

DBU-Förderprojekt 26625-45
Die anthropogen umweltgeschädigten Burgen ‚Drei Gleichen‘ (Thüringen) als
Objekte einer Sanierung in Zusammenarbeit von Naturschutz und Denkmal-
pflege



Abschlussbericht

Teilprojekte

1. Kulturlandschaftsentwicklung und Tourismus

S. 4

Prof. Dr. Werner Kreisel Geographisches Institut der Universität Göttingen
Dr. Tobias Reeh Abt. Humangeographie
 Jana Heinemann Goldschmidtstr. 5
 Katharina Meifert 37077 Göttingen
 Thomas Wieland Tel. 0551/39-8022
 email treeh@gwdg.de

2. Hotspots der Phytodiversität und Refugien für seltene und schützenswerte Pflanzenarten

S. 14

Dr. Heike Culmsee Albrecht-von-Haller Institut für Pflanzenwissen-
 Johann Herrling schaften, Universität Göttingen
 Geoffrey Lebreton Abt. Vegetationsanalyse und Phytodiversität
 Dorothee Wolf Untere Karspüle 2,
 Inga Schmiedel 37073 Göttingen
 Julia Schwienheer Tel. 0551/39-4580,
 e-mail heike.culmsee@bio.uni-goettingen.de

3. Naturwerksteine der Drei Gleichen – Petrographie und Schadensphänomene

S. 23

Prof. Dr. Siegfried Geowissenschaftliches Zentrum
Siegesmund der Universität Göttingen
 Christian Murawski Abt. Strukturgeologie und Godynamik
 Dr. Jörg Rüdlich Goldschmidtstr. 3
 Heidrun Stück 37073 Göttingen
 Tel. 0551/39-7929
 email ssieges@gwdg.de

4. Mikrobielle Besiedlung auf Naturwerksteinen und Biodeterioration

S. 39

PD Dr. Michael Hoppert Institut für Mikrobiologie und Genetik
 Diana Fritzlär der Universität Göttingen
 Henrike Friedenberger Abt. Allgemeine Mikrobiologie
 Christine Hallmann Grisebachstr. 8
 Lorena Stanek D 37077 Göttingen
 Tel. 0551/39-3832
 email mhopper@gwdg.de

5. Maßnahmen zur Ruinensicherung – Modellhafte Restaurierung von Musterflächen

S. 59

Prof. Dr. Siegfried Geowissenschaftliches Zentrum
Siegesmund der Universität Göttingen
Prof. Dr. Bernhard Abt. Strukturgeologie und Geodynamik
Middendorf Goldschmidtstr. 3
 Wanja Wedekind 37073 Göttingen
 Tel. 0551/39-7929
 email ssieges@gwdg.de

6. Plan zur objektangepassten Pflege und Entwicklung

S. 59

Alle Projektpartner

Einleitung

Die stärkere Verknüpfung von ökologischen und kulturellen Aspekten ist unabdingbare Voraussetzung für den nachhaltigen Schutz von historischen Kulturlandschaften. Erste interessante Ergebnisse zu diesem Problembereich wurden modellhaft für die Wallmauern der Festung Rosenberg zu Kronach vorgelegt (Pick, R., Beyer, S, u. a., Denkmalpflege Informationen, Ausgabe A; 87, Bayer. Landesamt. f. Denkmalpflege, 2002). Dort zeigte sich deutlich, dass Denkmalpfleger Maßnahmen zur Substanzsicherung und Schadensvorbeugung forcieren, während aus Sicht des Naturschutzes die Erhaltung der Arten und Biotope durch Monitoring und behutsames Management im Vordergrund steht. Die aufeinander abgestimmten Maßnahmen zur Erhaltung und Pflege der Wallmauern der Festung Rosenberg zeigen erstmals, dass es möglich ist, diese unterschiedlichen Ansätze zu einer gemeinsamen Maßnahme zu vereinen.

Die Drei Burgen Gleichen, Wachsenburg und Mühlburg sind aufgrund ihrer besonderen Lage zueinander und der reich gegliederten Kulturlandschaft der Burgberge ein Ensemble von außergewöhnlicher Bedeutung. Die klimatischen und geologischen Besonderheiten (niedrige Jahresniederschläge, durch Trias-Sedimente geprägter geologischer Untergrund) schaffen die Voraussetzungen für die Entwicklung artenreicher Trockenrasen-Komplexe, die sich durch mediterrane und südosteuropäische Florenelemente auszeichnen. Überdies sind die durch historische Nutzungsformen geprägten Wälder der Burgberge wichtige Elemente der Kulturlandschaft. Die Burgen selbst unterscheiden sich in ihren Erhaltungszuständen, aber auch in ihrer Nutzung und Wahrnehmung durch Besucher.

Die Baukörper der ruinösen Burgen Gleichen und Mühlburg zeigen vielfältige und komplexe Schadensphänomene, die ein planvolles Eingreifen notwendig machen. Gleichzeitig ist trotz bestehender Pflegepläne der Bestand der Kulturlandschaft einerseits durch anthropogenen Einfluss aber auch durch das Ausbleiben geeigneter Nutzungsformen in ihrem Bestand bedroht.

In dem vorliegenden Projekt wurde daher neben den Baukörpern und Fragen zur Restaurierung und Erhaltung auch die umgebende, insbesondere unmittelbar durch die Entwicklung der Burgen geprägte Kulturlandschaft in die Untersuchungen mit einbezogen. Hierzu haben Fachwissenschaftler aus unterschiedlichen Disziplinen (Geologie, Geographie, Biologie, Materialwissenschaften, Denkmalpflege) in ihren Teildisziplinen die Bestände dokumentiert und Konzepte zur Erhaltung und Pflege entwickelt, die gerade die aufeinander bezogenen Aspekte von Burgen und Kulturlandschaft betonen.

