Archäologische Gläser können nicht langfristig gelagert werden. Die Korrosion des Glases schreitet – wenn auch langsam, so doch stetig voran. Insbesondere feucht geborgene Glasobjekte müssen zeitnah konservatorisch bearbeitet werden.

4.4.3. Arbeitspaket III – Bewertung des Arbeitsablaufs und innovativen Equipments

Sowohl der Arbeitsablauf als auch das Equipment zur Bergung und Fundversorgung archäologischer Gläser wurden im Projektverlauf erprobt und bewertet. Im Vergleich zu herkömmlichen Grabungsabläufen sind diese mit einem deutlichen Mehraufwand verbunden, bedürfen einer eingehenden Planung und machen vor allem die Abstimmung mit dem zuständigen Bodendenkmalamt, das für die konservatorische Bearbeitung sorgen sollte, notwendig.

Die Ergebnisse des Arbeitspakets VI, die einen erheblich verbesserten Erhaltungszustand der mittels optimierter Methoden geborgenen Glasfunde aufzeigen, sprechen jedoch deutlich für diese Herangehensweise und den Mehraufwand.

4.4.3.1. Bewertung Arbeitsablauf Fundbergung und -versorgung mittelalterlicher Gläser

Im Rahmen der Grabungskampagne 2015 wurde der in Kap. 4.4.2.4 dargestellte „ideale“ Arbeitsablauf an den Glasfunden der mittelalterlichen Glashütten Bodenfelde erprobt. Die

restauratorisch-konservatorische Bearbeitung wird durch auf der Grabung vorgenommene Festigungsmaßnahmen oftmals erheblich erschwert und behindert.

⁹² Die feuchten Glasfunde dürfen nicht eingefroren werden, da dieser Prozess zur Zerstörung des korrodierten Glases führt.

durchgeführten Bergungsmethoden erfolgten mehrheitlich an einzelnen Glasfragmenten⁹³, entsprechend fehlen einige Schritte des Workflows, u. a. die Durchführung einer Mini-Blockbergung oder die abschließende Sicherung eines Blocks mit einer Silikon bzw. Cyclododecan Kappe. Insgesamt konnte der geplante Arbeitsablauf jedoch umgesetzt werden und hat sich in seiner stringenten Systematik bewährt. Dies zeigt sich insbesondere im Zusammenspiel mit der Anwendbarkeit des Equipments, vgl. Kapitel 4.4.3.2.

- **Variante 1**

Aufnehmen der Glasfragmente → Verpacken in PE-Beutel → Sammeln der Beutel in einer PP-Box → Zwischenlagerung in einer Kühlbox (herkömmlich, mit Kühlelementen) → am Ende des Tages Überführung in den Kühlschrank

- **Variante 2**

Aufnehmen der Glasfragmente → Verpacken in PE-Beutel → Sammeln der Beutel in einer PP-Box → ungekühlt auf der Grabung/während des Transports → Zwischenlagerung in Kellerraum mit konstanter Temperatur → ungekühlter Transport einiger Funde an die HTW Berlin → Lagerung in Kühltruhe

- **Variante 3**

Aufnehmen der Glasfragmente → Besprühen mit Wasser → Verpacken in PE-Beutel → Sammeln der Beutel in einer PP-Box → ungekühlt auf der Grabung/während des Transports → Lagerung in Kellerraum mit konstanter Temperatur

- **Variante 4**

Aufnehmen der Glasfragmente → Verpacken in PE-Beutel → Zugabe von losem Sediment aus dem Befund → Sammeln der Beutel in einer PP-Box → ungekühlt auf der Grabung/während des Transports → Lagerung in Kellerraum mit konstanter Temperatur

- **Variante 5**

Aufnehmen der Glasfragmente → Verpacken in PE-Beutel → Sammeln der Beutel in isolierter Euronormbox → ungekühlt auf der Grabung → abends Kühlung der Euronormbox und Konditionierung der relativen Feuchtigkeit → gekühlter Transport nach Berlin → Lagerung in Kühltruhe

- **Variante 6**

Aufnehmen der Glasfragmente → Verpacken in PE-Beutel → Sammeln der Beutel in isolierter Euronormbox → ungekühlt auf der Grabung → abends verpacken in Tyvek-Umschlag → Kühlung der Euronormbox und Konditionierung der relativen Feuchtigkeit → gekühlter Transport nach Berlin → Lagerung in Kühltruhe

⁹³ Im Zuge der Glashüttengrabung Bodenfelde wurden viele Funde beim Abtragen des Planums bereits aus dem Boden gelöst. Eine Bergung der Gläser in Form eines „Mini-Blocks“ oder einer Blockbergung war entsprechend obsolet. Um die Scherben vor Trocknungsschäden zu schützen, wurden diese je in ein PE-Fundtütchen und in unterschiedlichen Varianten weiter fundversorgt. Die Einzelverpackung minimiert den Abrieb. Lösen sich dennoch Fragmente, können diese zumindest der entsprechenden Scherbe zugeordnet werden.

- **Variante 7**

Aufnehmen der Glasfragmente → Verpacken in Tyvek-Umschlag → Verpacken in PE-Beutel → Sammeln der Beutel in isolierter Euronormbox → ungekühlt auf der Grabung → abends Kühlung der Euronormbox und Konditionierung der relativen Feuchtigkeit → gekühlter Transport nach Berlin → Lagerung in Kühltruhe

- **Variante 8**

Bergen der Glasfragmente mit anhaftendem Sediment → Verpacken in Stretch-Folie → Verpacken in Tyvek-Umschlag → Verpacken in PE-Beutel → Sammeln der Beutel in isolierter Euronormbox → ungekühlt auf der Grabung → abends Kühlung der Euronormbox und Konditionierung der relativen Feuchtigkeit → gekühlter Transport nach Berlin → Lagerung in Kühltruhe

- **Variante 9**

Exemplarische Bergung von Glasfragmenten im Block⁹⁴

Scherbe 1: Oberfläche der Scherbe gesichert mit PE-Folie, stabilisiert mit Plastilin → Block mit Stretch-Folie umwickelt → Verpackt in dicht schließender PP-Box → ungekühlt auf der Grabung und während des Transports → Lagerung in Kühltruhe

Scherbe 2: Blockbergung, eingewickelt in Stretch-Folie → stabilisiert mit einer Holzverschalung, gepolstert mit Luftpolsterfolie → ungekühlt auf der Grabung und während des Transports → Lagerung in Kellerraum mit konstanter Temperatur

Scherbe 3: Oberfläche der Scherbe gesichert mit Cyclododecan-Lösung und -schmelze → Blockbergung, eingewickelt in Stretch-Folie, stabilisiert mit Gipsbinden → stabilisiert mit PP-Platte, eingewickelt in Stretch-Folie → Verpacken in Escal-Folie, Vakuum ziehen → ungekühlt auf der Grabung und während des Transports → Lagerung in Kühltruhe

4.4.3.2. Bewertung des Equipments und der Materialien zur Fundbergung und -versorgung mittelalterlicher Gläser

Die im Kapitel 4.4.2.3 dargestellten Equipments und Materialien für die Bergung und Versorgung von archäologischen Gläsern wurden ebenfalls im Zuge der Grabungskampagne 2015 und an den Glasfunden der mittelalterlichen Glashütten Bodenfelde zum Einsatz gebracht.

Allgemein zeigte die Erprobung des Equipments, dass die milieuerhaltende Bergung der Gläser bei feuchtem Boden besser möglich war. Sobald das Erdreich leicht getrocknet war, separierten sich die Scherben. Dabei blieb bei stark korrodierten Funden ein Teil der historischen Oberfläche am Sediment haften. In diesem Fall wurde das Glas mit PE-Folie fixiert (siehe Variante 8 oder 9) und konnte als (Mini-)Block geborgen werden.

Da sich die Kleinfunde beim Putzen des Profils oder beim Anlegen eines Schnittes, bereits vom Sediment lösten, wurden viele Fragmente separat aufgenommen. Sofern Gläser hierbei direkt in einen Fundbeutel gelangten, konnte die Feuchtigkeit erhalten werden. Es bildete sich

⁹⁴ Da die mittelalterlichen Glasfunde Bodenfelde mehrheitlich Produktionsreste darstellen, die über die gesamte Grabungsfläche verstreut oder mit dem Abraummateriale der Glasöfen vermischt sind, war die Durchführung von Blockbergungen nicht realistisch. Exemplarisch wurde dennoch ein Scherbenensemble im Block geborgen.

jedoch sofort Kondenswasser im Fundbeutel, das bei Kontakt mit der Glasoberfläche ein stark basisches Milieu (Auflösung des Silikat-Netzwerks) zur Folge haben kann.



Abb. 136 Glasfragment auf Tyvek-Umschlag liegend



Abb. 137 Mini-Blockbergung mit Gipskappe

Das Einbringen der Gläser in Tyvek-Umschläge (Abb. 136) und die anschließend Verpackung in PE-Beutel verhinderten den Kontakt des Kondenswassers mit der Glasoberfläche. Eine Rückbefeuchtung führte zu ähnlichen Kondensations- und Korrosionsvorgängen wie das Verpacken nasser Scherben. Hingegen verhinderte die Zugabe loser Sedimente in den Fundbeutel ebenfalls den Kontakt des Kondenswassers mit der Glasoberfläche, da Feuchtigkeit gespeichert wurde. Problematisch ist, dass die Funde im losen Sediment nicht sichtbar und abrasiven Kräften beim Handling ausgesetzt sind, so dass diese Maßnahme nur eine Notlösung darstellt.



Abb. 138 Mini-Blockbergung verpackt in ESCAL-Folie und mit Azzurro-Clip



Abb. 139 Konditionierung der Euronormbox mit Salzlösungen

Der Aufwand einer herkömmlichen Blockbergung ist für einzelne Fragmente zu hoch (Abb. 137-138), für komplexe Befunde oder stark korrodiertes, fragiles Fundmaterial hingegen gerechtfertigt. Mit dem manuellen Aufnehmen geht, wie oben beschrieben, ein hoher Materialverlust einher, der durch die Entnahme mit schützendem Erdreich vermieden werden kann. Die am Sediment haftende korrodierte Oberfläche kann mittels flüchtiger Bindemittel gesichert werden. Zu hinterfragen und zu untersuchen ist jedoch, inwiefern sich der warme Auftrag der Cyclododecan-Schmelze auf die korrodierten Glasbereiche auswirkt.

Eine Kühlung der feucht oder mit Sediment geborgenen Scherben auf der Grabung ist schwer zu realisieren, sofern kein Strom anliegt. Die Verwendung einer herkömmlichen Kühlbox, die mit Kühlelementen zu bestücken ist, war aufgrund der bedingten Steuerbarkeit der Temperatur unbefriedigend. Zudem sind herkömmliche Kühlboxen mit Styropor ausgekleidet, also nicht frei von Schadstoffen. Ähnliches gilt für die mit PE-Schaummaterial isolierte

Euronormbox, in der der Schaum lediglich den Feuchtegehalt puffert, jedoch die Temperaturschwankungen nicht steuerbar waren. Der Einsatz von Salzlösungen muss weiterführend untersucht werden (Abb. 139), vor allem die Abhängigkeit der Salzlösung von den starken Schwankungen der Außentemperaturen.

Zusammenfassend hat die Auswahl des Equipments in Verbindung mit dem festgelegten Arbeitsablauf gut in der modellhaften Anwendung funktioniert. Die Kühlung und Konditionierung der Lagerungsbedingungen ist jedoch stark von der Infrastruktur der jeweiligen Grabung (Energiequellen) abhängig. Zukünftig sollte sich dieses Desiderat durch preiswerte alternative Energiequellen (Solarpanel) lösen lassen.

4.4.4. Arbeitspaket IV – Qualität der Korrosion der geborgenen mittelalterlichen Glasfunde



Abb. 140 Position der Grabungsfläche im Gelände

Die mittelalterlichen Glashütten Bodenfelde liegen auf einem Abhang, der im unteren Rand von einem Bach begrenzt wird. Es handelt sich um Weideland, das frei von Bäumen und Sträuchern ist (Abb. 140). Die Flächen sind somit starker Erosion des Oberbodens und dem häufigen Wechsel der Bodenfeuchte ausgesetzt. Hiervon sind insbesondere die oberen zehn bis zwanzig Zentimeter ab der Grasnarbe betroffen, in denen die Befunde und Funde der ehemaligen Glashütten lagern.

4.4.4.1. Probenmaterial und Zustandsbeschreibung der mittelalterlichen Gläser Bodenfelde



Abb. 141 Stark korrodiertes Glasfragment in-situ



Abb. 142 Guter bis mittlerer Erhaltungszustand zweier Glasfragmente

Der teils hohe und stark schwankende Feuchtegehalt des Bodens verstärkt das Korrosionspotential für die in Bodenfelde vorliegenden Holzasche-Gläser. Die für die Glaserhaltung ungünstigen Bodenparameter spiegeln sich im Zustand des Fundmaterials deutlich wider. Die Mehrheit der Gläser ist stark bis vollständig korrodiert (Abb. 141). Nur wenige gut erhaltene Glasfragmente liegen vor (Abb. 142). Das Spektrum der Erhaltungszustände bot jedoch eine gute Grundlage für die Untersuchungen und Fragestellungen des Projekts.

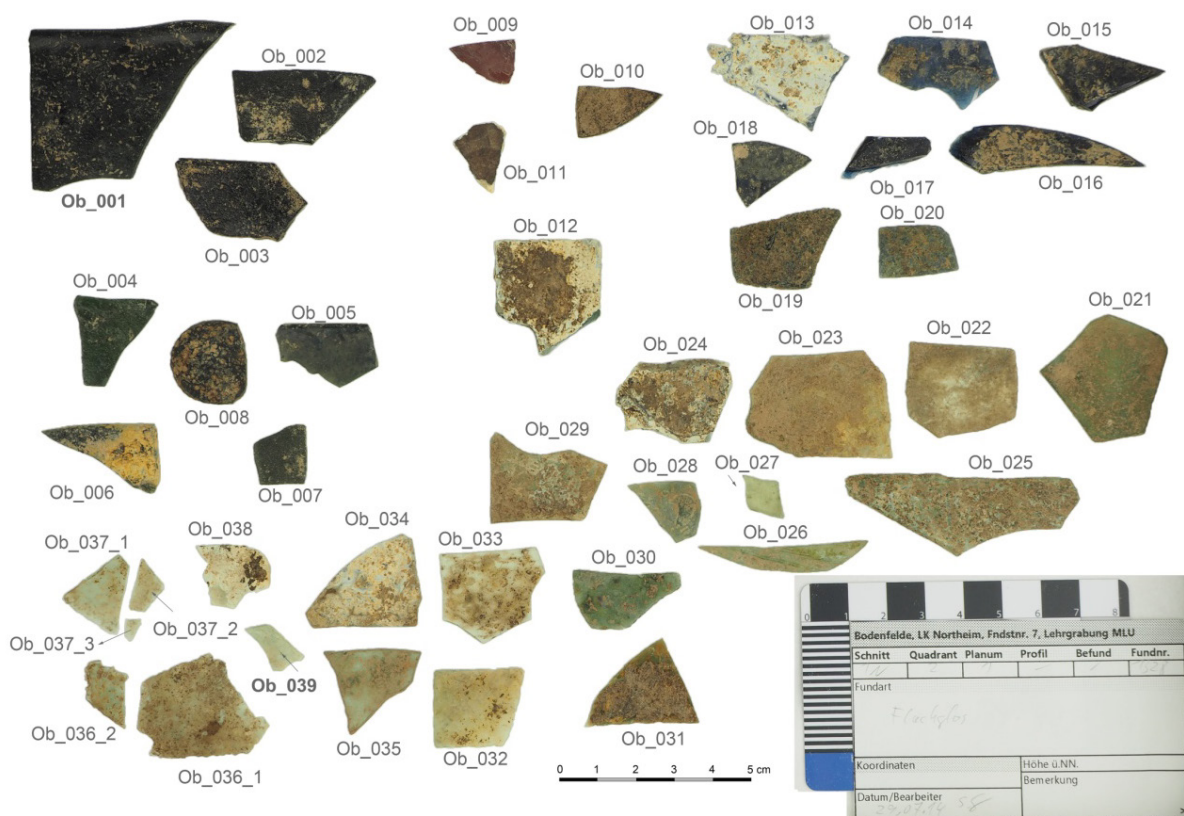


Abb. 143 Diverse Erhaltungszustände an den für die instrumentelle Analytik gewählten Probegläsern

Das Probenmaterial umfasst farbiges Flachglas und wenige Hohlgläser, die aus den Produktionsabfällen der Glashütten Bodenfelde stammen. Der Erhaltungszustand der Fragmente ist sehr unterschiedlich (Abb. 143). Es liegen sowohl transparente bis leicht irisierende

Scherben vor, als auch vollständig korrodierte, die keine Matrix mehr aufweisen (vgl. Anhang 5.2.2).

4.4.4.2. Optische Erfassung mittelalterlicher Gläser: Licht-/Elektronenmikroskopie

Die Glasproben wurden zunächst unter dem Lichtmikroskop untersucht und beschrieben. Die Untersuchungen dienten vornehmlich der Erfassung der diversen Erhaltungszustände und Korrosionsphänomene. Diese sind u. a. im Korrosionsbildkatalog zusammengefasst (vgl. Kap. 4.4.4.5 oder Anhang 5.2.2). Da die Erhaltungszustände und Korrosionen maßgeblich durch die Zusammensetzung der Gläser beeinflusst werden, müssen die optischen Untersuchungen immer im Zusammenhang mit den Ergebnissen der instrumentellen Analytik betrachtet werden. Die korrelierten Ergebnisse und weiterführenden Informationen finden sich in JEBERIEN/EMGRUND 2016.

Ergänzend zur Lichtmikroskopie wurden Querschliffe im Rasterelektronenmikroskop betrachtet. Da der klassische Querschliff oftmals verfälschte Ergebnisse aufweist – die Strukturen der Korrosion und speziell die Lamellen sind durch die Einbettungsmedien und den Anschliff überprägt – wurde ein besonderer Fokus auf die Untersuchung unpräparierter Glasfragmente gesetzt. Hierbei kamen rezente Bruchkanten zur Anwendung, die eine deutlich präzisere Morphologie als eingebettete und angeschliffene Proben aufwiesen.

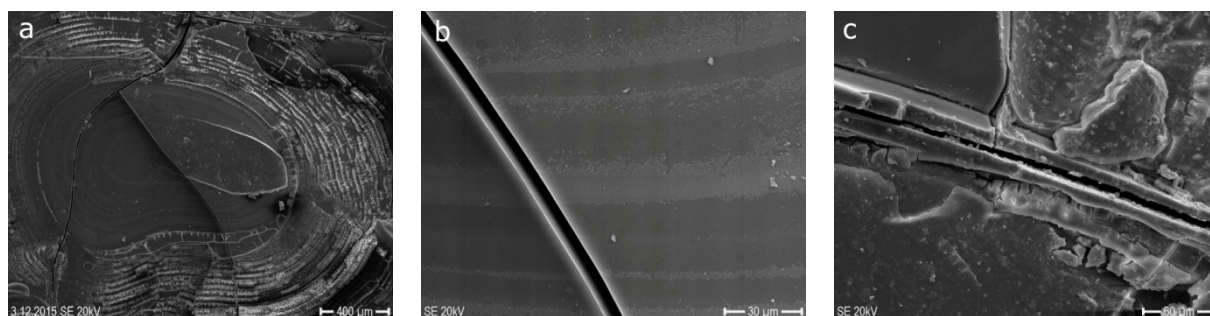


Abb. 144 REM-Aufnahmen der Gelschicht, die sich als „Lamellenpaket“ vom Kernglas gelöst hat: a) Innenbereich der ursprünglich am Kernglas anhaftenden Gelschicht; b) Rissbildung unabhängig des Lamellenverlaufs; c) Riss an der Grenze zweier „Lamellenpakete“ mit unterschiedlicher Verlaufsrichtung

An den unpräparierten Glasproben wird sichtbar, dass die Gelschicht eine lamellare, stabile Struktur aufweist, was bereits SCHALM 2015 und STERPENICH 1998 beschrieben wird. Diese Beobachtung ist insbesondere für das konservatorische Konzept und spätere Maßnahmen von Relevanz. Bisher wurden die Lamellen der Gelschicht als Schwachstellen betrachtet, an denen sich die Schichten bei Beanspruchung des Glases lösen (Abb. 144a). Die Untersuchungen im REM zeigten jedoch, dass die „Lamellenpakete“ in sich fest verankert sind und somit kein konservatorisches Problem darstellen. Die problematischen Risse entstehen hauptsächlich entlang der Mangan-/Eisanreicherungen (Abb. 144b) bzw. an der Grenze zum Kernglas. Auch bei starker Austrocknung der Gelschicht im Vakuum des REM bilden sich keine Risse zwischen den Lamellen, vielmehr erfolgt eine stärkere Ausprägung bereits vorhandener Fissuren, die unabhängig zur Lamellenstrukturen verlaufen (Abb. 144c).

4.4.4.3. Analyse Zusammensetzung und Korrosion mittelalterlicher Gläser aus Bodenfelde

Weiterführende Informationen in:

JEBERIEN/EMGRUND 2016: Alexandra Jeberien, Olga Emgrund, Das WALDGLAS Projekt – Einsatz instrumenteller Analytik zur Charakterisierung von Erhaltungszuständen an bodengelagerten, mittelalterlichen Holzaschegläsern, in: Archäometrie und Denkmalpflege 2016. METALLA Sonderheft 8/2016, Bochum 2016, S. 84-87.

4.4.4.4. Auswertung der Untersuchungen und Kategorisierung von Korrosionsgraden der mittelalterlichen Glasfunde Bodenfelde

Weiterführende Informationen in:

JEBERIEN/EMGRUND 2016: Alexandra Jeberien, Olga Emgrund, Das WALDGLAS Projekt – Einsatz instrumenteller Analytik zur Charakterisierung von Erhaltungszuständen an bodengelagerten, mittelalterlichen Holzaschegläsern, in: Archäometrie und Denkmalpflege 2016. METALLA Sonderheft 8/2016, Bochum 2016, S. 84-87.

4.4.4.5. Entwicklung Korrosionsbildkatalog der mittelalterlichen Gläser aus Bodenfelde

Die Untersuchungen mit dem Lichtmikroskop sowie dem Rasterelektronenmikroskop dienen der Klassifizierung und Kategorisierung der diversen Erhaltungszustände und Korrosionsphänomene der mittelalterlichen Holzasche-Gläser Bodenfelde. Die dokumentierten Ergebnisse sind u. a. im Korrosionsbildkatalog zusammengefasst, der im Anhang 5.2.2 zu finden ist.

Lochkorrosion	? Nicht erkennbar	0 Keine Lochkorrosion	X Vereinzelte Krater der Lochkorrosion	XX Unregelmäßig, über die Fläche verteilte, isolierte Krater der Lochkorrosion	XXX Flächig, ineinander übergehende Krater der Lochkorrosion
<p><i>Lochkorrosion ist eine Art des Oberflächenabbaus, der sich in Form von kleinen, halbkugelförmigen Kratern auf ausgewählten, ausgelaugten Glasflächen, manifestiert. Dieses Phänomen der auftretenden Krater oder Hohlräume in der Oberfläche des Glases, wird durch Korrosionsprozesse verursacht.</i></p>					

Abb. 145 Auszug aus dem Korrosionsbildkatalog, Bereich Erhaltungszustand – Oberflächenkorrosion

Dieser definiert zunächst den Bestand des Fundmaterials und differenziert hierbei in Kernglas, originale Oberfläche und Oberflächenbeschaffenheit. Im Folgenden werden unterschiedliche Erhaltungszustände und vor allem Korrosionsphänomene (Abb. 145), die entweder eine rein optische Beeinträchtigung darstellen oder korrosiver Art sind, dargestellt.

Alle Phänomene werden jeweils grundlegend definiert und – sofern am Probematerial vorliegend, in den vier Kategorien 0 – x – xx – xxx per Abbildung dargestellt.

Neben der systematischen Erfassung und Beschreibung des Fundmaterials dienen die optischen Untersuchungen als Grundlage für das Arbeitspaket V – *Möglichkeiten der konservatorischen Behandlung*.

4.4.5. Arbeitspaket V – Möglichkeiten der konservatorischen Behandlung

Die optischen und instrumentellen Untersuchungen sollten u. a. in die Entwicklung der konservatorisch-restauratorischen Maßnahmen einfließen. In Ergänzung der Ergebnisse des

Korrosionsbildkataloges wurden Untersuchungen zum Trocknungsverhalten durchgeführt, die insbesondere zur Maßnahmenplanung, u. a. Reinigung und Sicherung der Glasfragmente, beitragen. Die abgeleiteten Maßnahmen wurden an einem Teil der mittelalterlichen Gläser aus Bodenfelde exemplarisch-modellhaft umgesetzt.

4.4.5.1. Untersuchung des Trocknungsverhaltens der mittelalterlichen Gläser Bodenfelde

In Ergänzung zum Korrosionsbildkatalog und für die Ableitung konservatorischer Maßnahmen wurde das aus den unterschiedlichen Erhaltungskategorien resultierende Trocknungsverhalten der Gläser eruiert⁹⁵. Hierbei kam unter anderem eine Klimakammer zum Einsatz, die es ermöglichte, die Temperatur und relative Feuchtigkeit gezielt zu steuern⁹⁶.



Abb. 146 Für die Trocknungsversuche ausgewählte und gereinigte Glasfragmente

Für die Untersuchungen wurden drei Glasfragmente (107b, 108b und 115b → S1, S2, S3) der Korrosionsstufen 1-3 aus dem Komplex der feucht geborgenen Funde der Kampagne 2015 ausgewählt (Abb. 146). Vorbereitend wurden die Scherben im feuchten Zustand gereinigt und mit einer Diamantscheibe in jeweils drei Fragmente geteilt.

Vor der Trocknung wurde der Ausgangszustand aller Klein-Fragmente dokumentiert, d. h. die Form und Dimension (Oberfläche, Querschnitt Bruch) und die Gewichte wurden erfasst.

Im Zuge der Trocknungsversuche wurde jeweils ein Fragment der Scherben (S1F1, S2F1, S3F1) in der Klimakammer kontrolliert getrocknet, je ein weiteres Fragment (S1F2, S2F2, S3F2) über den gleichen Zeitraum bei Raumbedingungen unkontrolliert getrocknet und das jeweils letzte Fragment (S1F3, S2F3, S3F3) per Unterdruck stark beschleunigt getrocknet⁹⁷.

Abschließend erfolgte erneut die Dokumentation von Form, Dimension und Gewicht sowie ein Abgleich der Daten und des Bildmaterials mit dem Vorzustand (Parameter Messungen Klimakammer: vgl. Anhang 5.2.3). Die Unterschiede sind eminent und weisen erneut nach, dass unkontrollierte Trocknungsprozesse in kürzester Zeit zu irreversiblen Schäden an der Glassubstanz führten (vgl. Abbildungsreihe Trocknung im Anhang 5.2.4).

⁹⁵ Die Trocknung erfolgte in Anlehnung an ROEMICH 2004.

⁹⁶ Die Trocknungsversuche erfolgten in den Laboren und mit den Geräten der Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung Berlin.

⁹⁷ Leider wurde zum dritten Durchlauf der Zeitrahmen nicht dokumentiert

4.4.5.2. Ableiten möglicher konservatorischer Maßnahmen



Abb. 147 Unkontrolliert getrocknete Glasscherbe mit fest auf der Glasoberfläche anhaftenden Sedimenten



Abb. 148 Milieuerhaltend geborgenes, stabiles Glas nach der Reinigung und kontrollierten Trocknung

Die unkontrolliert getrockneten Scherben der Grabungskampagne 2013-2014 weisen meist noch eine historische Oberfläche auf, die jedoch speziell im Bereich Gelschicht-Glasmatrix sehr instabil ist. Häufig sind diese Gläser auch fragmentiert. Das trockene Sediment haftet verstärkt an der Oberfläche an (Abb. 147) und der Trocknungsvorgang der Gläser ist irreversibel abgeschlossen. Die Gelschicht hat somit bereits einen starken Dimensionsverlust erlitten und würde durch erneutes Befeuchten zusätzlich geschädigt. Daher gestaltet sich die Reinigung schwierig und ist lediglich trocken-mechanisch möglich. Ein Verlust der historischen Oberflächen (Gelschicht) ist an diesen Gläsern oft unvermeidbar, dieser kann nur durch stabilisierende Maßnahmen und durch das Einbringen von Konservierungsmitteln (Acrylharze) minimiert werden.

Die milieuerhaltend geborgenen Gläser der Grabungskampagne 2015 weisen einen deutlich besseren Erhaltungszustand und eine höhere Stabilität auf (Abb. 148). Die noch feuchte Gelschicht haftet stabil am Kernglas, so dass eine mechanische Reinigung dieser Gläser schnell und schonend mittels weicher organischer Instrumente (Bambusstäbchen, Stachel-schweinborste) erfolgen kann. Eine Nachreinigung mit einem feuchten Wattestäbchen ist ebenfalls möglich⁹⁸.

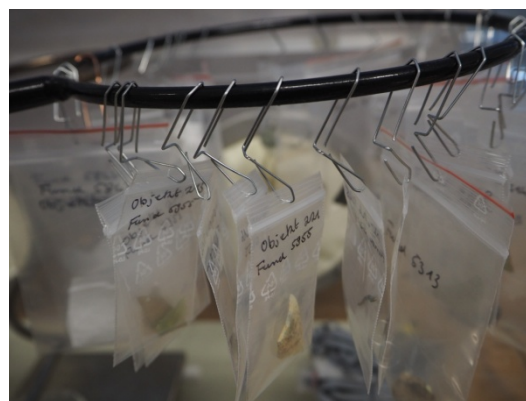
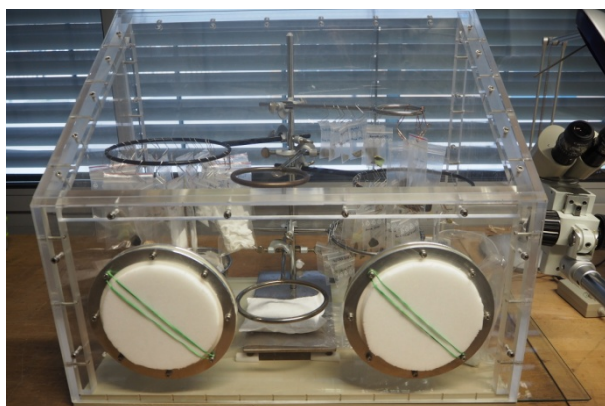


Abb. 149 Kontrollierte Trocknung gereinigter Glasobjekte in einer mit gesättigten Salzen konditionierten Acrylglas-Box

⁹⁸ Wasser-Ethanol Gemisch im Verhältnis 70:30 oder 50:50

Im Nachgang erfolgt eine kontrollierte Trocknung. Diese sollte in einem dichten Behälter vorgenommen werden, dem die Feuchtigkeit bis zu einem Wert von 45 % rF langsam entzogen wird (Abb. 149). Die sukzessive Konditionierung ermöglicht eine schonende Trocknung der Gläser (siehe folgendes Kapitel). Abschließend können instabile Bereiche der Oberflächen beurteilt und sofern notwendig, gezielt gesichert werden.

4.4.5.3. Konzept zur Reinigung und Sicherung der mittelalterlichen Gläser Bodenfelde

Zunächst erfolgt die **Dokumentation** der Objekte, d. h. die Daten des archäologischen Kontexts und der Ausgrabung, sowie die Objektdaten und der Erhaltungszustand werden erfasst. Nach Möglichkeit werden die Angaben in einer Datenbank zusammengeführt.

- Erfassen der Dimensionen: **Länge x Breite x Stärke** an mehreren Punkten (**Gewicht** im feuchten Zustand vor/nach der Reinigung, nach der Trocknung, gegebenenfalls nach der Stabilisierung)
- Fotodokumentation der Objekte: **im Auflicht** a) vor der Reinigung, b) nach der Reinigung, c) nach der Trocknung, d) ggf. nach der Stabilisierung; e) **im Durchlicht** nach der Reinigung und Trocknung, f) ggf. nach der Stabilisierung

Die fotografische Dokumentation muss zügig erfolgen, da die Gläser nicht antrocknen dürfen → vorinstallierter Fotoplatz, zum Ausrichten und Fokussieren die Scherbe mit Folie schützen.

Die **Reinigung** erfolgt wie in Kap 4.4.5.2 skizziert, bevorzugt im noch bodenfeuchten Zustand und möglichst mit weichen, organischen Instrumenten⁹⁹.

- **bodenfeuchte Gläser** werden rein mechanisch gereinigt (falls notwendig kann oberflächliches Anfeuchten des Sediments mit einem Wasser-Ethanol Gemisch (1:1) erprobt werden)
- für **trockene Gläser**, sofern möglich analog zu bodenfeuchten Gläsern
- Gläser mit **Schimmelspuren** werden unter der Absaugung und der Lupe ebenfalls zunächst mechanisch gereinigt (Sediment/Schimmel sofort entsorgen). Die weitere Reinigung erfolgt nass-chemisch mit einem Wasser-Ethanol-Gemisch 30:70
- **feuchte Scherben** werden nass-chemisch mit einem Wasser-Ethanol-Gemisch 70:30 unter zur Hilfenahme eines feinen, weichen Pinsels gereinigt

Die Lagerung der Gläser während der Bearbeitung erfolgt in konditionierten PE/PP-Boxen (80 % rF).

Für die **Trocknung** werden die Gläser kontrolliert und langsam auf eine Rest- und Materialfeuchtigkeit von 40-45 % rF konditioniert.

- Einbringen der Gläser in **PE-Beutel** und in **geschlossene Behälter**, die auf 40-45 % rF konditioniert sind¹⁰⁰. Durch Diffusion erfolgt ein langsames Absinken der Feuchtigkeit im PE-Beutel von 85 % auf 45 % rF (ca. 30 Tage)

⁹⁹ Zu den für die mechanische Reinigung geeigneten Instrumenten zählen angespitzte Bambusstäbchen, Stachelschweinborste und Dornspitzen, ggf. eignet sich auch ein Acrylglasstäbchen. Schneidende Werkzeuge, wie Skalpelle, sind reduziert einzusetzen. Ebenso ist der Einsatz von weichen Haarpinsel zur Abnahme des losen Sediments zu prüfen. Sie bergen ebenso wie kleine Blasebalge die Gefahr, noch ungesicherte Fragmente der Gelschicht zu entfernen.

Die **Sicherung und Stabilisierung** stellt einen irreversiblen Eingriff in die Originalsubstanz des authentischen archäologischen Fundmaterials dar, ist daher fundiert hinsichtlich der Notwendigkeit abzuwägen und ethisch-konservierungswissenschaftlich zu begründen.

- Für die Sicherung archäologischer Gläser eignen sich langzeitstabile Acrylharze, wie PEMA B72 oder PMMA B44, gelöst in MEK. Die Konzentration ist je nach benötigter Klebkraft auf 3-5 % einzustellen. Bei schweren Gelschichten kann bis zu 10 % Feststoff verwendet werden. Die Applikation erfolgt mit einem feinen Haarpinsel oder einer Insulin-Spritze mit feiner Kanüle (möglichst aus Glas).

Während der Bearbeitung werden die Scherben flächig auf PE-Schaum, der mit PE-Vlies (Tyvek) gesichert ist in dicht verschließbaren PE-Boxen ausgelegt, stabile Scherben werden im PE-Beutel belassen. Die finale **Verpackung** wird mit dem Eigner abgestimmt, sollte dem bereits vorliegenden System in der Systematik der Umverpackungen bzw. den international geltenden Standards der präventiven Konservierung entsprechen. Für die Ausgestaltung der Innenverpackung werden folgende Essentials empfohlen:

- stabile Objekte (Tropfen, verglaste Steine etc.) werden einzeln in PE-Beuteln, die stehend in Kartonagen (Museumskarton) eingebracht werden, verpackt;
- stabile, trockene Scherben werden einzeln in PE-Beutel, die stehend in Kartonagen (Museumskarton) eingebracht werden, verpackt;
- korrodierte Scherben werden flach liegend auf PE-Schaum mit Streifen aus PE-Vlies befestigt und in flachen Kartonagen/PE Boxen waagrecht gelagert.

4.4.5.4. Exemplarisch-modellhafte Bearbeitung der mittelalterlichen Gläser Bodenfelde

Die restauratorischen Maßnahmen wurden an ausgewählten Glasfunden (Grabungskampagne 2015) und wie im Kapitel 4.4.5.3 beschrieben, durchgeführt. Alle Maßnahmen und Erhaltungszustände sind in einer Datenbank erfasst. Die Daten können bei Bedarf eingesehen werden.

4.4.6. Arbeitspaket VI – Vergleich der herkömmlich geborgenen Gläser mit den durch optimierte Verfahren geborgenen Funden

Die Erforschung und Ausgrabung der Glashütte Bodenfelde startete bereits im Jahr 2012. Die während der Grabungskampagnen 2012 und 2013 geborgenen Glasfunde wurden direkt aus den Befunden entnommen, gewaschen, getrocknet und im Verbund zahlreicher Glasfragmente in Fundbeuteln und Kartonagen verpackt. Mehrheitlich wurde auch im Jahr 2014 nach dieser Methode vorgegangen, einige Scherben blieben hingegen ungereinigt. Sie wurden getrocknet und im Verbund vieler Fragmente in PE-Beuteln verpackt. Diese Glasfunde standen für die instrumentelle Analytik und zur Erprobung der konservatorischen Behandlung zur Verfügung.

Für die Glasfunde der Grabungskampagne 2015 wurde optimiertes Equipment entwickelt und ein Arbeitsablauf erstellt, um somit:

- die Gläser milieuerhaltend zu bergen,

¹⁰⁰ Einstellen der relativen Feuchtigkeit mittels gesättigter Salzlösungen: Kaliumbromid: 83% (15°C)/82% (20°C)/81% (25°C) (65g/100g H₂O bei 20°C); Natriumiodid: 40% (20°C)/38% (25°C); Zinknitrat- Hexahydrat: 42% (20°C) (558,4g/100g H₂O); Kaliumcarbonat- Dihydrat 44% (20°C)/43% (25°C), (110,6g/100g H₂O)

- die beschleunigte Trocknung und einsetzende Korrosion durch entsprechende Fundversorgung (Verpackung) zu minimieren,
- adäquate Bedingungen während der Lagerung und bis zur restauratorischen Bearbeitung der Gläser zu erhalten.

Die Maßnahmen erfolgten nach den Ergebnissen des Arbeitspakets II, wurden jedoch vor Ort an die Erfordernisse der Befundsituation und die Erhaltungszustände der Funde angepasst.

Für den Vergleich der unterschiedlich geborgenen Glasfunde kam μ Röntgenfluoreszenz und Rasterelektronenmikroskopie zum Einsatz. Zusätzlich ermöglichte eine Kombination aus analoger und digitaler (Licht-)Mikroskopie sowie die mit MS gekoppelte Laserablation eine Charakterisierung der Erhaltungszustände.

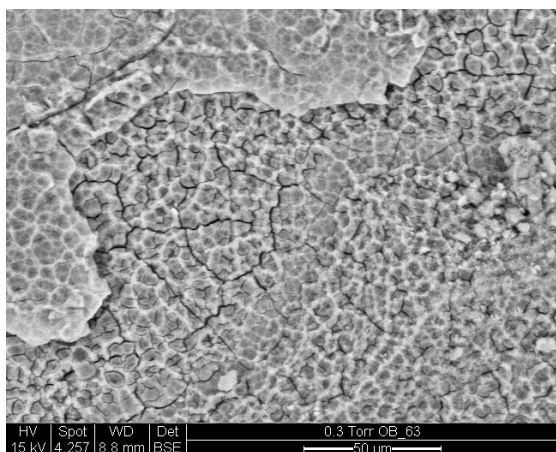


Abb. 150 Oberfläche einer auf der Grabung gewaschenen und getrockneten Scherbe im REM



Abb. 151 Unkontrolliert getrocknetes Fragment mit fest anhaftenden Sedimenten auf den Korrosionsschichten

Die mit herkömmlichen Methoden geborgenen und bereits gewaschenen Gläser aus den Jahren 2012-13 weisen einen hohen Verlust der Oberflächen auf. Die nurmehr fragmentarisch vorliegende Gelschicht lässt die Partien stark zerklüftet erscheinen (Abb. 150). An vielen Scherben liegt das Kernglas frei.

Die ungereinigten, ebenfalls unkontrolliert getrockneten Scherben der Grabungskampagne 2014 sind insbesondere im Grenzbereich der Gelschicht zur Glasmatrix sehr instabil. Das getrocknete Sediment weist eine erhöhte Haftung auf, was die weiterführende Bearbeitung (Reinigung) erheblich beeinträchtigt (Abb. 151).

Hingegen zeigen die milieuerhaltend geborgenen Gläser der Grabungskampagne 2015 einen deutlich besseren Erhaltungszustand und höhere Stabilität, als die Gläser der anderen Jahrgänge. Die noch feuchte Gelschicht haftete stabil am Kernglas und das Sediment kann leicht von der Oberfläche gelöst werden, so dass die Reinigung dieser Gläser schnell und schonend möglich ist. Die Trocknung erfolgte wie in Kap. 4.4.5.3 unter konditionierten Bedingungen und ermöglichte eine abschließende Beurteilung der Gläser hinsichtlich notwendiger Stabilisierungen.

4.4.7. Arbeitspaket VII – Diskussion und Empfehlungen für eine verbesserte Fundbergung und -versorgung mittelalterlicher Gläser

Das Arbeitspaket der HTW Berlin beinhaltet die Entwicklung und Optimierung von Methoden zur Bergung und Versorgung für hoch fragile Glasfunde der mittelalterlichen Glashütten Bodenfelde. Im Zuge des Projektes konnten die vorliegenden Korrosionsphänomene der

Funde erfasst und definiert werden, so dass archäologische Gläser zukünftig präziser angesprochen werden können (Korrosionsbildkatalog, Anhang 5.2.2). Durch den Einsatz und die Bewertung optimierten Equipments in Kombination mit unterschiedlichen Bergungsmethoden lässt sich der Erhaltungszustand und somit die wissenschaftliche Lesbarkeit fragiler Glasfunde maßgeblich verbessern. Die deutliche Verbesserung des Zustands konnte durch optische Methoden und instrumentelle Analytik an den mit erweiterten Methoden geborgenen Funden der Grabungskampagne 2015 im Projekt nachgewiesen werden.

Die Ergebnisse des Projekts fließen in einen Leitfaden zur verbesserten Fundbergung und Fundversorgung ein, der sich an die Landesdenkmalämter richten wird. Die im Rahmen dieses Projekts durchgeführte Sichtung bestehender Handreichungen und der vorliegenden Standardwerke der Feldarchäologie hat ergeben, dass diese teils veraltet, uneinheitlich und wenig aussagekräftig bezüglich konkreter Anweisungen sind. Des Weiteren ist im Rahmen des Projekts ein Schlagwortkatalog zu Begrifflichkeiten der Glasarchäologie, der Fundbergung und -versorgung sowie der Konservierung und Restaurierung von archäologischen Gläsern entstanden. Aktuell werden beide Instrumente lektoriert, eine Publikation ist für das Jahr 2019 geplant.

4.5. Literatur

BELLENDORF et al. 2010: Bellendorf, Paul; Roemich, Hannelore; Gerlach, Sandra; Mottner, Peter; Lopez, Esmeralda; Wittstadt, Katrin; *Archaeological Glass: The Surface and Beyond*, in: Interim Meeting of the ICOM-CC Glass and Ceramics Working Group, Oct. 3-6 2010, Corning, H. Roemich (Hrsg.), S. 137-143.

BRINCH MADSEN 1994: Brinch Madsen, Helge; *Handbook of Field Conservation*, Kopenhagen 1994.

BRINKMANN/WITTSTADT 2013: Brinkmann, Ulrike; Wittstadt, Katrin; *Anwendungen innovativer Restaurierungsmaterialien und -methoden zur Sicherung craquelierter Glasmalereien. Modellhafte Anwendung an Glasfenstern des Kölner Domes (Weltkulturerbe)*. Förderprojekt der Deutschen Bundesstiftung Umwelt, Osnabrück (AZ 24583-45). Dombauhütte Köln, Fraunhofer ISC-Außenstelle Bronnbach.

BRUHIN et al. 2008: Bruhin, Stefanie; Eyermann, Tania; Jeberien, Alexandra; Rogalla von Bieberstein, Christoph, Tissier, Frédérique-Frederique-Sophie; *Der Einsatz von Cyclododecan zur archäologischen Fundbergung – Möglichkeiten, Grenzen und Forschungsbedarf*, in: *Restaurierung und Archäologie* 1/2008, S. 53-67.

COX/FORD 1993: Cox, G.A.; Ford, B.A., *The Long-term Corrosion of Glass by Groundwater*, in: *Journal of Materials Science*, Volume 28, 1993, S. 5637-5647.

CRONYN 1990: Cronyn, J.M.; *The Elements of Archaeological Conservation*, London 1990.

DOWMAN 1970: Dowman, Elisabeth A., *Conservation in Field Archaeology*, London 1970.

GEILMANN 1956: Geilmann, Wilhelm; *Beiträge zur Kenntnis alter Gläser IV. Die Zersetzung der Gläser im Boden*, in: *Glastechnische Berichte* 29, Heft 4, S. 145-219.

HEIMANN 1986: Heimann, Robert; *Nuclear Fuel Waste Management and Archaeology: Are Ancient Glasses Indicators of Long Term Durability of Man-made Materials*. *Glass Technology*, 27(3), S. 96-101.

HUISMAN et al. 2008: Huisman, D. J.; Pols, S.; Joosten, I.; van Os, B.J.H.; Smit, A.; *Degradation Processes in Colourless Roman Glass. Cases from the Bocholtz Burial*, in: *Journal of Archaeological Science* 35 (2), S. 398-411.

JEBERIEN/EMGRUND 2016: Jeberien, Alexandra; Emgrund, Olga; *Das WALDGLAS Projekt – Einsatz instrumenteller Analytik zur Charakterisierung von Erhaltungszuständen an bodengelagerten, mittelalterlichen Holzschneegläsern*, in: *Archäometrie und Denkmalpflege, METALLA Sonderheft* 8/2016, Bochum, S. 84-87.

JEBERIEN 2003: Jeberien, Alexandra; *Cyclododecan für archäologische Funde? Bergung stark fragmentierter Keramik der Hallstattzeit*, in: *Restaurio* 7/2002, S. 509-511.