Die Resultate des Projekts konnten durch die Publikation eines Buches und eines Kalenders, sowie durch eine im Mai 2011 auf der Mühlburg eröffnete Dauerausstellung in die Öffentlichkeit transportiert werden. Sie sollen dazu anregen, nicht nur für die Drei Gleichen, sondern für die Vielzahl vergleichbarer Ensembles, neue Formen eines integrierten Schutzes von Natur und Kulturgütern weiterzuentwickeln.

1. Kulturlandschaftsentwicklung und Tourismus

W. Kreisel, T. Reeh

1.1 Historische Kulturlandschaftsentwicklung der "Drei Gleichen"

T. Wieland

Hintergrund, Aufgabenstellung und Methodik

Ziel des Teilprojektes war die Erfassung und Aufarbeitung der Kulturlandschaftsentwicklung des Drei-Gleichen-Gebietes und ihre textliche und kartographische Darstellung. Die Untersuchung basierte hauptsächlich auf der Analyse historischen Kartenmaterials, das mit Hilfe Geographischer Informationssysteme (GIS) systematisch ausgewertet werden sollte.

Zu diesem Zweck wurden im ersten Schritt insbesondere historische Karten aber auch Landschaftsgemälde herangezogen. Weitere aktuelle und historische Quellen sowie zusätzliche Literatur ermöglichten zusätzliche Rückschlüsse. Die Recherche fand vorwiegend in den einschlägigen Archiven (insb. dem *Thüringischen Staatsarchiv Gotha*) statt, ferner wurden jüngere Karten und Geodaten über das *Thüringische Landesamt für Vermessung und Geoinformation* und das *Thüringische Landesamt für Umwelt und Geologie* beschafft. Die genutzten Primärquellen sind in Tab. 1 zusammengefasst (vgl. auch Galletti, 1780). Hinzu kamen verschiedene wissenschaftliche Arbeiten (v.a. Glink 2003, Vahrenkamp 2004, Meyer 2007, Fleischhauer 2009), die als Sekundärquellen die inhaltliche Information der Karten ergänzten.

Tab. 1. Genutzte Primärquellen

Zeitraum	Anzahl	Quellentyp
16. Jh.	3	Landschaftsgemälde
17. Jh.	4	Übersichtskarte (mittlerer/kleiner Maßstab), Landschaftsgemälde
18. Jh.	1	Topographische Karte (großer Maßstab)
19. Jh.	2	Topographische Karte (großer Maßstab)
20. Jh.	2	Topographische Karte (großer Maßstab)
21. Jh.	2	Digitale Landnutzungsdaten, Wanderkarte

Im zweiten Schritt erfolgte die Integration der historischen Karten in ein GIS. Hierbei kam ein dreistufiges Verfahren zum Einsatz: Durch die *Georeferenzierung* wurden die historischen Karten zunächst anhand fest stehender Referenzpunkte (die drei Burgen) in ein einheitliches kartographisches Projektionssystem gebracht. Im Zuge der anschließenden *Vektorisierung* wurden die relevanten Karteninhalte in einzelne Schichten ("Layer") überführt (Punkt-, Linien- und Flächenelemente), d.h. digital "durchgezeichnet". Auf der Grundlage der Karteninhalte geschah dann die *Attributierung* der digitalen Daten (z.B. "Flächennutzungstyp = Wald"). Das vorläufige Ergebnis waren Datensätze mit raumbezogenen Kulturlandschaftsobjekten (z.B. Flächennutzungen, Wegeverläufe) aus verschiedenen Epochen (17. Jahrhundert bis in die Gegenwart).

Diese Daten wurden sodann miteinander verglichen, um die Veränderungen zwischen den einzelnen Phasen aufzuzeigen. So konnten anhand der topographischen Informationen die Anteile der Flächennutzungen im klar definierten Landschaftsschutzgebiet "Drei Gleichen" berechnet und einander gegenübergestellt werden. Dabei lag besonderes Augenmerk auf der Waldentwicklung und der anthropogenen Flächennutzung im Umfeld der Wachsenburg. Ebenso war es möglich, den Verlauf und die Entwicklung der Verkehrswege zu verschiedenen Zeitpunkten zu rekonstruieren.

Ausgewählte Ergebnisse

Es kann festgehalten werden, dass sich die anthropogene Raumnutzung im Drei-Gleichen-Gebiet deutlich in den kartographischen Informationen wiederfindet und mit Hilfe zusätzlicher Quellen inhaltlich interpretiert werden kann. In der Kulturlandschaftsentwicklung lassen sich auf diese Weise die Auswirkungen der jeweiligen wirtschaftlichen, technischen und politischen Vorgänge ablesen. Im Folgenden sollen ausgewählte Ergebnisse vorgestellt werden.

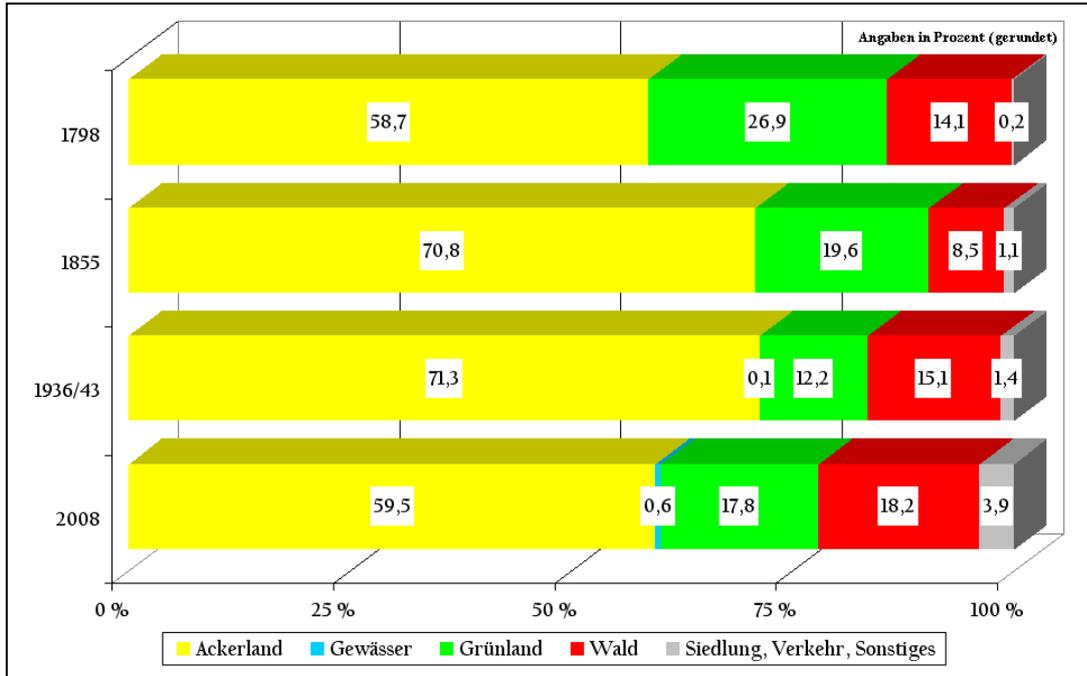


Abb. 1. Flächennutzung im Drei-Gleichen-Gebiet 1798, 1855, 1936/43 und 2008

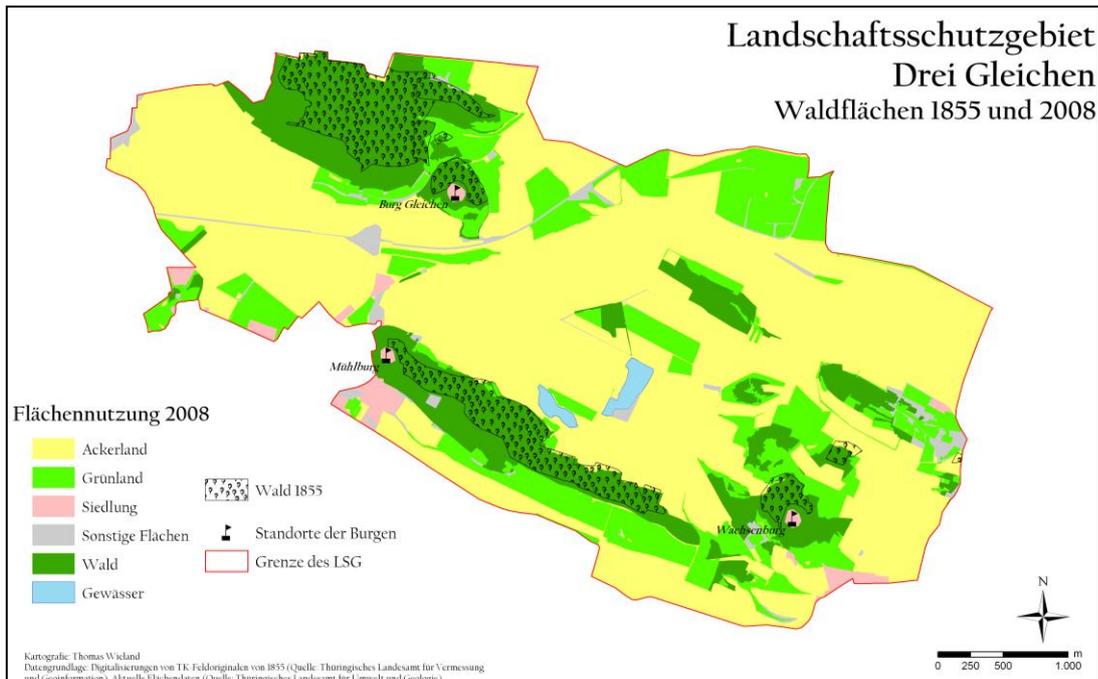


Abb. 2. LSG Drei Gleichen – Waldflächen 1855 und 2008

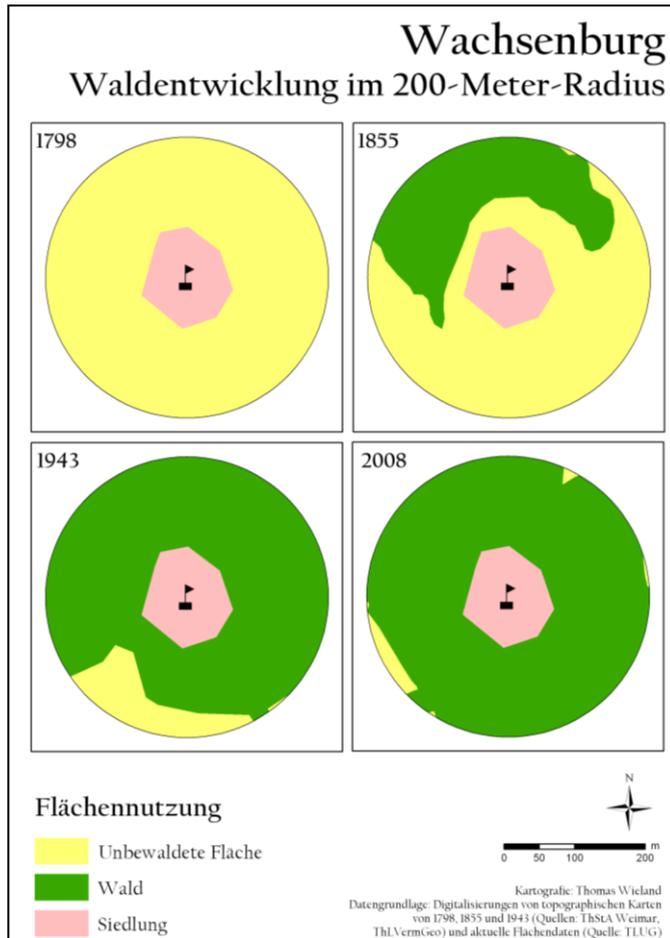


Abb. 3. Waldentwicklung im Umfeld der Wachsenburg

Die *Flächennutzung* unterliegt einem deutlichen raum-zeitlichen Wandel, der auf veränderten Nutzungsansprüchen und -möglichkeiten beruht (siehe Abb. 1). Dies zeigt sich beispielsweise am Waldbestand: Der Waldanteil ist vom Ende des 18. bis Mitte des 19. Jahrhunderts auf die Hälfte zurückgegangen, was an dem großen Holzbedarf der beginnenden *Industrialisierung* liegt. Der Umstieg auf andere Energieträger, der durch eine bessere Verkehrsanbindung und damit einhergehende günstigere Transportmöglichkeiten erleichtert wurde sowie zahlreiche *Aufforstungsmaßnahmen* sorgten in der Folge jedoch wieder für eine Zunahme des Waldes (Ein Vergleich 1855 und 2008 findet sich in Abb. 2).

Die *landwirtschaftliche Nutzung* diente vor allem der Selbstversorgung, jedoch sind im Untersuchungsgebiet bereits für das Mittelalter und die frühe Neuzeit *Weinbau* und *Färberwaid* als Sonderkulturen nachgewiesen. Insbesondere das Umfeld der Wachsenburg war im 