McLOUGHLIN et al. 2006: McLoughlin, S. D.; Hand, R. J.; Hyatt, N. C.; Lee, W. E.; Notingher, I.; McPhail, D. S.; Henderson, J.; *The Long Term Corrosion of Glasses: Analytical Results after 32 Years of Burial at Ballidon*, in: *Glass Technology – European Journal of Glass Science and Technology Part A*, Volume 47, Number 3, S. 59-67.

MUELLER et. al 1997: Müller, Wolfgang; Torge, Manfred; Kruschke, Detlef; Adam, Karin; *Sicherung, Konservierung und Restaurierung historischer Glasmalereien*. [Forschungsbericht/Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM), Berlin, 217], Bremerhaven 1997.

PAYNTER/DUNGWORTH 2011: Paynter, Sarah; Dungworth, David; Archaeological Evidence for Glassworking – Guidelines for Best Practice, Swindon 2011.

POLLARD/HERON 2008: Pollard, Mark; Heron, Carl; The Chemistry, Corrosion and Provenance of Archaeological Glass, in: Pollard, Mark and Heron, Carl (ed.), Archaeological Chemistry, Cambridge 2008, 144-192.

ROEMICH et al. 2004: Römich, Hannelore; Gerlach, Sandra; Mottner, Peter; Erarbeitung von modellhaften Aufbewahrungsbedingungen und Restaurierungsmethoden für stark umweltgefährdete archäologische Gläser national bedeutender Sammlungen. Abschlussbericht zum Forschungsvorhaben AZ 15851-45, gefördert von der Deutschen Bundesstiftung Umwelt (DBU), Fraunhofer Institut für Silicatforschung Würzburg 2004.

SCHALM/ANAF 2015: Schalm, Oliver; Anaf, Willemien; Density Variations of Silica Nanoparticle Random Packing as Explanation for the Observed Lamellae, in: Eggert, Gerhard; Fischer, Andrea (Ed): Glass Deterioration Colloquium – Extended Abstracts, 20.-21. Feb. 2015, Stuttgart, S. 53-55.

SCHÖFER 2012: Schöfer, Verena; Ein römisch-fränkisches Glasgefäß mit Sugaring-Effekt-Untersuchungen zur Infiltrationsklebung mit Acrylharzen, Unveröffentlichte Masterarbeit der HTW Berlin, 2012.

SCHOLZE 1988: Scholze, Horst; Glas. Natur, Struktur und Eigenschaften. 3., neubearbeitete Auflage. Berlin, Heidelberg 1988.

SCHWARZ 2002: Schwarz, Andrea; Kranke Gläser. Formaldehydemission und Glaskorrosion – Untersuchungen am Beispiel der Glassammlung des Schweizerischen Landesmuseums, in: Zeitschrift für schweizerische Archäologie und Kunstgeschichte, Band (Jahr): 59 (2002), Heft 4, S. 371-384.

SEASE 1994: Sease, Catherine; A Conservation Manual for the Field Archaeologist, Los Angeles 1994.

STERPENICH 1998: Sterpenich, Jérôme: Altération des Vitraux Médiévaux. Contribution à l'Etude du Comportement à Long Terme des Verres de Confinement. Thèse Docteur de l'Université Henri Poincaré, Nancy 1998.

WATKINSON/NEAL 1998: Watkinson, David; Neal, Virginia; First Aid for Finds, London 1998.

WEBER 2005: Weber, Leslie; Examination and Removal of Staining from Archaeological Glass, Diplomarbeit der Staatlichen Akademie der bildenden Künste, Stuttgart 2005.

WITTSTADT 2017: Wittstadt, Katrin; Tiefenrisskorrosion an historischen Gläsern. Grundlegende Untersuchungen zur Klärung von Schadensursachen und dem Einfluss von Umgebungsbedingungen, Inaugural-Dissertation zur Erlangung der Doktorwürde der Philosophischen Fakultät der Julius-Maximilians-Universität Würzburg, Würzburg 2017.

5. Anhang

5.1. Anhang Universität Bamberg

5.1.1. Katalog Glasproben

BA_G_002

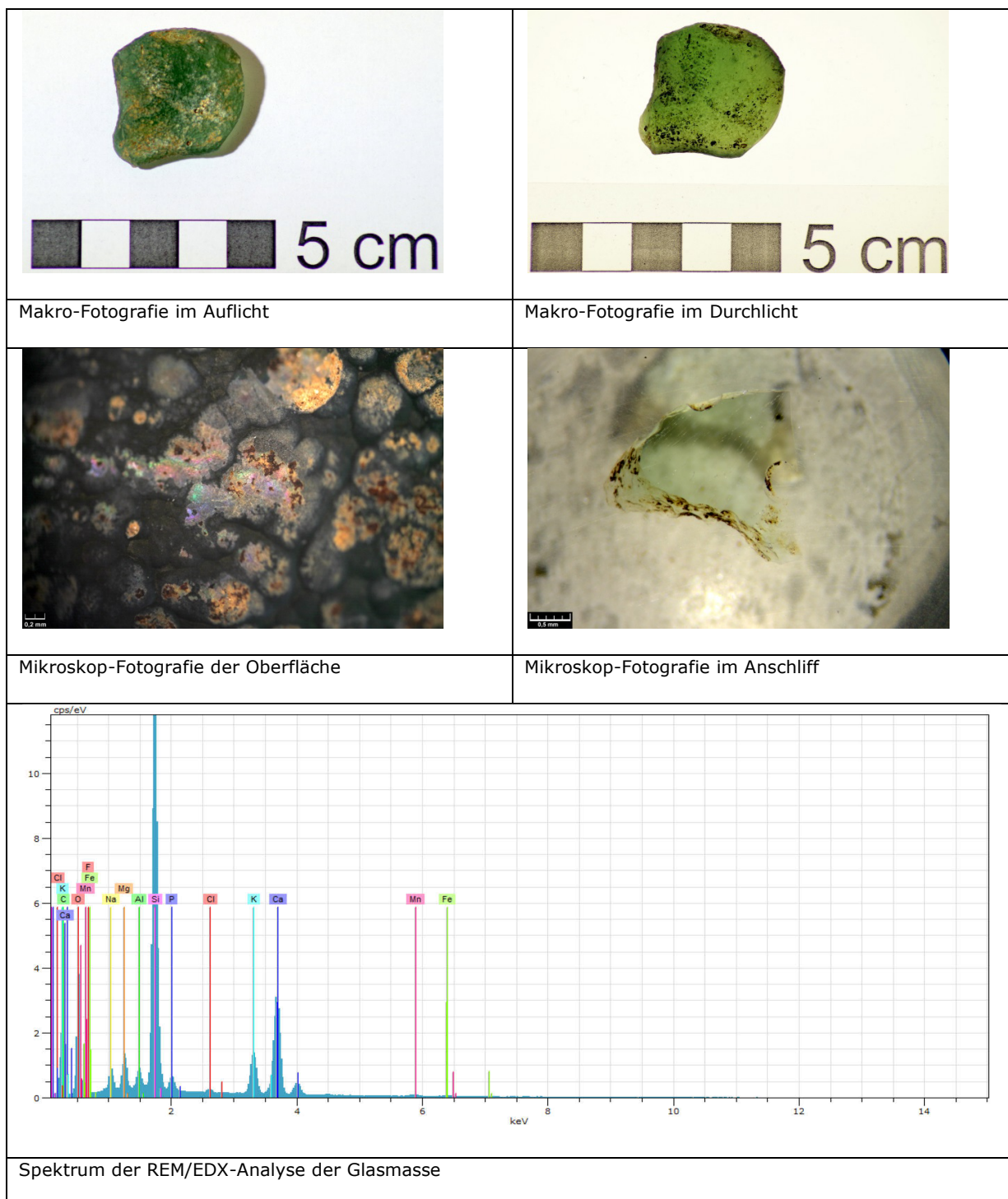
Längliche Rillen/Falten auf der Oberfläche

Großflächige Punkt-/Ringkorrosion, z. T. Flächen-/Lamellenkorrosion mit Bildung einer irisierenden Schicht, bräunliche Ablagerungen in den Korrosionslöchern

Glasmasse: mehr K als Na; deutlich mehr Ca als K: Holzasche-Kalk-Glas

Grüne Färbung durch Fe

Sandkörner in den Korrosionslöchern



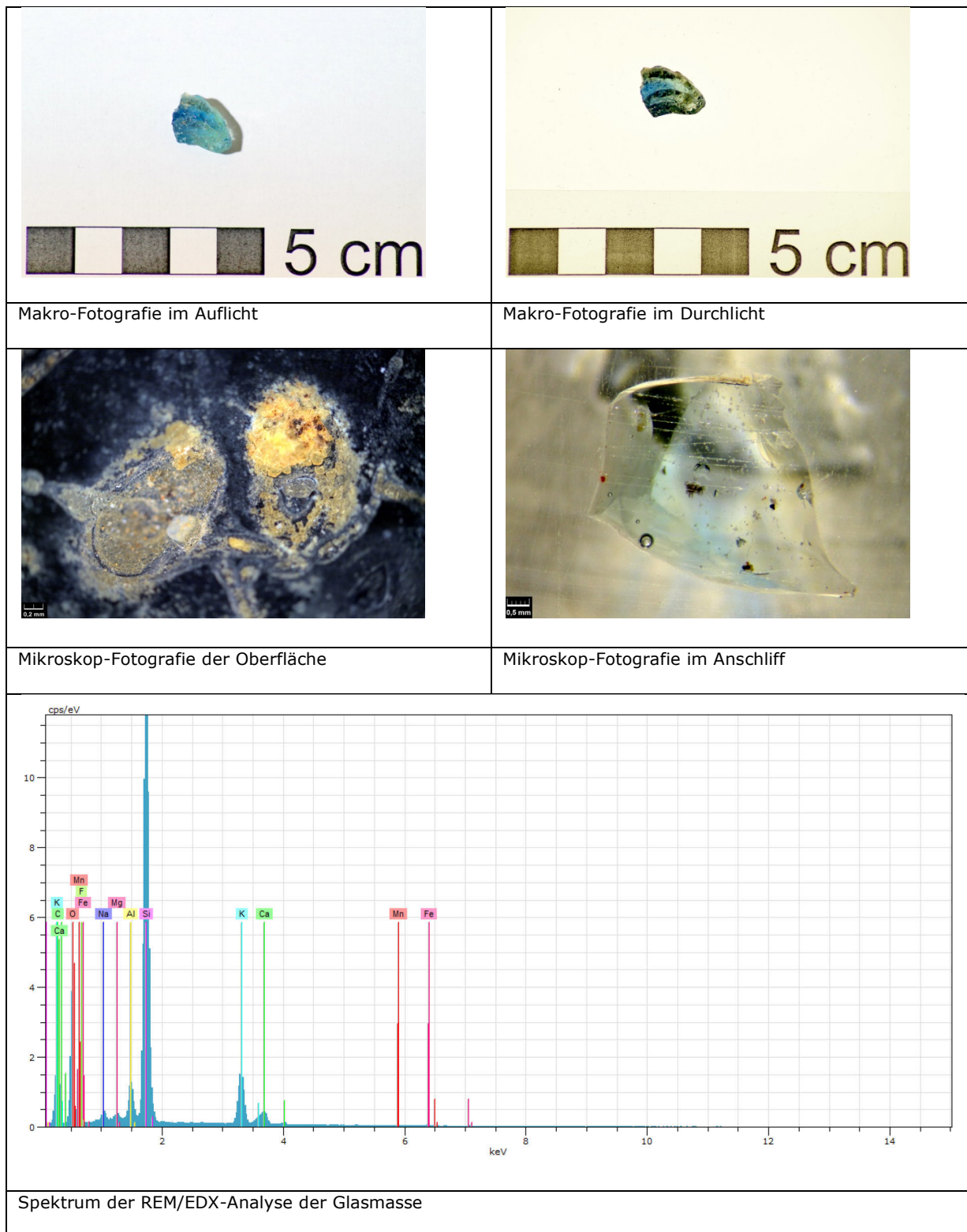
BA_G_003

Verglasung mit Anhaftung von Ofenwand/Hafen

Keine Korrosion zu erkennen

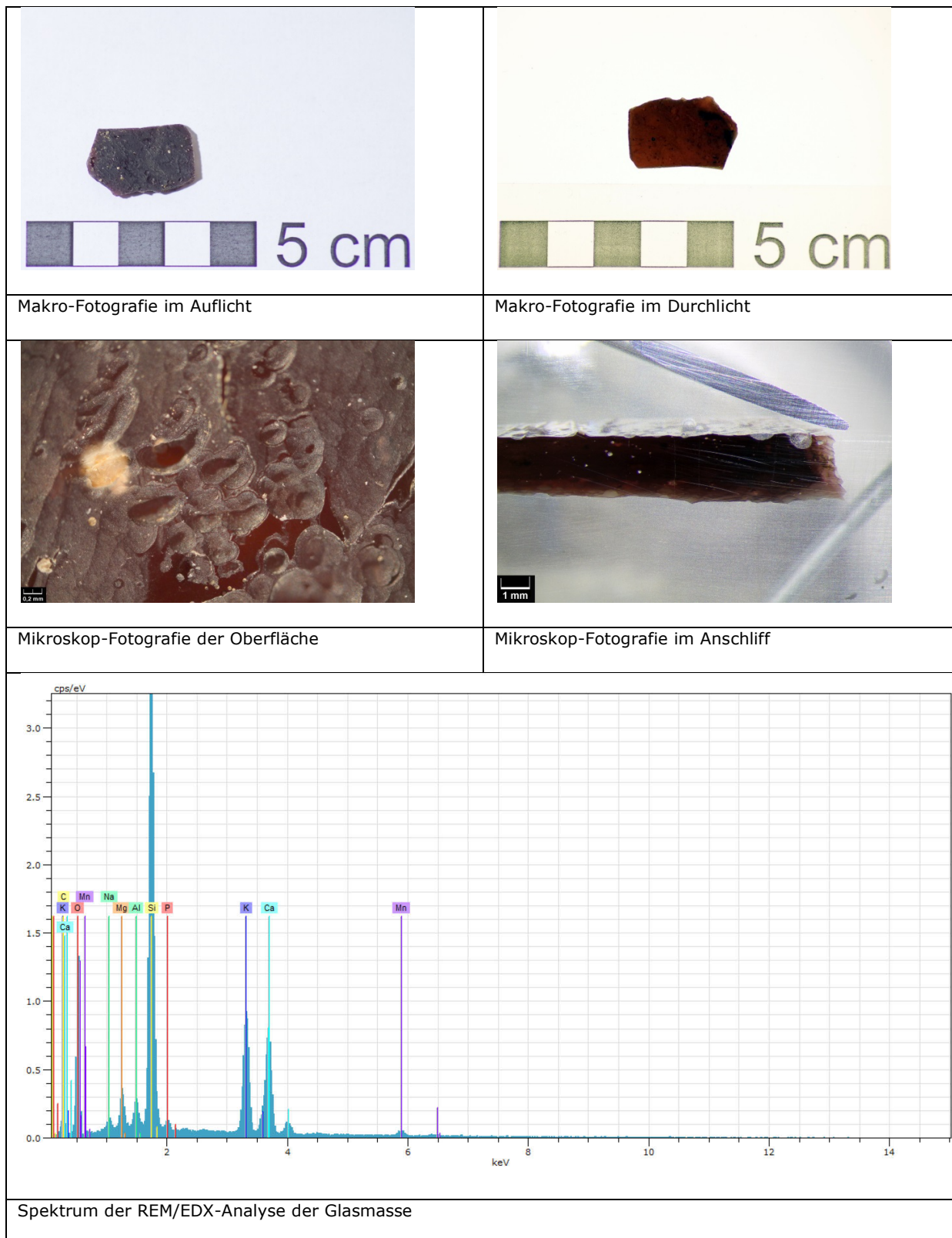
Viele Luftblasen

Glasmasse: mehr K als Na; deutlich mehr K als Ca (keine fertige Glasmasse)



BA_G_004

Flächige Punkt-/Ringkorrosion, z. T. Bereiche mit offensichtlich originaler Oberfläche erhalten
 Keine Korrosionsschicht erkennbar
 Zackige Bruchkanten, darin Sandkörner
 Glasmasse: mehr K als Na, etwas mehr K als Ca: Holzasche-Glas
 Violette Färbung durch Mn



ICP-Analysen: FAU Erlangen, WW III - Glas und Keramik - Analytisches Labor	
Blei (PbO)	
Nickel (NiO)	<0,01
Zink (ZnO)	0,03
Zirkon (ZrO ₂)	0,01
Kobalt (CoO)	
Kupfer (CuO)	0,02
Strontium (SrO)	0,09
Schwefel (SO ₃)	0,49
Titanium (TiO ₂)	0,12
Barium (BaO)	0,45
Mangan (MnO ₂)	2,32
Eisen (Fe ₂ O ₃)	0,54
Natrium (Na ₂ O)	1,04
Aluminium (Al ₂ O ₃)	2,41
Magnesium (MgO)	3,3
Phosphor (P ₂ O ₅)	1,93
Kalium (K ₂ O)	14,72
Calcium (CaO)	16,91
Silicium (SiO ₂)	55,32
Probe	BA_G_004

Analyse: Proben in Achatmühle zerkleinert; SiO₂: grav. Schmelzaufschluss; restliche Elemente: HF/HClO₄ Aufschluss mit ICP (Spectro Genesis SOP/EOP) analysiert

BA_G_005

Flächendeckend starke Punkt-/Ringkorrosion, z.T. Bereiche mit offensichtlich originaler Oberfläche erhalten

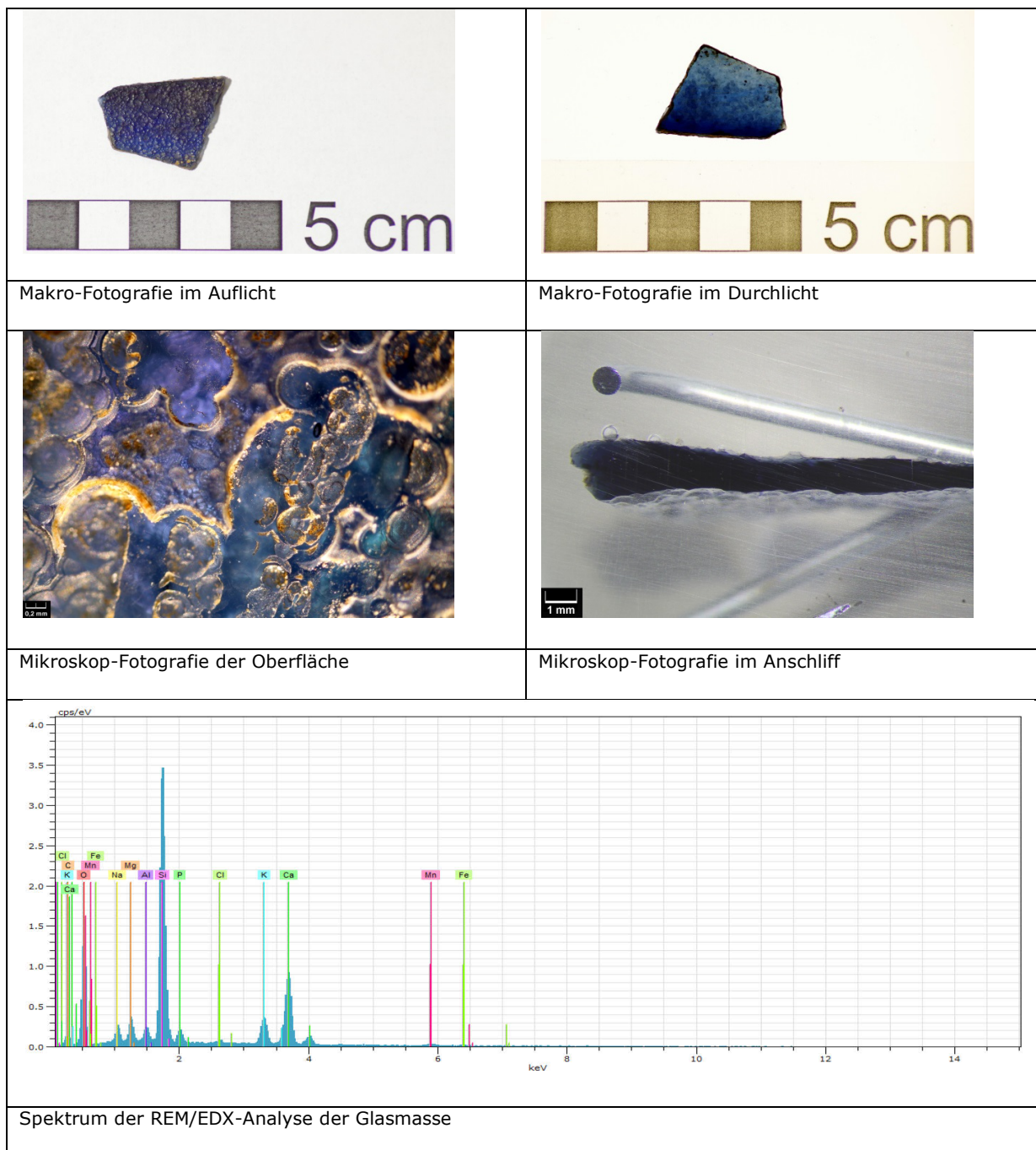
Zackige Bruchkanten, darin Sand/Sediment, Korrosionsschicht

Glasmasse: mehr K als Na, deutlich mehr Ca als K: Holzasche-Kalk-Glas

Spuren von Fe und Mn (entfärbend)

Korrosionsschicht: Konzentration von Mn, Fe, und P

Blaue Färbung durch Co und Cu (RFA-Analysen HTW-Berlin)



ESEM-Analysen: FAU Erlangen, WW III – Glas und Keramik – Analytisches Labor

Probe	O	Na	Mg	Al	Si	P	Cl	K	Ca	Mn	Fe
BA_G_005	67,22	1,97	1,86	1,06	17,09	0,90	0,18	2,82	6,20	0,32	0,37

Analyse: Environmental scanning electron microscope (ESEM)

BA_G_006

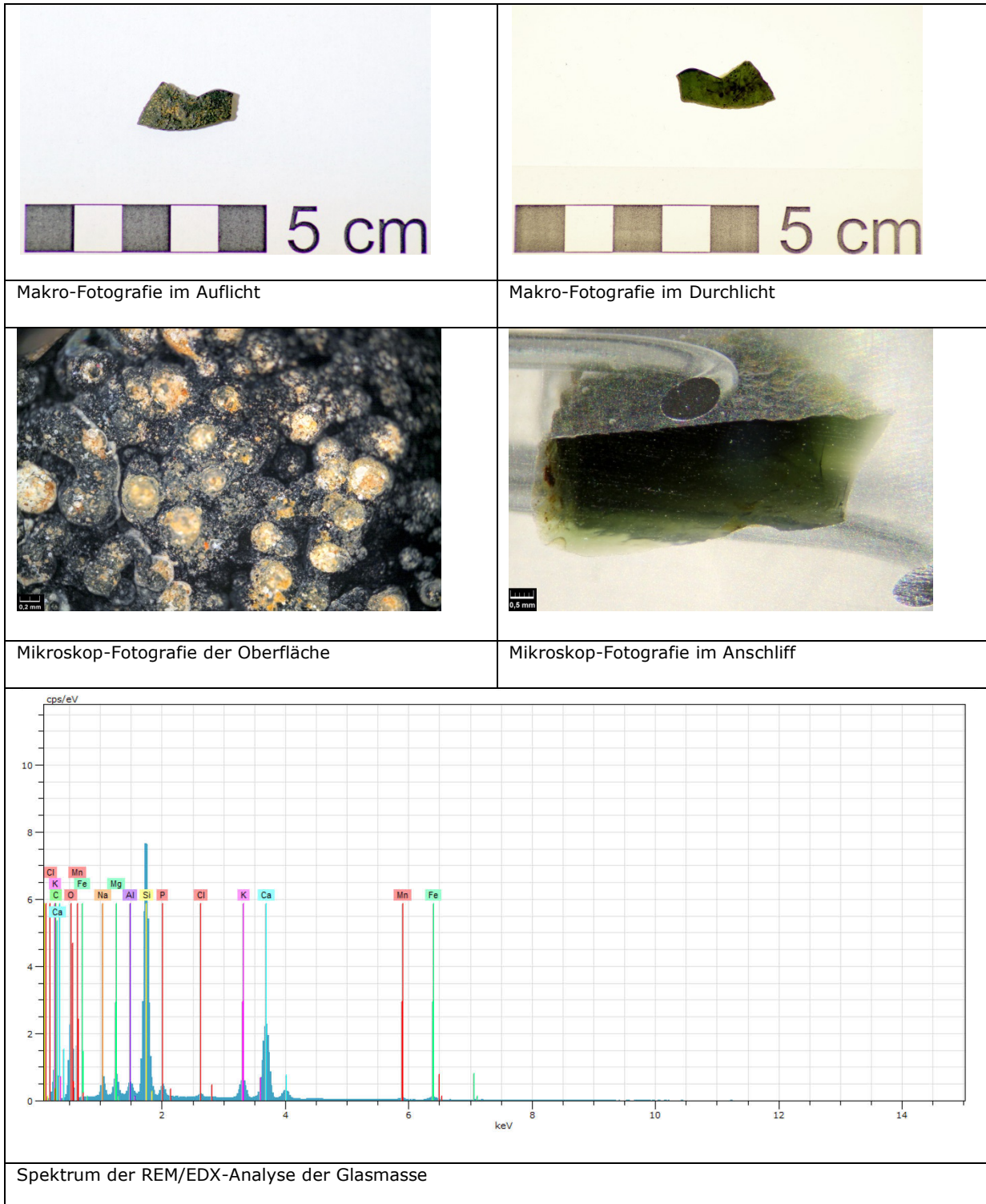
Flächendeckende Punkt-/Ringkorrosion, auf einer Seite besonders ausgeprägt, z.T. Bereiche mit offensichtlich originaler Oberfläche erhalten

z. T. gelbliche Ablagerungen (Korrosionsschicht) in den Korrosionslöchern

Glasmasse: K und Na in etwa gleichwertig, deutlich mehr Ca als K: Holzasche-Kalk-Glas

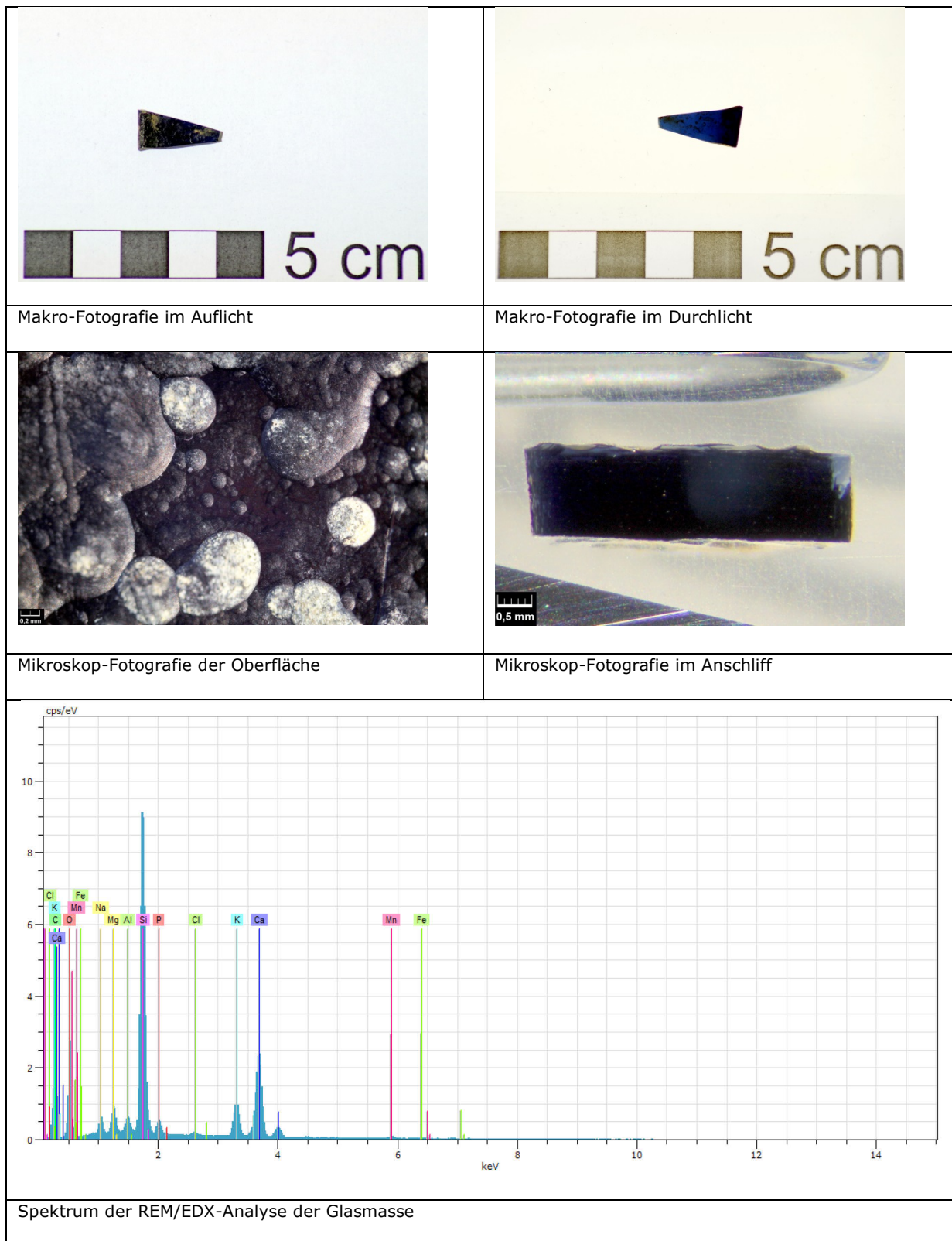
Grüne Färbung durch Fe

Korrosionsschicht: Abbau von K, Na, Ca, Mg und Si (stark abgebaut); Konzentration von Fe, P, und Al



BA_G_008

Flächendeckende Punkt-/Ringkorrosion
 z. T. Ablagerungen in den Korrosionslöchern
 Glasmasse: mehr K als Na, deutlich mehr Ca als K
 Keine Korrosionsschicht messbar



BA_G_009

Keine oberflächliche Korrosion makroskopisch zu erkennen

Keine Luftblasen

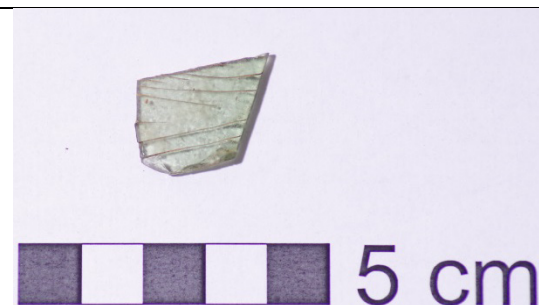
Mehrere parallele Ritzungen/Risse (evtl. Bearbeitungsspuren vom Zuschnitt von Flachglas),
darin Ablagerungen (Sand/Sediment, Korrosionsschicht)

Schwache Punkt-/Ringkorrosion mikroskopisch zu erkennen

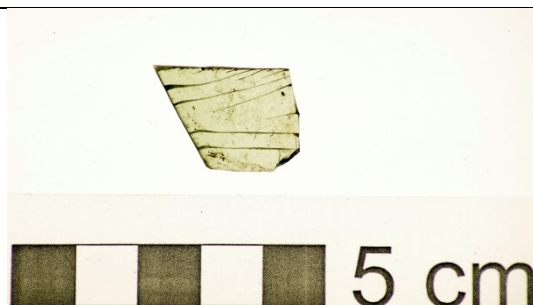
Glasmasse: mehr K als Na, deutlich mehr Ca als K: Holzasche-Kalk-Glas

Spuren von Fe und Mn (entfärbend)

Korrosionsschicht: Konzentration von Fe und Al



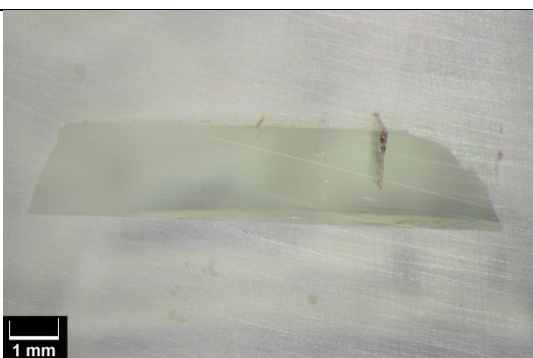
Makro-Fotografie im Auflicht



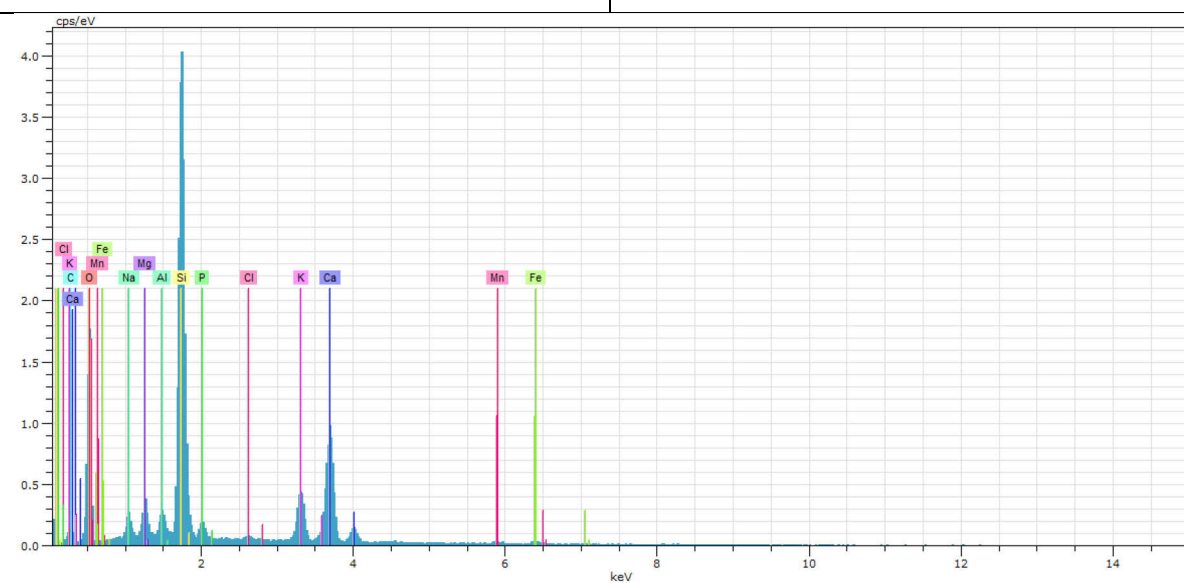
Makro-Fotografie im Durchlicht



Mikroskop-Fotografie der Oberfläche



Mikroskop-Fotografie im Anschliff



Spektrum der REM/EDX-Analyse der Glasmasse

BA_G_010

Glas in mehreren Lagen gefaltet: Produktionsabfall

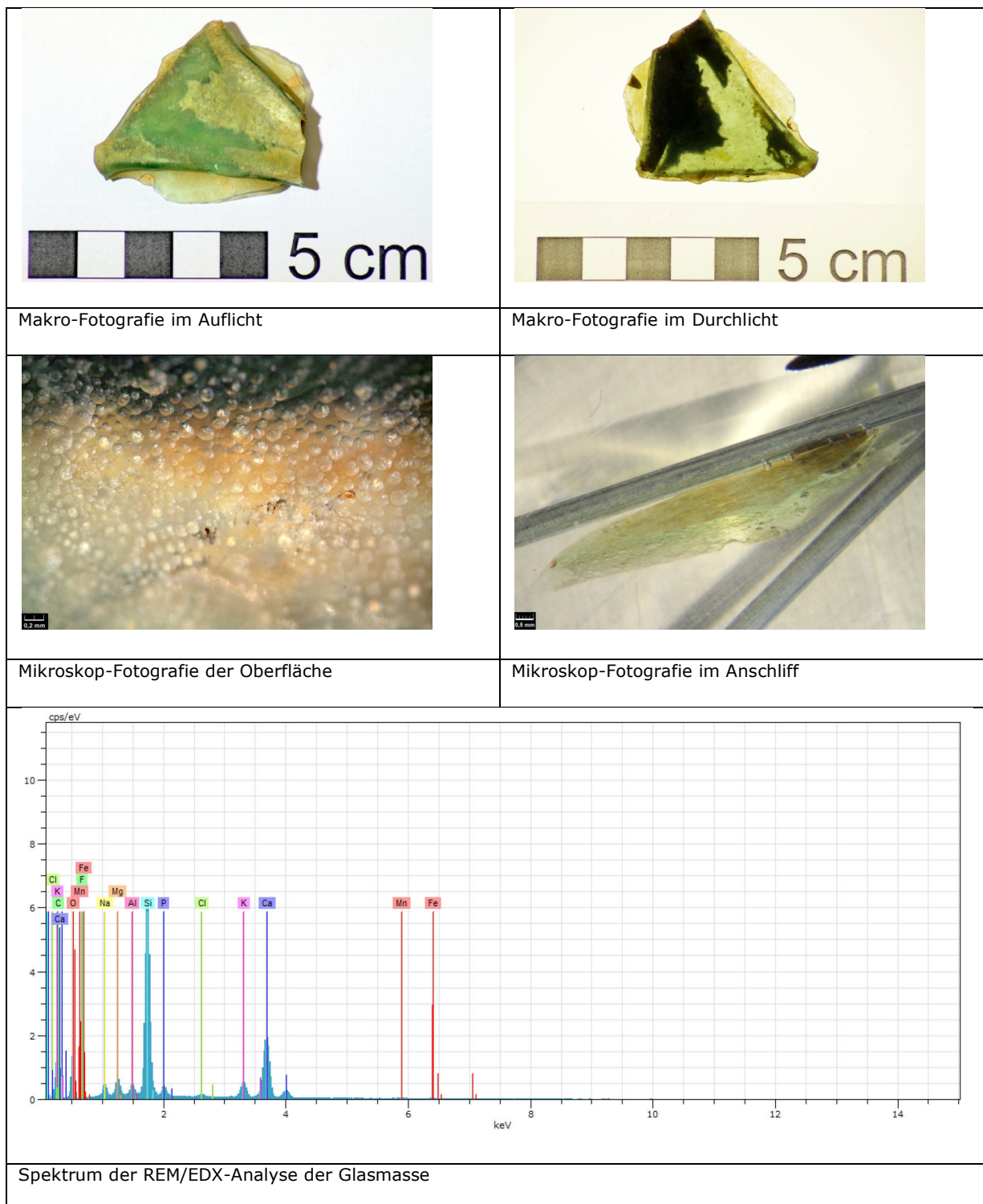
Ablagerungen in den Falten, Flächen-/Lamellenkorrosion mit Bildung einer irisierenden Schicht im Inneren der Falten

Flächendeckende Punkt-/Ringkorrosion, keine Korrosionsschicht makroskopisch an der Oberfläche zu erkennen

Glasmasse: mehr K als Na, deutlich mehr Ca als K: Holzasche-Kalk-Glas

Grüne Färbung durch Fe

Keine Korrosionsschicht messbar

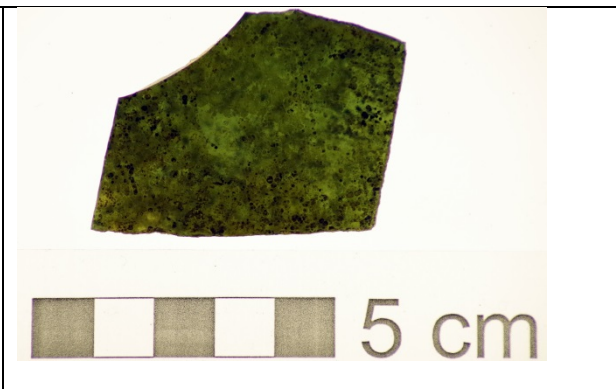


BA_G_011

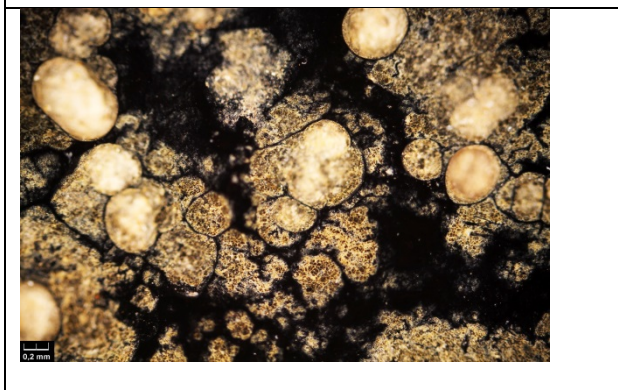
Flächendeckende starke Punkt-/Ringkorrosion, z. T. gelbliche Ablagerungen (Sand/Sediment, Korrosionsschicht) auf der Oberfläche und vor allem in den Korrosionslöchern
 Glasmasse: mehr K als Na, deutlich mehr Ca als K: Holzasche-Kalk-Glas
 Grüne Färbung durch Fe
 Korrosionsschicht: Abbau von Si, Na, K, Ca; Konzentration von Al, P, Fe, z. T. Ti



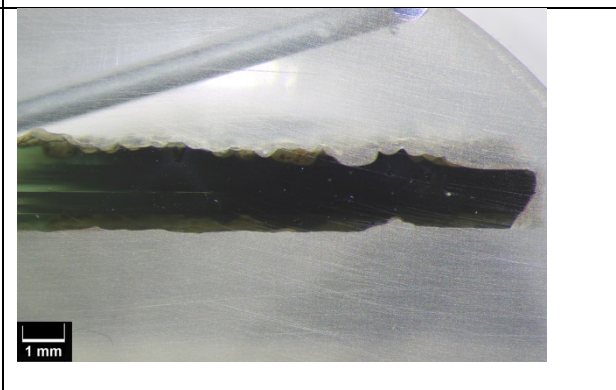
Makro-Fotografie im Auflicht



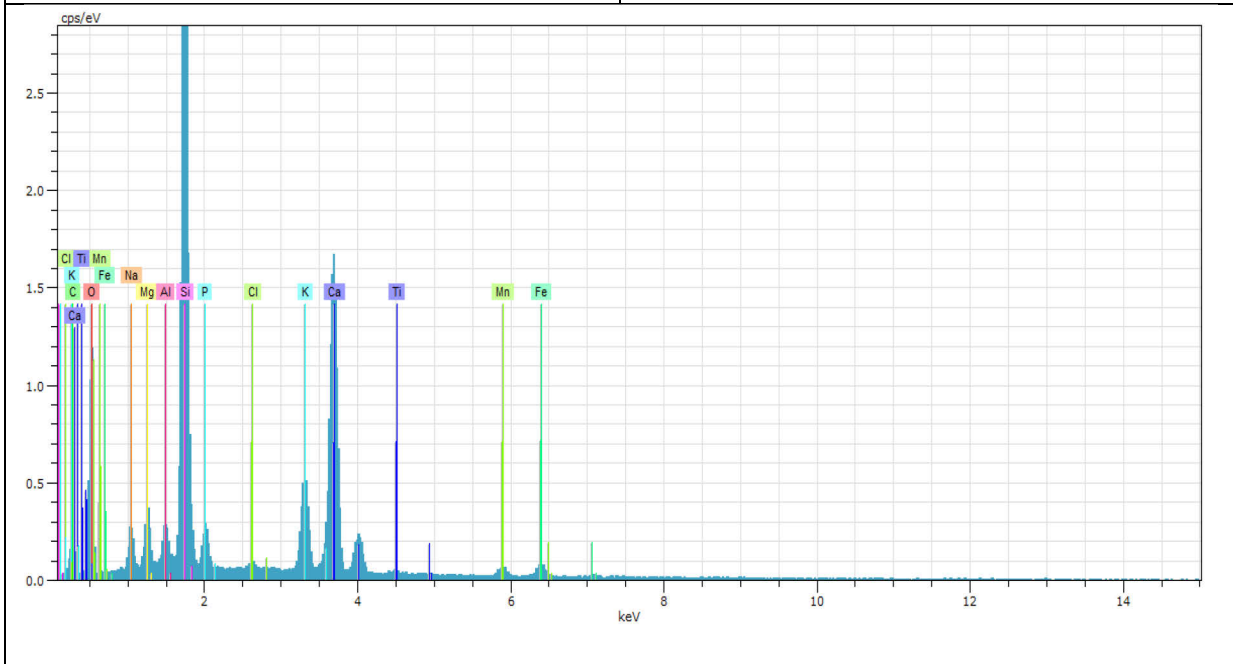
Makro-Fotografie im Durchlicht



Mikroskop-Fotografie der Oberfläche



Mikroskop-Fotografie im Anschliff



Spektrum der REM/EDX-Analyse der Glasmasse

RFA-Analysen: Analytic Aurachtal GmbH		
Blei (PbO)		
Kobalt (CoO)		
Kupfer (CuO)		
Strontium (SrO)	<0,1	<0,1
Titanium (TiO2)	0,2	0,2
Barium (BaO)	0,5	0,4
Mangan (MnO)	1,5	1,5
Eisen (Fe2O3)	2,5	2,4
Natrium (Na2O)	2,7	2,2
Aluminium (Al2O3)	2,8	3,1
Magnesium (MgO)	3,1	3,1
Phosphor (P2O5)	4	4
Kalium (K2O)	5,6	5,5
Calcium (CaO)	24,2	24
Silicium (SiO2)	52,6	53,3
Probe	BA_G_011	Schliff BA_G_011

Analyse: RFA (Shimadzu EDX-700-HS [Detektierbare Elemente: Natrium bis Uran]);
Methode/Norm: a AHV731701aur, 2006-04

ICP-Analysen: FAU Erlangen, WW III - Glas und Keramik - Analytisches Labor		
Blei (PbO)		
Nickel (NiO)	0,02	
Zink (ZnO)	0,04	
Zirkon (ZrO2)	0,02	
Kobalt (CoO)	0,03	
Kupfer (CuO)	0,06	
Strontium (SrO)	0,09	
Schwefel (SO3)	0,38	
Titanium (TiO2)	0,24	
Barium (BaO)	0,31	
Mangan (MnO2)	1,65	
Eisen (Fe2O3)	2,23	
Natrium (Na2O)	3,2	
Aluminium (Al2O3)	2,21	
Magnesium (MgO)	3,77	
Phosphor (P2O5)	3,91	
Kalium (K2O)	5,29	
Calcium (CaO)	22,77	
Silicium (SiO2)	52,62	
Probe	BA_G_011	

Analyse: Proben in Achatmühle zerkleinert; SiO2: grav. Schmelzaufschluss; restliche Elemente: HF/HClO4 Aufschluss mit ICP (Spectro Genesis SOP/EOP) analysiert

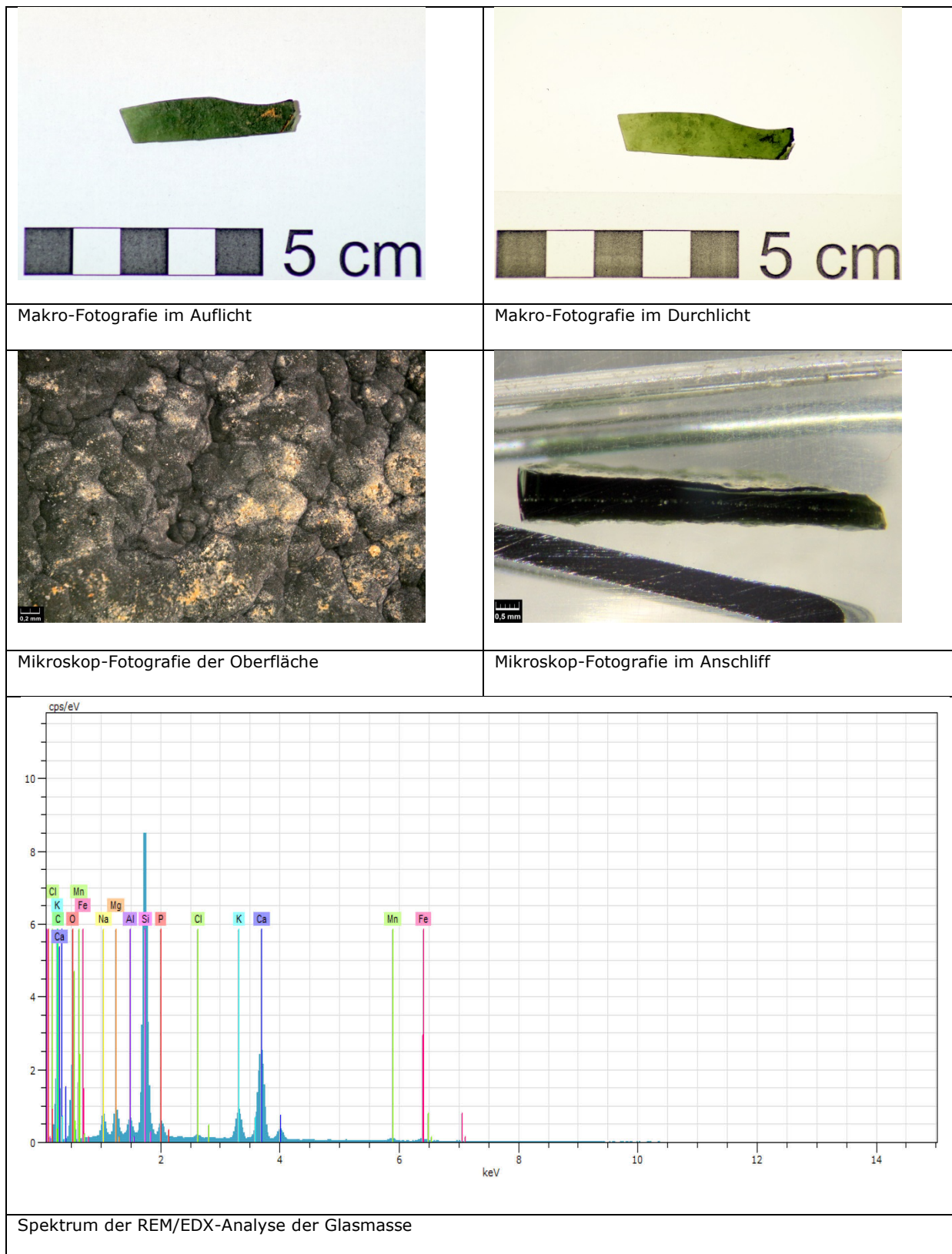
BA_G_012

Flächendeckende Punkt-/Ringkorrosion, z. T. gelbliche Ablagerungen

Glasmasse: mehr K als Na, deutlich mehr Ca als K: Holzasche-Kalk-Glas

Grüne Färbung durch Fe

Keine Korrosionsschicht messbar



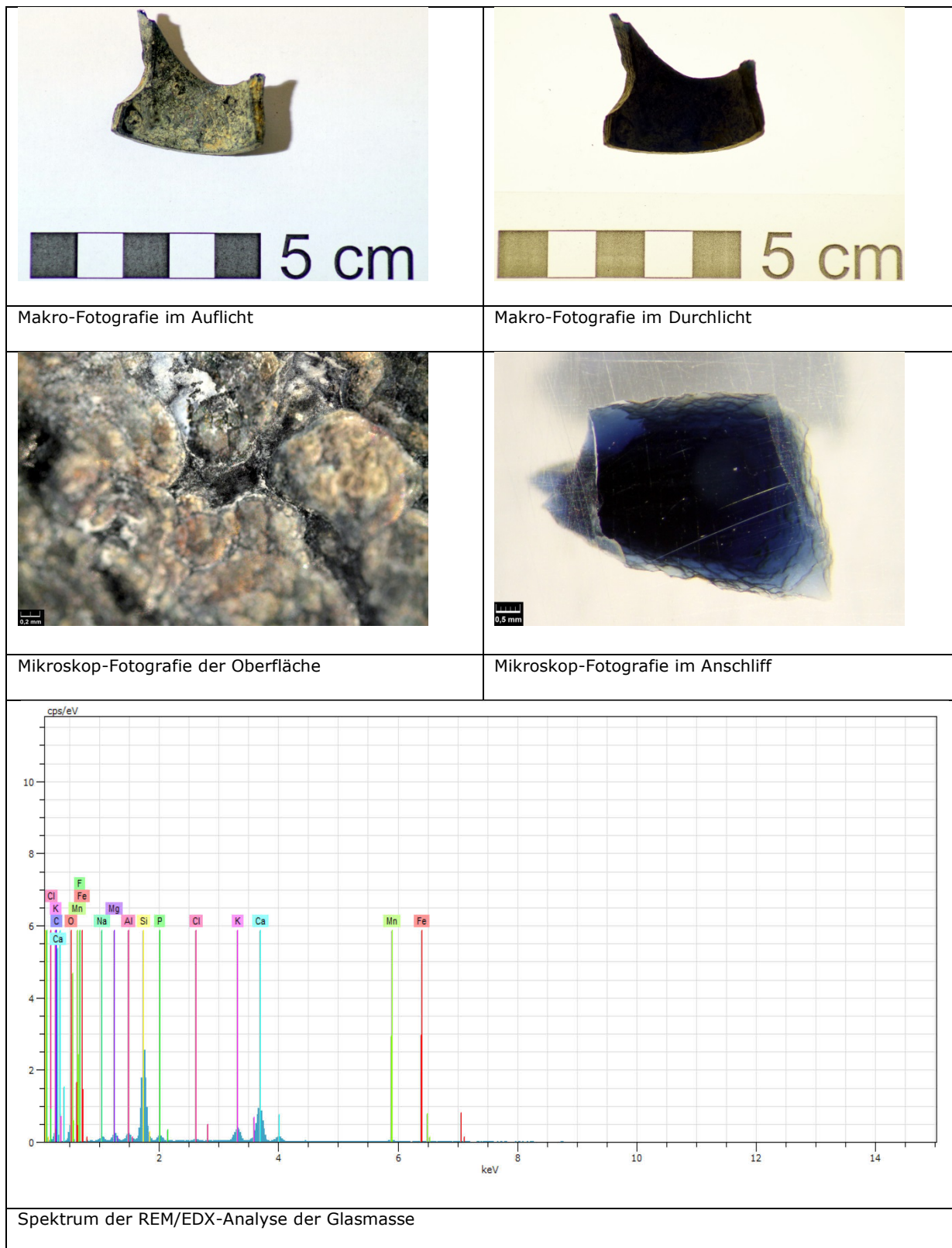
BA_G_013

Flächendeckende Punkt-/Ringkorrosion, z. T. gelbliche Ablagerungen

Glas weist eine geschichtete Struktur auf, offensichtlich mehrfach überstochen

Glasmasse: mehr K als Na, mehr Ca als K: Holzasche-Kalk-Glas

Korrosionsschicht: Abbau von Si, Na, K, Ca; Konzentration von Fe, Ti, P, Al (äußere Schicht) –
Abbau von Na, K (innere Schicht)

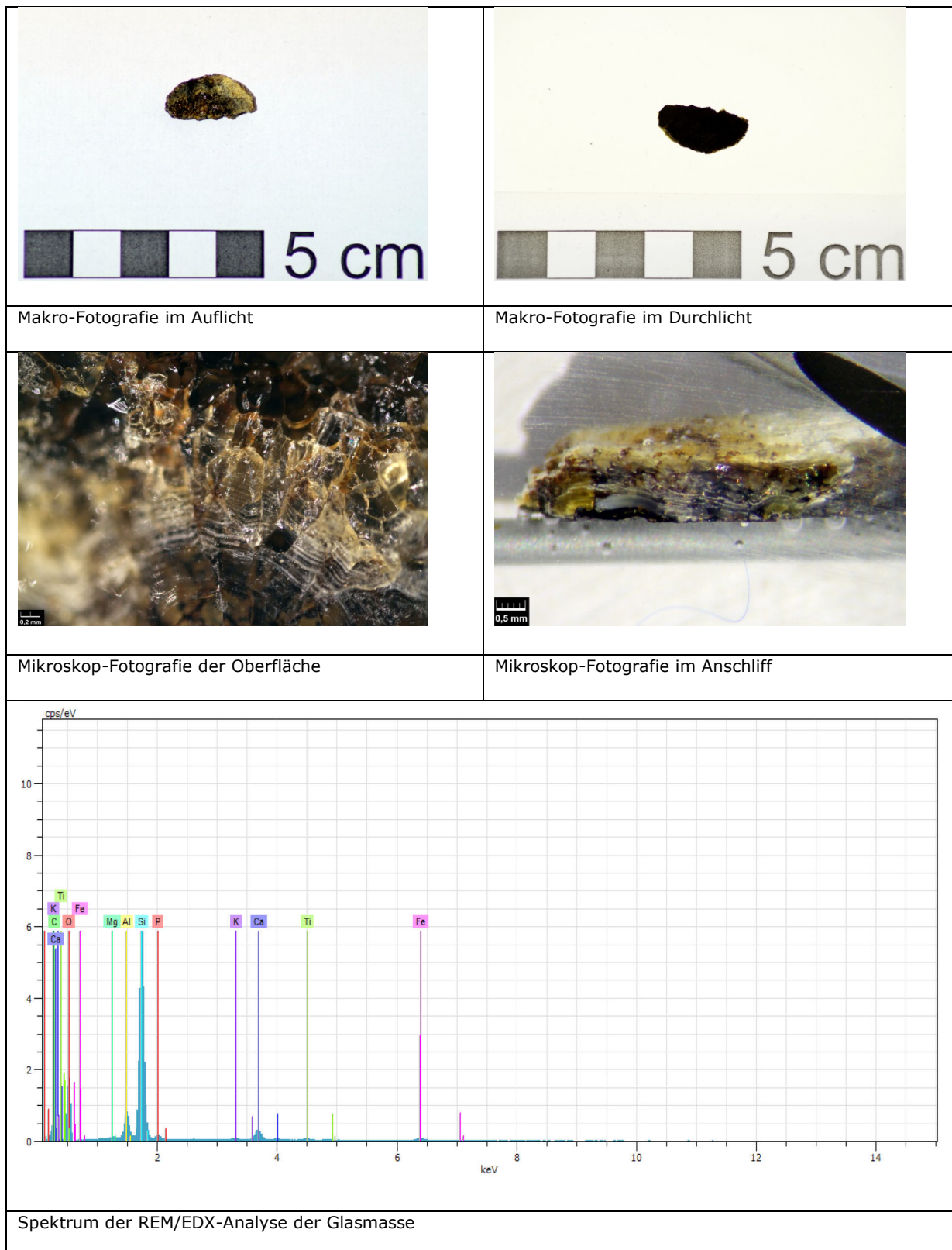


BA_G_014

Starke Tiefenrisskorrosion, feine Risse an der Oberfläche und in den darunter liegenden Schichten; Schwarz-bräunliche (z. T. auch gelbliche) Verfärbung der Oberfläche

Probe ist komplett durchkorrodiert, kein Kernglas mehr vorhanden

Korrosionsschicht: nahezu vollständiger Abbau von K und Na; vereinzelt Manganausfällungen besonders an der Oberfläche



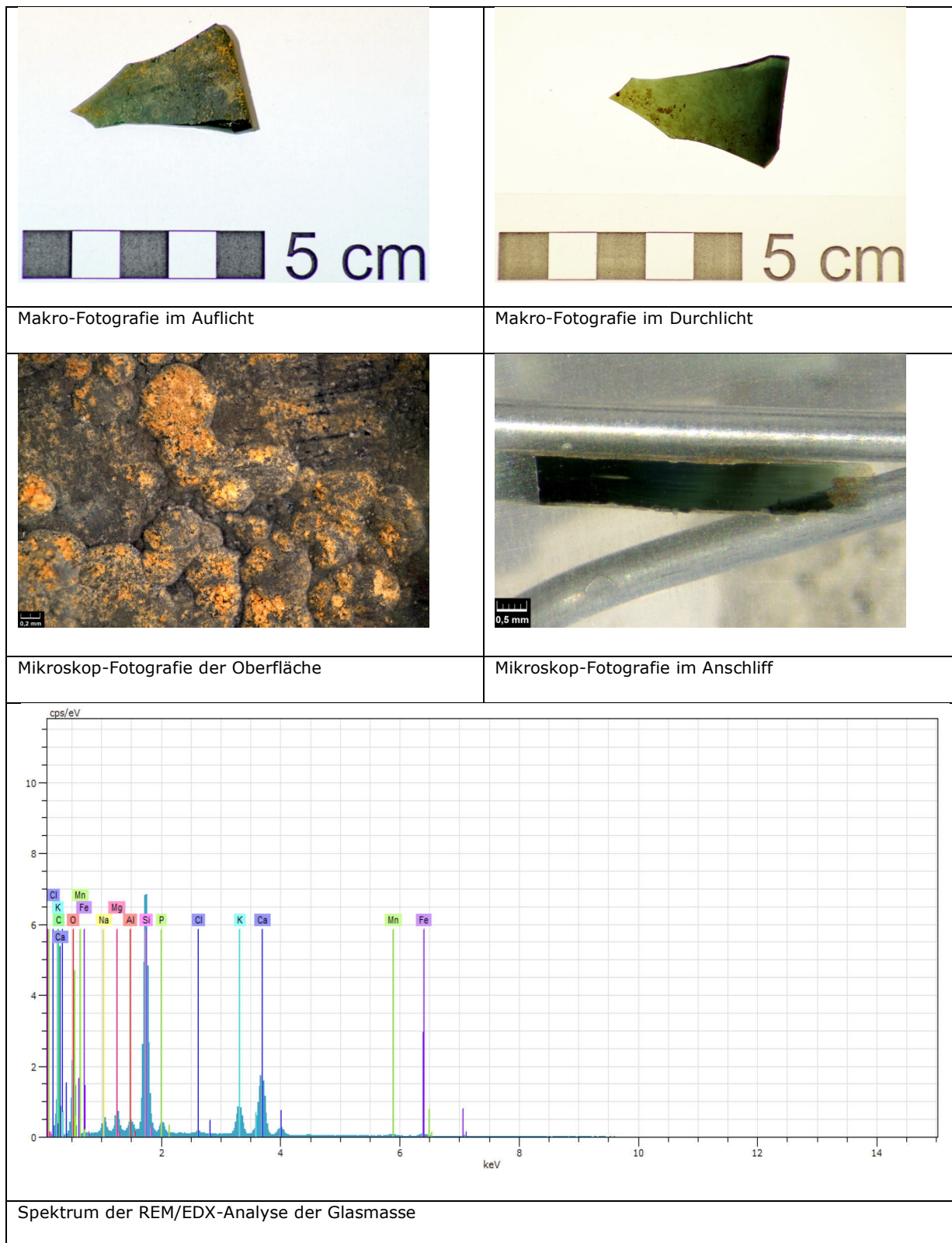
BA_G_015

Flächendeckende Punkt-/Ringkorrosion, z. T. gelbliche Ablagerungen

Glasmasse: mehr K als Na, mehr Ca als K: Holzasche-Kalk-Glas

Grüne Färbung durch Fe

Korrosionsschicht: Konzentration von Fe, P und Al, z. T. Ti



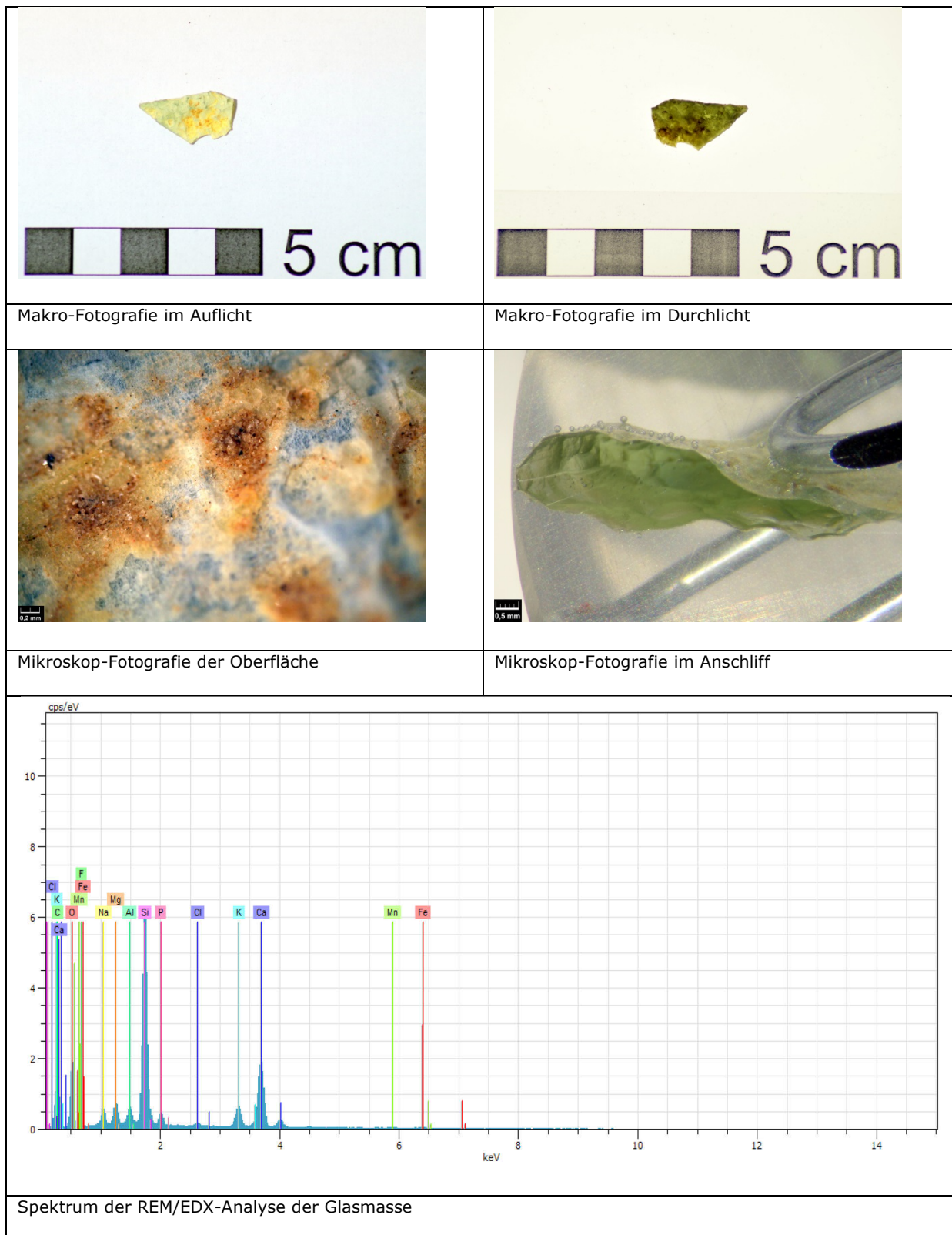
BA_G_016

Flächendeckende Punkt-/Ringkorrosion, flächendeckend weiß-gelbliche Korrosionsschicht

Glasmasse: mehr K als Na, mehr Ca als K: Holzasche-Kalk-Glas

Grüne Färbung durch Fe

Korrosionsschicht: extremer Abbau von Na und K; dünne (Gel-)Schicht mit Konzentration von Si, dann Schicht mit Konzentration von P und Fe

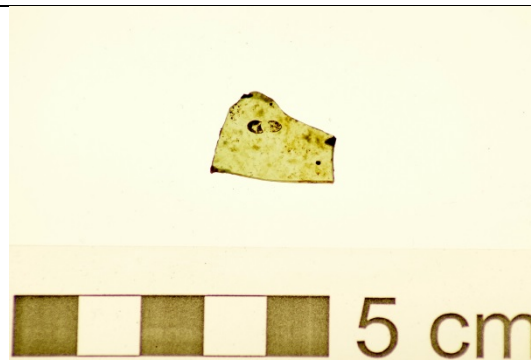


BA_G_017

Flächendeckende Punkt-/Ringkorrosion, z.T. Bereiche mit offensichtlich originaler Oberfläche erhalten; z. T. braun-gelbliche Ablagerungen in Korrosionslöchern
 Sand/Sediment in zackigen Ausbrüchen
 Glasmasse: mehr K als Na, mehr Ca als K: Holzasche-Kalk-Glas
 Grüne Färbung durch Fe
 Keine Korrosionsschicht messbar



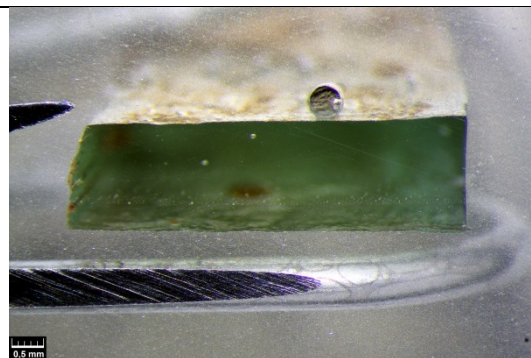
Makro-Fotografie im Auflicht



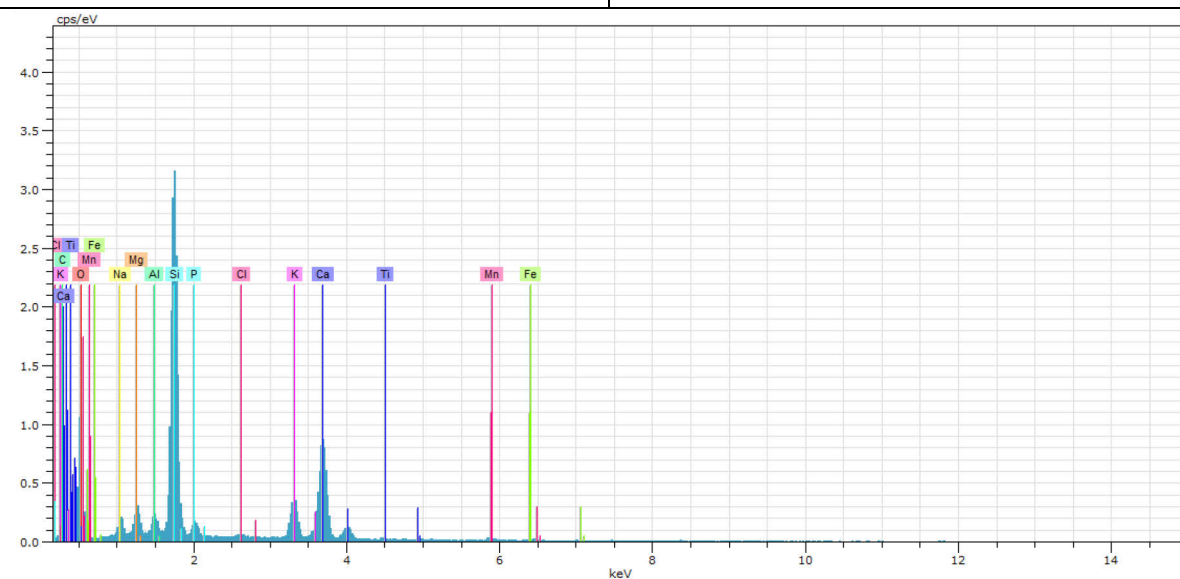
Makro-Fotografie im Durchlicht



Mikroskop-Fotografie der Oberfläche



Mikroskop-Fotografie im Anschliff



Spektrum der REM/EDX-Analyse der Glasmasse

BA_G_019

Punkt-/Ringkorrosion, z.T. Bereiche mit offensichtlich originaler Oberfläche erhalten; z. T. braun-gelbliche Ablagerungen; z. T. Flächen-/Lamellenkorrosion mit Bildung einer irisierenden Schicht und deren teilweiser Ablösung

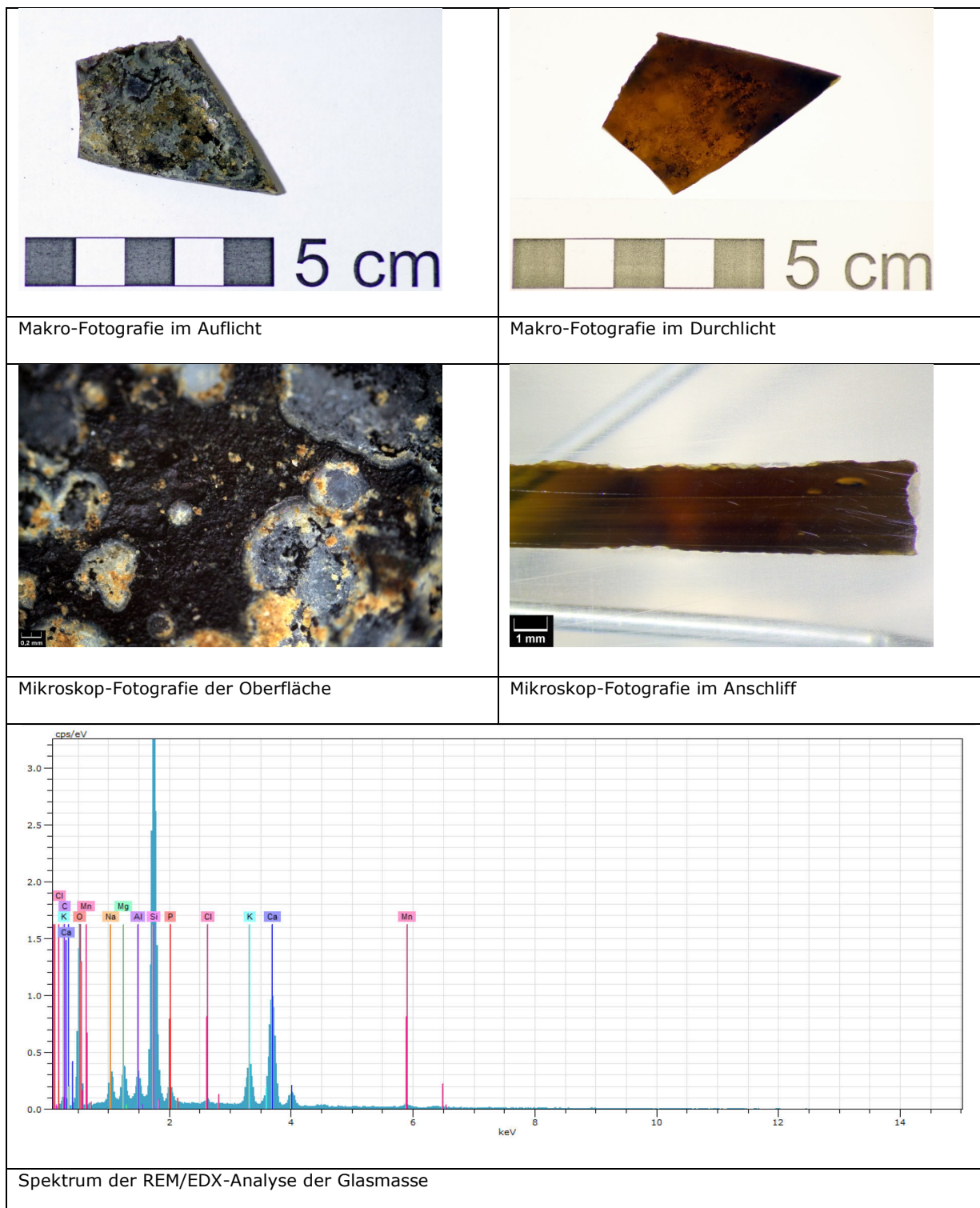
Glasmasse: mehr K als Na, mehr Ca als K: Holzasche-Kalk-Glas

Korrosionsschicht: vor allem Abbau von K und Na, z. T. auch Ca

Ablösung der äußeren Korrosionsschicht, hier Abbau von Na, K, Ca, Mg, z. T. Cl,

Konzentration von Fe und P in einzelnen Inseln; vereinzelt Manganausfällungen

Braune Färbung durch Mn



RFA-Analysen: Analytic Aurachtal GmbH		
Blei (PbO)		
Kobalt (CoO)		
Kupfer (CuO)		
Strontium (SrO)	0,1	0,1
Titanium (TiO2)	<0,1	0,1
Barium (BaO)	0,5	0,5
Mangan (MnO)	1,5	1,4
Eisen (Fe2O3)	0,9	0,9
Natrium (Na2O)	2,2	2,3
Aluminium (Al2O3)	3,6	3,6
Magnesium (MgO)	3,2	3,3
Phosphor (P2O5)	3,9	3,7
Kalium (K2O)	6,7	6,7
Calcium (CaO)	23,3	23,1
Silicium (SiO2)	53,9	54,2
Probe	BA_G_019	BA_G_019

Analyse: RFA (Shimadzu EDX-700-HS [Detektierbare Elemente: Natrium bis Uran]);
Methode/Norm: a AHV731701aur, 2006-04

ICP-Analysen: FAU Erlangen, WW III - Glas und Keramik - Analytisches Labor		
Blei (PbO)		
Nickel (NiO)	<0,01	
Zink (ZnO)	0,05	
Zirkon (ZrO2)	0,01	
Kobalt (CoO)		
Kupfer (CuO)	0,01	
Strontium (SrO)	0,09	
Schwefel (SO3)	0,28	
Titanium (TiO2)	0,22	
Barium (BaO)	0,31	
Mangan (MnO2)	1,57	
Eisen (Fe2O3)	0,81	
Natrium (Na2O)	3,62	
Aluminium (Al2O3)	2,75	
Magnesium (MgO)	3,69	
Phosphor (P2O5)	3,6	
Kalium (K2O)	6,3	
Calcium (CaO)	21,48	
Silicium (SiO2)	54,36	
Probe	BA_G_019	

Analyse: Proben in Achatmühle zerkleinert; SiO2: grav. Schmelzaufschluss; restliche Elemente: HF/HClO4 Aufschluss mit ICP (Spectro Genesis SOP/EOP) analysiert

BA_G_021

Geschichtete Glasmasse, ganz dunkelgrün, z. T. braune Anhaftungen

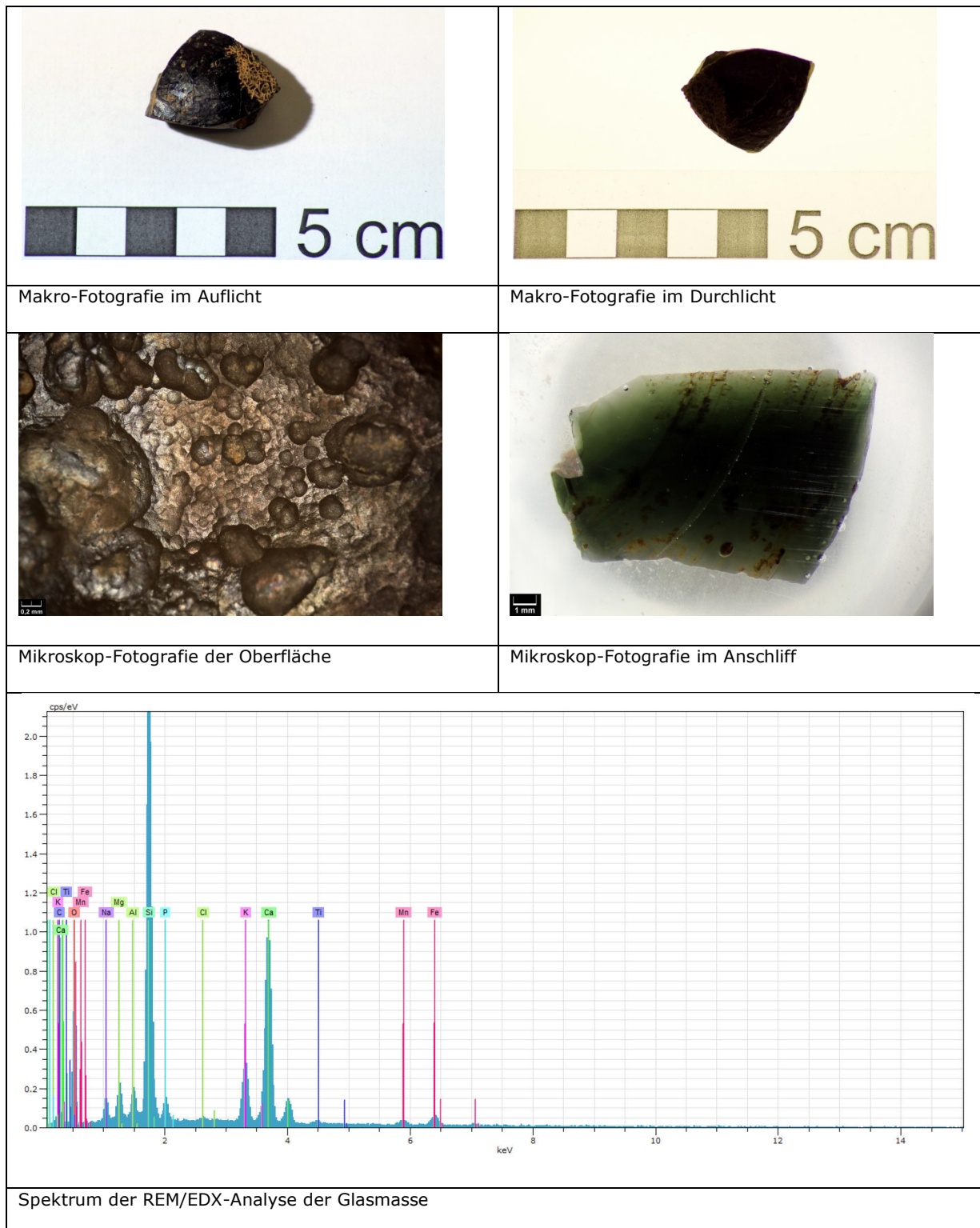
Punkt-/Ringkorrosion mikroskopisch erkennbar

Glasmasse: mehr K als Na, deutlich mehr Ca als K

Grüne Färbung durch Fe

Dünne Korrosionsschicht in Vertiefung

Korrosionsschicht: Abbau von K, Na und Ca; Konzentration von Fe, Ti, P, und Al; dünne Schicht in Vertiefung, darüber Sand/Sediment



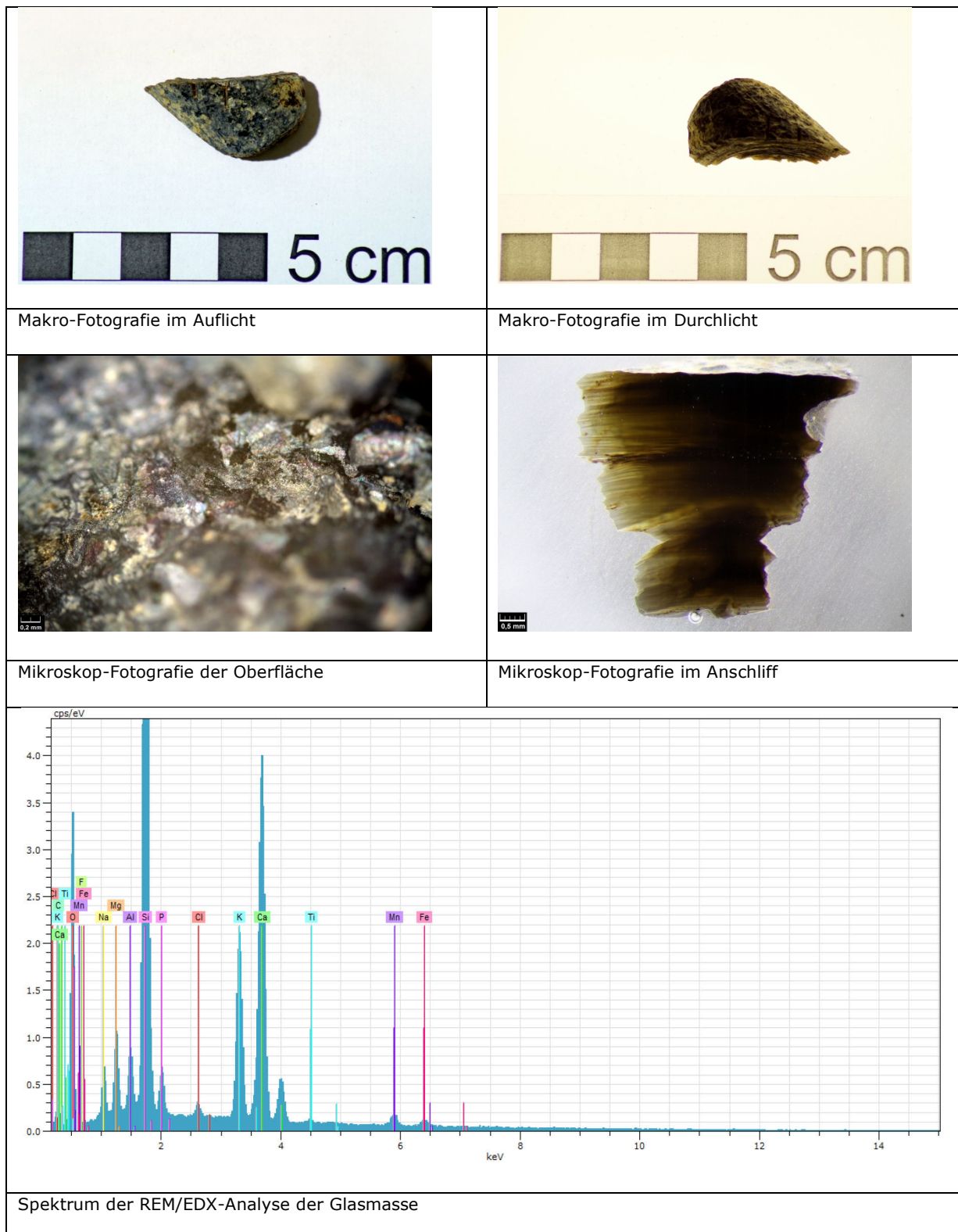
BA_G_024

Flächendeckende Punkt-/Ringkorrosion, flächendeckend weiß-gelbliche Korrosionsschicht in Korrosionslöchern und auf der Oberfläche

Deutlich erkennbare Schichtung des Glases durch unterschiedliche Färbung

Glasmasse: mehr K als Na, mehr Ca als K: Holzasche-Kalk-Glas

Korrosionsschicht: Abbau von K, Na, Ca; Konzentration von Fe, Ti, P und Al; vereinzelte Manganausfällungen



BA_G_026

Starke Tiefenrisskorrosion, feine Risse an der Oberfläche und in den darunter liegenden Schichten; Schwarz-bräunliche (z. T. auch gelbliche) Verfärbung der Oberfläche

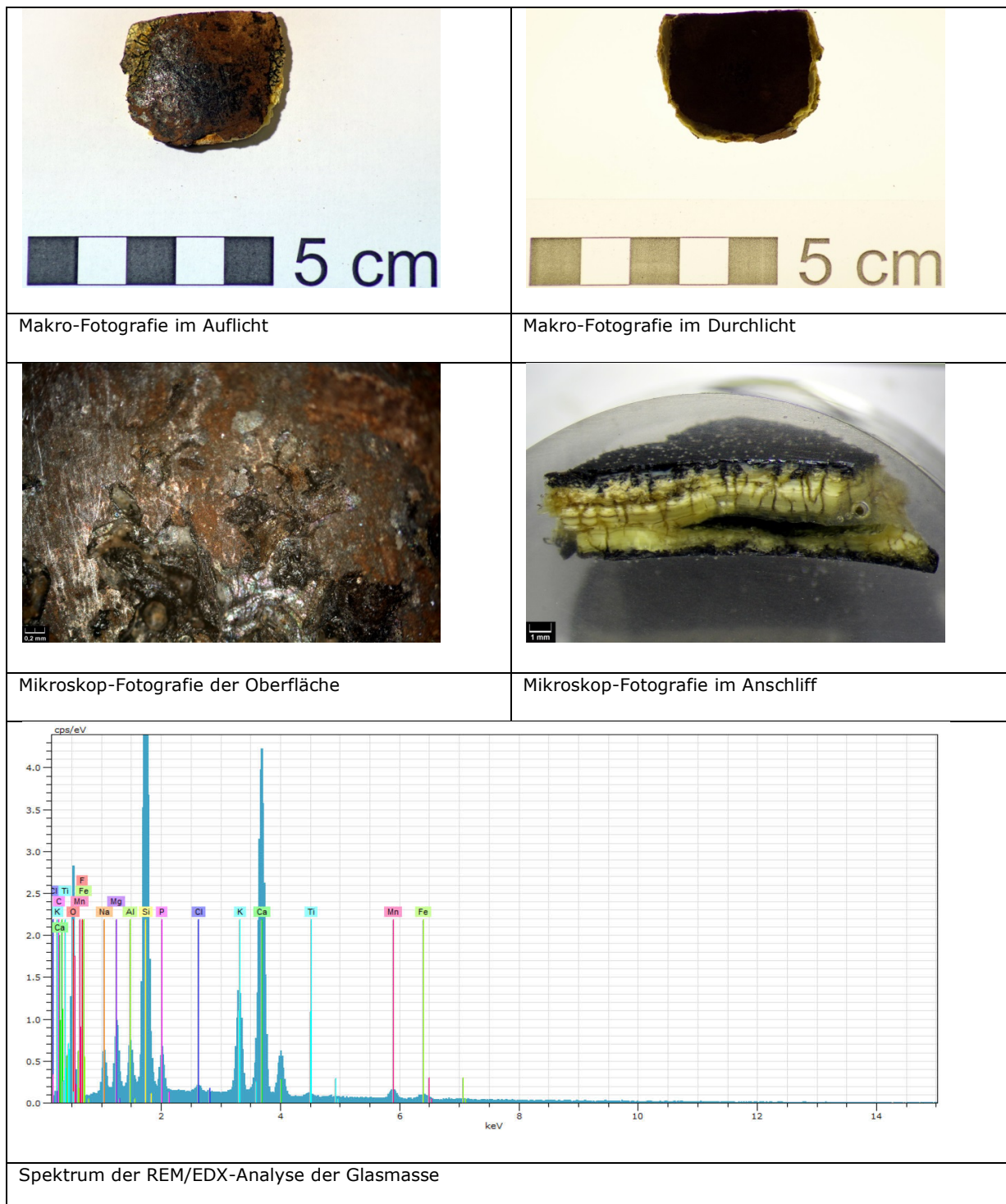
Originale Oberfläche ist großflächig noch vorhanden

Querschnitt: braun-schwarze Verfärbung an der Oberfläche, darunter bis zum Kernglas gelblich-weiße Verfärbung, konzentrische Risse durchziehen die gesamte Korrosionsschicht

Glasmasse: mehr K als Na, deutlich mehr Ca als K: Holzasche-Kalk-Glas

Korrosionsschicht: extremer Abbau von K und Na, deutlicher Abbau von Ca, vereinzelte Manganausfällungen

Blaue Färbung durch Cu (Konzentration in der Korrosionsschicht)

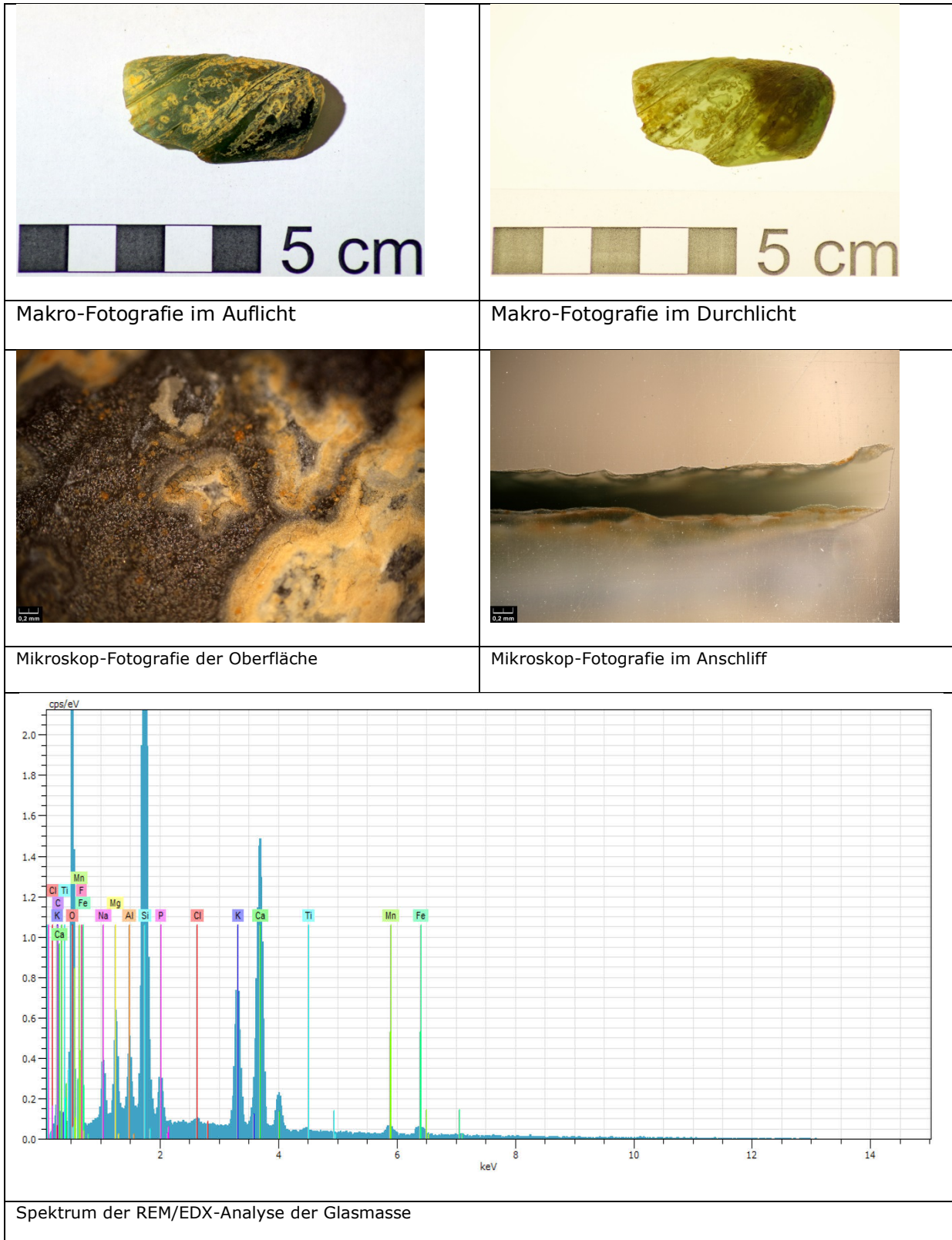


BA_G_028

Punkt-/Ringkorrosion, z.T. Bereiche mit offensichtlich originaler Oberfläche erhalten; gelbliche Korrosionsschicht in Korrosionslöchern