18. Jahrhundert noch weitgehend agrarisch genutzt (im 16. Jahrhundert vor allem durch Weinbau), schon ab dem 19. Jahrhundert aber von gezielten Aufforstungsmaßnahmen geprägt (siehe Abb. 3). Im Bereich der heute freiliegenden Stillgewässer wurde bis ins 20. Jahrhundert hinein *Torf* gestochen.

Das *Verkehrswegenetz* im Drei-Gleichen-Gebiet war bis ins 20. Jahrhundert hinein durch eher unbefestigte, nur bedingt kontinuierliche Wegetrassen geprägt. Sehr wohl lassen sich aber im Verlauf der Jahrhunderte bestimmte beständige Wegeführungen/-richtungen wiedererkennen, die beispielsweise die Burgen und die Siedlungen miteinander verbanden (siehe Abb. 4). Den bedeutendsten kulturlandwirtschaftlichen Eingriff in verkehrsgeographischer Hinsicht erfuhr das Gebiet im Zuge des *Autobahnbaus* der Nationalsozialisten; seit den 1930er Jahren wird das (heutige) Landschaftsschutzgebiet von der Autobahn A4 durchzogen.

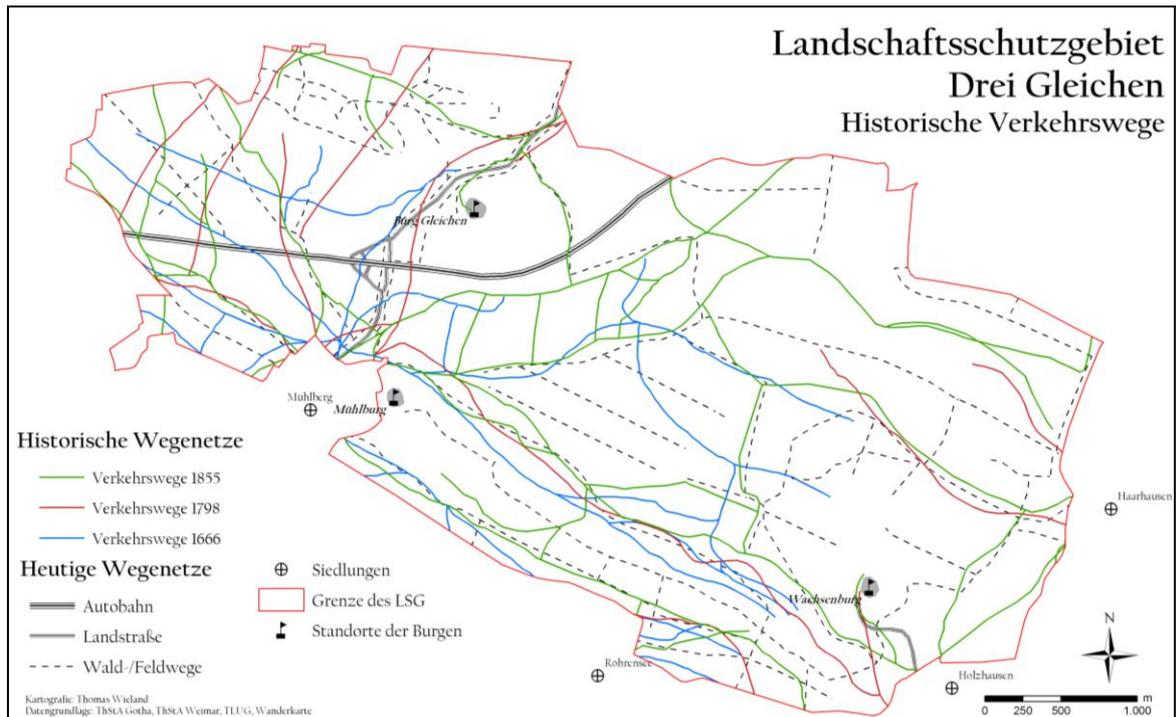


Abb. 4. Verkehrswege im Drei-Gleichen-Gebiet

Der bereits 1960 erworbene Status als Landschaftsschutzgebiet und die (partielle) Ausweisung von Naturschutzgebieten – ebenso eine Form der anthropogenen "Raumnutzung" – haben dafür gesorgt, dass weitere bauliche Landschaftsveränderungen ausgeblieben sind.