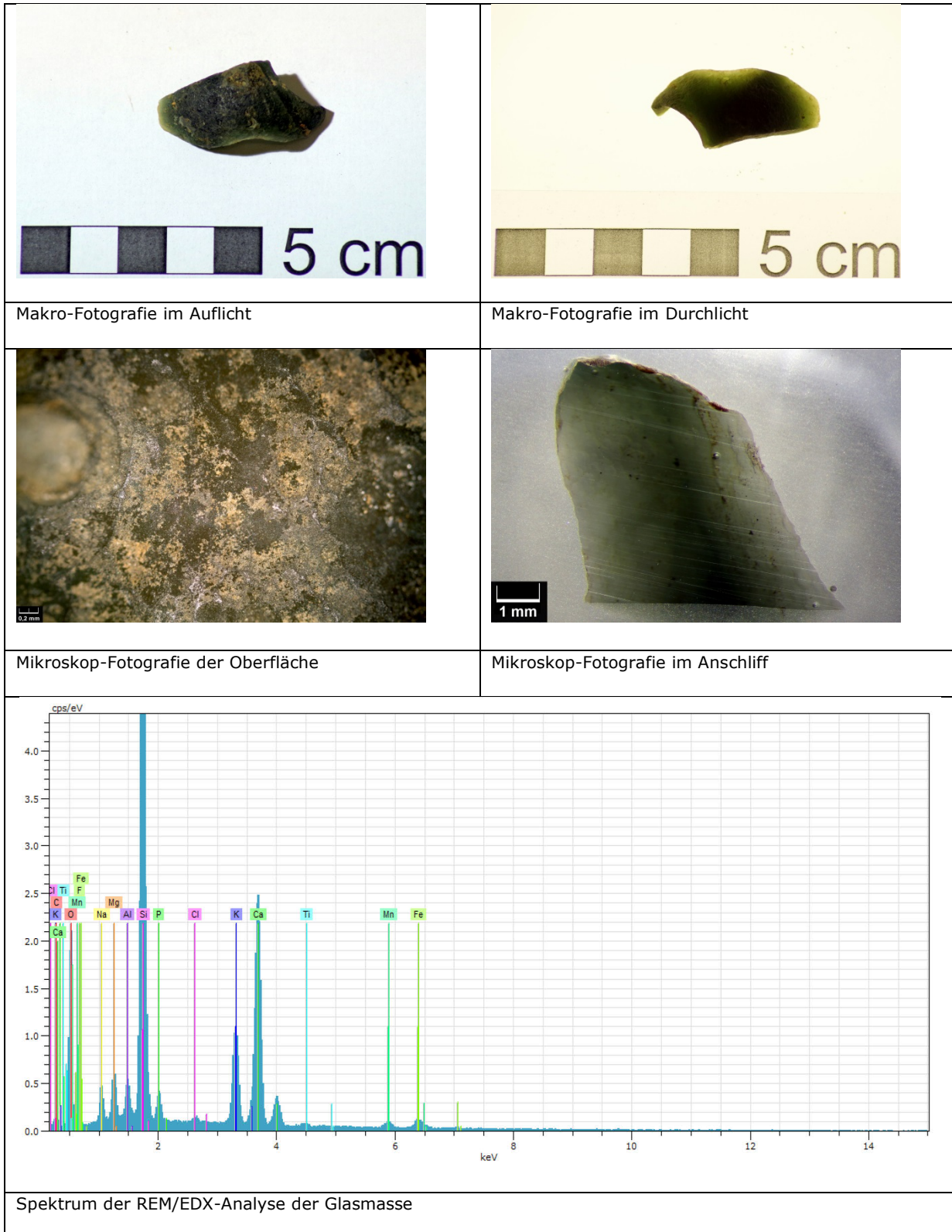
Glasmasse: mehr K als Na, mehr Ca als K: Holzasche-Kalk-Glas

Korrosionsschicht: Abbau von Na und Ca, z. T. auch von K; Konzentration von Al und Fe; besonders in den äußeren Bereichen vereinzelt Konzentration von Fe, P und Al



BA_G_029

Punkt-/Ringkorrosion, z. T. gelbliche Ablagerungen (Sand/Sediment) in Korrosionslöchern
 Glasmasse: mehr K als Na, deutlich mehr Ca als K: Holzasche-Kalk-Glas
 Grüne Färbung durch Fe
 Keine Korrosionsschicht messbar



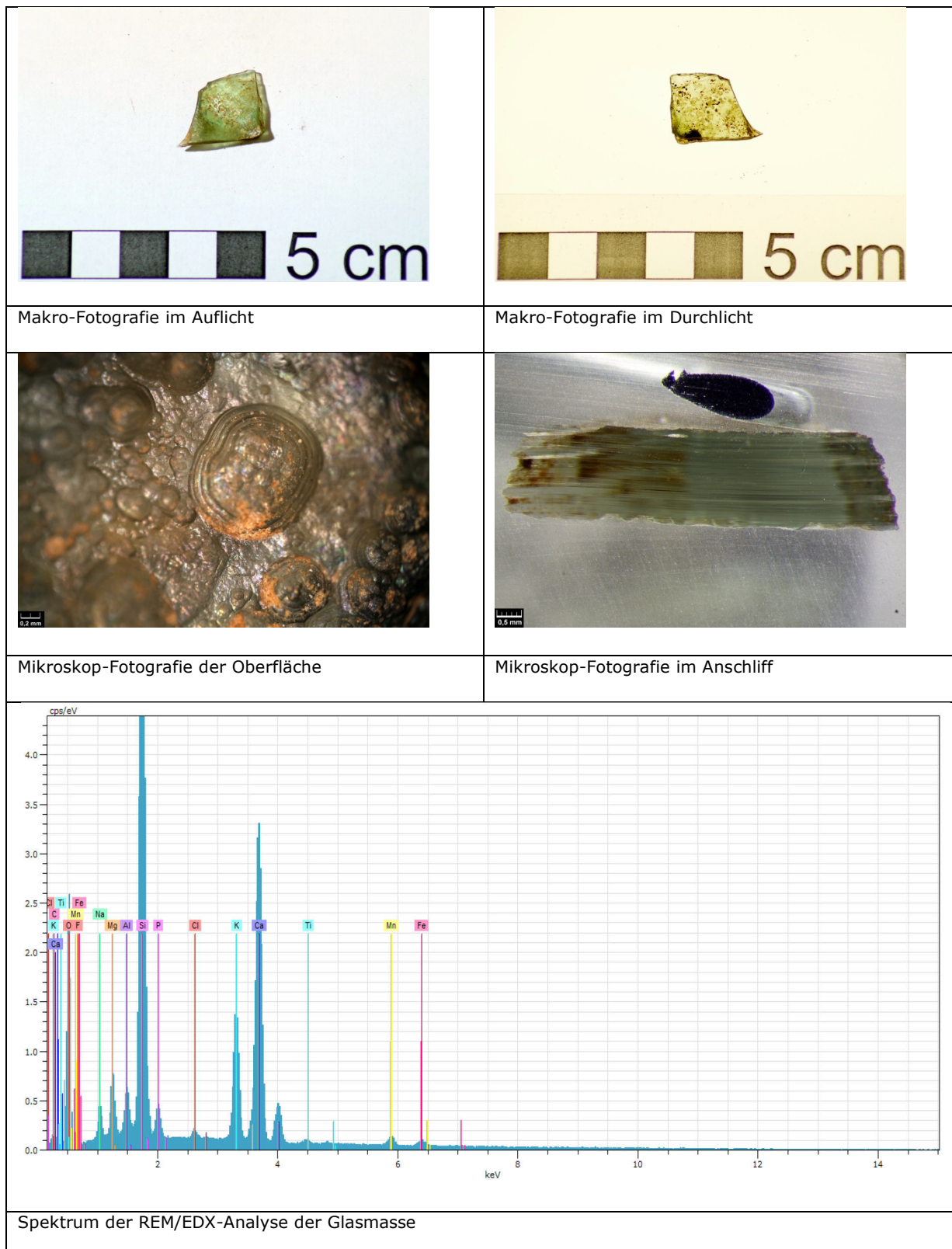
BA_G_030

Geschichtetes Glas, braune Ablagerungen zwischen den Glasschichten

Punkt-/Ringkorrosion, z. T. bräunliche Ablagerungen; z. T. Flächen-/Lamellenkorrosion mit Bildung einer irisierenden Schicht

Glasmasse: mehr K als Na, deutlich mehr Ca als K

Korrosionsschicht: Abbau von Na, Mg, Ca u. Si; Konzentration von Al, Fe, z. T. auch Ti und Ba



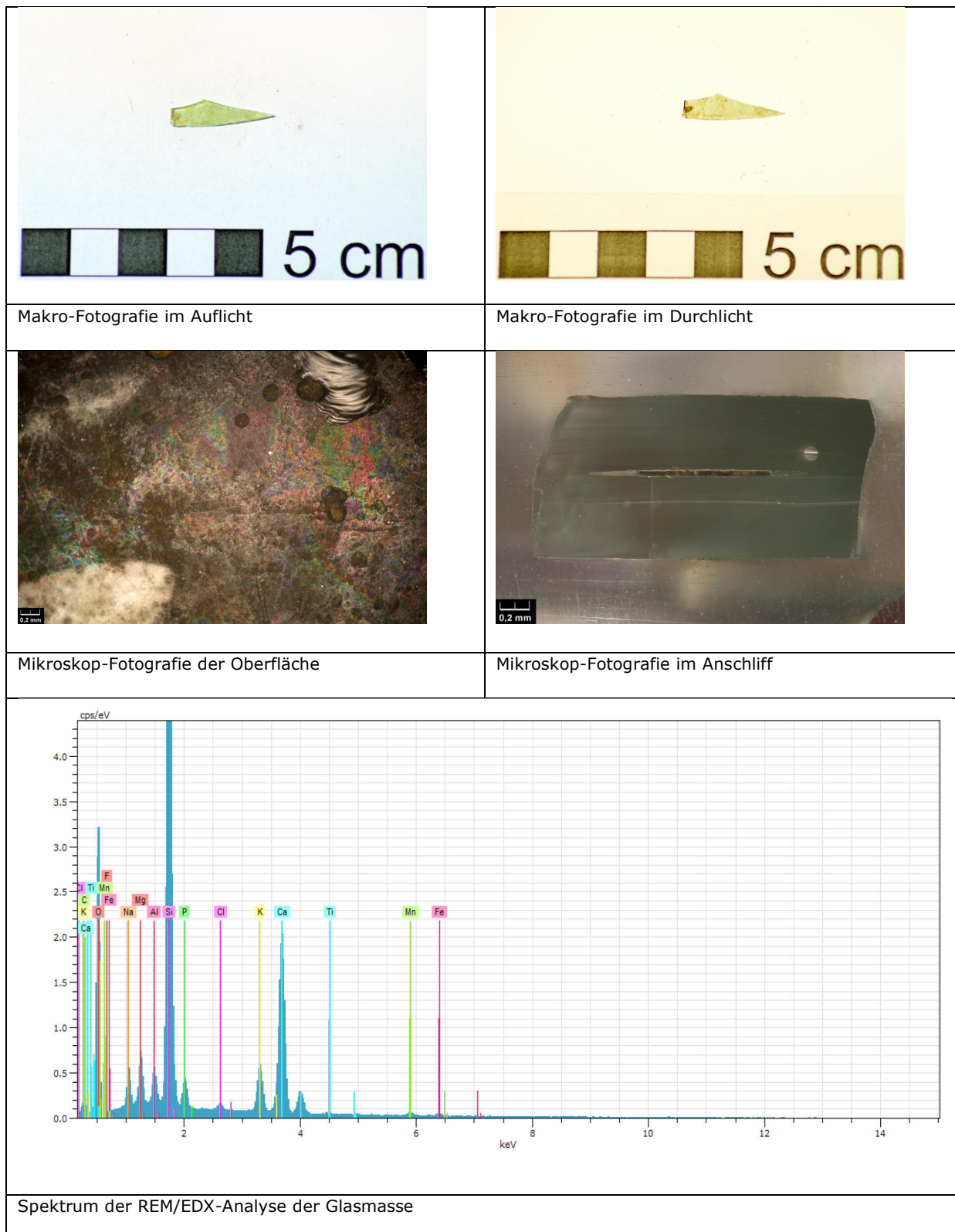
BA_G_031

z. T. Punkt-/Ringkorrosion, z. T. Flächen-/Lamellenkorrosion mit Bildung einer irisierenden Schicht und deren teilweiser Ablösung

Glasmasse: etwas mehr K als Na, deutlich mehr Ca als K

Grüne Färbung durch Fe

Korrosionsschicht: Abbau von Na, P, K und Ca


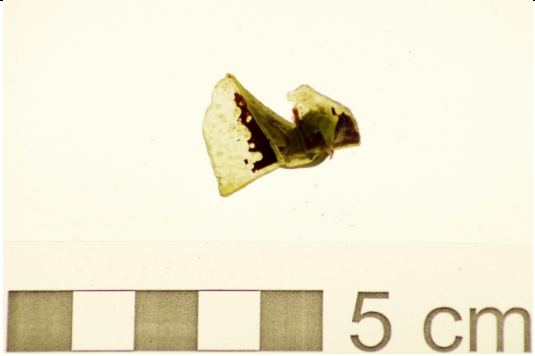
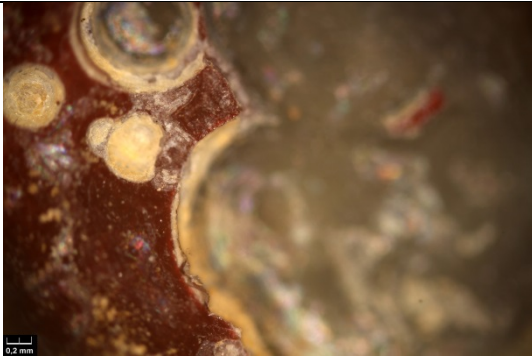
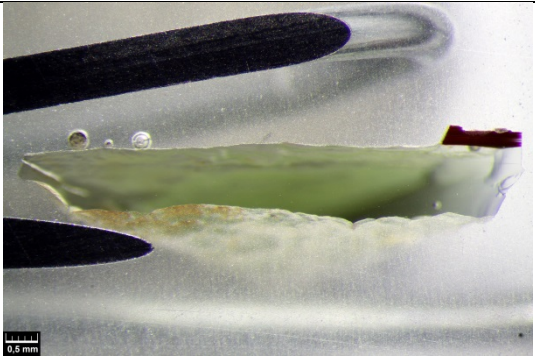
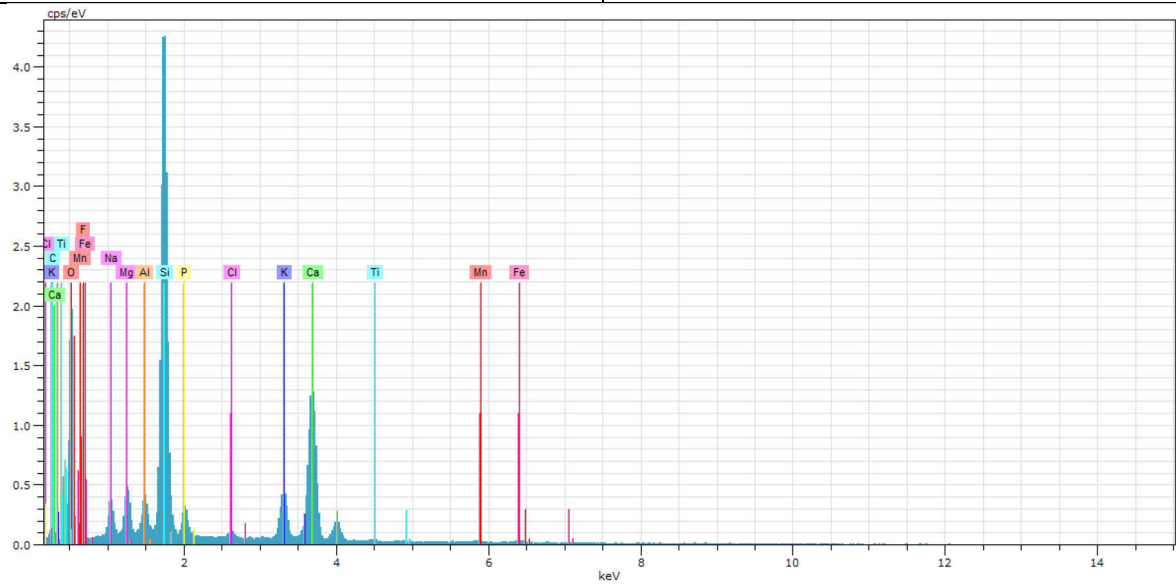


BA_G_032

Punkt-/Ringkorrosion auf Trägerglas und Überfang, z. T. komplett durch den Überfang hindurch; z. T. gelbliche Ablagerungen in den Korrosionslöchern
 Glasmasse (Trägerglas und Überfang): mehr K als Na, deutlich mehr Ca als K: Holzasche-Kalk-Glas

Zusammensetzung von Trägerglas und Überfang ist sehr ähnlich

Korrosionsschicht: Abbau von Na, Mg, K, Ca und z. T. Si; Konzentration von Fe, P, Al und z. T. Ti

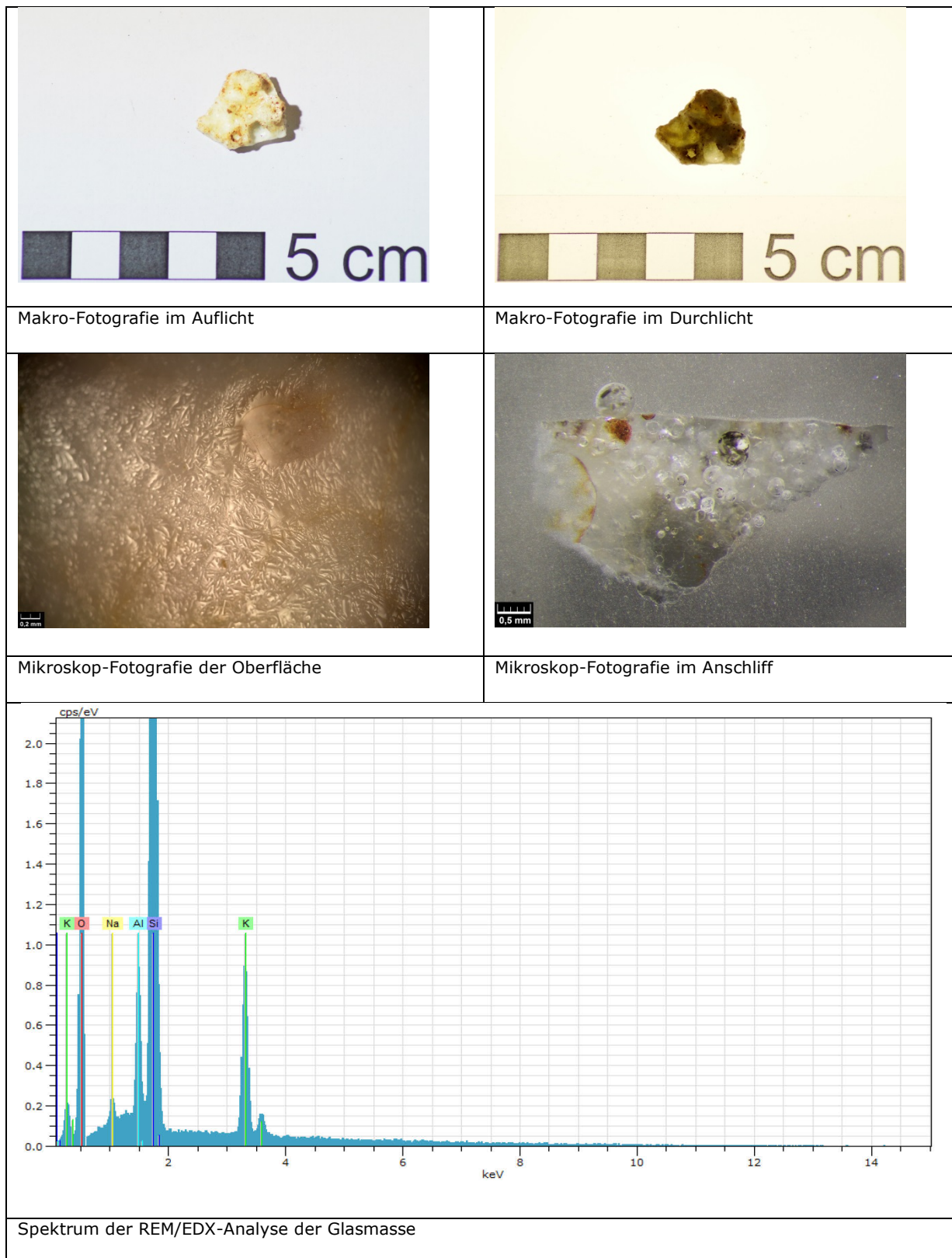
	
<p>Makro-Fotografie im Auflicht</p>	<p>Makro-Fotografie im Durchlicht</p>
	
<p>Mikroskop-Fotografie der Oberfläche</p>	<p>Mikroskop-Fotografie im Anschliff</p>
	
<p>Spektrum der REM/EDX-Analyse der Glasmasse</p>	

BA_G_034

Schaumartige Struktur, viele Luftblasen (Fritte)

Z. T. braune Ablagerungen/Anhaftungen, eine Seite glatter mit kristalliner Struktur

Keine homogene Glasmasse, nicht komplett aufgeschmolzen; einzelne Sandkörner in der Masse sind noch vorhanden; Hauptbestandteile: Si, Al, K und z. T. Na

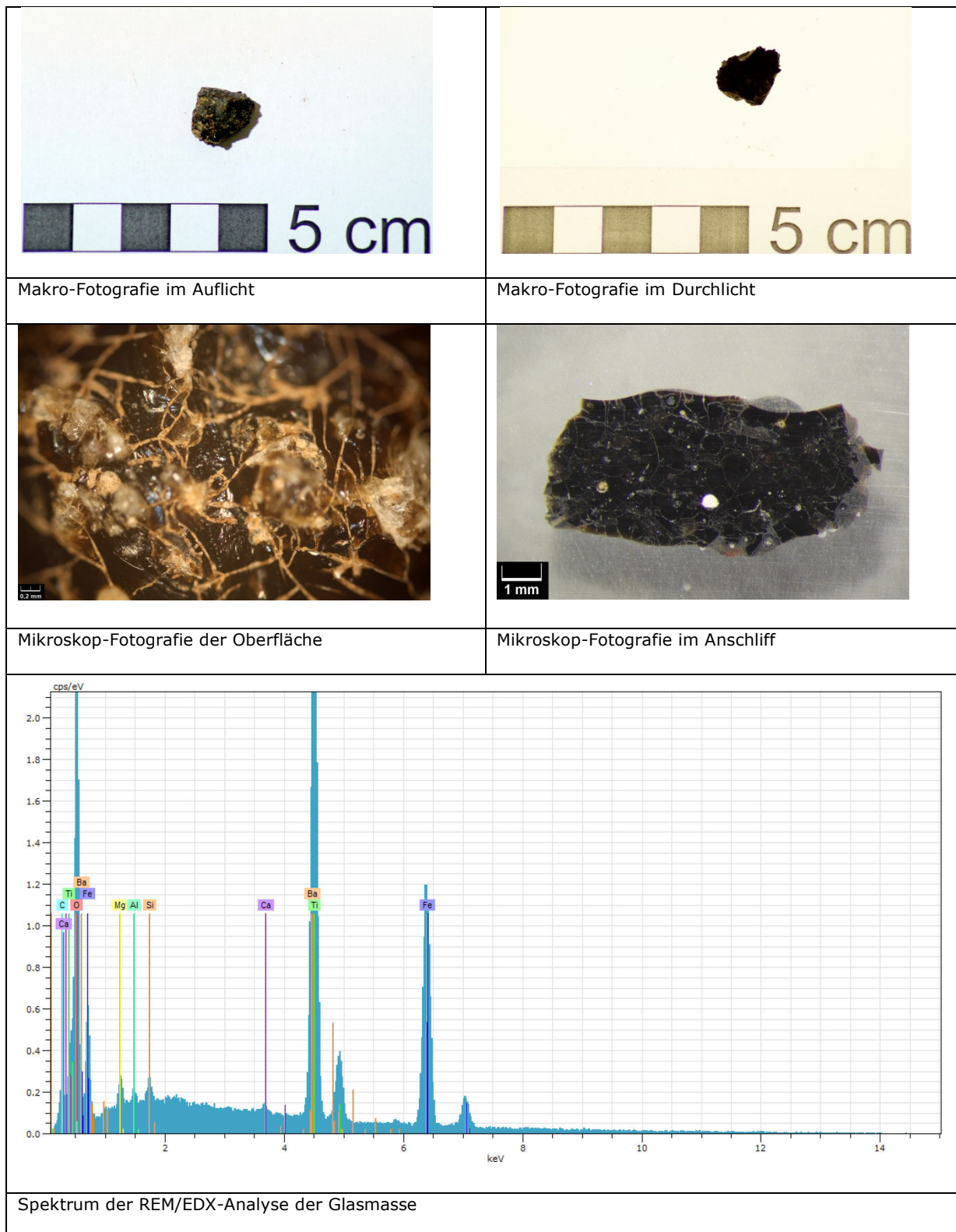


BA_G_044

Schaumartige Struktur, viele Luftblasen (Fritte)

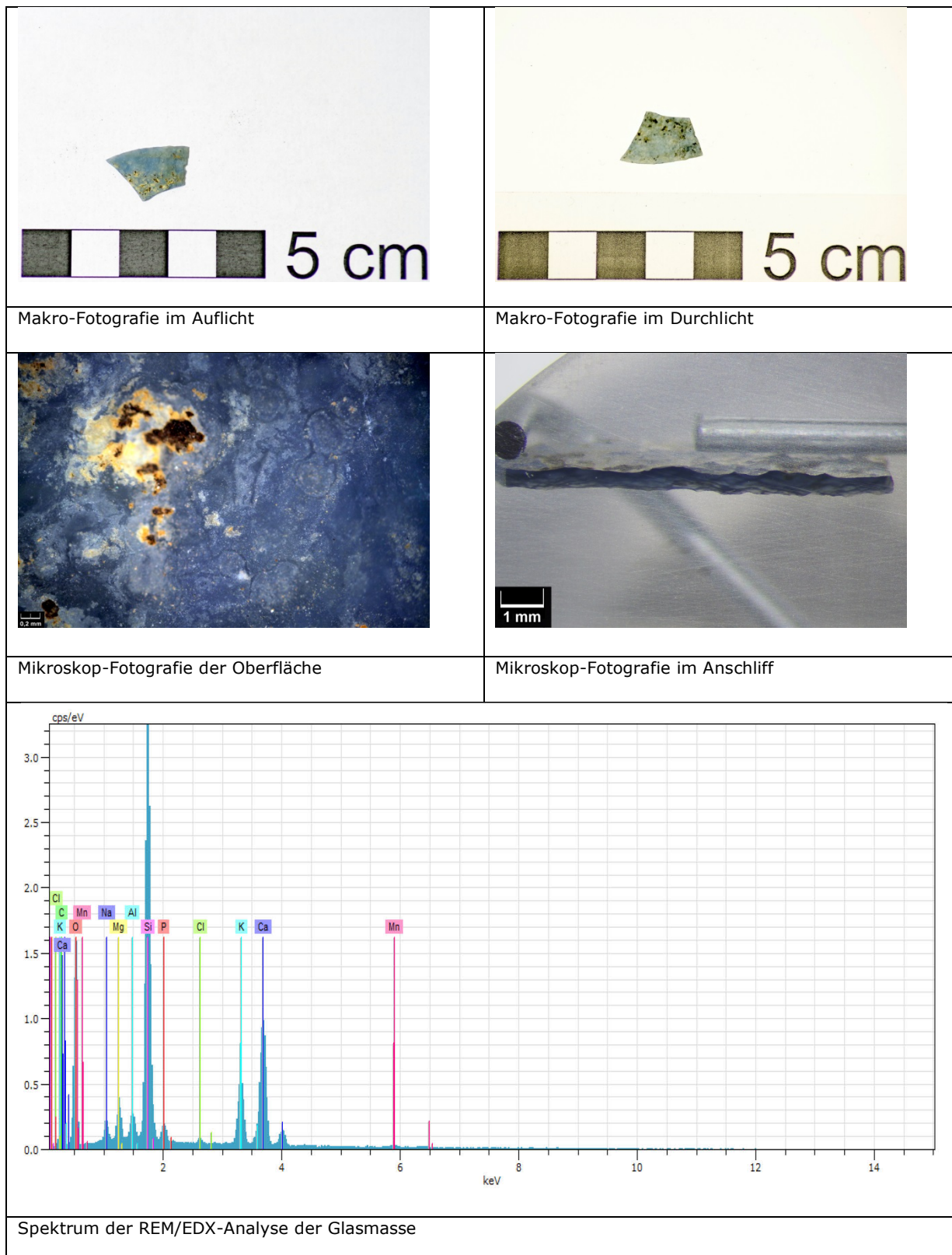
Z. T. braune Ablagerungen/Anhaftungen; Oberfläche wirkt rissig, braune Ablagerungen vor allem in den Rissen

Keine homogene Glasmasse, nicht komplett aufgeschmolzen; einzelne Sandkörner in der Masse sind noch vorhanden; einzelne Ti/Ba und Fe-Partikel, sowie Mg-Partikel sind noch vorhanden; hoher Al-Anteil, deutlich mehr Na als K; Ca nachweisbar



BA_G_064

Sehr dünne Scherbe, evtl. viel Materialverlust durch Korrosion
 Starke flächendeckende Punkt-/Ringkorrosion, z. T. gelbliche Ablagerungen, z. T. dunkelbraune Flecken darauf
 Glasmasse: mehr K als Na, mehr Ca als K: Holzasche-Kalk-Glas
 Korrosionsschicht: Abbau von Na, K und Ca, Konzentration von Al und z. T. P



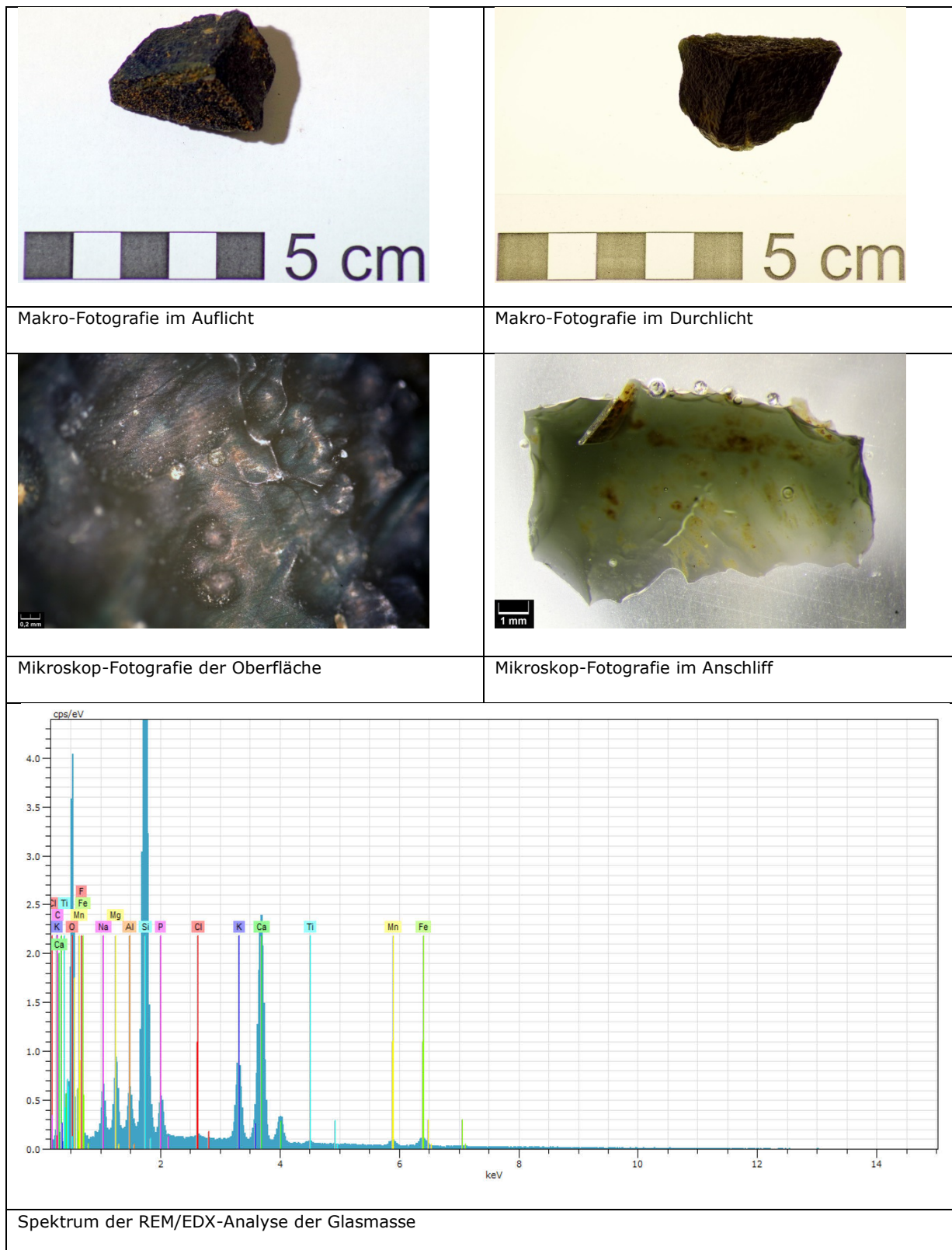
BA_G_075

Starke Punkt-/Ringkorrosion

Glasmasse: mehr K als Na, deutlich mehr Ca als K: Holzasche-Kalk-Glas

Grüne Färbung durch Fe

Korrosionsschicht: Konzentration von Fe, P, al und z. T. Ti/Ba

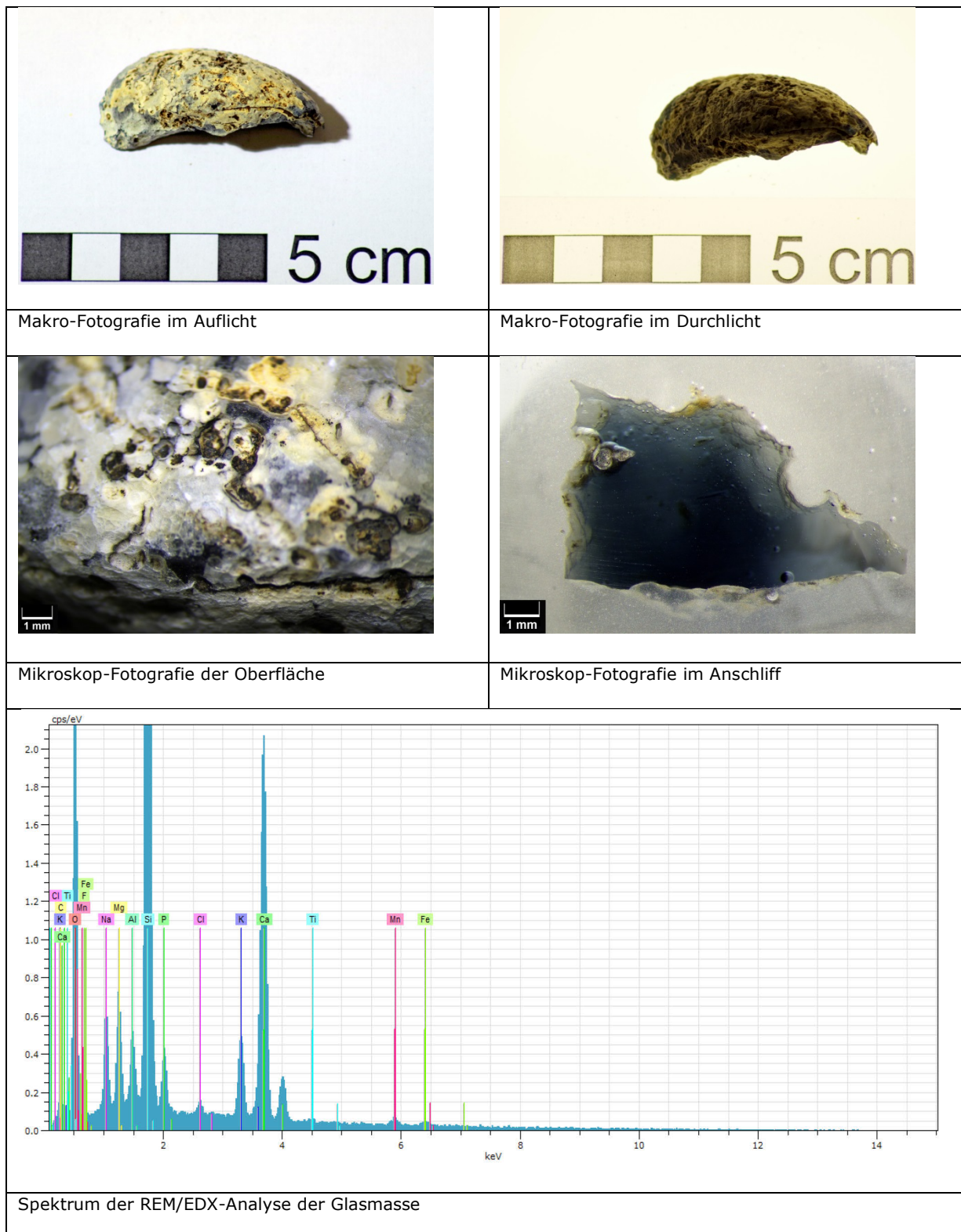


BA_G_077

Starke Punkt-/Ringkorrosion, flächendeckend weiß-gelbliche Ablagerungen

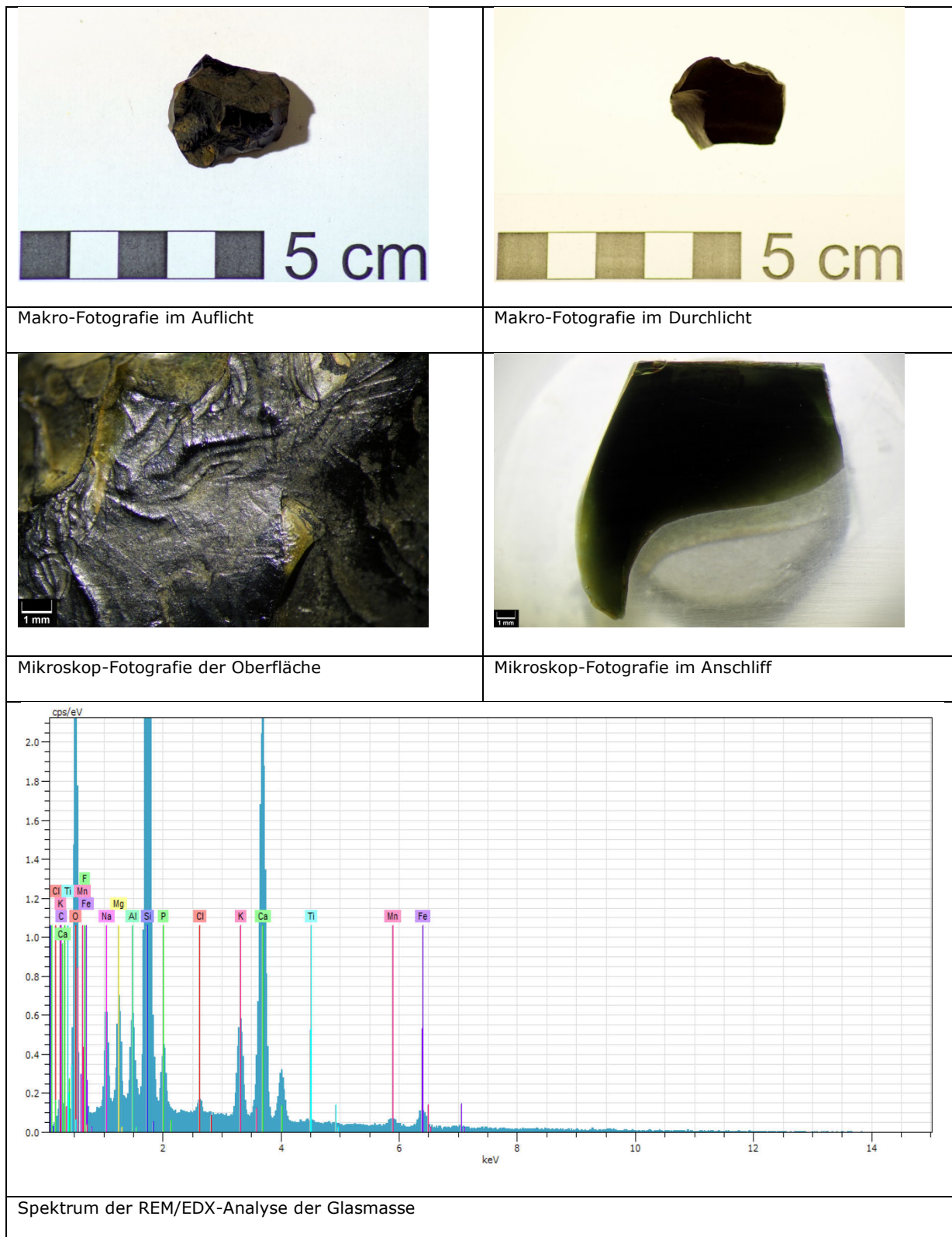
Glasmasse: Na und K etwa gleichwertig (evtl. sogar mehr Na als K, relativ hohe Cl-Werte könnten auf Zugabe von NaCl hindeuten); deutlich mehr Ca als Na und K: Holzasche-Kalk-Glas

Korrosionsschicht: Abbau von Na, Mg, K, Ca und z. T. Cl; Konzentration von Al und P; einzelne Inseln von Fe und Mn



BA_G_079

Oberfläche wirkt makroskopisch glatt und kompakt, sehr dünne bräunliche Ablagerungen
 Glasmasse: Na und K etwa gleichwertig (relativ hohe Cl-Werte könnten auf Zugabe von NaCl hindeuten), deutlich mehr Ca als Na und K: Holzasche-Kalk-Glas
 Keine Korrosionsschicht messbar

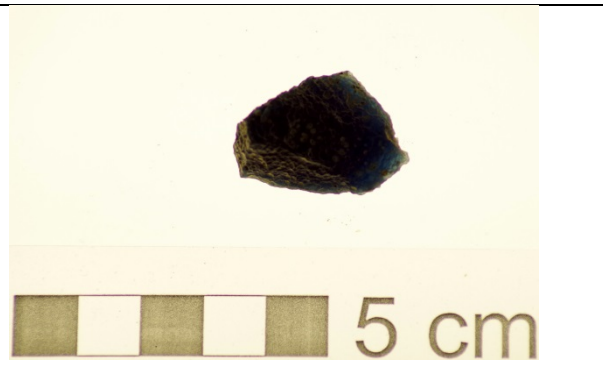


BA_G_080

Starke Punkt-/Ringkorrosion, gelb-bräunlich Ablagerungen in Korrosionslöchern
 Glasmasse: mehr K als Na, deutlich mehr Ca als K: Holzasche-Kalk-Glas
 Korrosionsschicht: Abbau von K, Na und Ca; Konzentration von Al, P, Fe, und Ti, einzelne Ausfällungen von Mn



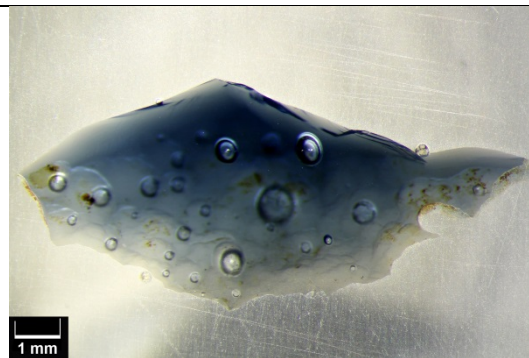
Makro-Fotografie im Auflicht



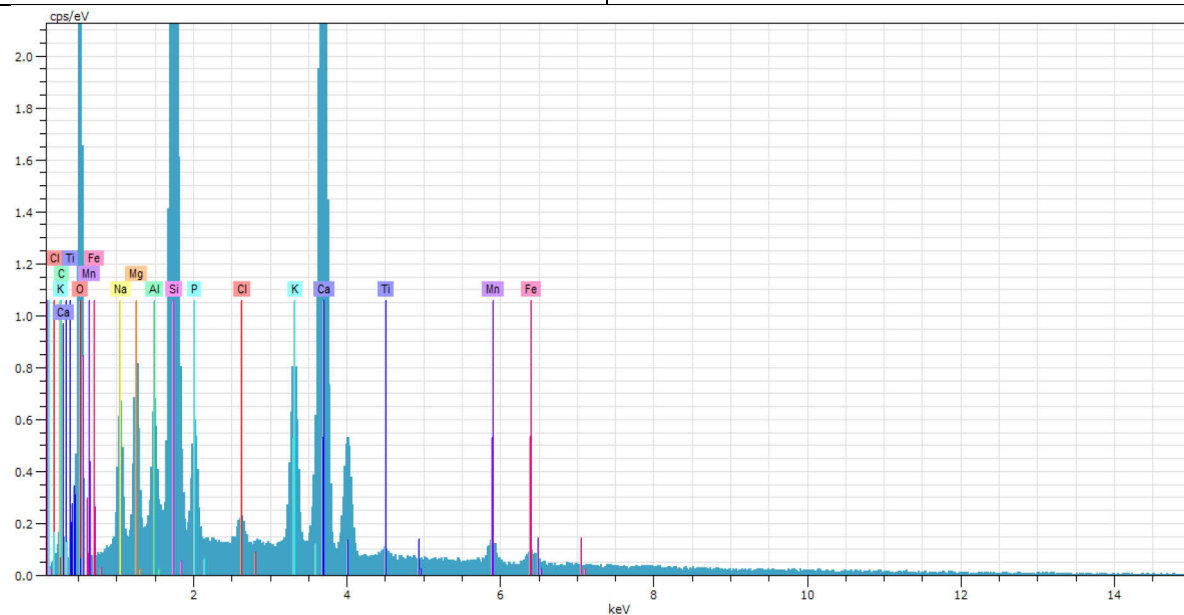
Makro-Fotografie im Durchlicht



Mikroskop-Fotografie der Oberfläche



Mikroskop-Fotografie im Anschliff



Spektrum der REM/EDX-Analyse der Glasmasse

BA_G_082

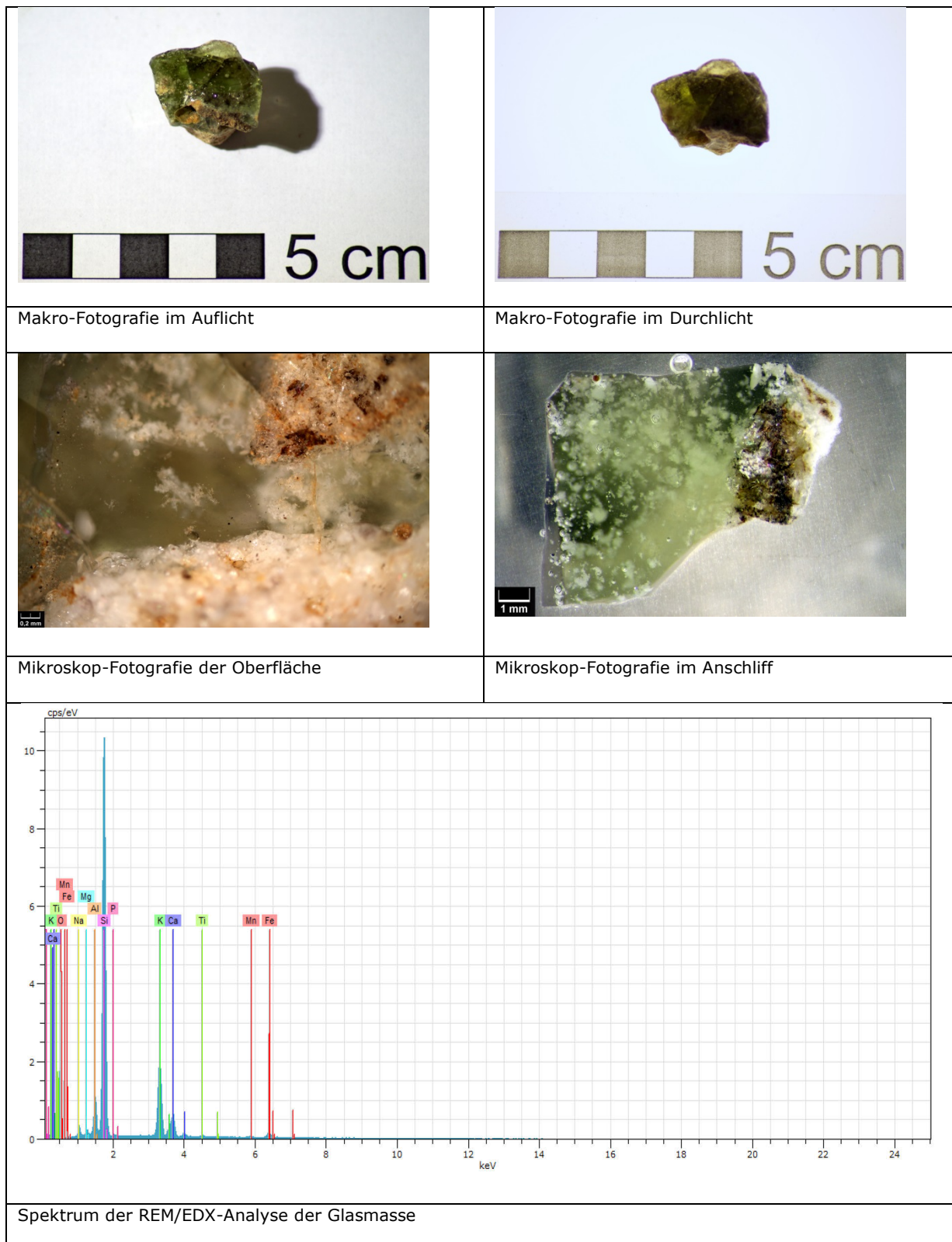
Verglasung mit Anhaftung von Ofenwand/Hafen

Makroskopisch keine Korrosion festzustellen

Viele Luftblasen und weißliche Einschlüsse

Glasmasse: hauptsächlich Si, weniger K, noch weniger Ca, Al, Na

Weißer Einschlüsse: Ca und P



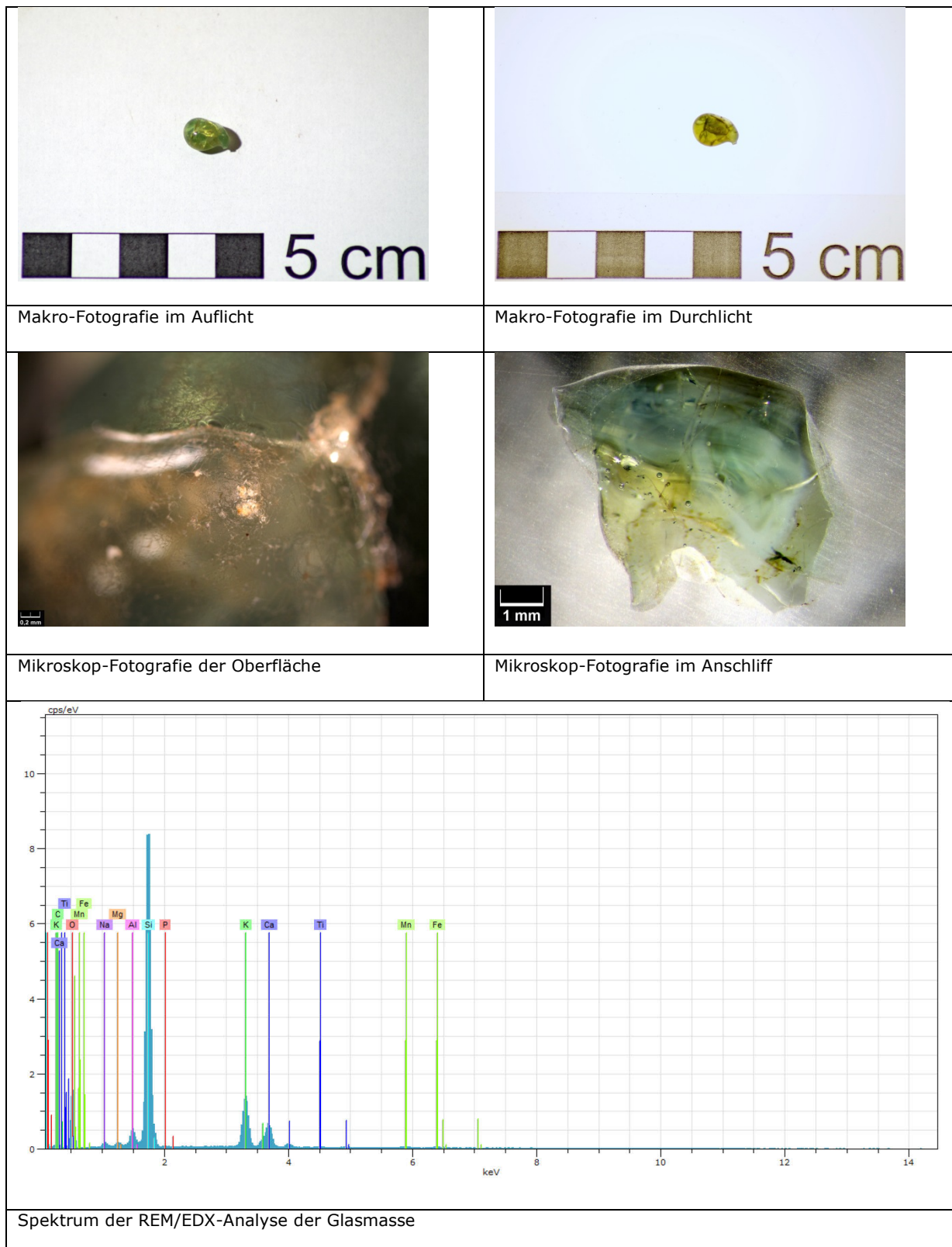
BA_G_092

Makroskopisch keine Korrosion festzustellen

Lederartige Struktur der Oberfläche, Risse/Sprünge durchziehen den Tropfen

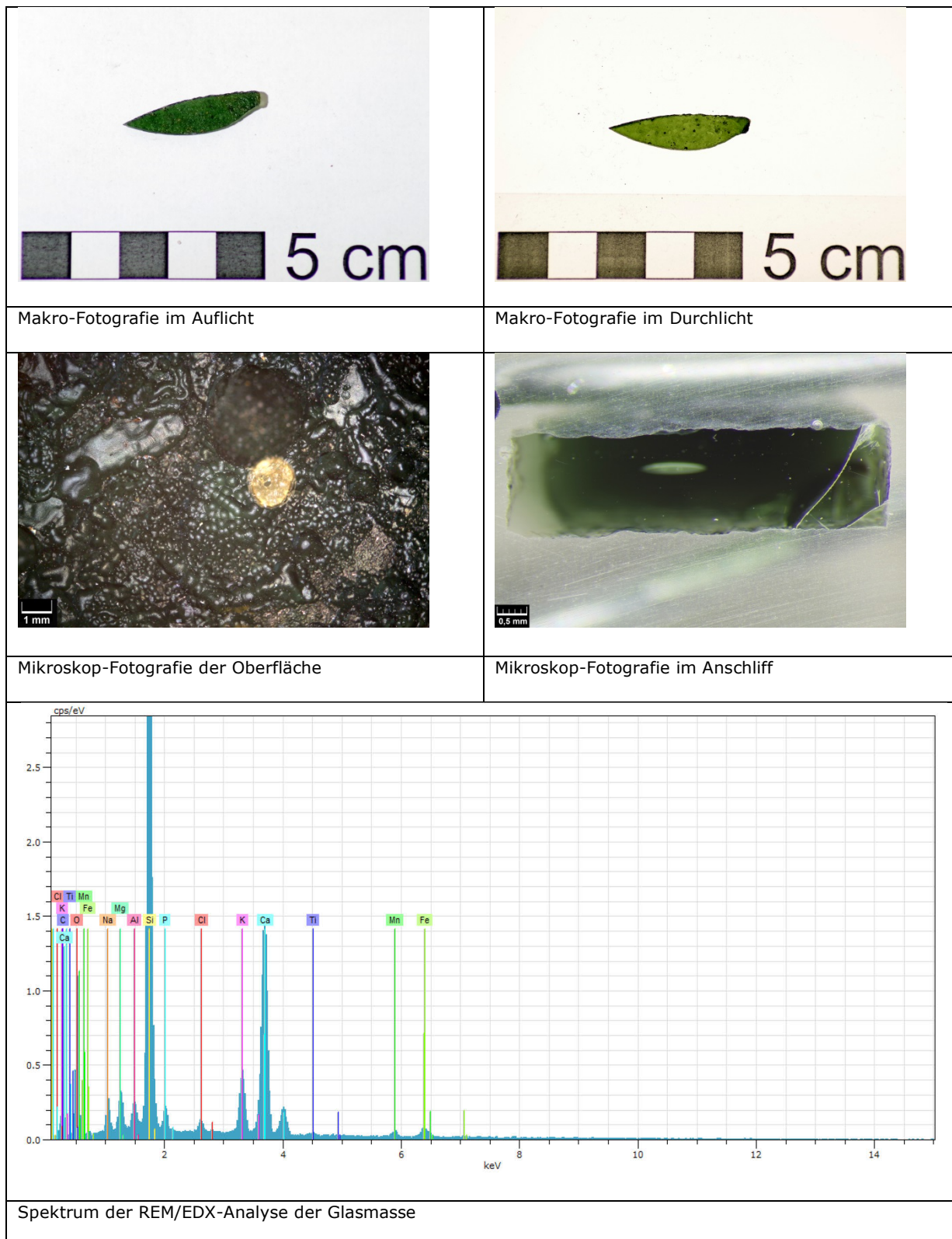
Glasmasse: Sehr viel Si, viel K, wenig Ca und Al (höchstwahrscheinlich keine fertige Glasmasse)

Keine Korrosion messbar



BA_G_097

Flächendeckend starke Punkt-/Ringkorrosion, kaum Ablagerungen in den Korrosionslöchern
 Sehr dünne Scherbe, evtl. viel Materialverlust durch Korrosion
 Glasmasse: mehr K als Na, deutlich mehr Ca als K
 Grüne Färbung durch Fe
 Sand/Sediment in Riss



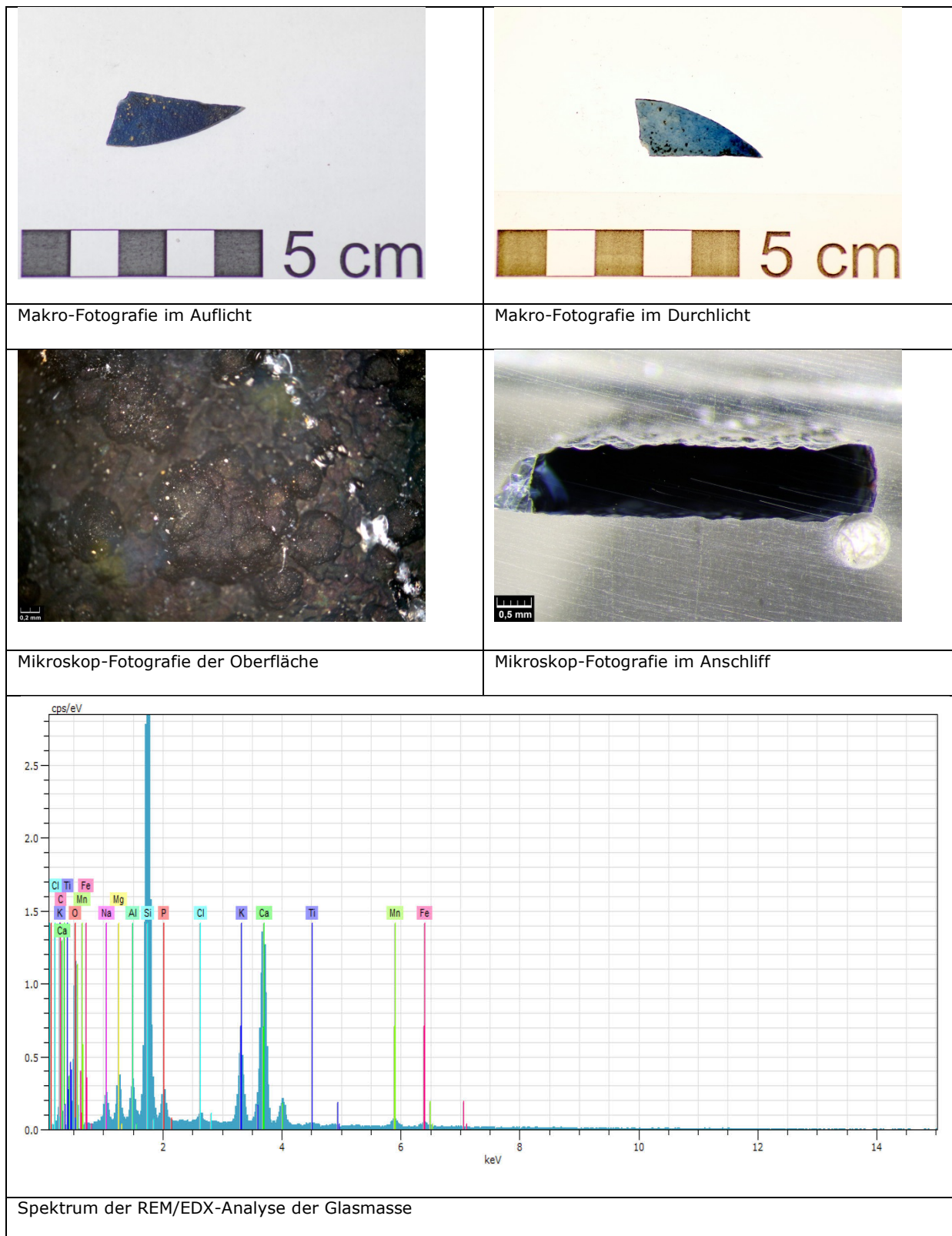
BA_G_098

Flächendeckend starke Punkt-/Ringkorrosion, z. T. bräunliche Ablagerungen in den Korrosionslöchern

Sehr dünne Scherbe, evtl. viel Materialverlust durch Korrosion

Glasmasse: mehr K als Na, deutlich mehr Ca als K: Holzasche-Kalk-Glas

Korrosionsschicht: Abbau von Na, K und Ca; Konzentration von Al, Fe und P



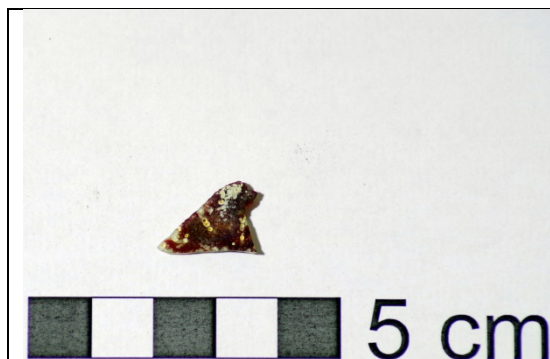
BA_G_099

Punkt-/Ringkorrosion auf Trägerglas und Überfang, z. T. komplett durch den Überfang hindurch; z. T. weiß-gelbliche Ablagerungen

Glasmasse (Trägerglas und Überfang): mehr K als Na, deutlich mehr Ca als K

Rote Färbung des Überfangs durch Cu

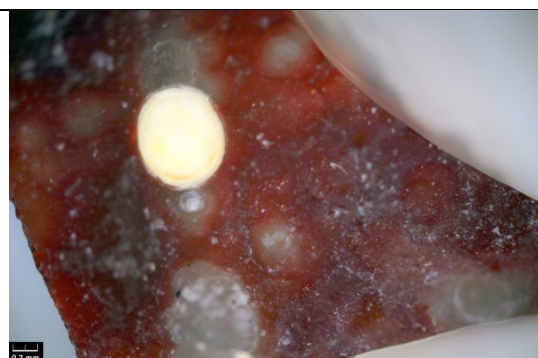
Korrosionsschicht: Abbau von Na, K, und Ca; Konzentration von Al, P und Fe; vereinzelt Manganausfällungen



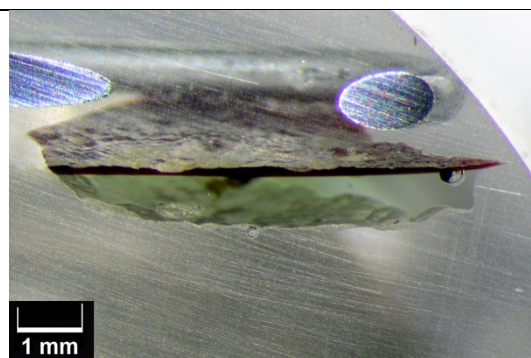
Makro-Fotografie im Auflicht



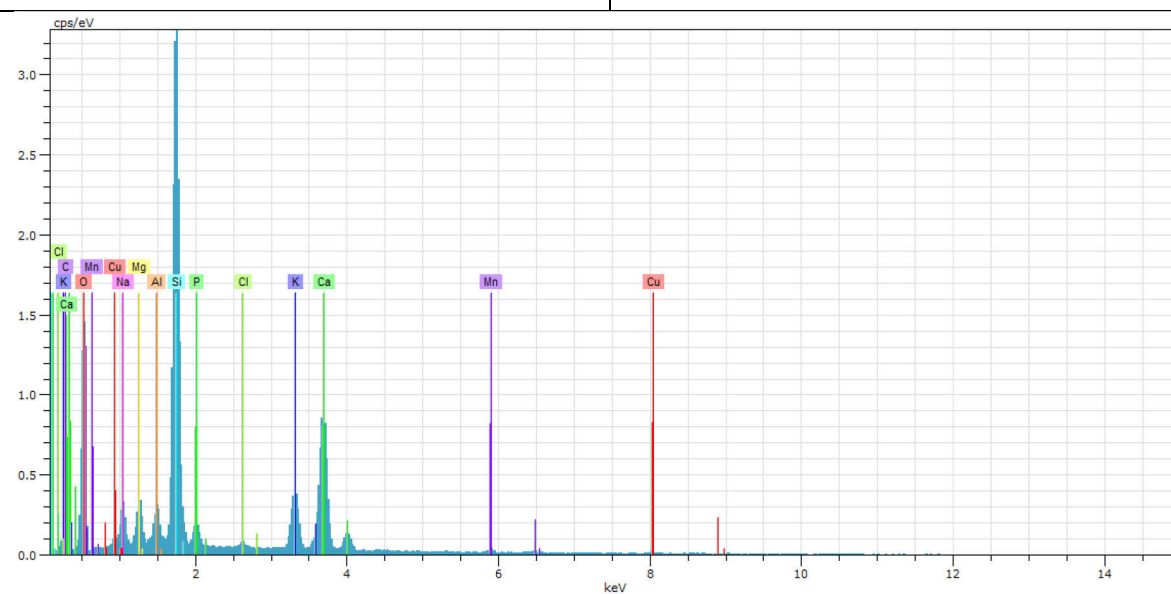
Makro-Fotografie im Durchlicht



Mikroskop-Fotografie der Oberfläche



Mikroskop-Fotografie im Anschliff



Spektrum der REM/EDX-Analyse der Glasmasse

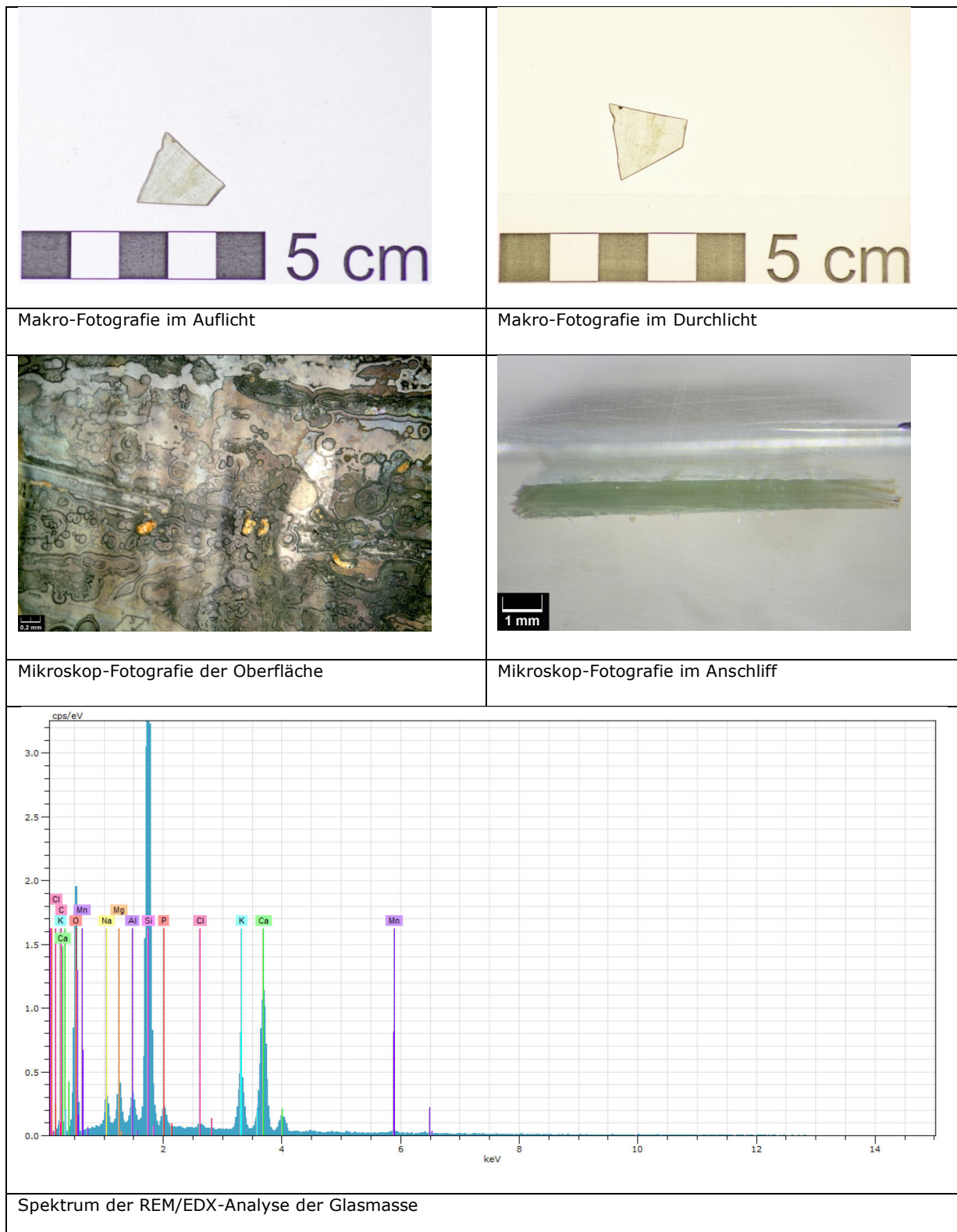
BA_G_100

Fast farblos, keine Korrosion makroskopisch erkennbar; längliche Strukturen auf der Oberfläche erkennbar

Punkt-/Ringkorrosion mikroskopisch erkennbar, z. T. gelbliche Ablagerungen in den Korrosionslöchern

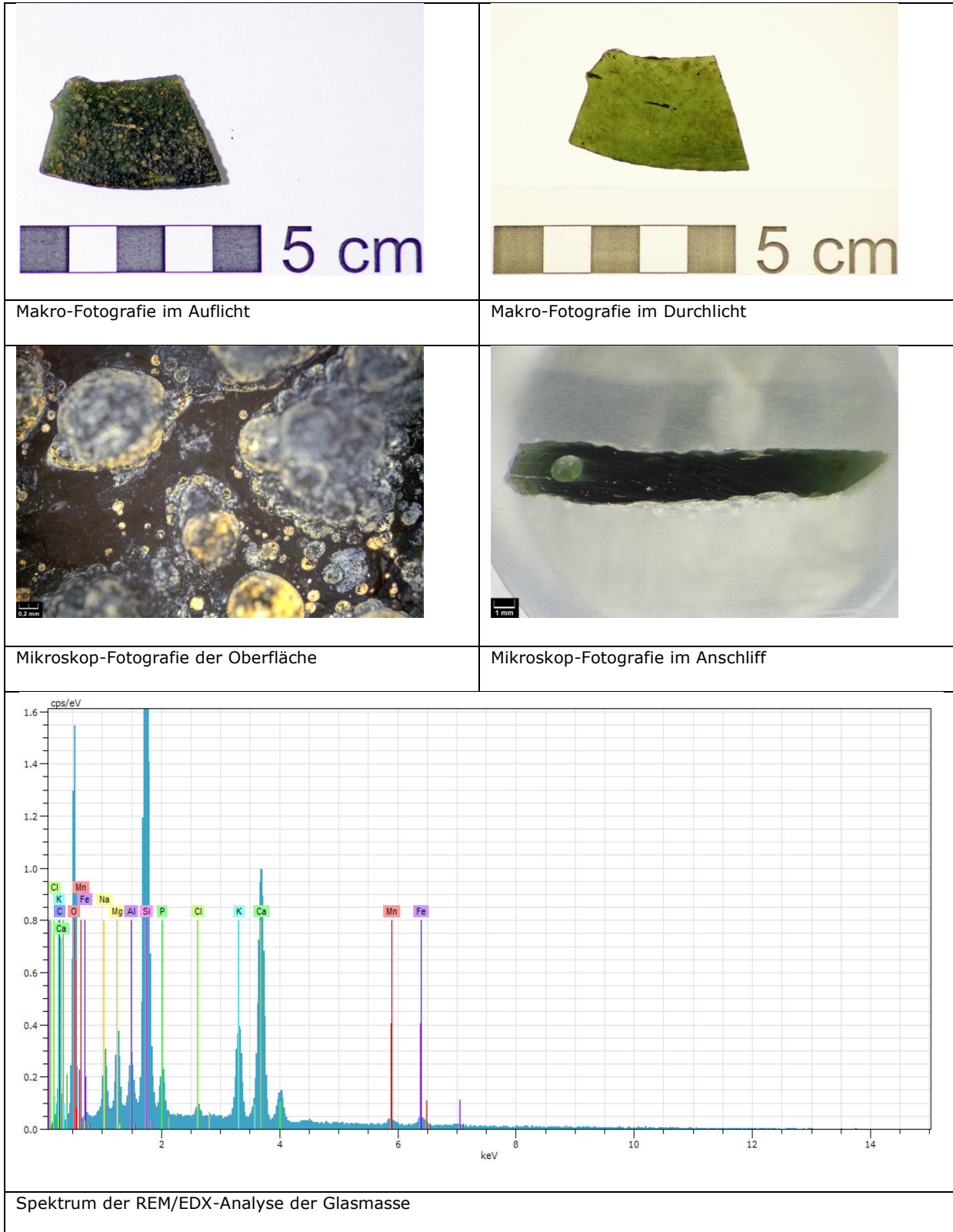
Glasmasse: mehr K als Na, deutlich mehr Ca als K: Holzasche-Kalk-Glas

Korrosionsschicht: Anreicherung von Fe und Al



BA_G_102

Flächendeckend starke Punkt-/Ringkorrosion, z. T. gelb-bräunliche Ablagerungen
 Glasmasse: mehr K als Na, deutlich mehr Ca als K: Holzasche-Kalk-Glas
 Keine Korrosion gemessen

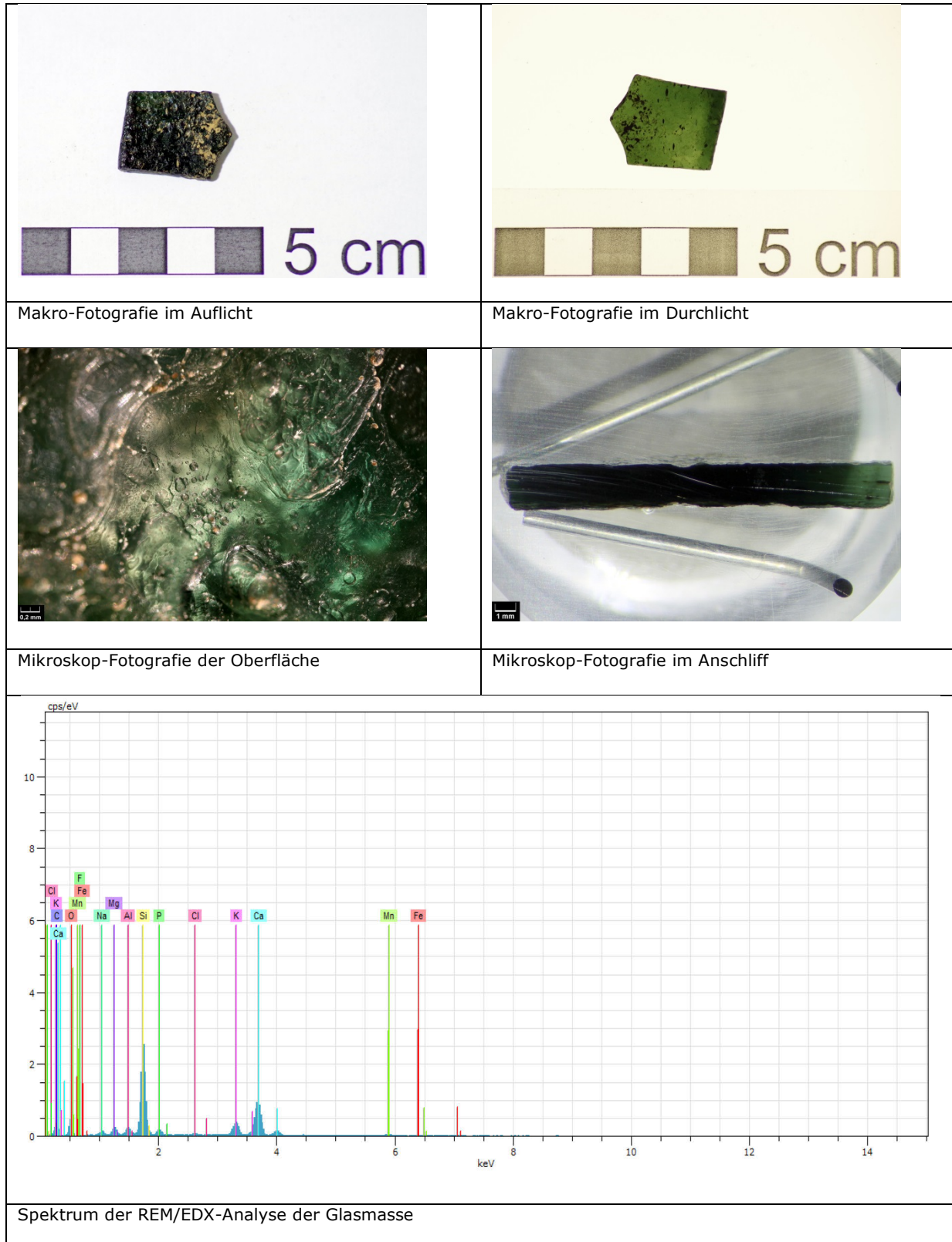


ICP-Analysen: FAU Erlangen, WW III – Glas und Keramik – Analytisches Labor	
Blei (PbO)	
Nickel (NiO)	0,01
Zink (ZnO)	0,04
Zirkon (ZrO ₂)	0,05
Kobalt (CoO)	0,01
Kupfer (CuO)	0,03
Strontium (SrO)	0,08
Schwefel (SO ₃)	0,34
Titanium (TiO ₂)	0,22
Barium (BaO)	0,3
Mangan (MnO ₂)	1,51
Eisen (Fe ₂ O ₃)	2,37
Natrium (Na ₂ O)	3,22
Aluminium (Al ₂ O ₃)	3,46
Magnesium (MgO)	3,88
Phosphor (P ₂ O ₅)	4,1
Kalium (K ₂ O)	6,09
Calcium (CaO)	21,83
Silicium (SiO ₂)	52,07
Probe	BA_G_102

Analyse: Proben in Achatmühle zerkleinert; SiO₂: grav. Schmelzaufschluss; restliche Elemente: HF/HClO₄ Aufschluss mit ICP (Spectro Genesis SOP/EOP) analysiert

BA_G_103

Flächendeckend starke Punkt-/Ringkorrosion, z. T. gelb-bräunliche Ablagerungen
 Glasmasse: K und Na in etwa gleichwertig, deutlich mehr Ca als K: Holzasche-Kalk-Glas
 Sand/Sediment in zackigen Ausbrüchen
 Keine Korrosion messbar



ICP-Analysen: FAU Erlangen, WW III – Glas und Keramik – Analytisches Labor	
Blei (PbO)	
Nickel (NiO)	0,03
Zink (ZnO)	0,04
Zirkon (ZrO ₂)	0,04
Kobalt (CoO)	0,03
Kupfer (CuO)	0,1
Strontium (SrO)	0,09
Schwefel (SO ₃)	0,3
Titanium (TiO ₂)	0,27
Barium (BaO)	0,28
Mangan (MnO ₂)	1,3
Eisen (Fe ₂ O ₃)	2,72
Natrium (Na ₂ O)	3,34
Aluminium (Al ₂ O ₃)	3,05
Magnesium (MgO)	3,48
Phosphor (P ₂ O ₅)	3,86
Kalium (K ₂ O)	4,51
Calcium (CaO)	23,71
Silicium (SiO ₂)	51,9
Probe	BA_G_103

Analyse: Proben in Achatmühle zerkleinert; SiO₂: grav. Schmelzaufschluss; restliche Elemente: HF/HClO₄ Aufschluss mit ICP (Spectro Genesis SOP/EOP) analysiert

BA_G_106

Tiefenrisskorrosion, feine Risse an der Oberfläche und in den darunter liegenden Schichten; gelbliche (auf einer Seite auch schwarz-bräunliche) Verfärbung der Oberfläche; darunter Kernglas noch weitgehend erhalten

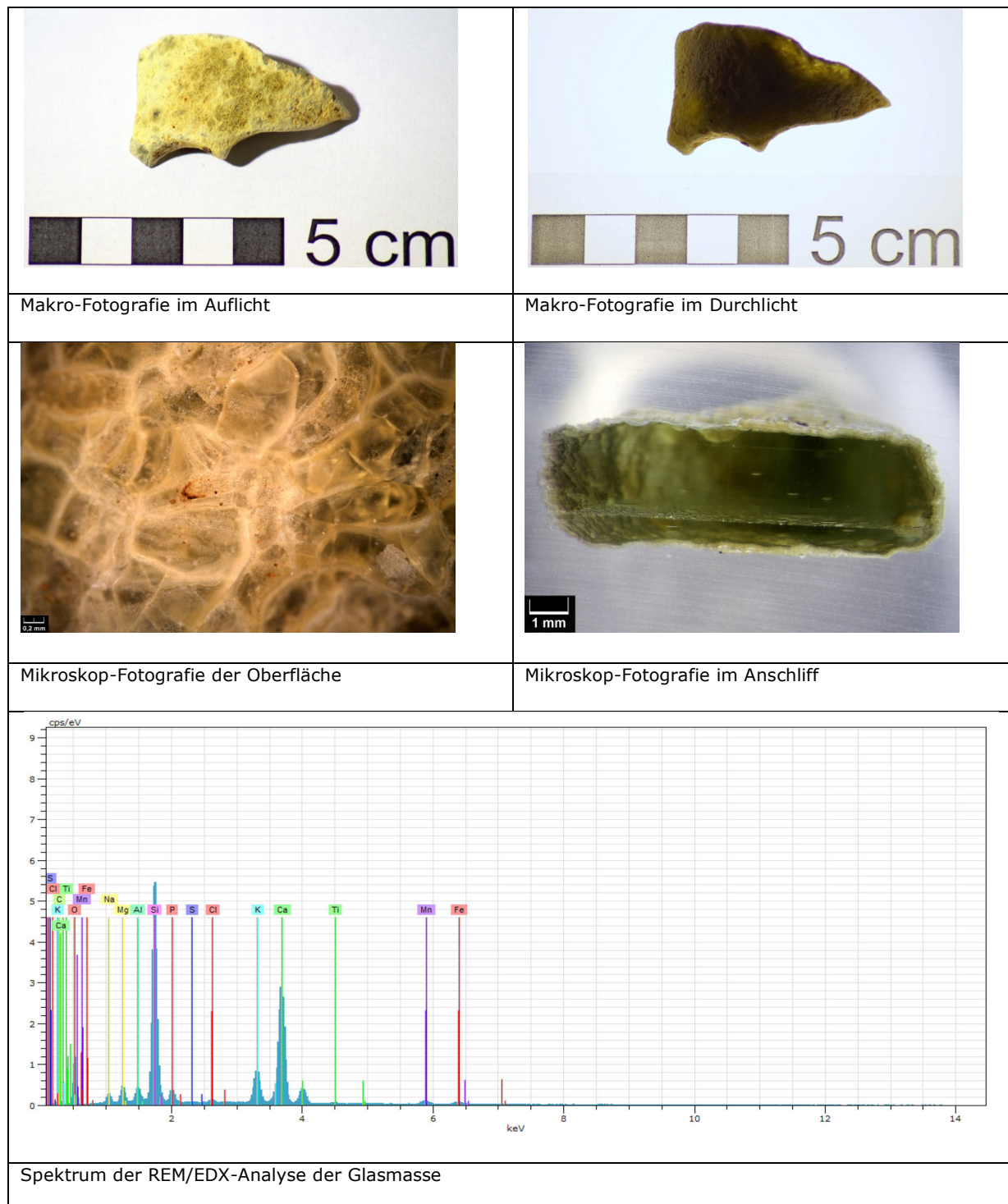
Im Querschnitt: konzentrische Risse durchziehen die gesamte Korrosionsschicht, z. T.