Die vorliegende Untersuchung gibt insgesamt einen Einblick in die Möglichkeiten und Grenzen einer GIS-basierten Analyse historischer Karten. Eine systematische Gegenüberstellung von verschiedenen Karteninhalten desselben Raumausschnitts ist nur mit topographischen Karten vollständig möglich, die technisch und inhaltlich mit dem heutigen Standard zumindest vergleichbar sind. Diese stehen im Untersuchungsgebiet erst ab dem ausgehenden 18. Jahrhundert zur Verfügung. Dennoch können Landschaftsgemälde und weitere schriftliche Sekundärquellen wichtige Begleitinformationen liefern.

Die Ergebnisse des Teilprojektes sind als Beitrag im Buchband "Die Drei Gleichen – Baudenkmäler und Naturraum" (Hrsg.: S. Siegesmund/M. Hoppert) erschienen (Wieland et al., 2010).

Literatur

- Fleischhauer, T. (2009). Quellenanalyse zur Nutzung natürlicher Ressourcen und Vegetationsveränderungen seit dem 16. Jahrhundert am Beispiel des Mühlberger Rieds, Landkreis Gotha. Unveröffentlichte wissenschaftliche Hausarbeit zur Ersten Staatsprüfung für das Lehramt an Gymnasien. Erfurt.
- Galletti, J. G. A. (1780). Geschichte und Beschreibung des Herzogthums Gotha. Dritter Theil. Verlag C. W. Ettinger, Gotha.
- Glink, C. (2003). Historische Kulturlandschaftselemente und Kulturlandschaftswandel im Drei-Gleichen-Gebiet. Unveröffentlichte Diplomarbeit. Fachhochschule Erfurt, Fachbereich Landschaftsarchitektur.
- Meyer, H.-H. (2007). Historische topographische Karten in Thüringen. Dokumente der Kulturlandschaftsentwicklung (=Thüringer Landesamt für Vermessung und Geoinformation, Schriftenreihen Nr. 3). Erfurt.

Vahrenkamp, R. (2004). Der Autobahnbau 1933 bis 1939 und das hessische Autobahnnetz. Zeitschrift des Vereins für hessische Geschichte (ZHG) 109, S. 225-266.

Wieland, T., Reeh, T., Kreisel, W. (2010). Kulturlandschaftsentwicklung im Drei-Gleichen-Gebiet - Eine GIS-gestützte Analyse historischer Karten. In: Siegesmund, S., Hoppert, M. (Hrsg.): Die Drei Gleichen – Baudenkmäler und Naturraum. Verlag Edition Leipzig. p. 63-77.

1.2 Tourismus und Burgen – Analyse der Angebots- und Nachfragestruktur im Gebiet des Burgenensembles "Drei Gleichen"

K. Meifert, J. Heinemann

Hintergrund, Aufgabenstellung und Methodik

Im Rahmen des Teilprojektes wurde die Fragestellung bearbeitet, wie eine denkmalgerechte touristische Nutzung der Burgen erfolgen kann und hierbei insbesondere die Nachfragestruktur zu analysieren. Schließlich sollten konkrete Möglichkeiten für eine touristische Inwertsetzung aufgezeigt werden (vgl. Kap. "Plan zur objektangepassten Pflege und Entwicklung"). Hierzu wurden im ersten Schritt die touristische Angebots- und insbesondere die Nachfragesituation im Drei-Gleichen-Gebiet analysiert (Diplomarbeit von *Katharina Meifer*; Meifert 2009, 2011).

Zur Bearbeitung des Themas wurde ein Methodenmix gewählt: So wurden die vorliegende wissenschaftliche Literatur und die Informationen von externen Beobachtern mit "eigenen" Erfahrungen und Erhebungen verknüpft und verglichen. Wissenschaftliche Veröffentlichungen zum Thema Tourismus und Kulturtourismus lieferten Analysen zum Markt, zu Erscheinungsformen und möglichen Erfolgsfaktoren der touristischen Nutzung von Kulturgütern und Denkmälern. Die Literatur zur Burgenkunde ermöglichte die Erfassung des geschichtlichen Hintergrunds. Weiterhin flossen amtliche Statistiken, rechtliche Bestimmungen, vorhandene Planwerke und Entwicklungskonzepte in die Bearbeitung ein. Schließlich dienten Informationsbroschüren und Prospekte über die Region dazu, die touristische Situation einzuschätzen. Neben der eigenen Besichtigung und Begehung der Burgen, der Burgberge und der Region war eine Besucherbefragung wichtigster Bestandteil der empirischen Vorgehensweise.

Kern der Studie war ein *strukturierter, standardisierter Fragebogen*, der in *mündlichen, persönlichen Interviews* verwendet wurde. Als Befragungsorte wurden die Ausgangsbereiche der Burg Gleichen, der Mühlburg und der Wachsenburg gewählt. So wurde sichergestellt, dass ausschließlich Burgbesucher befragt wurden, die das Angebot der Burg kennen gelernt hatten. Insgesamt wurden 218 (n) Besucher befragt. Der Fragebogen beinhaltete folgende Themen:

- Soziodemographische Daten der Besucher und Besuchsmodalitäten (Herkunft der Gäste, Besuchsdauer etc.)
- Motive zum Burgbesuch und räumliches Verhalten der Besucher
- Wichtigkeit verschiedener Angebote der Burg und Beurteilung der Gegebenheiten durch die Besucher
- Nutzung der verschiedenen Informationsquellen durch die Besucher

Die Befragung wurde anhand gängiger Methoden der *deskriptiven und analytischen Statistik* mit Hilfe der Statistik-Software SPSS ausgewertet und die Ergebnisse aufbereitet.