Ablösung der oberen Schichten

Glasmasse: mehr K als Na, deutlich mehr Ca als K: Holzasche-Kalk-Glas

Grüne Färbung durch Fe

Korrosionsschicht: Abbau von Na, Ca, K und Mg; Konzentration von Al, von P hauptsächlich in der äußeren Schicht



BA_G_107

Starke Tiefenrisskorrosion, feine Risse an der Oberfläche und in den darunter liegenden Schichten; Schwarz-bräunliche (z. T. auch gelbliche) Verfärbung der Oberfläche

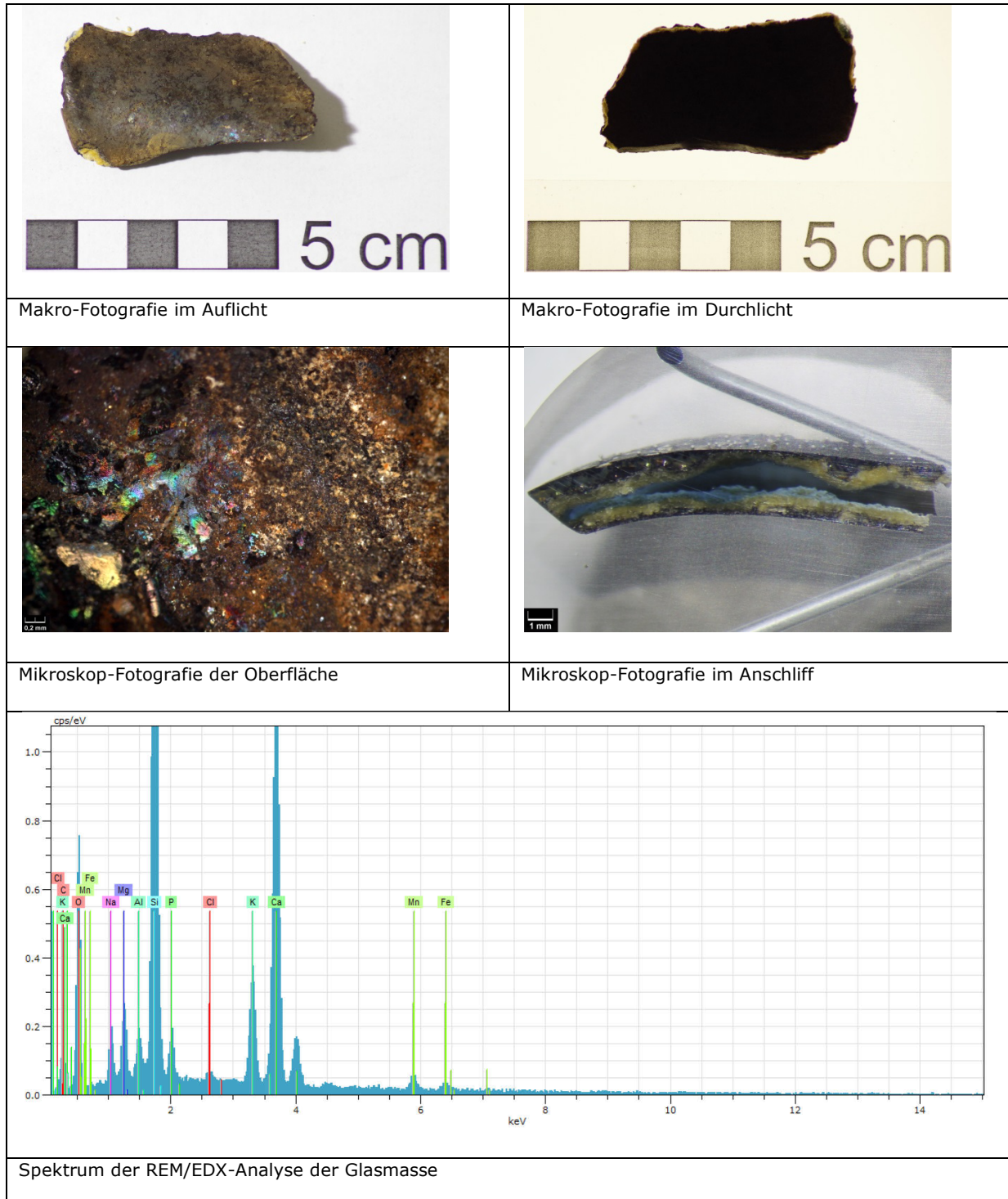
Originale Oberfläche ist großflächig noch vorhanden

Querschnitt: braun-schwarze Verfärbung an der Oberfläche, darunter bis zum Kernglas gelblich-weiße Verfärbung, konzentrische Risse durchziehen die gesamte Korrosionsschicht

Glasmasse: mehr K als Na, deutlich mehr Ca als K: Holzasche-Kalk-Glas

Blaue Färbung durch Cu und etwas mehr Co (Konzentration z. T. in der Korrosionsschicht)

Korrosionsschicht: Abbau von K, Na und Ca; Konzentration von Al, Fe und Ti; vereinzelte Manganausfällungen



BA_G_108

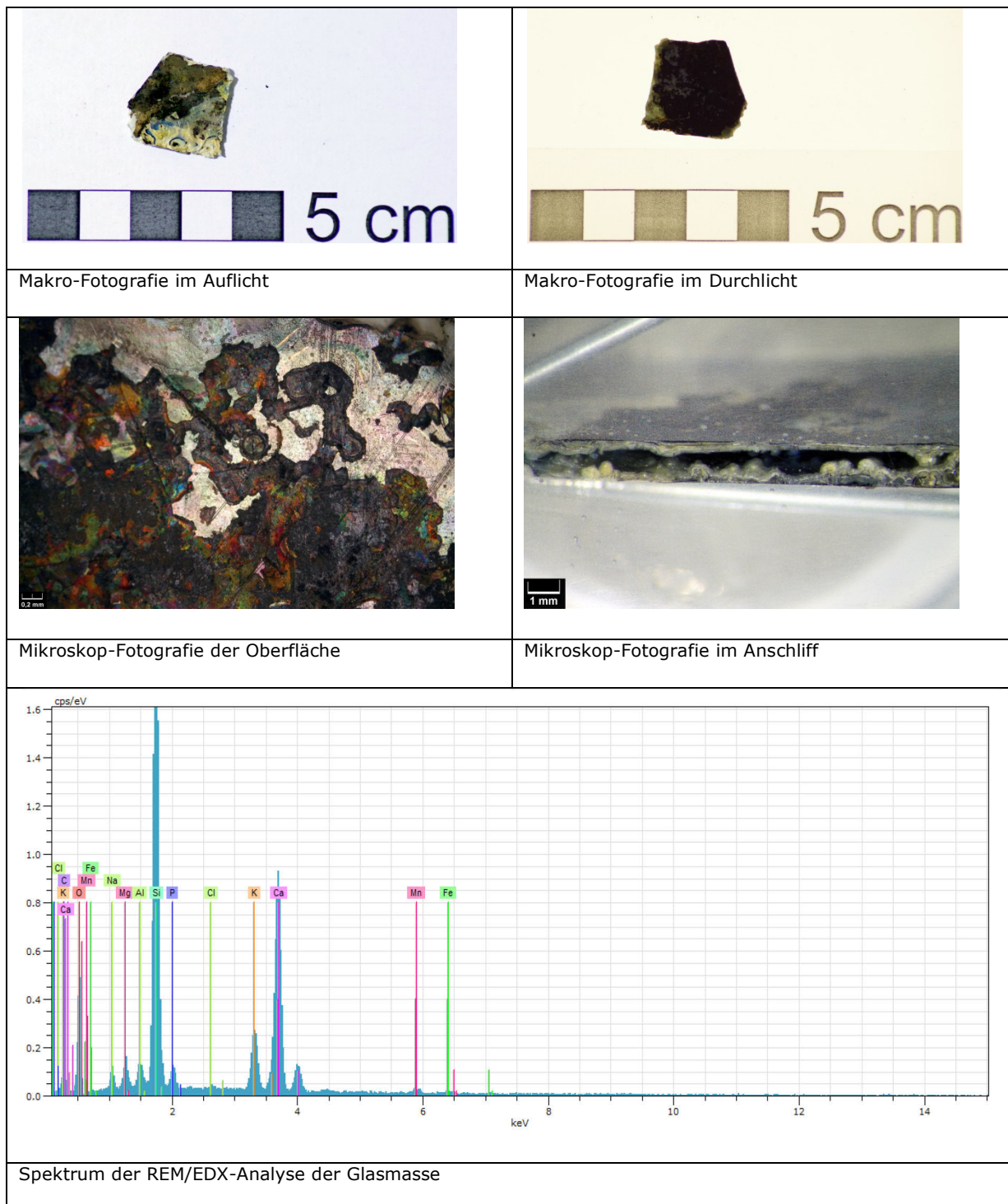
Sehr dünne Scherbe, evtl. viel Materialverlust durch Korrosion

Starke Tiefenrisskorrosion, feine Risse an der Oberfläche und in den darunter liegenden Schichten; Schwarz-bräunliche (z. T. auch gelbliche) Verfärbung der Oberfläche; z. T. mit Bildung einer irisierenden Schicht und teilweiser Ablösung

Glasmasse: mehr K als Na; deutlich mehr Ca als K: Holzasche-Kalk-Glas

Blaue Färbung durch Cu und Co

Korrosionsschicht: Abbau von Na, K und Ca; Konzentration von Al, Ti und Fe; vereinzelte Manganausfällungen, hier auch Anreicherung von Ni, Co, Cu und z. T. P; z. T. extreme Anreicherungen von P und Fe



BA_G_111

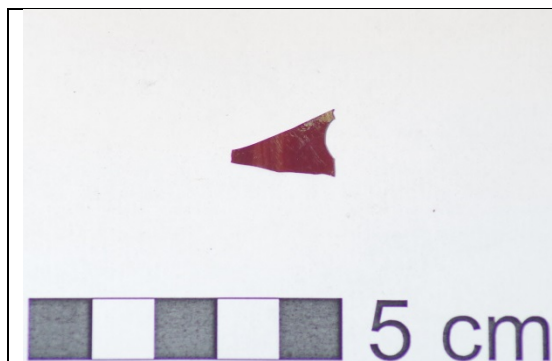
Roter Überfang, nur noch minimale Reste von Trägerglas

Makroskopisch und mikroskopisch keine Korrosion zu erkennen, z. T. hellbraune Ablagerungen/Anhaftungen

Glasmasse: mehr K als Na, mehr Ca als K: Holzasche-Kalk-Glas

(evtl. rote Färbung durch Cu)

Keine Korrosionsschicht messbar



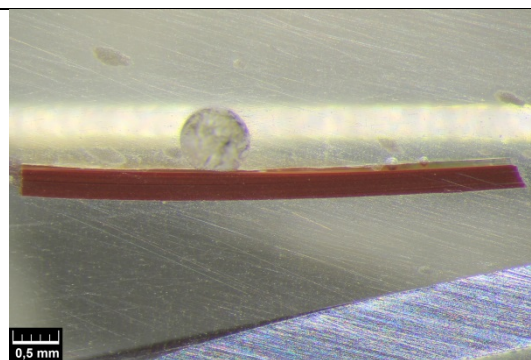
Makro-Fotografie im Auflicht



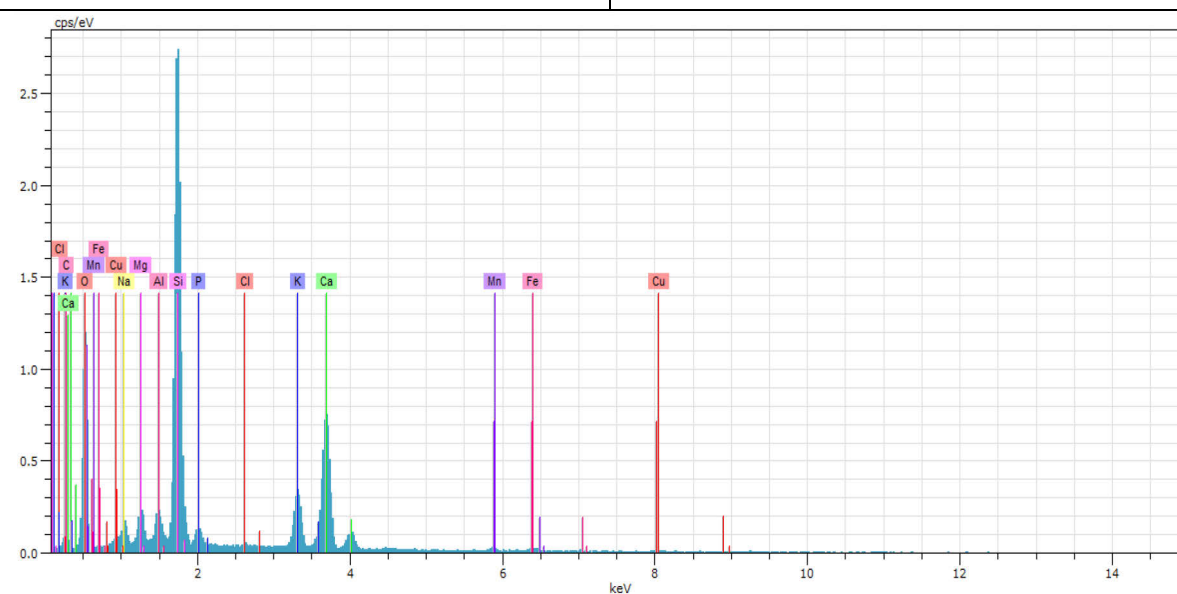
Makro-Fotografie im Durchlicht



Mikroskop-Fotografie der Oberfläche



Mikroskop-Fotografie im Anschliff



Spektrum der REM/EDX-Analyse der Glasmasse

BA_G_115

Leicht raue Oberfläche, minimale hellbraune Ablagerungen

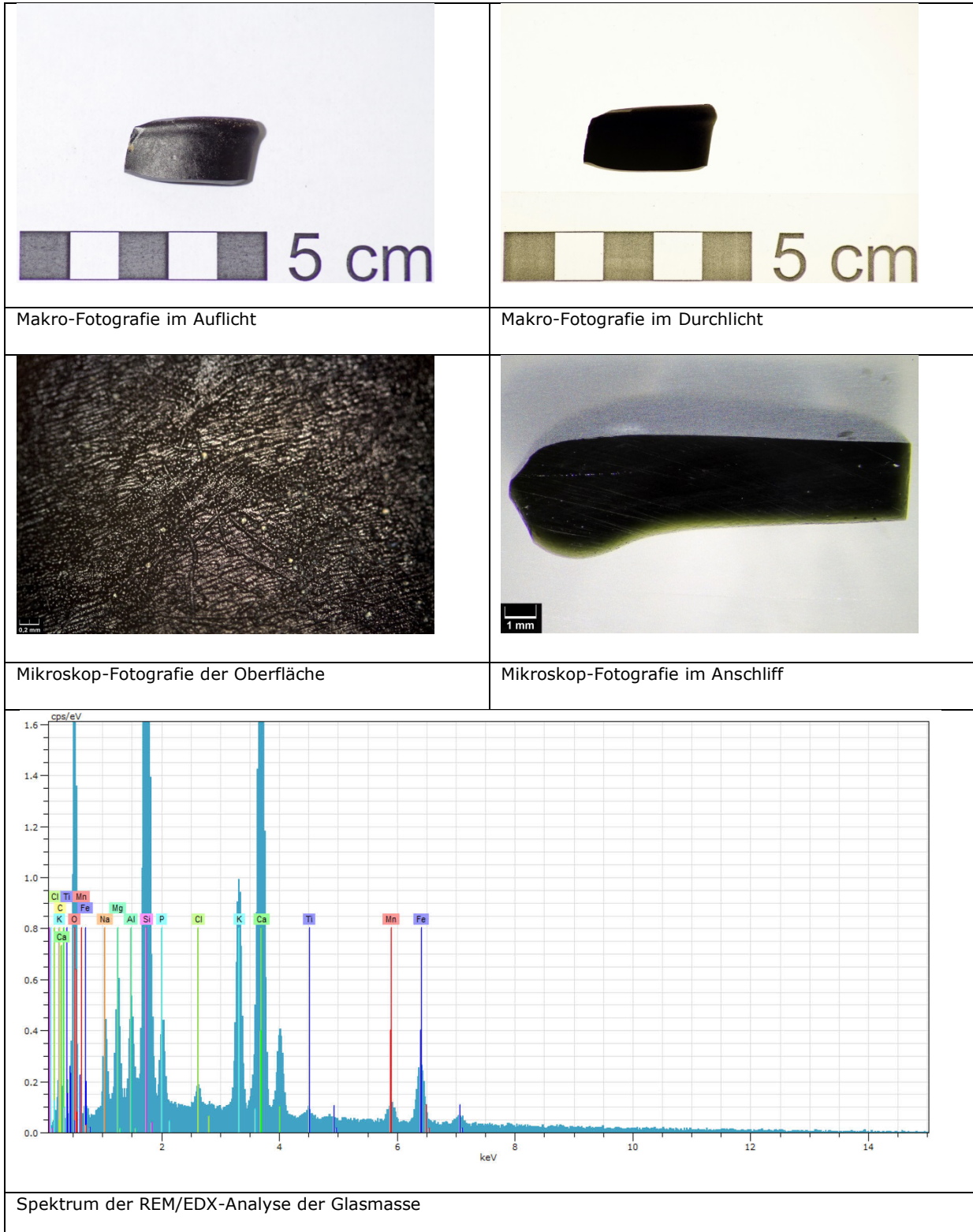
Makroskopisch keine Korrosion zu erkennen

Mikroskopisch leichte Punktkorrosion zu erkennen

Glasmasse: deutlich mehr K als Na, deutlich mehr Ca als K: Holzasche-Kalk-Glas

Dunkelgrüne Färbung durch Fe

Keine Korrosionsschicht messbar



BA_G_117

Fast farbloses Glas,

Makroskopisch keine Korrosion zu erkennen

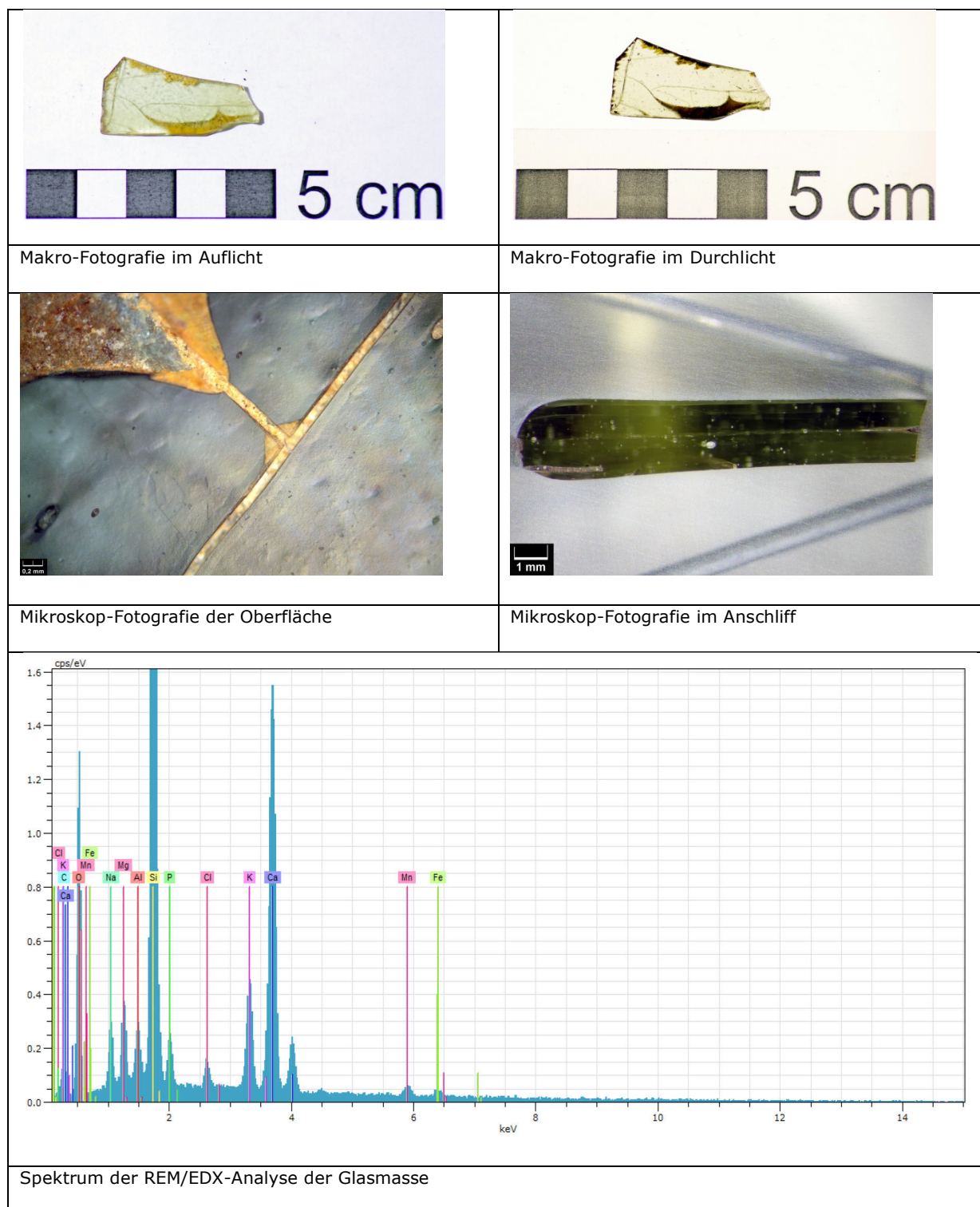
Tiefe Risse parallel zur Glasoberfläche, darin gelbliche Ablagerungen

Mikroskopisch leichte Punktkorrosion zu erkennen

Glasmasse: mehr K als Na, deutlich mehr Ca als K: Holzasche-Kalk-Glas

Entfärbung durch Mn

Korrosionsschicht im Riss: Abbau von Na, K, Ca, Mg und Cl; Konzentration von Al, P, Ti und Fe



BA_G_118

Farbloses Glas, viele Luftblasen

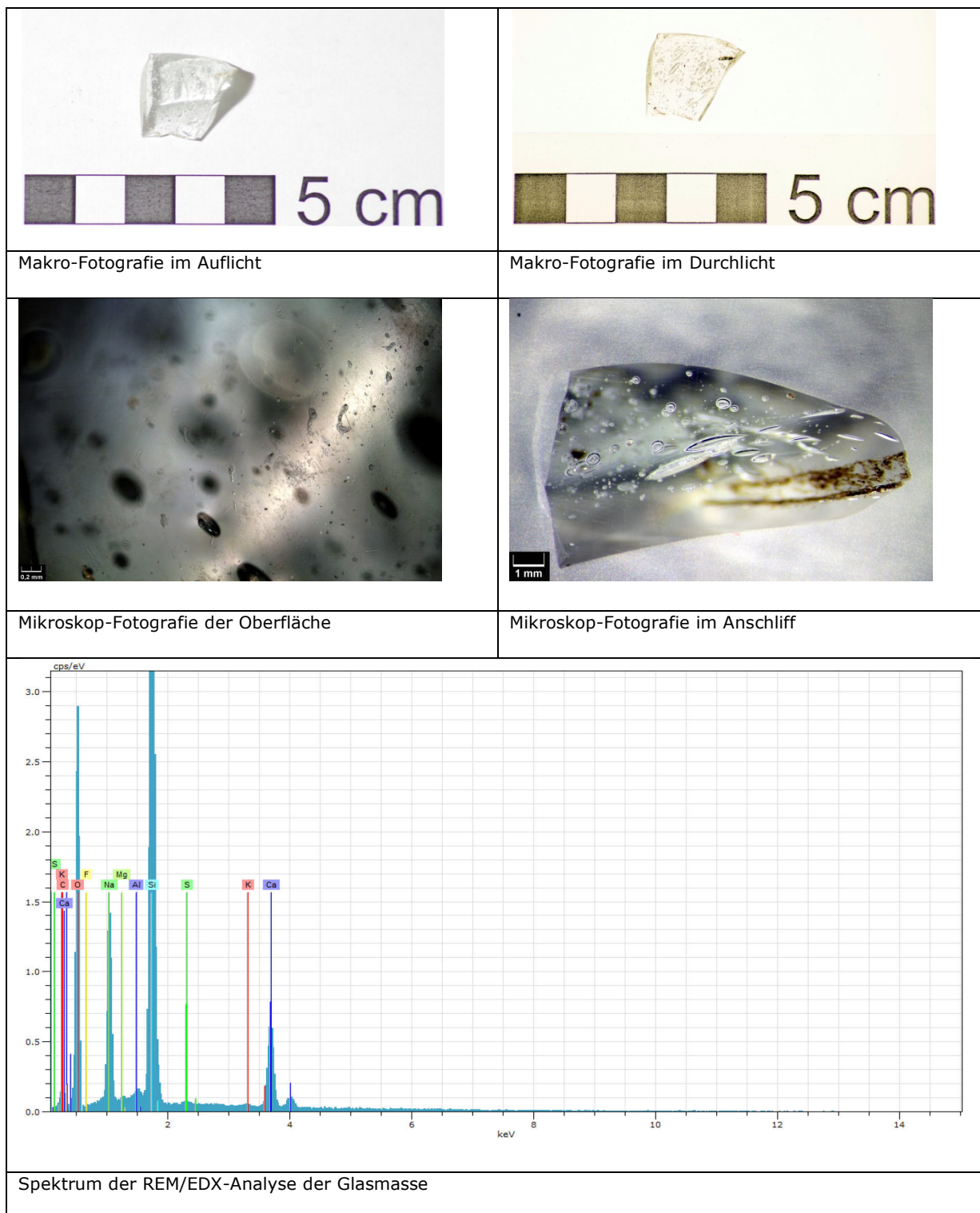
Makroskopisch und mikroskopisch keine Korrosion zu erkennen

Glasmasse: viel Na, kaum K, weniger Ca als Na: Soda-Kalk-Glas

Bräunliche Verfärbung im Randbereich: Fe

Keine Korrosionsschicht messbar

(bräunliche Verfärbung evtl. durch eisernen Verschlussdeckel; Import von Soda-Kalk-Glas zur Steigerung der Glasqualität, oder modernes Glas, evtl. durch Tiere Verlagert)



BA_G_119

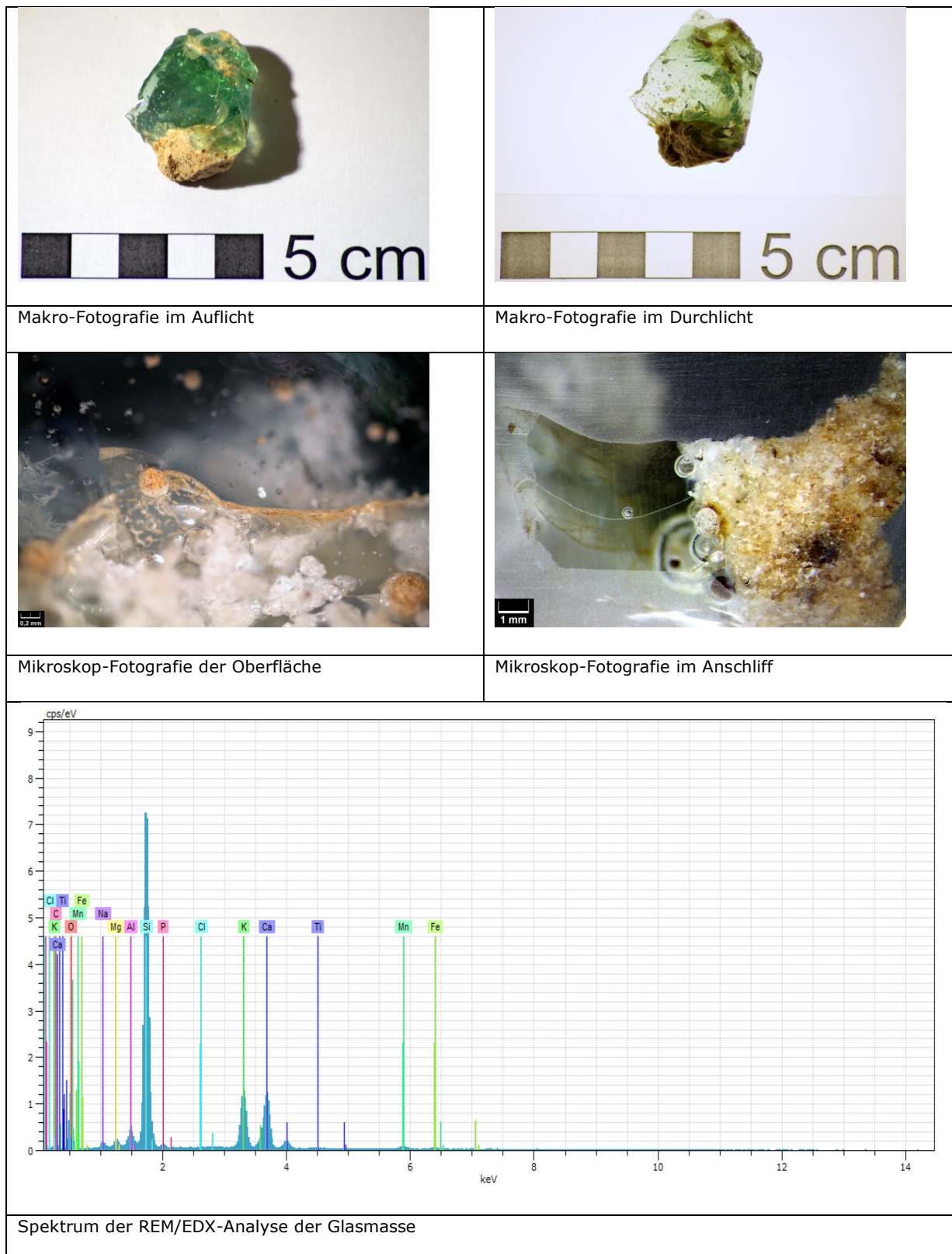
Verglasung mit Anhaftung von Ofenwand/Hafen

Luftblasen und weiße Einschlüsse

Makroskopisch und mikroskopisch keine Korrosion zu erkennen

Glasmasse: kaum Na, etwas mehr K und Ca (keine fertige Glasmasse)

Keine Korrosionsschicht messbar



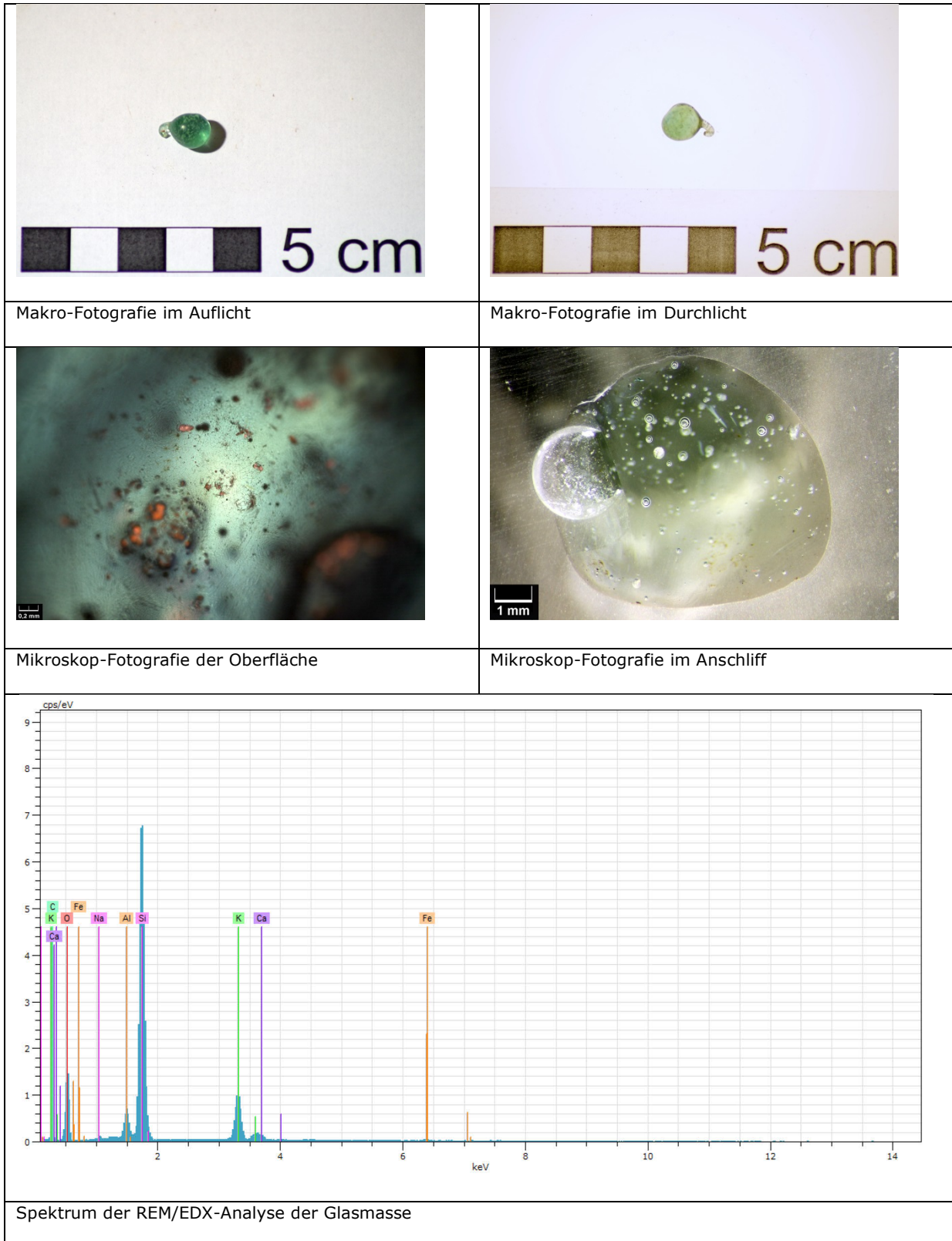
BA_G_120

Tropfen

Luftblasen und weiße Einschlüsse

Makroskopisch und mikroskopisch keine Korrosion zu erkennen

Glasmasse: kaum Na, wenig Ca, deutlich mehr K (keine fertige Glasmasse, nicht komplett durchmischt)



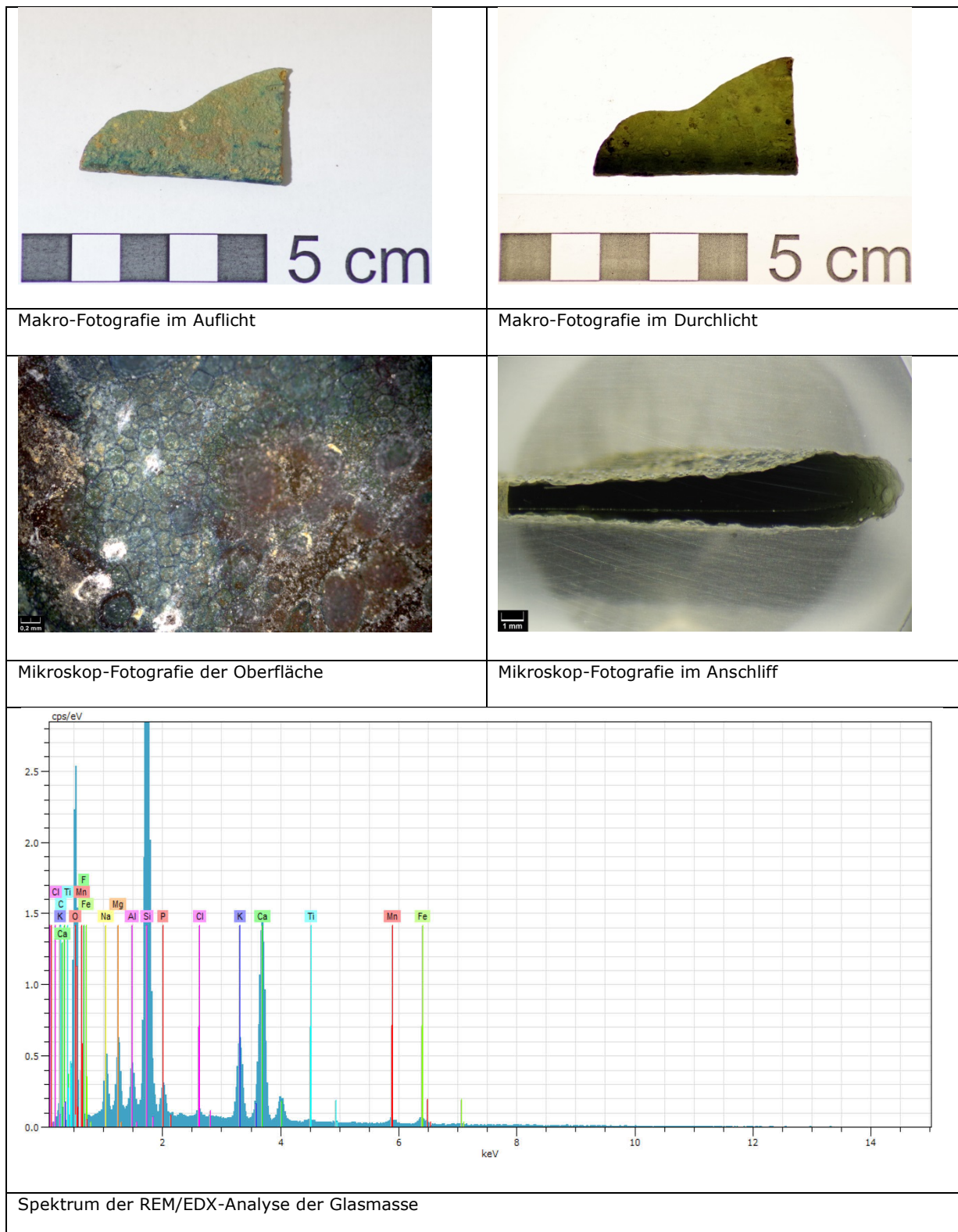
BA_G_124

Flächendeckend starke Punkt-/Ringkorrosion, von gelb über grün bis blau changierende Ablagerungen auf der gesamten Oberfläche

Glasmasse: mehr K als Na, deutlich mehr Ca als K: Holzasche-Kalk-Glas

Grüne Färbung durch Fe

Korrosionsschicht: Abbau von Na, Mg, K und Ca; Konzentration von Al
(kein Hinweis auf die Farbvielfalt der Korrosionsschicht festzustellen)



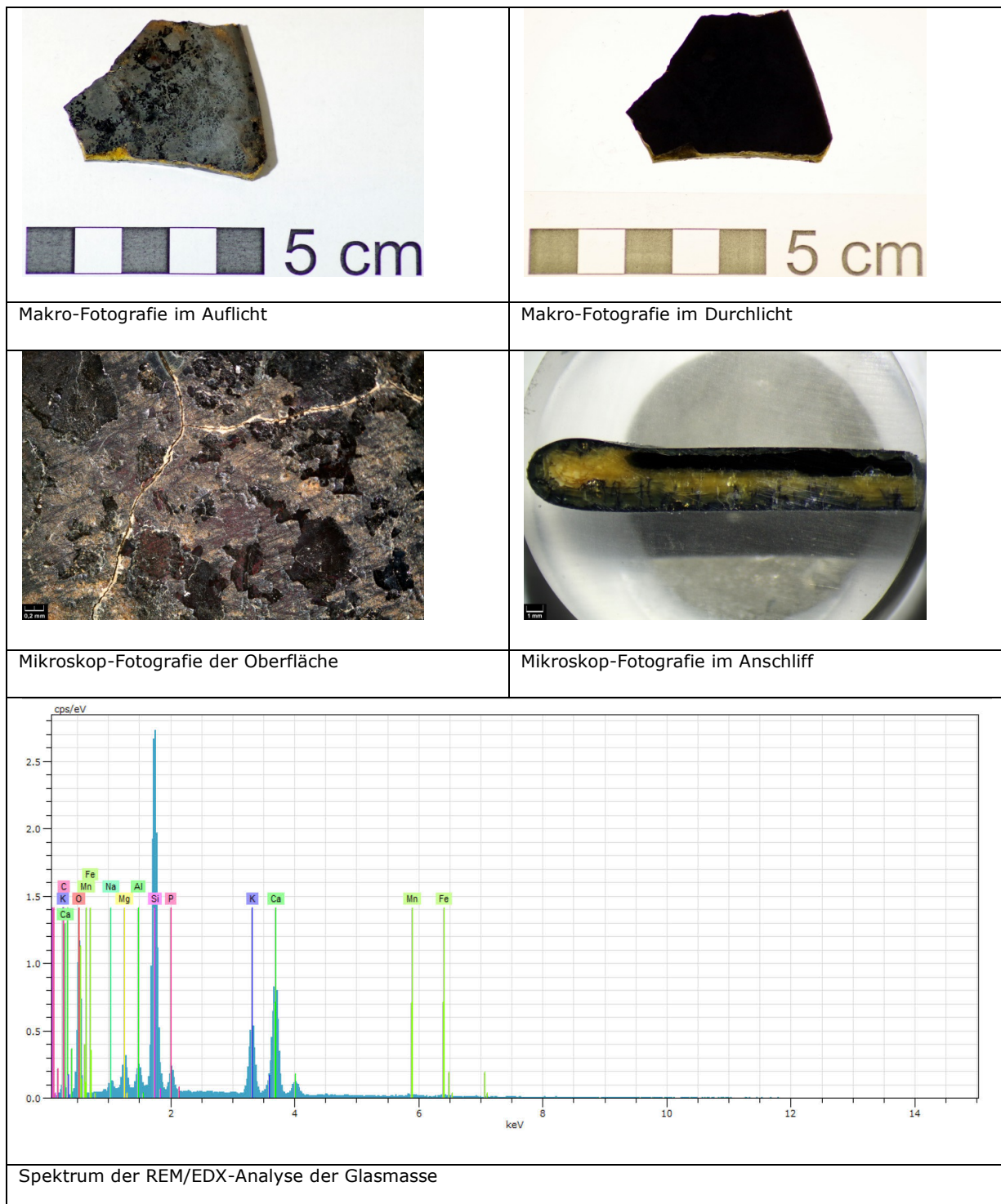
BA_G_125

Starke Tiefenrisskorrosion, feine Risse an der Oberfläche und in den darunter liegenden Schichten; Schwarz-bräunliche (z. T. auch gelbliche) Verfärbung der Oberfläche; z. T. Ablösung der obersten Schicht

Querschnitt: braun-schwarze Verfärbung an der Oberfläche, darunter bis zum Kernglas gelblich-weiße Verfärbung, konzentrische Risse durchziehen die gesamte Korrosionsschicht
 Glasmasse: deutlich mehr K als Na, mehr Ca als K: Holzasche-Kalk-Glas

Blaue Färbung durch Cu und etwas mehr Co (Konzentration z. T. in der Korrosionsschicht)

Korrosionsschicht: Abbau von Na, K, Mg, Ca und P; Konzentration von Al und z. T. Si; vereinzelte Manganausfällungen



BA_G_127

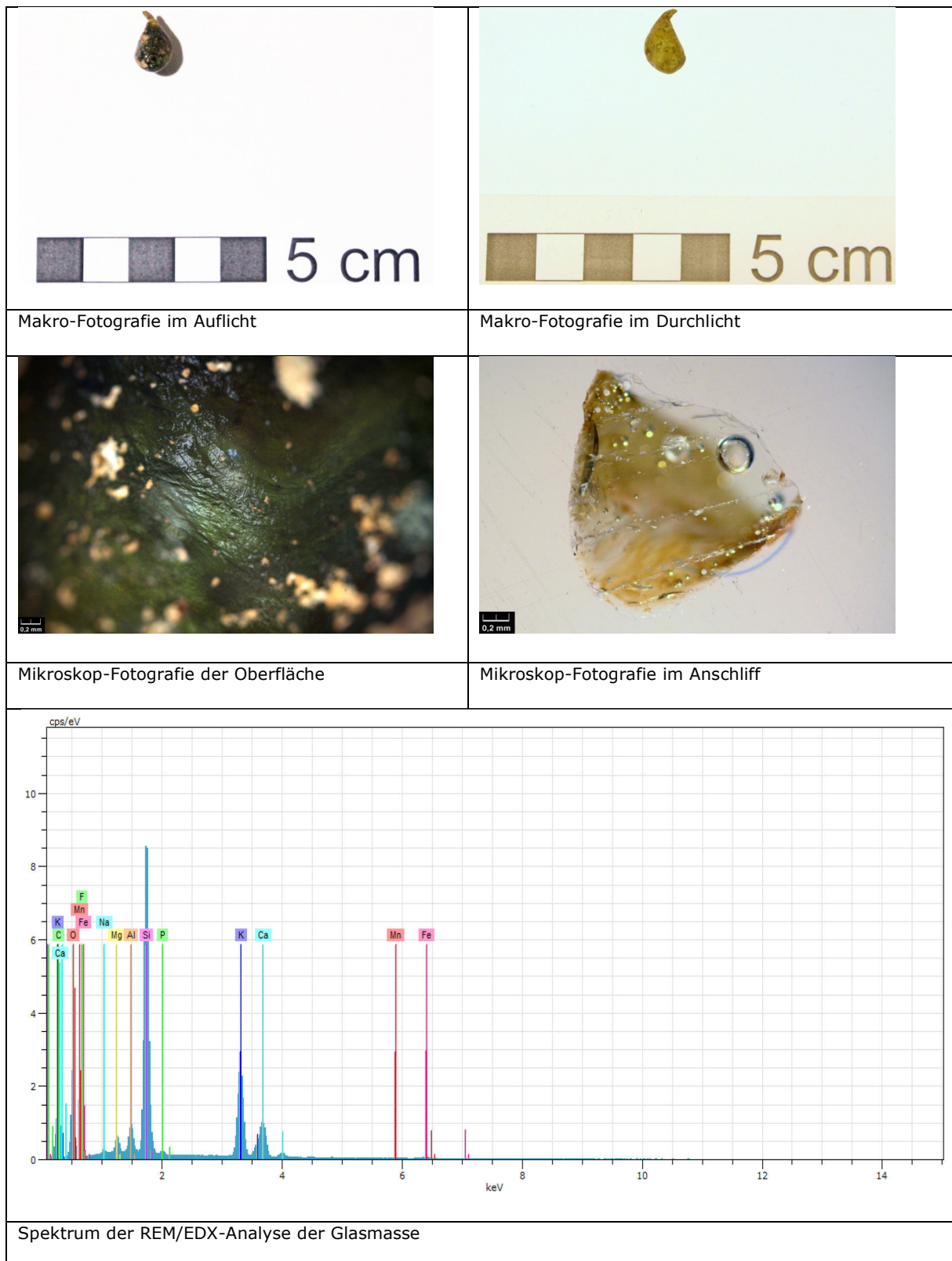
Karol. Tropfen

Bräunliche Anhaftungen (Sand/Sediment) und Einschlüsse

Lederähnliche Struktur der Oberfläche

Makroskopisch und mikroskopisch keine Korrosion zu erkennen

Glasmasse: kaum Na, viel K, wenig Ca (keine fertige Glasmasse)



ICP-Analysen: FAU Erlangen, WW III – Glas und Keramik – Analytisches Labor	
Probe	BA_G_127
Blei (PbO)	<0,01
Nickel (NiO)	<0,01
Zink (ZnO)	0,01
Zirkon (ZrO ₂)	0,01
Kobalt (CoO)	<0,01
Kupfer (CuO)	0,1
Strontium (SrO)	0,05
Schwefel (SO ₃)	0,25
Titanium (TiO ₂)	0,21
Barium (BaO)	0,3
Mangan (MnO ₂)	0,64
Eisen (Fe ₂ O ₃)	0,8
Natrium (Na ₂ O)	0,36
Aluminium (Al ₂ O ₃)	3,24
Magnesium (MgO)	2,23
Phosphor (P ₂ O ₅)	0,98
Kalium (K ₂ O)	17,8
Calcium (CaO)	9,25
Silicium (SiO ₂)	63,35

Analyse: Proben in Achatmühle zerkleinert; SiO₂: grav. Schmelzaufschluss; restliche Elemente: HF/HClO₄ Aufschluss mit ICP (Spectro Genesis SOP/EOP) analysiert

ESEM-Analysen: FAU Erlangen, WW III – Glas und Keramik – Analytisches Labor											
Probe	O	Na	Mg	Al	Si	P	Cl	K	Ca	Mn	Fe
BA_G_127	76,62	0,22	0,87	0,96	16,06	0,25		3,66	1,36		

Analyse: Environmental scanning electron microscope (ESEM)

BA_G_128

Karol. Tropfen

Bräunliche Anhaftungen (Sand/Sediment), Luftblasen und Einschlüsse

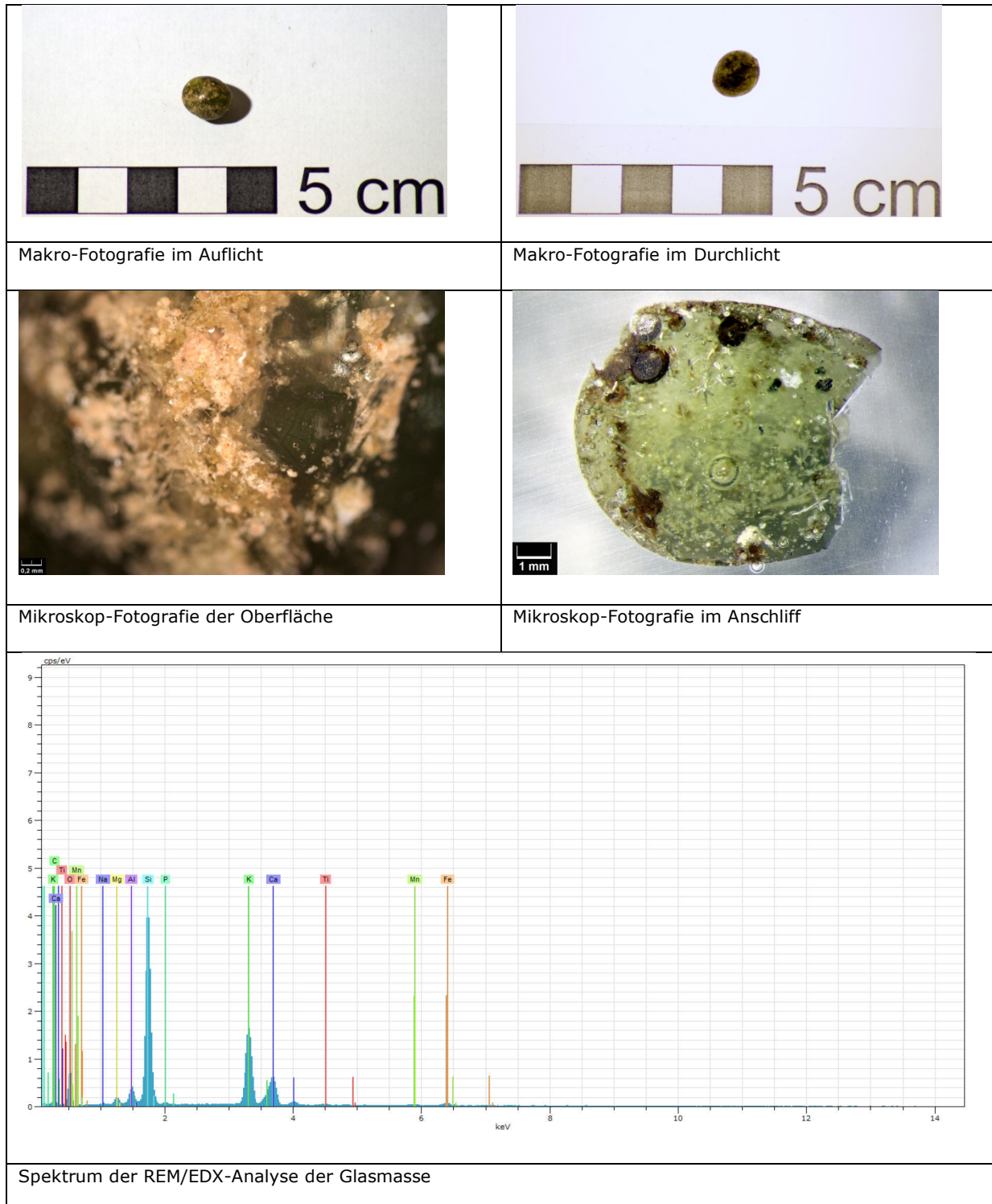
Lederähnliche, z. T. Schaumartige Struktur der Oberfläche

Makroskopisch und mikroskopisch keine Korrosion zu erkennen

Glasmasse: kaum Na, viel K, wenig Ca (keine fertige Glasmasse)

Einschlüsse: viel Ca (evtl. Zugabe von Kalk, nicht aufgeschmolzen); fast reines Si (nicht aufgeschmolzener Sand)

Al und Si Konzentration (Sand/Sediment) in Luftblase



BA_G_129

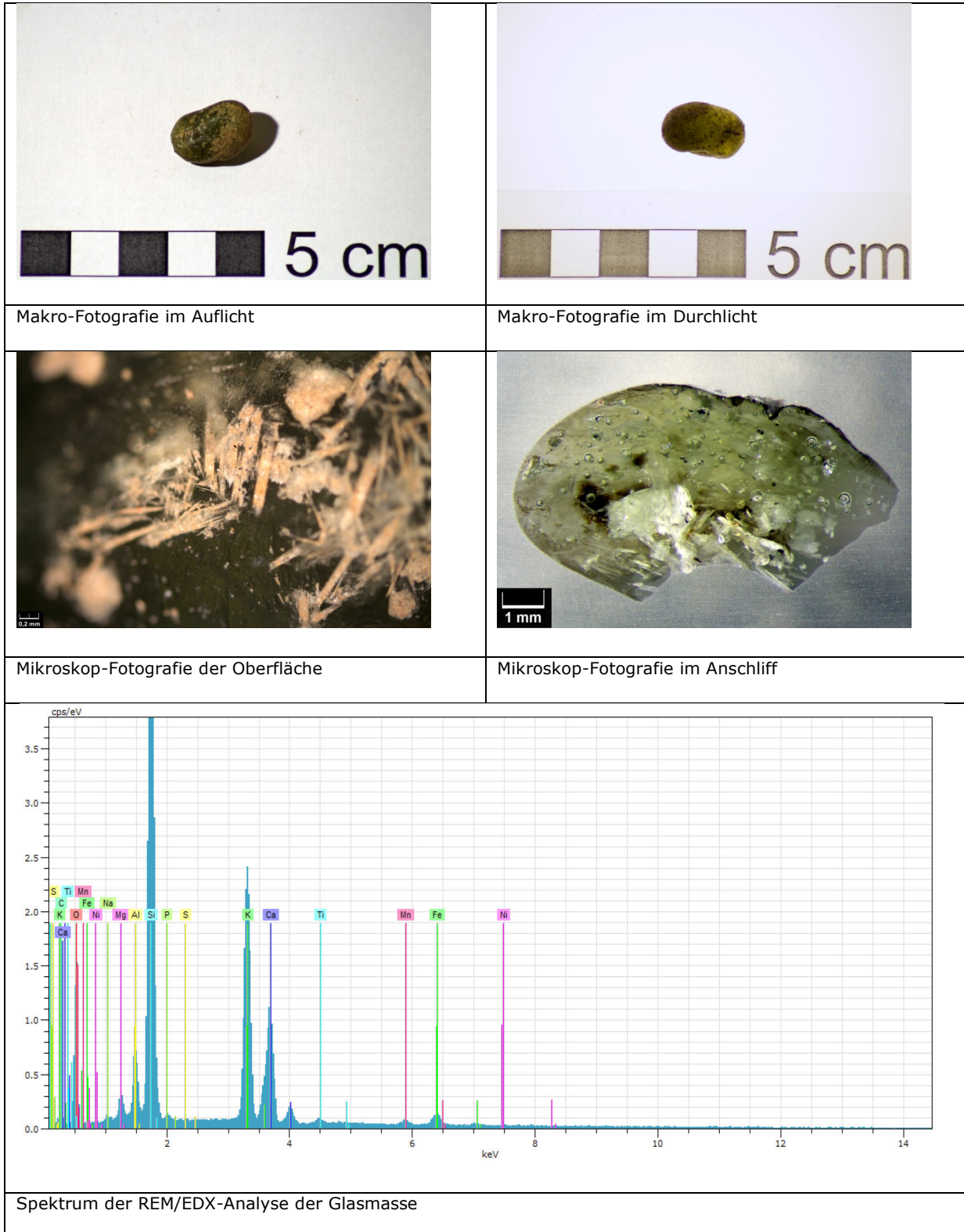
Karol. Tropfen

z. T. flächige bräunliche Anhaftungen (Sand/Sediment), viele Luftblasen und länglich-kristalline Einschlüsse

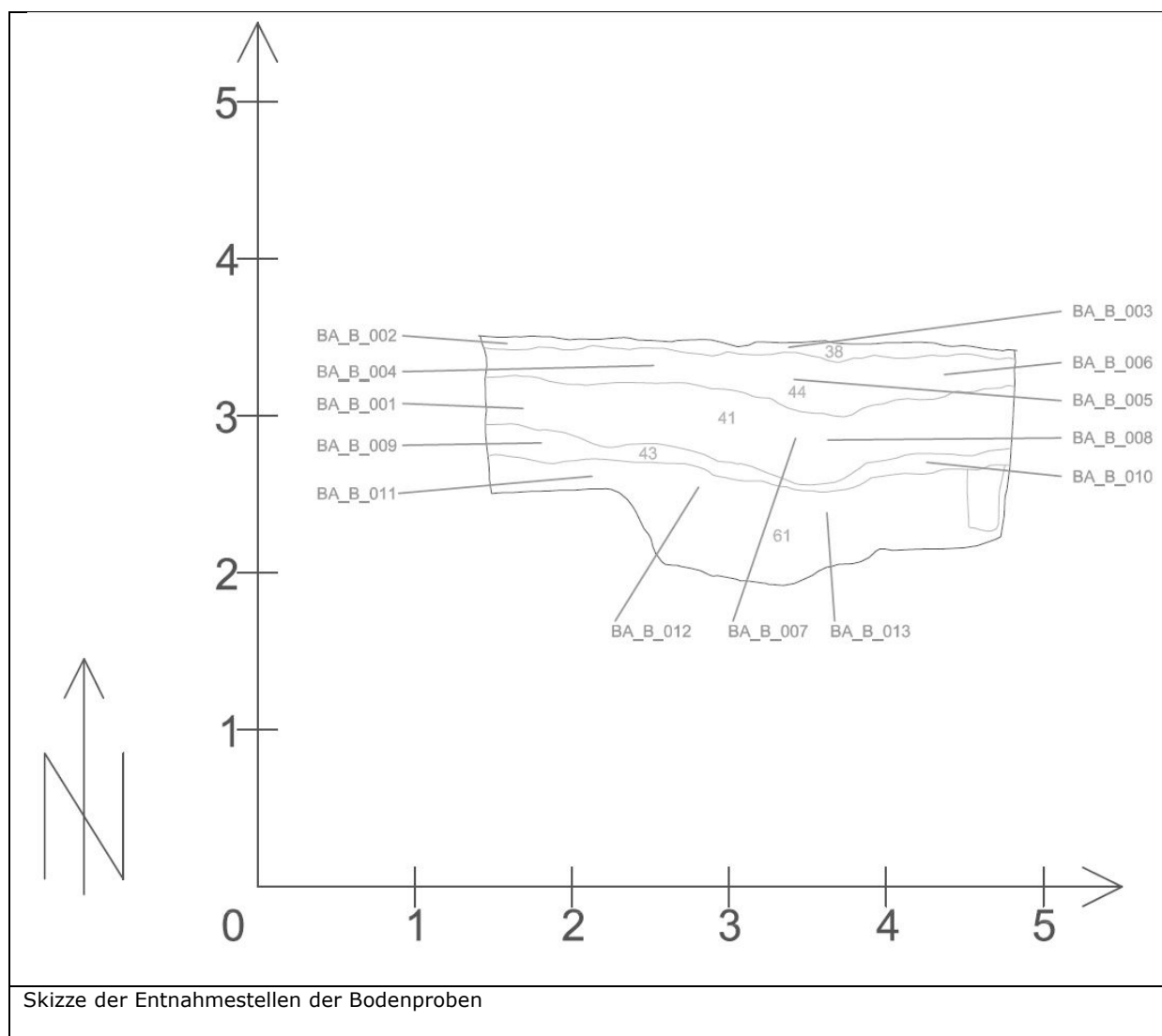
Lederähnliche Struktur der Oberfläche

Glasmasse: kaum Na, viel K, wenig Ca (keine fertige Glasmasse)

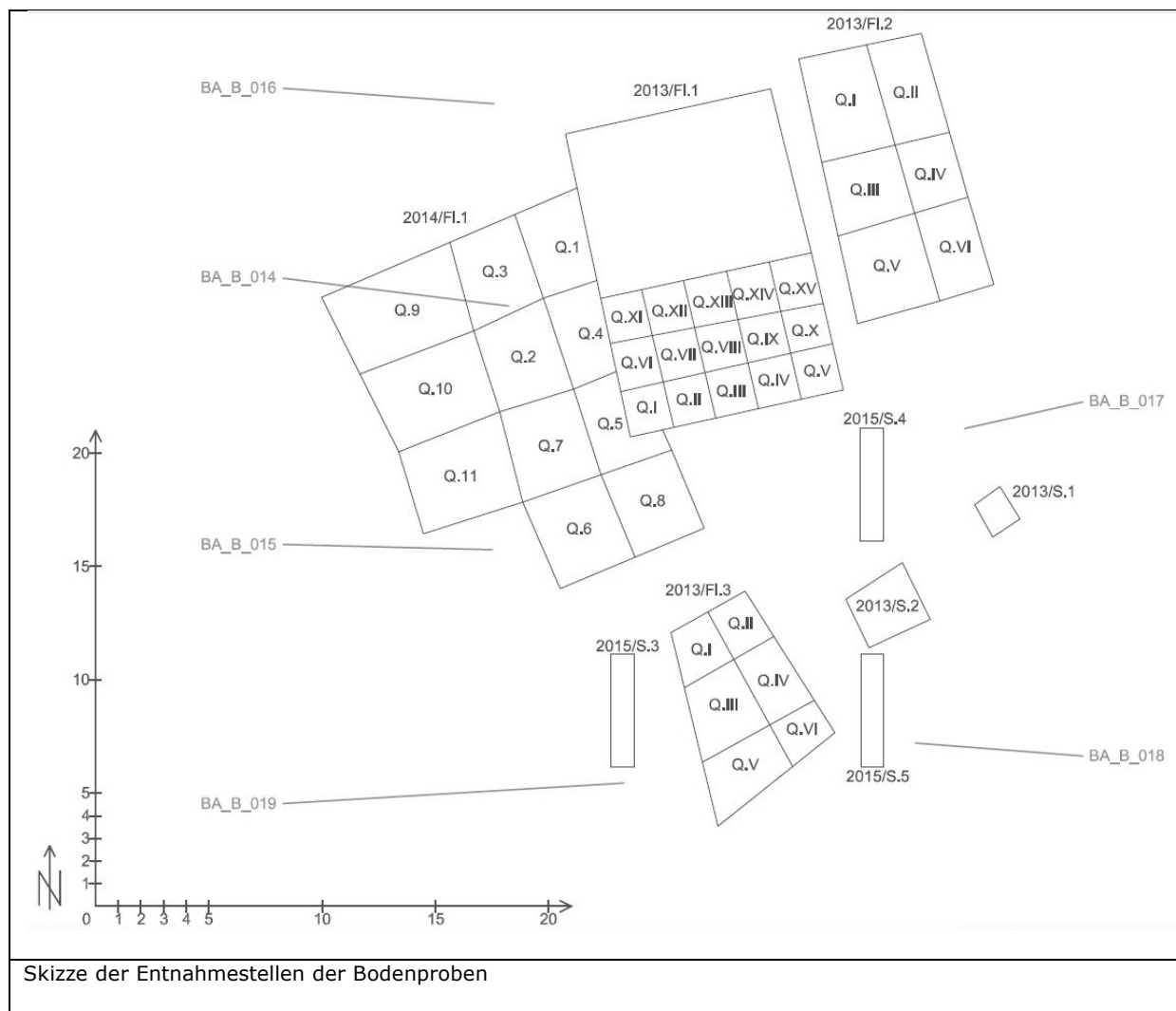
Einschlüsse: viel Ca (evtl. Zugabe von Kalk, nicht aufgeschmolzen)



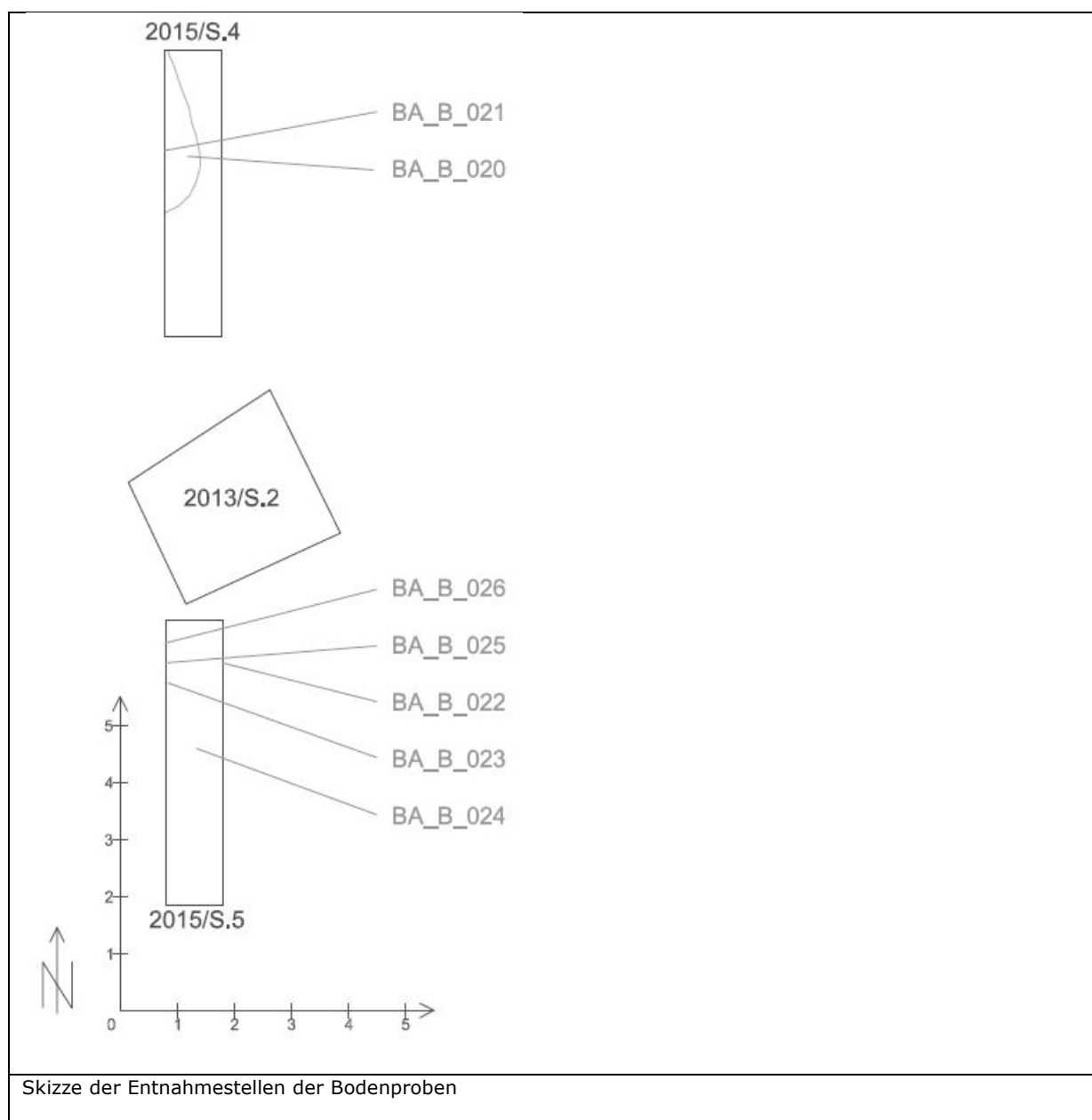
5.1.2. Katalog Bodenproben



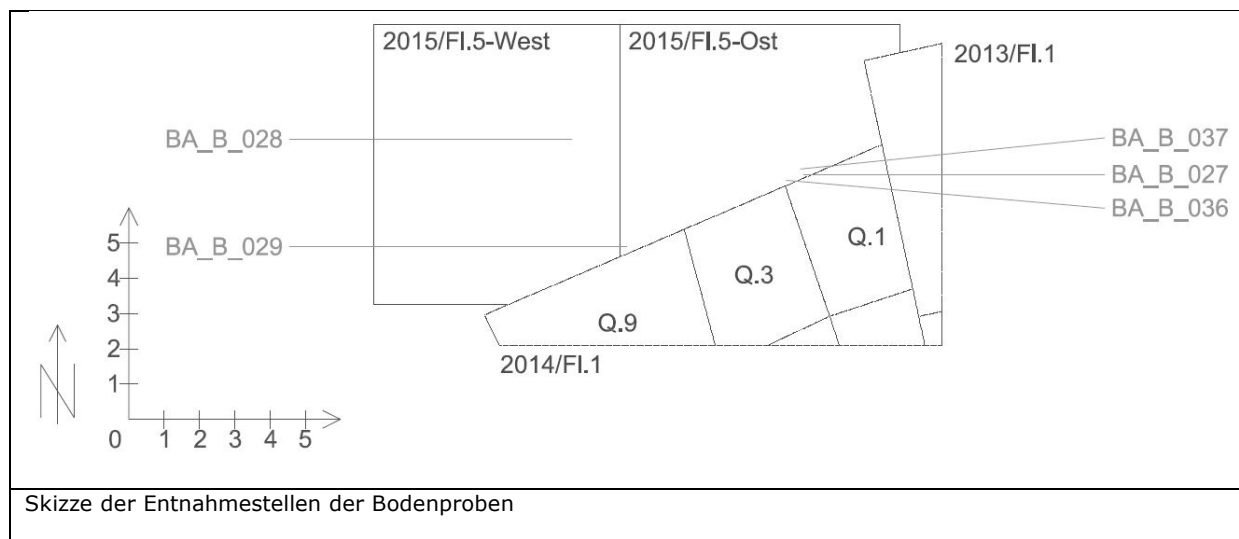
BA_B_001	Bodenprobe aus unmittelbarer Umgebung einer korrodierten Scherbe. Entnahme beim Putzen des Profils
BA_B_002	Bodenprobe aus Humusschicht. Entnahme aus Profil
BA_B_003	Bodenprobe aus Humusschicht. Entnahme aus Profil
BA_B_004	Bodenprobe. Entnahme aus Profil
BA_B_005	Bodenprobe aus unmittelbarer Umgebung eines korrodierten Glastropfens. Entnahme aus Profil
BA_B_006	Bodenprobe. Entnahme aus Profil
BA_B_007	Bodenprobe aus unmittelbarer Umgebung einer korrodierten Scherbe. Entnahme aus Profil
BA_B_008	Bodenprobe aus der Umgebung einer korrodierten Scherbe. Entnahme aus Profil
BA_B_009	Bodenprobe. Entnahme aus Profil
BA_B_010	Bodenprobe. Entnahme aus Profil
BA_B_011	Bodenprobe. Entnahme aus Profil
BA_B_012	Bodenprobe. Entnahme aus Profil
BA_B_013	Bodenprobe. Entnahme aus Profil



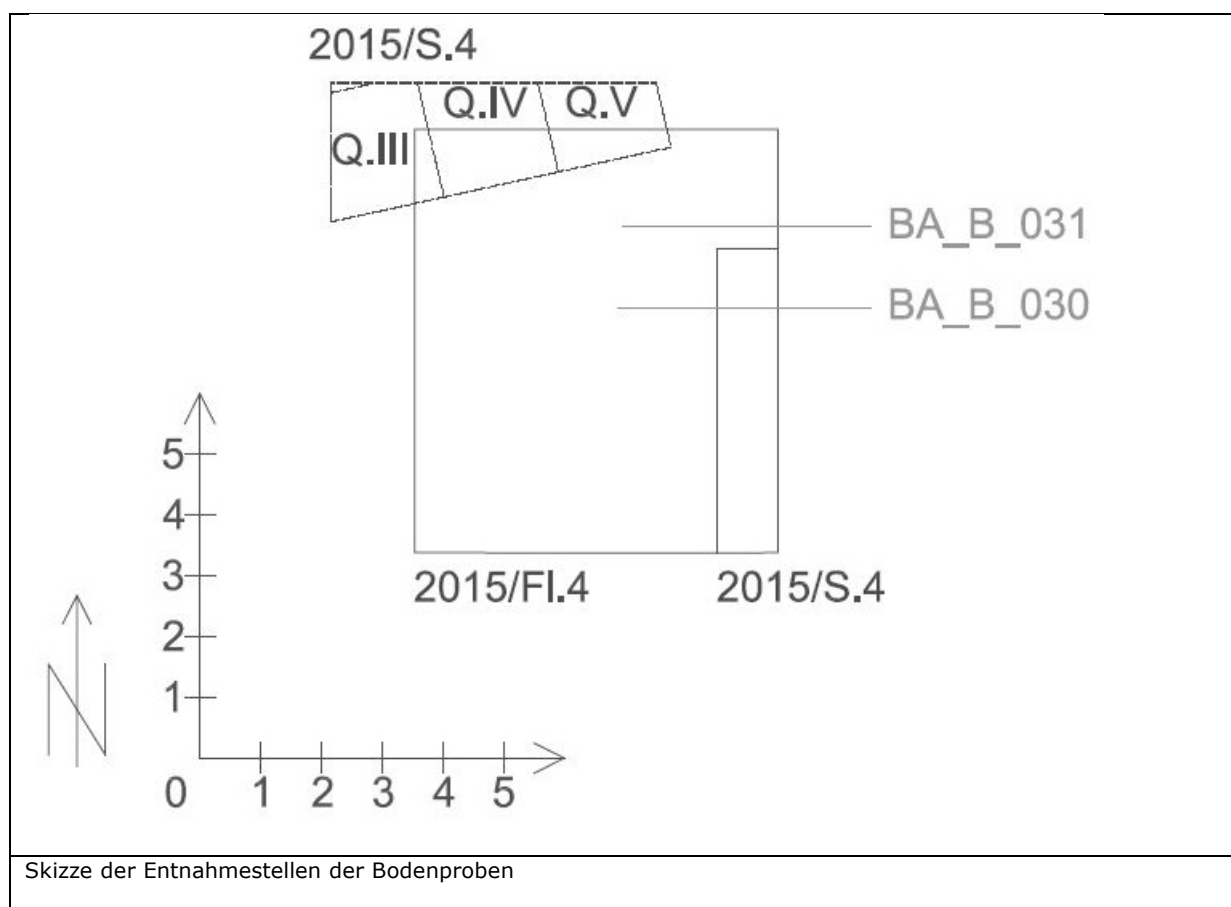
BA_B_014	Bodenprobe aus Humusschicht. Entnahme beim Abtiefen des Kellers
BA_B_015	Bodenprobe aus der obersten Humusschicht zur Untersuchung auf Umweltgifte und Schadstoffe
BA_B_016	Bodenprobe aus der obersten Humusschicht zur Untersuchung auf Umweltgifte und Schadstoffe
BA_B_017	Bodenprobe aus der obersten Humusschicht zur Untersuchung auf Umweltgifte und Schadstoffe
BA_B_018	Bodenprobe aus der obersten Humusschicht zur Untersuchung auf Umweltgifte und Schadstoffe
BA_B_019	Bodenprobe aus der obersten Humusschicht zur Untersuchung auf Umweltgifte und Schadstoffe



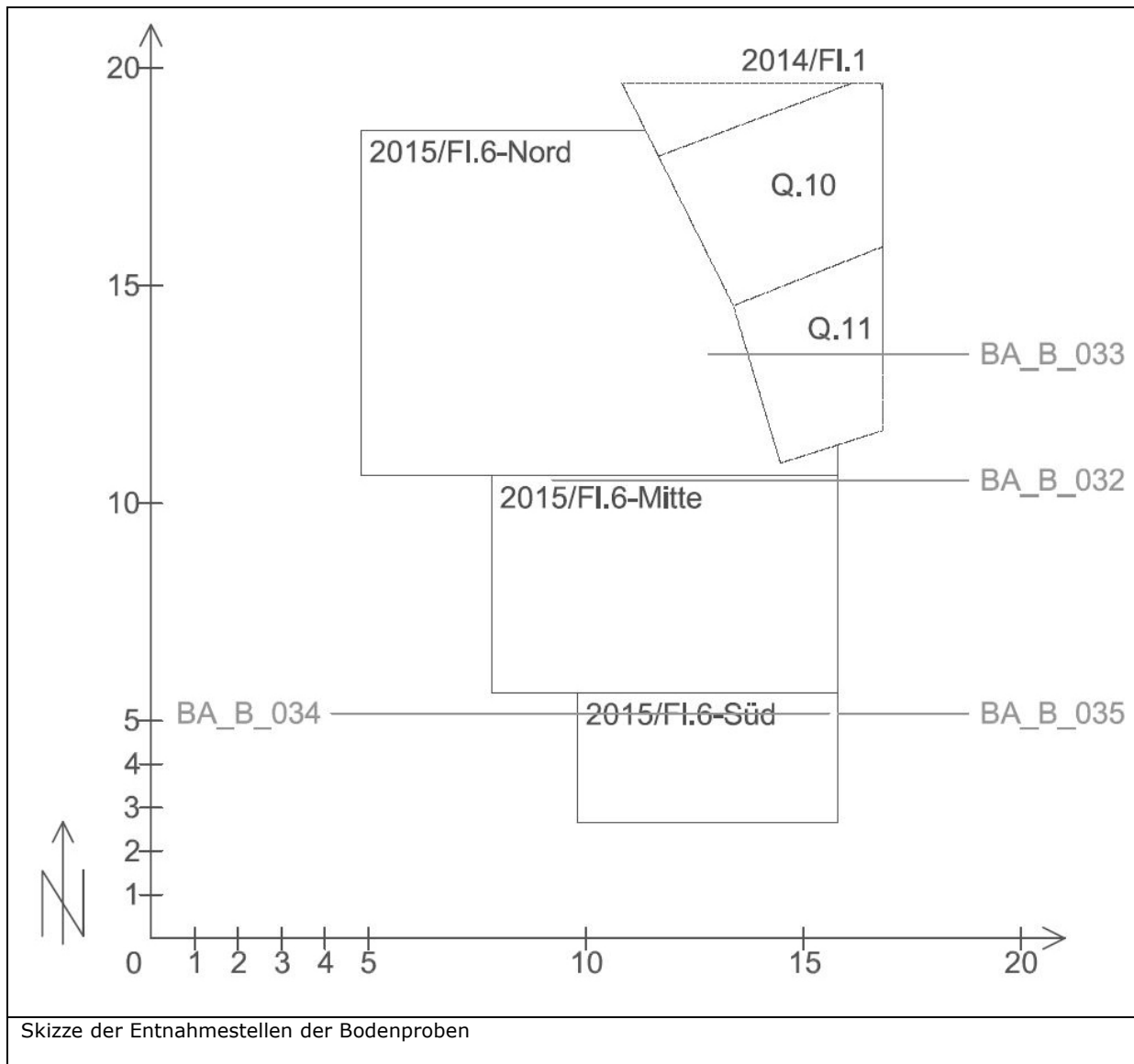
BA_B_020	Bodenprobe aus einer Steinsetzung, fundreiche Schicht. Entnahme 1,85 m von nördlicher Schnittgrenze, 0,40 m von östlicher Schnittgrenze
BA_B_021	Bodenprobe aus einer Steinsetzung, fundreiche Schicht. Entnahme aus West-Profil, 1,75 m von nördlicher Schnittgrenze
BA_B_022	Bodenprobe aus direkter Umgebung einer Scherbe. Entnahme aus Ost-Profil, 0,75 m von nördlicher Schnittgrenze
BA_B_023	Bodenprobe. Entnahme 1,10 m von nördlicher Schnittgrenze, 0,05 m von westlicher Schnittgrenze
BA_B_024	Bodenprobe aus fundreicher Schicht. Entnahme 2,25 m von nördlicher Schnittgrenze, 0,45 m von östlicher Schnittgrenze
BA_B_025	Bodenprobe aus fundreicher Schicht. Entnahme aus West-Profil 0,75 m von nördlicher Schnittgrenze
BA_B_026	Bodenprobe aus unmittelbarer Umgebung eines korrodierten Stückes Rohglas. Entnahme aus West-Profil 0,40 m von nördlicher Schnittgrenze



BA_B_027	Bodenprobe aus fundreicher Schicht
BA_B_028	Bodenprobe aus der obersten Humusschicht
BA_B_029	Bodenprobe aus der obersten Humusschicht (letzter Regen 4 Tage vor Entnahme)
BA_B_036	Bodenprobe aus fundreicher Schicht; Oberfläche extrem ausgetrocknet
BA_B_037	Bodenprobe aus fundreicher Schicht; Oberfläche extrem ausgetrocknet; Entnahme aus West-Profil



BA_B_030	Bodenprobe
BA_B_031	Bodenprobe aus fundreicher Schicht



BA_B_032	Bodenprobe aus fundreicher Schicht
BA_B_033	Bodenprobe aus fundreicher Schicht
BA_B_034	Bodenprobe
BA_B_035	Bodenprobe aus der obersten Humusschicht, Entnahme aus Ost-Profil 2 cm unterhalb der Grasnarbe

BA_B_038	Sandprobe, hell, evtl. zur Glasherstellung genutzt
BA_B_038	Sandprobe, rotbraun, evtl. zur Glasherstellung genutzt

5.2. Anhang HTW Berlin

5.2.1. Fragebogen, deutschsprachig

Forschungsprojekt Waldglas

Modellhafte Bergung, Konservierung und Restaurierung umweltgeschädigter
archäologischer Glasfunde am Beispiel mittelalterlicher Gläser und Waldglashütten
im Weserbergland



Umfrage zur Bergung von archäologischem Glas*

1. Tätigkeitsfeld

- Archäologe/in
 Grabungspersonal/
Grabungstechniker/in
 Restaurator/in

2. Wie groß ist in etwa der Anteil an Glasfunden insgesamt in Ihrem Zuständigkeitsbereich?

- < 10 %
 < 30 %
 30-50 %
 > 50 %

3. Wie groß ist der Anteil an **mittelalterlichen** Glasfunden im Bezug auf die Gesamtmenge der Glasfunde im Zuständigkeitsbereich?

- < 10 %
 < 30 %
 30-50 %
 > 50 %

4. Erfolgt eine bild erzeugende Dokumentation der Glasfunde *in-situ*?

- ja - immer
 nur bei
wichtigen
Funden
 nur bei
komplexen/
fragilen Funden
 nein - nie

5. Welche Dokumentationsmethoden kommen dabei zum Einsatz?

- Zeichnung
 Kartierung
 Fotografie
 Fotogrammetrie
 3D-Dokumentation
 sonstige Dokumentation:

* in den meisten Fällen sind Mehrfachnennungen sind möglich

1

Kontakt und Rücklauf:
Olga Emgrund (Dipl.-Rest. (FH))

Hochschule für Technik und
Wirtschaft (HTW) Berlin
Wilhelminenhofstraße 75 a
D - 12459 Berlin

Phone + 49 30 5019 - 3506
Fax + 49 30 5019 - 4709
glasber@htw-berlin.de

Forschungsprojekt Waldglas

Die modellhafte Bergung, Konservierung und Restaurierung umweltgeschädigter archäologischer Glasfunde am Beispiel mittelalterlicher Gläser und Waldglashütten im Weserbergland



6. Wer führt die Bergung von Glasfunden durch?

- auf der Grabung arbeitendes Hilfspersonal
 Grabungspersonal/ Grabungstechniker/in
 Restaurator/in

7. Wie wird die Bergung von Glasfunden durchgeführt?

	<i>immer</i>	<i>häufig</i>	<i>selten</i>	<i>nie</i>
im Block	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
mit dem umgebenden Sediment	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Entnehmen einzelner Scherben	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

8. Wann werden Glasfunde im Block geborgen?

- immer
 bei fragilen, stark korrodierten Gläsern
 wenn ein Fundzusammenhang der Scherben besteht (z.B. als Gefäß)
- bei komplexen Befunden (z.B. mehrere Glasgefäße)
 in Verbindung mit anderen Materialien
 nie

9. Was passiert mit den Glasfunden nach der Bergung?

- Erstversorgung direkt nach der Bergung
 werden sofort in die Restaurierungswerkstatt gegeben
- werden später, im Laufe der Grabung versorgt
 werden gesammelt und nach Abschluss der Grabung versorgt
- werden nach Abschluss der Grabung an die Restaurierungswerkstatt weitergegeben
 kommen direkt nach Abschluss der Grabung ins Depot
- sonstiges:

* in den meisten Fällen sind Mehrfachnennungen sind möglich

2

Kontakt und Rücklauf:
Olga Emgrund (Dipl.-Rest. (FH))

Hochschule für Technik und
Wirtschaft (HTW) Berlin
Wilhelminenhofstraße 75 a
D - 12459 Berlin

Phone + 49 30 5019 - 3506
Fax + 49 30 5019 - 4709
glasber@htw-berlin.de

Forschungsprojekt Waldglas

Die modellhafte Bergung, Konservierung und Restaurierung umweltgeschädigter archäologischer Glasfunde am Beispiel mittelalterlicher Gläser und Waldglashütten im Weserbergland



10. Wenn eine Behandlung der Glasfunde auf der Grabung stattfindet, werden die Fragmente vornehmlich:

- | | | |
|--|---|--|
| <input type="checkbox"/> gewaschen | <input type="checkbox"/> trocken, von Sediment gereinigt | <input type="checkbox"/> nicht gereinigt |
| <input type="checkbox"/> getrocknet | <input type="checkbox"/> bodenfeucht mit Sediment belassen und dicht verpackt | <input type="checkbox"/> feucht gehalten |
| <input type="checkbox"/> in Wasser eingelagert | <input type="checkbox"/> bei Raumtemperatur gelagert | <input type="checkbox"/> feucht, unter Zugabe von Fungiziden/Bioziden gelagert |
| <input type="checkbox"/> kühl gelagert | <input type="checkbox"/> eingefroren | |
| <input type="checkbox"/> sonstiges: | | |

11. Wie werden die Glasfunde auf der Grabung verpackt?

- | | | |
|---|--|---|
| <input type="checkbox"/> in PE- Fundtüten | <input type="checkbox"/> in Zellstoff | <input type="checkbox"/> mit Schaummaterialien gepolstert |
| <input type="checkbox"/> in luftdichte Folien eingeschweißt | <input type="checkbox"/> in Kartonagen | <input type="checkbox"/> in Kunststoffboxen |
| <input type="checkbox"/> andere Verpackungsart: | | |

12. Erfahren **fragile, stark korrodierte Gläser** besondere Behandlung?

- | | |
|---|---|
| <input type="checkbox"/> ja | <input type="checkbox"/> nur bei besonderer Fragestellung (an Befund oder Form) |
| <input type="checkbox"/> nur bei ausreichend zur Verfügung stehender Zeit | <input type="checkbox"/> nein |

a. Wenn eine besondere Behandlung erfolgt - welche?

(kurze Beschreibung der Bergungsart, werden Fragmente gefestigt - wenn ja womit? Besondere stabilisierende Verpackung?)

b. Wer birgt den Glasfund, falls eine besondere Bergung erfolgt?

3

* in den meisten Fällen sind Mehrfachnennungen sind möglich

Kontakt und Rücklauf:
Olga Emgrund (Dipl.-Rest. (FH))

Hochschule für Technik und
Wirtschaft (HTW) Berlin
Wilhelminenhofstraße 75 a
D - 12459 Berlin

Phone + 49 30 5019 - 3506
Fax + 49 30 5019 - 4709
glasber@htw-berlin.de

Forschungsprojekt Waldglas

Die modellhafte Bergung, Konservierung und Restaurierung umweltgeschädigter archäologischer Glasfunde am Beispiel mittelalterlicher Gläser und Waldglashütten im Weserbergland



13. Wie wichtig sind Ihnen die folgenden Faktoren bei der Bergung von Funden?

	<i>sehr wichtig</i>		<i>unwichtig</i>	
Dokumentation des Glasfunds im Befund, <i>in-situ</i>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Vollständigkeit des Objekts nach der Bergung	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Bergung mit wenig Zeitaufwand	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Kostengünstige Variante der Bergung	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
Verpackung, welche die Stabilität des Fundes gewährleistet	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Verpackung, die das Fortschreiten der Korrosion des Fundes minimiert	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Kostengünstige Variante der Verpackung	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Versorgung der Funde auf der Grabung, die den Restaurierungsaufwand reduzieren	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Schulung der Mitarbeiter bezüglich Bergungsmethoden	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

weitere Faktoren, die Ihnen wichtig sind:

14. Wie würden Sie die Fundversorgung der Glasfunde auf der Grabung in Ihrem Tätigkeitskreis beurteilen?

<input type="checkbox"/> sehr gut	<input type="checkbox"/> gut	<input type="checkbox"/> befriedigend
<input type="checkbox"/> ausreichend	<input type="checkbox"/> mangelhaft	<input type="checkbox"/> ungenügend

individuelle Beurteilung:

15. Sind Ihnen Richtlinien/ Vorgaben des zuständigen Landes-/ Bodendenkmalamtes zur Bergung von Funden und zur Fundbehandlung auf der Grabung bekannt?

<input type="checkbox"/> ja	<input type="checkbox"/> nein	<input type="checkbox"/> es gibt keine
-----------------------------	-------------------------------	--

wenn ja, bitte um Quellenverweis:

* in den meisten Fällen sind Mehrfachnennungen sind möglich

4

Kontakt und Rücklauf:
Olga Emgrund (Dipl.-Rest. (FH))

Hochschule für Technik und
Wirtschaft (HTW) Berlin
Wilhelminenhofstraße 75 a
D - 12459 Berlin

Phone + 49 30 5019 - 3506
Fax + 49 30 5019 - 4709
glasber@htw-berlin.de

Forschungsprojekt Waldglas

Die modellhafte Bergung, Konservierung und Restaurierung umweltgeschädigter archäologischer Glasfunde am Beispiel mittelalterlicher Gläser und Waldglashütten im Weserbergland



16. Kennen Sie Richtlinien/ Vorgaben speziell zur Bergung und Fundversorgung von Glas?

ja nein

wenn ja, bitte um Quellenverweis:

Möchten Sie nach Abschluss dieser Umfrage die Ergebnisse erhalten?

(bei Zustimmung bitte Name und Adresse/ E-Mail angeben)

ja nein

Institution/ Firma:

Bearbeiter/in:

Tel./ E-Mail:

Datum:

Die Angaben des Bearbeiters/ der Bearbeiterin sind freiwillig, werden vertraulich behandelt und nur zum Zusenden der Ergebnisse dieser Umfrage, falls erwünscht, verwendet.

Bemerkungen/Feedback:

** in den meisten Fällen sind Mehrfachnennungen sind möglich*

5

Kontakt und Rücklauf:
Olga Emgrund (Dipl.-Rest. (FH))

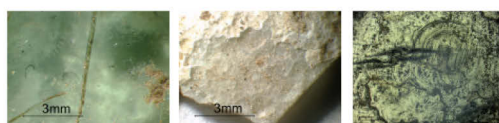
Hochschule für Technik und
Wirtschaft (HTW) Berlin
Wilhelminenhofstraße 75 a
D - 12459 Berlin

Phone + 49 30 5019 - 3506
Fax + 49 30 5019 - 4709
glasber@htw-berlin.de

5.2.2. Korrosionsbildkatalog

KORROSIONSBILDKATALOG WALDGLAS-PROJEKT

Charakterisierung von Art und Ausmaß der Korrosionsphänomene an archäologischem Glas



KORROSIONSBILDKATALOG WALDGLAS-PROJEKT

Seite 2

Bestand der Glassubstanz

Kernglas

Beschreibt den noch intakten Bereich (Kern) eines Korrosionsschichten aufweisenden, abgebauten Glases.

Kernglas ist vorhanden, unabhängig seiner Menge	Kernglas ist nicht mehr vorhanden	Nicht erkennbar, ob vorhanden

Originaloberfläche

Als Originaloberfläche wird die ursprüngliche Glas- oder Nutzungsoberfläche aufgefasst, die nach der Bodenlagerung innerhalb der Korrosionsschichten sowie der eingelagerten Partikel aus dem Erdreich zu finden ist.

Originale Oberfläche ist vollständig vorhanden	>50% der Originaloberfläche ist noch vorhanden	<50% der Originaloberfläche ist noch vorhanden	Originaloberfläche fehlt

Beschaffenheit der originalen Oberfläche

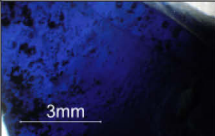



Eine Oberfläche ist rau, wenn sie nur wenig Glätte aufweist. Bei frühen Stadien der Glaskorrosion entstehen raue, matte und trübe Oberflächen.

Vollständige Oberfläche ist glatt	<50% der Oberfläche sind rau	> 50% der Oberfläche sind rau	Vollständige Oberfläche ist rau

Erhaltungszustand - optische Veränderungen des Erscheinungsbildes (korrosionsbedingt)

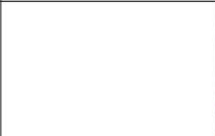
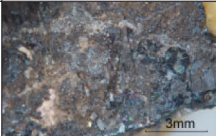
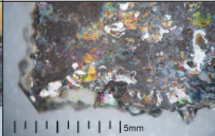
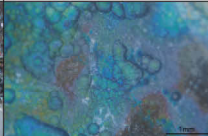
Opazität/ Transparenz

Opazität entsteht, wenn die Alkalitionen aus dem Kernglas ausgelaugt werden und folglich eine Streuung des Lichtes auf der veränderten Oberfläche stattfindet.

O Vollständige Transparenz	X <50% Opazität	XX >50% Opazität	XXX Vollständige Opazität
			

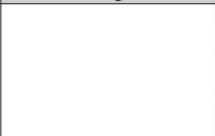


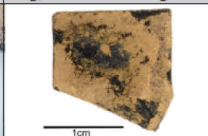
Irisieren der Oberfläche

Eine Irisieren wird durch Interferenzeffekte des Lichtes verursacht, das von mehreren Verwitterungsschichten unterschiedlich reflektiert wird. Sie stören die direkte Lichtdurchlässigkeit des Glases und führen zu einem irisierenden Erscheinungsbild.

O Kein Irisieren	X < 50% Irisieren	XX >50% Irisieren	XXX Vollständiges Irisieren
			

Verbräunung/ Verschwärzung

Konzentration von Mangan- und Eisenverbindungen, wobei auch Calcium, Phosphor und Schwefel Teil des Färbematerials sind. Diese Ansammlungen sind als Verbräunung auf der Korrosionsoberfläche bzw. innerhalb der ausgelaugten Schicht zu sehen.

O Keine Verbräunung/ Verschwärzung	X <50% Verbräunung/ Verschwärzung	XX >50% zeigt Verbräunung/ Verschwärzung	XXX Vollständige Verbräunung/ Verschwärzung
			

Skalierung der Erhaltungszustände

O	X	XX	XXX	?
nicht vorhanden	<50% / minimal vorhanden	>50% / partiell vorhanden	vorhanden/flächendeckend	nicht erkennbar
keine Beeinträchtigung	minimale Beeinträchtigung	stärkere Beeinträchtigung	maximale Beeinträchtigung	Zustand nicht definierbar

Erhaltungszustand - Auflagerungen

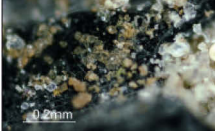



Sekundäre Auflagerungen

Bei sekundären Auflagerungen handelt es sich meist um extern angelagertes Material, wie Sedimentbestandteile, die auf einem Objekt aufliegen.

O Keine Auflagerungen	X <50% der Oberfläche sind von Auflagerungen bedeckt	XX >50% der Oberfläche sind von Auflagerungen bedeckt	XXX Die gesamte Oberfläche ist von sekundären Auflagerungen bedeckt
			

Biogene Auflagerungen


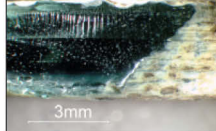

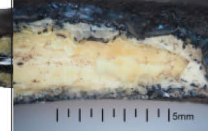
Biogene Auflagerungen wie Flechten, Algen, Pilze oder Bakterien können den Abbau der Glasstruktur fördern. Mithilfe von Lochkorrosion, Verschmutzungen oder Fettrückständen können Mikroorganismen an der Oberfläche haften.

Schimmelpilze	Algen / Flechten / Moose	Eier	Abgebaute Auflagerungen mit Zellstruktur
			

Erhaltungszustand - Oberflächenkorrosion

Gelschicht

Breiter, durch Ionenaustausch ausgelaugter Bereich, der durch eingelagerte Wassermoleküle feuchtigkeitsgesättigt ist.

O Sehr dünne Gelschicht, optisch nicht erkennbar	X <10% der Glasmasse ist mit einer Gelschicht bedeckt	XX Zwischen 10-50% des Querschnitts sind mit einer Gelschicht bedeckt	XXX >50% der Glasmasse sind mit einer Gelschicht bedeckt
			

Skalierung der Erhaltungszustände

O	X	XX	XXX	?
nicht vorhanden	<50% / minimal vorhanden	>50% / partiell vorhanden	vorhanden/flächendeckend	nicht erkennbar
keine Beeinträchtigung	minimale Beeinträchtigung	stärkere Beeinträchtigung	maximale Beeinträchtigung	Zustand nicht definierbar

Erhaltungszustand - Oberflächenkorrosion

Korrosionskruste

Glasimmanente, durch chem. und phys. Umwandlung verhärtete, stark strukturierte Oberfläche der Gelschicht, die sich bei Trocknung in Schollen abläßt. Sie ist oftmals milchig-weiß bis gelblich-transparent oder gänzlich verbräunt. Durch Wechselwirkungen mit der Umgebung sind zudem sedimentäre Bestandteile eingelagert.

O Keine Korrosionskruste vorhanden	X <50% der Oberfläche ist von einer Korrosionskruste bedeckt	XX >50% der Oberfläche ist von einer Korrosionskruste bedeckt	XXX Die Oberfläche ist vollständig von einer Korrosionskruste bedeckt

Lochkorrosion

Lochkorrosion ist eine Art des Oberflächenabbaus, der sich in Form von kleinen, halbkugelförmigen Kratern auf ausgewählten, ausgelaugten Glasflächen, manifestiert. Dieses Phänomen der auftretenden Krater oder Hohlräume in der Oberfläche des Glases, wird durch Korrosionsprozesse verursacht.

? Nicht erkennbar	O Keine Lochkorrosion	X Vereinzelte Krater der Lochkorrosion	XX Unregelmäßig, über die Fläche verteilte, isolierte Krater der Lochkorrosion	XXX Flächig, ineinander übergehende Krater der Lochkorrosion

Gangartige Korrosion

Gangartige Korrosion ist eine Art des Oberflächenabbaus, der sich in Form von länglichen, hohlen Strukturen, die unter oder auf der Glasoberfläche verlaufen, manifestiert. Das Phänomen ist bisher kaum erforscht.