In Folge der erarbeiteten Ergebnisse zur Angebots- und Nachfragestruktur wurde exemplarisch ein touristisches Nutzungskonzept in Form eines zielgruppengerechten Angebotes entwickelt (s. u.).

Ausgewählte Ergebnisse

Das touristische Einzugsgebiet der Burgen ist überwiegend regional; den Großteil der Besucher stellen Tagesbesucher (siehe Abb. 5). Bei der Zufriedenheit mit den Angeboten der Burgen zeichnen die Besucher ein überwiegend positives Bild. In Bezug auf den Erholungscharakter, den kulturell informativen Gegebenheiten, den sonstigen Angeboten und der Erreichbarkeit weisen die Burgen spezifische Stärken und Schwächen auf. Die Attraktivität des Burgareals und der Natur sowie die Rast- und Verweilmöglichkeiten werden bei den drei Burgen hervorgehoben. Bei der Burg Gleichen wird zusätzlich die historische Atmosphäre und die Anbindung an das Wanderwegenetz als besonders positiv bewertet. Die Mühlburg zeichnet sich durch eine gute Anbindung an das Freizeitwegenetz aus. Pluspunkte für die Veste Wachsenburg sind ebenfalls die historische Atmosphäre, zudem die Gastronomie und die dort stattfindenden Veranstaltungen. Als weniger gut werden auf allen drei Burgen die Informationsvermittlung zu Geschichte und Mittelalter, die touristische Beschilderung und die Parkplatzsituation genannt. Verbesserungsvorschläge betreffen insbesondere das Angebot an burgspezifischen Unterkünften sowie die touristische Beschilderung.

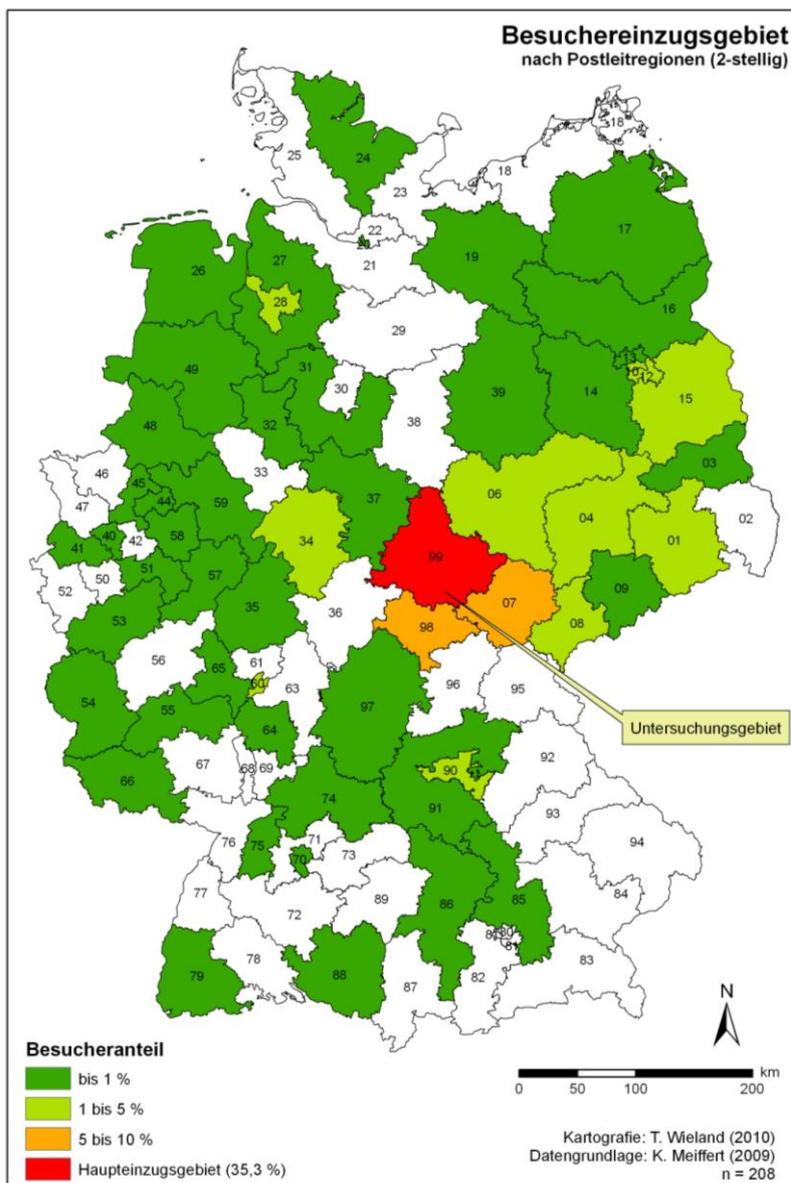


Abb. 5. Touristisches Einzugsgebiet der "Drei Gleichen"

Eine knappe Zusammenfassung der wichtigsten Ergebnisse stellen die folgenden Tabellen und Abb. 6. dar (Wichtigkeit verschiedener Angebote der Burg aus Besuchersicht und Bewertung der Angebote der drei Burgen).

Besuchsdauer	Prozent der Besucher
Tagesbesucher	82,1
Kurzurlauber	9,6
Urlauber	4,1
Anwohner	4,1

Tab. 2. Besuchsdauer in der Region (Gäste insgesamt, n = 218)

Besuchsdauer	Prozent der Besucher	Davon Durchreisende in %
0-<3 Stunden	31,8	52,6
3-<6 Stunden	27,9	4,0
6-<12 Stunden	40,2	0,0

Tab. 3. Besuchsdauer in der Region (Tagesbesucher, n = 179)



Abb. 6. Wichtigkeit verschiedener Angebote der Burg (n = 218).