? Nicht erkennbar	O Keine gangartige Korrosion	X Einzelne Gangstrukturen	XX Über die Fläche verteilte, isolierte Gangstrukturen	XXX Flächige, Netz bildende Gangstrukturen

Skalierung der Erhaltungszustände

O	X	XX	XXX	?
nicht vorhanden	<50% / minimal vorhanden	>50% / partiell vorhanden	vorhanden/flächendeckend	nicht erkennbar
keine Beeinträchtigung	minimale Beeinträchtigung	stärkere Beeinträchtigung	maximale Beeinträchtigung	Zustand nicht definierbar

Erhaltungszustand - Tiefenkorrosion

Lamellenbildung

Die vertikale Glaskorrosion kann eine hohe Anzahl von Schichten umfassen. Diese haften aneinander, durchdringen das gesamte Material oder sind nur oberflächlich ausgeprägt. Da diese Schichten stark hydriert sind, können sie bei Veränderung der Feuchtigkeitswerte erheblich schrumpfen oder sich ausdehnen, was zum Abblättern der Lamellen führt.

O keine Lamellen vorhanden	X Lamellen liegen in Form dünner „Häutchen“ vor	XX Kompakt ausgeprägte Lamellenbereiche	XXX Im Querschnitt sind nur noch Lamellen sichtbar

Ringverwitterung

Unter einem dünnen „Häutchen“ bzw. einer Korrosionsschicht liegende, konzentrische Ringe, die sich bei Berührung überlagern und überschneiden oder in zusammenwachsende Ringsysteme kulminieren. Im fortgeschrittenen Stadium ähnelt die Ringverwitterung der Lochkorrosion.

? Nicht erkennbar	O Keine Ringverwitterung	X Vereinzelte Ringe, mit Glashäutchen bedeckt	XX Über die Fläche verteilte, isolierte Ringe	XXX Flächig, sich überschneidende Verwitterungsringe

Federartige Korrosion

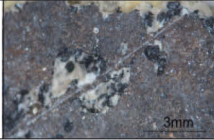
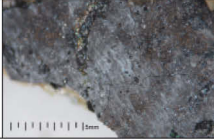



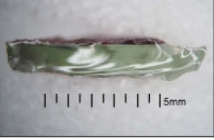
Federartige Korrosion ist eine Art des Abbaus, die sich in Form von federig angeordneten Rissen und Gängen, die unter und auf der Glasoberfläche verlaufen sowie einen V-förmigen Querschnitt aufweisen, manifestiert. Das Phänomen ist bisher kaum erforscht.

O Keine federartige Korrosion	X Vereinzelte federartige Korrosion auf und unter der Glasoberfläche	XX Stark verzweigte federartige Korrosion auf und unter der Glasoberfläche	XXX Stark ausgeprägte federartige Korrosion durch den ganzen Querschnitt
	<i>Dieser Erhaltungszustand liegt an den Fragmenten im Projekt nicht vor</i>		<i>Dieser Erhaltungszustand liegt an den Fragmenten im Projekt nicht vor</i>

Skalierung der Erhaltungszustände

O	X	XX	XXX	?
nicht vorhanden	<50% / minimal vorhanden	>50% / partiell vorhanden	vorhanden/flächendeckend	nicht erkennbar
keine Beeinträchtigung	minimale Beeinträchtigung	stärkere Beeinträchtigung	maximale Beeinträchtigung	Zustand nicht definierbar


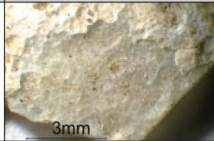

Erhaltungszustand - Mechanische Veränderungen des Erscheinungsbildes (korrosionsbedingt / anthropogen)

<p>Kratzer</p> <p><i>Ein Kratzer ist ein flacher Schnitt in einer Oberfläche, der durch einen scharfen Gegenstand verursacht wurde. Historische Kratzer auf archaischen Gläsern sind nur selten festzustellen, da sie von Korrosionsschichten verdeckt werden.</i></p>	<p>? Nicht erkennbar</p>	<p>O Keine Kratzer</p>	<p>X Einzelne Kratzer (rezent)</p>	<p>XX Vereinzelt, über die Fläche verteilte Kratzer</p>	<p>XXX Zusammenhängend verlaufende, weit verteilte Kratzer</p>
				<i>Dieser Erhaltungszustand liegt an den Fragmenten im Projekt nicht vor</i>	<i>Dieser Erhaltungszustand liegt an den Fragmenten im Projekt nicht vor</i>
<p>Risse</p> <p><i>Ein Riss repräsentiert eine Fissur in einer starren Substanz. Risse können ein Netzwerk bilden. Sie werden durch interne und externe Kräfte verursacht.</i></p>	<p>? Nicht erkennbar</p>	<p>O Keine Risse</p>	<p>X Einzelne, nicht zusammenhängende Risse</p>	<p>XX Über die gesamte Oberfläche verlaufendes Rissnetz/Craquelé</p>	<p>XXX Mikro- und Makrorisse bis ins Innere der Glassubstanz</p>
					
<p>Brüche</p> <p><i>Die Stelle, entlang derer ein Material durch kohäsives Versagen in zwei Fragmente getrennt wird. Bei einem Bruch werden die entstehenden Fragmente vollständig voneinander gelöst.</i></p>	<p>? Kanten nicht identifizierbar</p>	<p>O Keine Brüche</p>	<p>X -Historisch Während der Bodenlagerung entstandener Bruch</p>	<p>X -Rezent Nach der Bergung entstandener Bruch</p>	
					

Skalierung der Erhaltungszustände

O	X	XX	XXX	?
nicht vorhanden	<50% / minimal vorhanden	>50% / partiell vorhanden	vorhanden/flächendeckend	nicht erkennbar
keine Beeinträchtigung	minimale Beeinträchtigung	stärkere Beeinträchtigung	maximale Beeinträchtigung	Zustand nicht definierbar

Erhaltungszustand - Mechanische Veränderungen des Erscheinungsbildes (korrosionsbedingt / anthropogen)

<p>Oberflächenverlust durch Abplatzungen</p> <p><i>Abplatzungen entstehen durch äußere Verwitterungs- und Erosionseinflüsse bzw. durch Migration und Auskristallisierung von löslichen Salzen oder durch andere physikalische Faktoren. Oftmals ist eine innere Druckspannung verantwortlich für diese Art des Materialverlustes, es sei denn er wird extern mechanisch herbeigeführt.</i></p>	<p>O Keine Abplatzungen, Oberfläche ist vollständig</p>	<p>X <50% der Oberfläche ist abgeplatzt</p>	<p>XX >50% der Oberfläche ist abgeplatzt</p>	<p>XXX Vollständiger Oberflächenverlust</p>
				
<p>Gesamtstabilität des Objekts</p>	<p>O Gesamtobjekt ist stabil</p>	<p>X <50% des Objektes sind stabil</p>	<p>XX >50% des Objektes sind fragil</p>	<p>XXX Gesamtobjekt ist fragil</p>
				

Skalierung der Erhaltungszustände

O	X	XX	XXX	?
nicht vorhanden	<50% / minimal vorhanden	>50% / partiell vorhanden	vorhanden/flächendeckend	nicht erkennbar
keine Beeinträchtigung	minimale Beeinträchtigung	stärkere Beeinträchtigung	maximale Beeinträchtigung	Zustand nicht definierbar

5.2.3. Untersuchungen zum Trocknungsverhalten korrodierter Glasfragmente

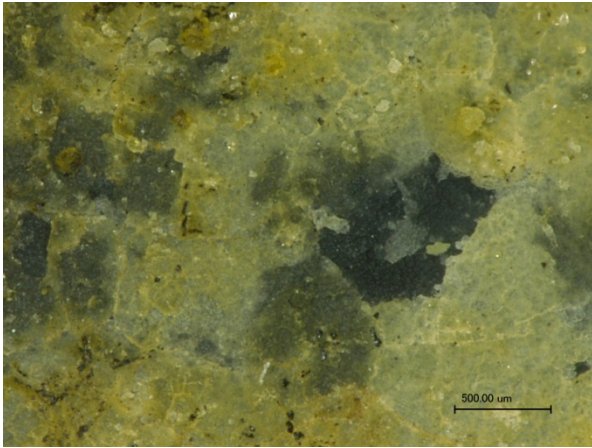
Trocknung der Fragmente S1F1, S2F1, S3F1 in der Klimakammer

- Laufzeit der Trocknung: 360 + 120 Stunden
- Klima- Parameter: Temperatur 20°C; RLF1 85 %, RLF2 75 %, RLF3 65 %, RLF4 55 %, RLF5 45 %, RLF6 30 %¹⁰¹

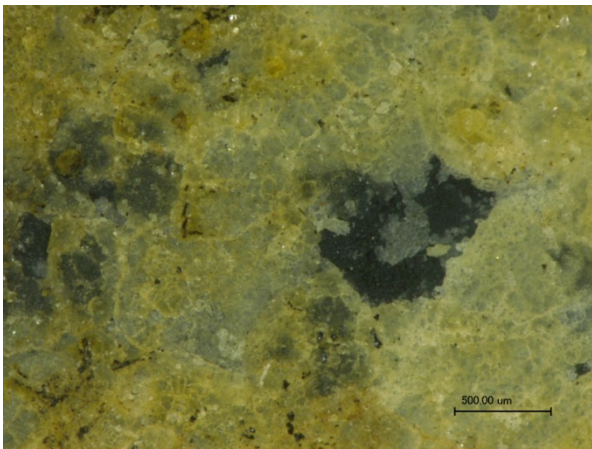
Teil 1				Teil 2			
14.03.	11:00	85 %	→ Start /Konditionierung der Klimakammer	04.04.	12:00		30 % → Ende → Doku : MA der OF, Gewicht → Auswertung
15.03.	12:00	85 %	→ Doku : MA der OF, Gewicht → Platzieren der Fragmente in KK	03.04.	12:00		30 %
16.03.	12:00	85 %	→ Doku : Gewicht → Senken der RLF auf 75 % innerhalb von 24 St.	02.04.	12:00		30 %
17.03.	12:00	75 %	→ Senken der RLF auf 65 %	01.04.	12:00		30 %
18.03.	12:00	75 %	→ Senken der RLF auf 65% innerhalb von 24 St.	31.03.	12:00		30 %
19.03.	12:00	65 %		30.03.	12:00	45 %	→ Doku : MA der OF, Gewicht → Senken der RLF auf 30 % innerhalb von 24 St.
20.03.	12:00	65 %		29.03.	12:00	45 %	
21.03.	12:00	65 %	→ Senken der RLF auf 55% innerhalb von 24 St.	28.03.	12:00	45 %	
22.03.	12:00	55 %		27.03.	12:00	45 %	
23.03.	12:00	55 %		26.03.	12:00	45 %	
24.03.	12:00	55 %		25.03.	12:00	55 %	→ Senken der RLF auf 45 % innerhalb von 24 St.

¹⁰¹ Die Reduzierung der relativen Luftfeuchtigkeit erfolgte in Anlehnung an ROEMICH et al. 2004, S. 65-66

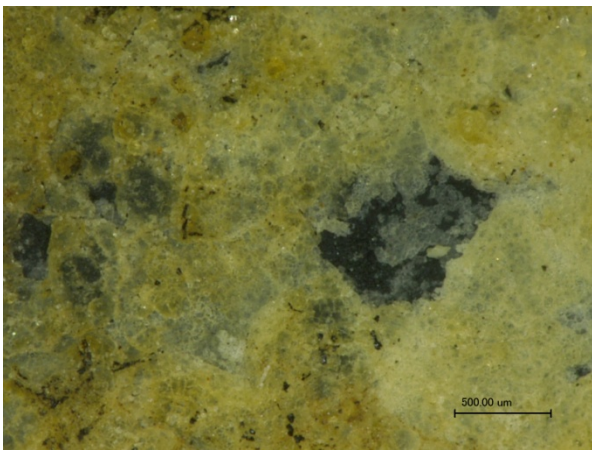
5.2.4. Untersuchung der unkontrollierten Trocknung



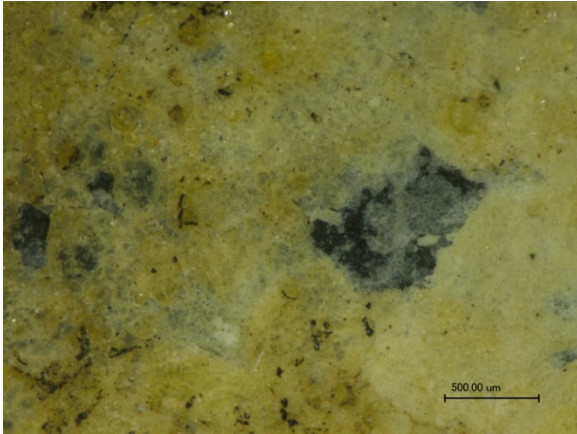
Glasfragment bei Start der Trocknung



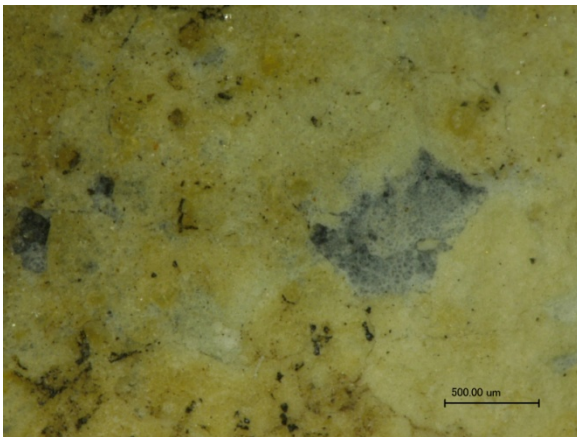
Glasfragment nach wenigen Sekunden
Trocknung



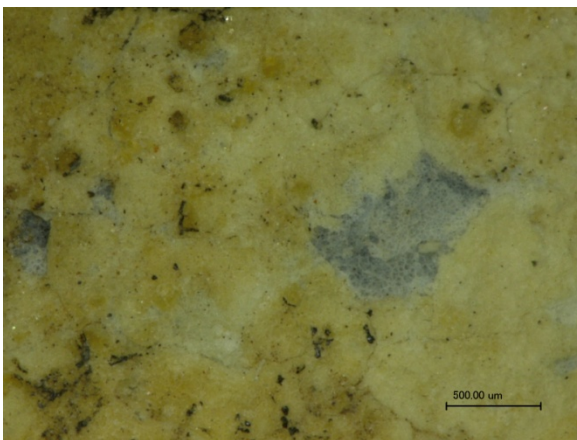
Glasfragment nach wenigen Sekunden
Trocknung



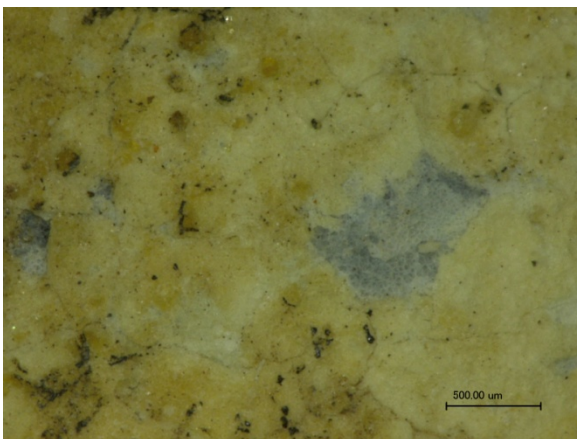
Glasfragment nach < 30 Sekunden
Trocknung



Glasfragment nach < 30 Sekunden
Trocknung



Glasfragment zum Ende der Trocknung



Glasfragment nach der Trocknung (< 1 min)

6. Abbildungsverzeichnis

Abb. 1 Projekttreffen in Bodenfelde, 17. Juni 2016. Besichtigung der Grabungsstelle der karolingischen Glashütte Bo7. Von links: Radoslaw Myszka, Prof. Dr. Hans-Georg Stephan, Martin Wolf, Dr. Eva Černá, Dr. Peter Steppuhn, Sören Siebe, Dr. Daniel Althaus (Stadtarchiv Uslar), Klaus Glaesner (Ratsvorsitzender Flecken Bodenfelde), Prof. Dr. Gerhard Eggert, Mirko von Pietrowski (Bürgermeister Flecken Bodenfelde).....	10
Abb. 2 Abschlusskolloquium des Waldglas-Projektes im Schloss Nienover, 6. Oktober 2017 .	11
Abb. 3 Wiederherstellung der Ofenrelikte der Glashütte am Lakenteich (Solling) im Juli 2010. Unter dem Schutzdach das weitgehend erhaltene Fundament des Hauptofens	11
Abb. 4 Das auf dem Gelände der Stadtwüstung Nienover nachgebaute romanische Fachwerkhhaus	12
Abb. 5 Schloss Nienover auf dem Hügel am Zusammenfluss der Arme des Reiherbaches von Südosten	13
Abb. 6 Ein-Ofen-Anlage am Kleinen Mittelberg. Grabungsbesichtigung am 5. Oktober 2016 .	14
Abb. 7 Romanische Glashütte S-NW3. Pressetermin am 6. September 2017. Kamerateam des Norddeutschen Rundfunks	14
Abb. 8 Folgen des Sturms "Friederike" im Solling, Januar 2018.....	15
Abb. 9 Spätmittelalterliche Glashütte Bo 5. Studenten der Archäologie der Universität Halle-Wittenberg und der Monumental Heritage der Hochschule Anhalt in Dessau	16
Abb. 10 Stadtwüstung Nienover. Links oben: Freilegungsarbeiten mit den vier kompletten Gläsern (sichtbar deren Mündung); Links unten: Endfoto eines konservierten und rekonstruierten Bechers aus völlig zersetztem Holzasche-glas; Rechts: Nachgeblasener Becher des „Typs Nienover“, formal etwas abweichend vom Original	20
Abb. 11 Blick in ein typisches langgestrecktes Sollingtal (Oberes Hellental mit Glashüttenstandorten).....	23
Abb. 12 Übersicht zu den mittelalterlichen Waldglashütten beiderseits der Oberen Weser mit einem ersten Versuch der Differenzierung von Haupthütten und Nebenhütten (in denen ein Vorprodukt für Glas geschmolzen wurde) und Einzeichnung der Dorfwüstung Winnefeld (nach Rahrig 2012)	25
Abb. 13 Übersichtskarte zu Glashüttenstandorten im Solling, älterer Forschungsstand (nach Bloß 1953)	27
Abb. 14 Übersichtskarte der im Rahmen des Waldglas-Projektes untersuchten Waldglashütten im Solling.....	31
Abb. 15 Fragmente von karolingerzeitlichen Glasschmelzgefäßen aus dem Werkstattbereich im Klosterbezirk von Corvey	32
Abb. 16 Glasfunde aus Corvey: Glasglätter (oben links), gekröseltes Fensterglas (oben rechts) und karolingerzeitliche Glasfliesen, Vorderseite und Rückseite (unten).	33

Abb. 17 Der umgebaute Osttrakt der Klausur des romanischen Benediktinerklosters in Helmarshausen (Kreis Kassel)	34
Abb. 18 Blick vom Reinhardswald bei Gieselwerder auf das Wesertal und den südlichen Solling bei Bodenfelde	36
Abb. 19 Lage der spätmittelalterlichen Glashütte Bo5 und der karolingerzeitlichen Glashütte Bo7 (nach Myszka 2016).....	37
Abb. 20 Kreickgrund. Blick von der karolingerzeitlichen Glashütte Bo7 in Richtung spätmittelalterliche Glashütte und Wesertal mit dem Glaseberg	37
Abb. 21 Die Spiegelglashütte Amelith und das Amtshaus Nienover im Reiherbachtal, kolorierte Radierung der Zeit um 1800 von Besemann.....	37
Abb. 22 Karolingische Glashütte Bo 7. Orthofoto der Ofenbefunde erstellt aus einem 3D-Leserscan (nach Siebe 2017)	38
Abb. 23 Karolingische Glashütte Bo7. Blick von Osten unmittelbar auf die Fundstelle vor Grabungsbeginn	39
Abb. 24 Karolingische Glashütte Bo 7. Befundplan (nach Myszka 2019).....	39
Abb. 25 Karolingische Glashütte Bo 7. Blick auf die in situ erhaltenen Relikte des Ofens 3....	40
Abb. 26 Karolingische Glashütte Bo 7. Ohne Befundkontext gefundenes Stück der Hafentank	40
Abb. 27 Karolingische Glashütte Bo 7. Blick auf die in situ erhaltenen Relikte des Fundamentes des Ofens 1 und des Feuerungskanal des Ofens 2.....	41
Abb. 28 Karolingische Glashütte Bo 7. Grabungspraktikum 2016. Schlämmen des Bachsedimentes durch Studenten der Archäologie und der Restaurierungswissenschaften ...	45
Abb. 29 Karolingische Glashütte Bo 7. Randstück eines archaischen handgemachten Kugeltopfes	46
Abb. 30 Karolingische Glashütte Bo 7. Verdickter Rand eines Drehscheibentopfes	46
Abb. 31 Karolingische Glashütte Bo 7. Rand- und Schulterpartie eines sekundär als Hafen genutzten Drehscheibentopfes.....	46
Abb. 32 Karolingische Glashütte Bo 7. Freihandgefertigter Hafen mit gelblichem Scherben und 0,75 dm ³ Volumen.....	48
Abb. 33 Karolingische Glashütte Bo 7. Freihandgefertigter weitgehend erhaltener Hafen mit hellgrauem Scherben und 1,5 dm ³ Volumen	49
Abb. 34 Karolingische Glashütte Bo 7. Bodenfragment eines freihandgefertigten Hafens mit gelblichem Scherben und dünner beidseitig anhaftender stark korrodierter Glasschicht	49
Abb. 35 Karolingische Glashütte Bo 7. Rekonstruierbarer klingend harter dünnwandiger scheidengedrehter Hafen.....	50

Abb. 36 Karolingische Glashütte Bo 7. Fragment des Rahmens einer Arbeitsöffnung	54
Abb. 37 Karolingische Glashütte Bo 7. Grüne, türkisgrüne, türkisblaue und blaue Glastropfen	56
Abb. 38 Kalium- und Calcium-Gehalte in Rohgläsern, Glastropfen, Flach- und Hohlgläsern aus Bodenfelde und Vergleichsstandorten. Die mit der zerstörungsfreien Röntgenfluoreszenzanalyse ermittelten Massegehalte sind aus methodischen Gründen nur als Informationswerte zu betrachten. Werte in der linken Ellipse: Früh- und hochmittelalterliche Glastropfen und Rohglas, Werte in der rechten Ellipse: Spätmittelalterliche und neuzeitliche Flachgläser. Daten, Analysen und grafische Darstellung von Dr. Detlef Wilke, Wennigsen	58
Abb. 39 Karolingische Glashütte Bo 7. Komplett erhaltener korrodierter Glasglätter aus (dunklem) grünlichem Glas.....	60
Abb. 40 Typischer neuzeitlicher Laubholzmischwald im Solling (vornehmlich Buche).....	63
Abb. 41 Köhlerei: Historisches Foto des frühen 20. Jahrhunderts mit nach alter Tradition betriebenen Holzkohlenmeiler im Solling bei Delliehausen.....	63
Abb. 42 Köhlerhütte im Solling, Bleistiftzeichnung von Johann Wilhelm Schirmer aus dem Jahr 1843 (nach Perse 2001, 218).....	63
Abb. 43 Kartierung mittelalterlicher Glashütten im Nordwestsolling unweit von Höxter-Corvey im Otterbachtal bei Lüchtringen und im Rumohrtal zwischen Neuhaus-Fohlenplacken und Holzminden. Die durch rote Farbe gekennzeichnete Glashütte S-NW3 im Rumohrtal ist die Grabungsstätte des Jahres 2017-2018. Eingezeichnet sind weiterhin mittelalterliche Dorfwüstungen (Limke, Sülbecke, Uppensen) und bis heute weiterbestehende im Mittelalter entstandene Orte. Die Dorfwüstung Uppensen markiert in etwa den Randbereich der mittelalterlichen Kulturlandschaft in der Talerweiterung der Weser bei Holzminden und Höxter (nach Henne, Stephan und Myszka 2018).....	67
Abb. 44 Holzminden, Stadtansicht nach Merian 1654. Im Hintergrund vor dem bewaldeten Gebirge das im 16. Jahrhundert neu besiedelte, zuvor wüste Altendorf (D), der zweite Teil des mittelalterlichen Doppelortes.....	68
Abb. 45 Romanische Glashütte S-NW3. Blick von Südosten auf die Fundstelle während der Grabungsarbeiten	69
Abb. 46 Romanische Glashütte S-NW3. Blick auf den freigelegten Hauptofen	70
Abb. 47 Der Glasschmelzofen des Theophilus nach Knowles 1922	71
Abb. 48 Der Glasschmelzofen des Theophilus nach Theobald 1933	71
Abb. 49 Romanische Glashütte S-NW3. Als Südteil eines Doppelofens angelegter Streckofen	73
Abb. 50 Romanische Glashütte S-NW3. Kühlöfen, errichtet als Nordteil eines Doppelofens ...	74
Abb. 51 Romanische Glashütte S-NW3. Blick auf den mutmaßlichen Frittofen (rechts) und die Relikte eines kleinen mutmaßlichen Metallverarbeitungssofens für die Farbglas- und Kalium-Bleiglas-Fertigung (links).....	77

- Abb. 52 Romanische Glashütte S-NW3. Für die Herstellung der Blei-Gläser verwendetes metallisches Rohmaterial. Grauer oxidiertes 651,4 g schwerer Bleifladen 78
- Abb. 53 Romanische Glashütte S-NW3. Für die Einfärbung der Gläser verwendetes metallisches Rohmaterial. Schwärzlich, rot und grün oxidiertes 57,2 g schweres Rohkupfer .78
- Abb. 54 Romanische Glashütte S-NW3. Relikte des kleinen, 2018 freigelegten Nebenofens ..79
- Abb. 55 Romanische Glashütte S-NW3. Bisher europaweit so gut wie unbekannte technische Gefäße: Fragmente von roten Kugeltöpfen archaischer Machart mit lokaler Buntsandsteinmagerung. Links: mit dicker grauer Auflagerung von Blei auf der Innenseite, rechts: mit schwärzlich grüner Auflagerung mit hohem Kupfergehalt. Offenbar verwendet als Reaktionsgefäße für das in größeren Mengen benötigte Blei- und Kupferoxid..... 81
- Abb. 56 Romanische Glashütte S-NW3. Fast vom Boden bis zum Rand erhaltener spezieller steilwandiger Hafen mit einer glasurartigen Schicht von grünem Bleiglas auf der Innenseite, Höhe ca. 26 cm, Durchmesser ca. 28 cm..... 83
- Abb. 57 Romanische Glashütte S-NW3. Länger benutzter mit Glas überflossener nahezu vollständiger aus Fragmenten zusammengesetzter typischer leicht konischer hoher Hafen mit einbiegendem Rand zum Schmelzen des Glases, ca. 10 Liter (dm³) Volumen 83
- Abb. 58 Romanische Glashütte S-NW3. Smaragdgrünes, türkisgrünes und blaugrünes Flachglas..... 87
- Abb. 59 Romanische Glashütte S-NW3. Hell- und dunkelblau gefärbtes Flachglas 88
- Abb. 60 Romanische Glashütte S-NW3. Halbkreisförmig gekröseltes grasgrünes Flachglas ... 89
- Abb. 61 Romanische Glashütte S-NW3. Nahezu farbloses, leicht grünstichiges gekröseltes Flachglas..... 89
- Abb. 62 Romanische Glashütte S-NW3. Sattgrünes, trapezförmig gekröseltes Flachglas 89
- Abb. 63 Romanische Glashütte S-NW3. Graugrün-rotes „marmoriertes“, unregelmäßig gekröseltes Flachglas..... 89
- Abb. 64 Romanische Glashütte S-NW3. Randstück eines Flachglases mit deutlichen diagonalen Anschnittspuren 90
- Abb. 65 Romanische Glashütte S-NW3. Randfragment mutmaßlich einer Lampe aus rotem transparentem Glas..... 92
- Abb. 66 Romanische Glashütte S-NW3. Bodenfragment einer Lampe aus grünlich-rottem „marmoriertem“ Glas..... 92
- Abb. 67 Romanische Glashütte S-NW3. Grüne, türkisgrüne, blaugüne und grün-rote „marmorierte“ Glasringe 94
- Abb. 68 Romanische Glashütte S-NW3. Weitgehend erhaltener Glasglätter aus stark korrodiertem grünem Glas mit 153,9 g Gewicht..... 95
- Abb. 69 Romanische Glashütte S-NW3. Glasperle aus grüner, mit roten Schlieren verzierter bleihaltiger Glasmasse 96

Abb. 70 Romanische Glashütte S-NW3. Glasperle aus hellgrünem Glas verziert mit vier diagonal gekniffenen Pinzettenabdrücken	96
Abb. 71 Romanische Glashütte S-NW3. Fragmente eines in Europa überaus seltenen, hochwertigen auf der Glashütte einzigartigen blauen dünnwandigen Trinkgefäßes mit opakweißen Fadenaufgaben	96
Abb. 72 Romanische Glashütte S-NW3. Randfragment eines mit Buntsandsteingrus gemagerten rotoxidierend gebrannten Kugeltopfes älterer Machart.....	98
Abb. 73 Romanische Glashütte S-NW3. Randfragment einer oxidierend gebrannten hellgelben Tüllenkanne mit Bandhenkel und Rautenstempeldekor	98
Abb. 74 Klosterkirche Corvey. Westansicht des Westwerks von 873-885 nach dem Umbau von 1150, heutiger Zustand (links) und früher Rekonstruktionsversuch für die Karolingerzeit nach Effmann 1929	103
Abb. 75 Mittelalterliche Waldglashütten im Zentralsolling zwischen Uslar und Neuhaus, Nr. 30: Die ausgegrabene Ein-Ofen-Anlage am Kleinen Mittelberg/Franzosenweg (nach Henne 2016, Myszka 2019)	107
Abb. 76 Ein-Ofen-Anlage am Kleinen Mittelberg. Ofenhügel vor der Ausgrabung	112
Abb. 77 Ein-Ofen-Anlage am Kleinen Mittelberg. Erhaltene Relikte des Glasofens	113
Abb. 78 Ein-Ofen-Anlage am Kleinen Mittelberg. Orthofoto des Ofens erstellt aus einem 3D-Leserscan (nach Siebe 2017)	114
Abb. 79 Ein-Ofen-Anlage am Kleinen Mittelberg. Opake, leuchtend grüne, türkisgrüne, türkisblaue und fast farblose Glastropfen.....	116
Abb. 80 Ein-Ofen-Anlage am Kleinen Mittelberg. Stark korrodierte eiserne Sichel. Ein Indiz für Landwirtschaft oder Mobilität?	117
Abb. 81 Ein-Ofen-Anlage am Kleinen Mittelberg. Oberteil eines Kugeltopfes mit Schulterriefen (harte hellscherbige graue Irdenware)	118
Abb. 82 Ein-Ofen-Anlage am Kleinen Mittelberg. Oberteil eines kleinen Kugeltopfes (klingend harte graue Irdenware).....	118
Abb. 83 Ein-Ofen-Anlage am Kleinen Mittelberg. Fragmente eines mittelgroßen mit Vertikalstempeldekor versehenen Kruges	119
Abb. 84 Ein-Ofen-Anlage am Kleinen Mittelberg. Fragment von heller grauer Irdenware jüngerer Machart mit Rollstempeldekor	119
Abb. 85 Blick auf die Grabungsstelle der spätmittelalterlichen Glashütte Bo 5. Im Hintergrund der historische Glasmacherort Polier, links der Fuß des Glaseberges	121
Abb. 86 Spätmittelalterliche Glashütte Bo 5. Ergebnis der geomagnetischen Prospektion der Fundstelle (nach Reich 2012, Myszka 2019).....	122
Abb. 87 Spätmittelalterliche Glashütte Bo 5. Profilschnitt durch eine U-förmige mit Ofenschutt verfüllte Lehmentnahmegrube.....	123

Abb. 88 Spätmittelalterliche Glashütte Bo 5. Fläche 4. Steinschüttung mit Fragmenten bearbeiteter Sandsteine – kein Ofen.....	124
Abb. 89 Spätmittelalterliche Glashütte Bo 5. Zwei Fragmente eines zerbrochenen helbfertigen Schleifsteins	124
Abb. 90 Spätmittelalterliche Glashütte Bo 5. Gut erhaltenes grünes, blaues, gelbes, rot überfangenes und violettes Fensterglas.....	125
Abb. 91 Spätmittelalterliche Glashütte Bo 5. Kleiner Ausschnitt aus dem reichen Fundgut: Glastropfen und andere Produktionsrelikte.....	126
Abb. 92 Spätmittelalterliche Glashütte Bo 5. Weitgehend erhaltener Glashafen. Höhe: 18,5 cm; Durchmesser Rand: 40 cm; Durchmesser Boden: 24 cm	127
Abb. 93 Spätmittelalterliche Glashütte Bo 5. Gerades leistenartiges, auf der Oberseite gezahntes Model aus rosafarbenem, stark gemagertem Hafenton	129
Abb. 94 Spätmittelalterliche Glashütte Bo 5. Silberpfennig („Sware“) der Stadt Bremen. Durchmesser: 1,9 cm	131
Abb. 95 Spätmittelalterliche Glashütte Bo 5. Silbernadel mit goldenem oder vergoldetem Kopf	132
Abb. 96 Spätmittelalterliche Glashütte Bo 5. Gradbartschlüssel mit dreiteiligem Bart	132
Abb. 97 Spätmittelalterliche Glashütte Bo 5. Endstück einer Glasmacherpfeife.....	132
Abb. 98 Spätmittelalterliche Glashütte Bo 5. Trenneisen.....	133
Abb. 99 Spätmittelalterliche Glashütte Bo 5. Glasmacherhammer.....	133
Abb. 100 Mapping durch REM/EDX-Messung. Links: Ansicht der Probe im Rasterelektronenmikroskop, Glasmasse auf der rechten Seite (helles Grau), Einbettmasse auf der linken Seite (dunkles Grau), dazwischen Korrosionsprodukte; Rechts: Verteilung der verschiedenen gemessenen Elemente in der Probe.....	160
Abb. 101 Mapping durch REM/EDX-Messung. Verteilung der einzelnen Elemente; Beispielsweise sind Natrium und Kalium in den Korrosionsschichten größtenteils ausgelaugt, dafür bleiben Aluminium und Phosphor stärker erhalten. Im unteren Bereich der Korrosionsschicht gibt es eine Manganausfällung	161
Abb. 102 Aufweitung eines Risses im Glasnetzwerk durch den Einfluss von Wasser. Hydrolytische Spaltung einer Si-O-Si-Bindung (Gelb: Silizium [Si]; Rot: Sauerstoff [O]; Blau: Wasserstoff [H]) (nach Volker Koesling, Vom Feuerstein zum Bakelit. Historische Werkstoffe verstehen (Stuttgart 2001) S. 246).....	163
Abb. 103 Anschliff Glasprobe BA_G_129. Inhomogene Glasmasse mit weißen Einschlüssen (Calcium).....	168
Abb. 104 Vergleich der Bodenfeuchte-Messungen (Prozentualer Wasseranteil der Bodenproben)	172

Abb. 105 Bestimmung des pH-Wertes nach DIN 19684 im Labor der Otto-Friedrich-Universität Bamberg	173
Abb. 106 Nitrat-, Phosphat- und Sulfatwerte der Bodenproben BA_B_001 bis BA_B_026 (Werte in mg/kg TS)	179
Abb. 107 Sandproben: BA_B_039 (links) und BA_B_038 (rechts).....	180
Abb. 108 Lage der ergrabenen Glashütten und der Sandgrube. Quelle: www.google.de/maps	180
Abb. 109 Sieblinie der Sandprobe BA_B_038.....	181
Abb. 110 Sieblinie der Sandprobe BA_B_039.....	181
Abb. 111 Verteilung der Korngrößen BA_B_038	182
Abb. 112 Verteilung der Korngrößen BA_B_039	182
Abb. 113 Zusammensetzung der Sandprobe BA_B_038.....	183
Abb. 114 Zusammensetzung der Sandprobe BA_B_039.....	183
Abb. 115 Eingedampfte Salzsole aus Bad Karlshafen bei Bodenfelde	185
Abb. 116 Volumenvergleich von Holzasche, sowie ausgelaugten und eingedampften Salzurückständen. Von ca. 250 g Asche (links) bleiben lediglich ca. 30 g Salzurückstände (rechts) übrig.....	187
Abb. 117 Terrestrischer 3D-Laserscanner Faro Focus 3D im Einsatz auf der Ausgrabungsstätte	189
Abb. 118 3D-Punktwolke des gescannten Glasofens der Karolingischen Glashütte	189
Abb. 119 Orthogonale Aufsicht auf den gescannten Glasofen der Karolingischen Glashütte.	189
Abb. 120 Orthogonale Aufsicht auf den gescannten Glasofen an der Franzosenstraße; auch kleinste Details sind deutlich zu erkennen.....	190
Abb. 121 Oben: Querschnitt durch den Scann des Karolingischen Glasofens; deutlich sind der Feuerungskanal und die noch erhaltenen Ofenwände zu erkennen; Unten: Der Längsschnitt durch den Ofen an der Franzosenstraße erlaubt einen detaillierten Blick in das Innere des Feuerungskanals.....	191
Abb. 122 Stark abgebaute Glasfragmente der Grabung Bodenfelde in-situ	194
Abb. 123 Glasfragmente der Grabung Bodenfelde direkt nach der Bergung	195
Abb. 124 Glasfragment der Grabung Bodenfelde nach unkontrollierter Trocknung	195
Abb. 125 Verteilung der Tätigkeitsfelder der 157 TeilnehmerInnen	205
Abb. 126 Anteil der Gläser im Gesamtfundspektrum	206

Abb. 127 Anteil der mittelalterlichen Glasfunde im Verhältnis zur Gesamtmenge der geborgenen Gläser.....	206
Abb. 128 Angaben zur Form der Bergung	206
Abb. 129 Angaben zum Anlass von Blockbergungen für fragile Glasfunde (in absoluten TN, MN möglich)	206
Abb. 130 Zeitpunkt der Erstversorgung fragiler Glasfunde auf der Grabung (in absoluten TN, MN möglich)	207
Abb. 131 Art der Erstversorgung fragiler Glasfunde auf der Grabung (in absoluten TN, MN möglich)	207
Abb. 132 Verpackungsformen für fragile Glasfunde auf der Grabung (in absoluten TN).....	207
Abb. 133 Einschätzung der Faktoren zur Fundbergung und -versorgung von Glasfunden ...	208
Abb. 134 Selbsteinschätzung zu vorgenommenen Versorgungsmaßnahmen	208
Abb. 135 Ausgewählte Equipments und Materialien für die Bergung und Fundversorgung archäologischer Gläser.....	209
Abb. 136 Glasfragment auf Tyvek-Umschlag liegend.....	216
Abb. 137 Mini-Blockbergung mit Gipskappe	216
Abb. 138 Mini-Blockbergung verpackt in ESCAL-Folie und mit Azzurro-Clip	216
Abb. 139 Konditionierung der Euronormbox mit Salzlösungen	216
Abb. 140 Position der Grabungsfläche im Gelände.....	217
Abb. 141 Stark korrodiertes Glasfragment in-situ.....	218
Abb. 142 Guter bis mittlerer Erhaltungszustand zweier Glasfragmente	218
Abb. 143 Diverse Erhaltungszustände an den für die instrumentelle Analytik gewählten Probegläsern.....	218
Abb. 144 REM-Aufnahmen der Gelschicht, die sich als „Lamellenpaket“ vom Kernglas gelöst hat: a) Innenbereich der ursprünglich am Kernglas anhaftenden Gelschicht; b) Rissbildung unabhängig des Lamellenverlaufs; c) Riss an der Grenze zweier „Lamellenpakete“ mit unterschiedlicher Verlaufsrichtung.....	219
Abb. 145 Auszug aus dem Korrosionsbildkatalog, Bereich Erhaltungszustand – Oberflächenkorrosion.....	220
Abb. 146 Für die Trocknungsversuche ausgewählte und gereinigte Glasfragmente.....	221
Abb. 147 Unkontrolliert getrocknete Glasscherbe mit fest auf der Glasoberfläche anhaftenden Sedimenten	222

Abb. 148 Milieuerhaltend geborgenes, stabiles Glas nach der Reinigung und kontrollierten Trocknung	222
Abb. 149 Kontrollierte Trocknung gereinigter Glasobjekte in einer mit gesättigten Salzen konditionierten Acrylglas-Box	222
Abb. 150 Oberfläche einer auf der Grabung gewaschenen und getrockneten Scherbe im REM	225
Abb. 151 Unkontrolliert getrocknetes Fragment mit fest anhaftenden Sedimenten auf den Korrosionsschichten	225

7. Tabellenverzeichnis

Tab. 1 Übersicht Waldglashütten im Werra-Weserbergland (nach Henne und Stephan 2018)	24
Tab. 2 Analysenergebnisse der Glaspfropfen aus der karolingischen Glashütte Bo 7, der spätmittelalterlichen Glashütte Bo 5 und der Ein-Ofen-Anlage des 13. Jhs. am Kleinen Mittelberg (So.75) ermittelt durch invasiven Mikrosondeneinsatz. Mittlere Zusammensetzung (MW) und Standardabweichungen (Stabw.) der untersuchten Gläser (nach: Dr. Andreas Kronz, Zentrum Geowissenschaften, Institut für Geochemie der Universität Göttingen, Dezember 2018).....	56
Tab. 3 Semiquantitativer Vergleich der Glasproben der Glashütte des 15. Jahrhunderts (BA_G_002 bis BA_G_125) und der karolingischen Glashütte (BA_G_127 bis BA_G_129). Die verschiedenen Farben repräsentieren das ungefähre Vorkommen der einzelnen Elemente von „sehr viel“ bis „in Spuren“. Die Charakterisierung der Gläser folgt dabei Karl Hans Wedepohl (Karl Hans Wedepohl, Die Herstellung mittelalterlicher und antiker Gläser (Stuttgart 1993), S. 23.....	167
Tab. 4 Analyse der Glasprobe BA_G_004 durch das Analytische Labor der FAU Erlangen, WW III – Glas und Keramik, Angaben in Gewichts-%. Bei dieser Probe handelt es sich um das einzige untersuchte Holzasche-Glas.....	167
Tab. 5 Analyse der Glasprobe BA_G_127 durch das Analytische Labor der FAU Erlangen, WW III – Glas und Keramik, Angaben in Gewichts-%. Bei dieser Probe handelt es sich um einen Glaspfropfen aus der karolingischen Glashütte	168
Tab. 6 Messung der Bodenfeuchte auf dem Ausgrabungsgelände mit Hilfe der mobilen Messgeräte Silverline 3-in-1 Soil Tester und PCE-SMM 1. Da sowohl die einzelnen Messwerte der Geräte zum Teil sehr stark voneinander abweichen und auch keinerlei Angabe gemacht wird, was die angezeigten Werte im Endeffekt aussagen, sind diese Geräte für eine wissenschaftliche Arbeit ungeeignet	170
Tab. 7 Vergleich der Bodenfeuchte-Messungen (Prozentualer Wasseranteil der Bodenproben)	171
Tab. 8 Bestimmung des pH-Wertes der entnommen Bodenproben durch die Universität Bamberg und das Fachlabor Analytic Aurachtal GmbH.....	174
Tab. 9 Pestizidanalyse durch das Fachlabor Analytik Aurachtal GmbH, Angaben in mg/kg TS. Alle getesteten Pestizide lagen unterhalb der Nachweisgrenze. Eine Pestizid-Belastung ist somit auszuschließen.....	175
Tab. 10 Anionen- und Kationenbestimmung mit Metallscreening der entnommenem Bodenproben durch das Fachlabor Analytik Aurachtal GmbH, Angaben in mg/kg TS.....	178
Tab. 11 Anionen- und Kationenmessung eingedampften Salzsole aus Bad Karlshafen durch das Fachlabor Drewello & Weißmann GmbH, Werte in g/kg. Als Hauptbestandteil konnte Natriumchlorid nachgewiesen werden	186
Tab. 12 Interne Zeitplanung für das Arbeitsprogramm der HTW Berlin	198
Tab. 13 Auswertung der Richtlinien aus der Bodendenkmalpflege zur Fundbergung und -versorgung.....	200

8. Abbildungsnachweis

- Olga Emgrund: Abb. 4
 - Regina Feldhaus-Stephan: Titelseite unten
 - Konstantin Gnybek: Abb. 54
 - Roland Henne: Abb. 18
 - HTW Berlin, Alexandra Jeberien: Titelseite oben, Seite 2; Abb. 1, 123-152
 - Radoslaw Myszka: Abb. 2, 3, 20, 23, 25-37, 39, 46, 49-53, 55-74, 76, 77, 79-84, 89, 90, 92-99
 - Otto-Friedrich-Universität Bamberg, Sören Siebe: Abb. 22, 78, 100, 101, 103, 105, 108, 110, 111, 119-122
 - Horst Weinreis: Seite 137; Abb. 5-9, 40, 45, 85, 91
-
- Abb. Titelseite oben: Glastropfen von der spätmittelalterlichen Glashütte Bo 5
 - Abb. Titelseite unten: Sonnenuntergang im Kreckgrund
 - Abb. Seite 2: Projekttreffen in Berlin, 20.05.2015. Von links: Dr. Paul Bellendorf, Sören Siebe, Olga Emgrund, Prof. Dr. Hans-Georg Stephan, Prof. Dr. Alexandra Jeberien, Prof. Dr. Rainer Drewello, Radoslaw Myszka
 - Abb. Seite 17: Winterabend am Knobben oberhalb Sohlingen
 - Abb. Seite 137: Blick auf den Weserbogen zwischen Bad Karlshafen und Bodenfelde
 - Abb. Seite 157: Sonnenuntergang über Sohlingen (ottonischer Königshof) im Hochsolling im Übergangsbereich zum Uslarer Becken
 - Abb. Seite 315: Projekttreffen in Nienover, 6. Oktober 2017. Von links: Radoslaw Myszka, Prof. Dr. Hans-Georg Stephan, Dr. Andreas Kronz, Dr. Paul Bellendorf, Olga Emgrund, Sören Siebe, Dr. Peter Steppuhn, Dr. Eva Černá, Prof. Dr. Rainer Drewello