Angebot	1	2	3	4	5	Ø	n
Attraktivität des Burgareals	38,2	50,0	10,3	1,5	0,0	1,75	68
Attraktivität Natur/Landschaft	49,3	44,8	4,5	1,5	0,0	1,58	67
Rast-/Verweilmöglichkeiten	29,0	62,3	7,2	1,4	0,0	1,81	69
Historische Atmosphäre	25,8	39,4	24,2	10,6	0,0	2,20	66
Lernen Mittelalter/Geschichte	17,2	53,1	20,3	9,4	0,0	2,22	64
Gastronomisches Angebot	5,0	80,0	0,0	10,0	5,0	2,30	20
Veranstaltungen/Events	0,0	100	0,0	0,0	0,0	2,00	5
Parkplatzsituation	6,8	50,8	18,6	23,7	0,0	2,59	59
Wanderwegenetz	30,3	63,6	6,1	0,0	0,0	1,76	33
Radwegenetz	25,0	60,0	15,0	0,0	0,0	1,90	20
Abstellmöglichkeiten Fahrrad	27,3	54,5	0,0	18,2	0,0	2,09	11
Touristische Beschilderung	10,9	57,8	3,1	28,1	0,0	2,48	64

Tab. 4. Bewertung der Angebote der Mühlburg (n=218)

Angebot	1	2	3	4	5	Ø	n
Attraktivität des Burgareals	40,5	55,4	4,1	0,0	0,0	1,64	74
Attraktivität Natur/Landschaft	56,9	41,7	1,4	0,0	0,0	1,44	72
Rast-/Verweilmöglichkeiten	20,0	64,6	13,8	1,5	0,0	1,97	65
Historische Atmosphäre	28,8	58,9	11,0	1,4	0,0	1,85	73
Lernen Mittelalter/Geschichte	15,5	56,9	20,7	6,9	0,0	2,19	58
Gastronomisches Angebot	29,6	59,3	3,7	3,7	3,7	1,93	27
Veranstaltungen/Events	0,0	100	0,0	0,0	0,0	2,00	4
Parkplatzsituation	17,9	56,7	11,9	13,4	0,0	2,21	67
Wanderwegenetz	9,1	78,8	3,0	9,1	0,0	2,12	33
Radwegenetz	6,3	75,0	6,3	6,3	6,3	2,31	16
Abstellmöglichkeiten Fahrrad	0,0	55,6	11,1	11,1	22,2	3,00	9
Touristische Beschilderung	2,8	64,8	14,1	18,3	0,0	2,48	71

Tab. 5. Bewertung der Angebote der Wachsenburg

Angebot	1	2	3	4	5	Ø	n
Attraktivität des Burgareals	58,8	39,7	1,5	0,0	0,0	1,43	68
Attraktivität Natur/Landschaft	42,2	46,9	7,8	3,1	0,0	1,72	64
Rast-/Verweilmöglichkeiten	41,9	48,4	8,1	1,6	0,0	1,69	62
Historische Atmosphäre	34,4	59,4	4,7	0,0	1,6	1,75	64
Lernen Mittelalter/Geschichte	12,1	48,5	33,3	6,1	0,0	2,33	66
Veranstaltungen/Events	16,7	33,3	16,7	33,3	0,0	2,67	6
Parkplatzsituation	9,5	54,0	19,0	14,3	3,2	2,48	63
Wanderwegenetz	19,4	72,2	2,8	5,6	0,0	1,94	36
Radwegenetz	21,4	53,6	3,6	14,3	7,1	2,32	28
Abstellmöglichkeiten Fahrrad	10,5	63,2	5,3	21,1	0,0	2,37	19
Touristische Beschilderung	12,3	66,7	14,0	5,3	1,8	2,18	57

Tab. 6. Bewertung der Angebote der Burg Gleichen)

Im Rahmen des Projektes wurde weiterhin eine Bachelorarbeit über die touristische Inwertsetzung der drei Burgen mit explizitem Bezug zur Angebotsentwicklung für Kinder- und Jugendgruppen verfasst (Heinemann, 2009).

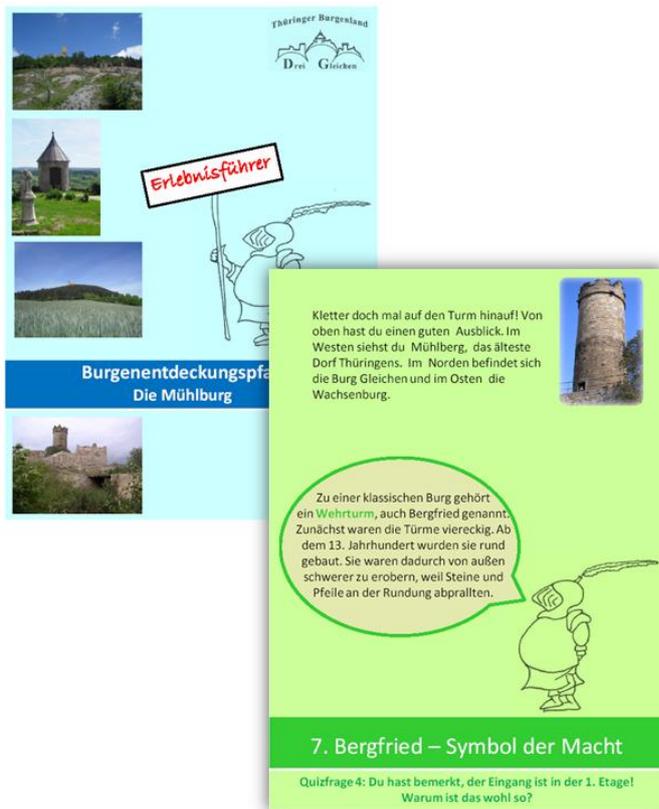


Abb. 7. Auszüge aus dem Burgenentdeckungspfad

Das Ergebnis ist ein *Erlebnisführer* für die Mühlburg, der sich speziell an Kinder richtet ("*Burgenentdeckungspfad*"). Abb. 7 zeigt Auszüge daraus.

Die Ergebnisse des Teilprojektes sind in zwei Beiträgen im Buchband "Die Drei Gleichen - Baudenkmäler und Naturraum" (Hrsg.: S. Siegesmund/M. Hoppert) erschienen (Hoppert und Reeh 2010, Reeh 2010) sowie in einer Publikation des Arbeitskreises für Freizeit- und Tourismusgeografie (Meifert 2011).

Literatur

- Heinemann, J. (2009). Landschaftsinterpretation am Beispiel des "Thüringer Burgenlandes Drei Gleichen". Bachelorarbeit, Geographisches Institut der Universität Göttingen.
- Hoppert, M., Reeh, T. (2010). Das Burgenensemble Drei Gleichen - Perspektiven der Kulturlandschaftspflege. In: Siegesmund, S., Hoppert, M. (Hrsg.). Die Drei Gleichen - Baudenkmäler und Naturraum. Verlag Edition Leipzig. S. 286-299.
- Meifert, K. (2009). Tourismus und Burgen. Analyse der Angebots- und Nachfragestruktur im Gebiet des Burgenensembles ‚Drei Gleichen‘. Diplomarbeit, Geographisches Institut der Universität Göttingen.

Meifert, K. (2011). Analyse der Nachfragestruktur im Gebiet des Burgenensembles Drei Gleichen - Ansätze für ein zielgruppengerechtes Marketing im Burgentourismus. studien zur Freizeit- und Tourismusforschung No. 4, Metagis, Mannheim, o. Seitenangabe.

Reeh, T. (2010). Burgentourismus im Drei-Gleichen-Gebiet. In: Siegesmund, S., Hoppert, M. (Hrsg.): Die Drei Gleichen - Baudenkmäler und Naturraum. Verlag Edition Leipzig. S. 280-285.

2. Die Vegetation der Drei Gleichen: Hotspots der Phytodiversität und Refugien für seltene und schützenswerte Pflanzenarten

H. Culmsee

Einleitung

Das Gebiet der Drei Gleichen zeichnet sich durch den starken Kontrast einer modernen, stark transformierten Landschaft mit intensivem Ackerbau in den Ebenen und einer traditionellen, über Jahrhunderte gewachsenen Kulturlandschaft mit extensiven und natürlichen Elementen im Bereich der Burgberge aus. Die Vegetation der Burgberge ist größtenteils durch historische Nutzungsformen entstanden und wurde insbesondere auch durch das historische Leben und Wirtschaften auf den Burgen geprägt (vgl. Kap. Kulturlandschaftsentwicklung und Tourismus - Historische Kulturlandschaftsentwicklung der "Drei Gleichen").

Die Vegetation der Burgberge kann als "Museum" aufgefasst werden, in dem heute großräumig seltene und bedrohte Biotoptypen und Pflanzenarten vorzufinden sind. Da ihre Vitalität und ihr Fortbestand in vielen Fällen von der menschlichen Nutzung abhängig sind, sind nachhaltige Pflegekonzepte unumgänglich. Unsere Untersuchungsergebnisse sollen uns zum einen die Vielfalt der Pflanzen- und Lebensraumvielfalt der Burgenlandschaft der Drei Gleichen vor Augen führen und zum anderen in die Erarbeitung von nachhaltigen Pflegekonzepten einfließen.

Die Untersuchungen konzentrierten sich auf die Gebiete der Burgberge der Mühlburg, der Burg Gleichen und der Wachsenburg. Insgesamt wurde eine Fläche von 187 ha bearbeitet.

Im Speziellen hat unsere Arbeitsgruppe folgende Aspekte der Phytodiversität in der Burgenlandschaft bearbeitet:

1. Diversitätsmuster auf Landschaftsebene: Biotoptypenkartierung; Biotoptypenmuster und -verbund von FFH-Lebensraumtypen;
2. Phytodiversitätsmuster auf Bestandesebene: Erklärung des Artenreichtums durch die historisch-anthropogene Nutzung und weiterer Umweltfaktoren (z.B. Bodenbeschaffenheit);
3. Populationsgrößen und räumliche Verbreitungsmuster seltener und gefährdeter Pflanzenarten der Trockenrasen, die insbesondere von überregionalem und europäischem Naturschutzinteresse sind.

Im Folgenden sollen nur einige wichtige Ergebnisse herausgegriffen werden. Detaillierte Ausführungen finden sich in den Veröffentlichungen und Abschlussarbeiten zu dem Projekt (Schmiedel und Schwienherr 2009, Culmsee et al. 2010, Herrling 2010, Wolf 2011).

Ergebnisse

Diversitätsmuster auf Landschaftsebene

Die Biotoptypenkomplexe an den drei Burgbergen wurden von Schmiedel und Schwienheer (2009) auf Grundlage einer Biotoptypenkartierung auf insgesamt 187 ha Fläche untersucht.

Es ergab sich ein differenziertes Bild der Vegetationskomplexe um die Burgen, in denen die dominierenden Biotoptypen der Wälder und Offenländer jeweils unterschiedliche Anteile in den drei Gebieten stellten (Tab. 1).

Die räumliche Anordnung der Biotoptypen soll hier am Beispiel der Wachsenburg dargestellt werden (Abb. 1). Eine ausführliche Zusammenfassung der Ergebnisse der Biotoptypenkartierung findet sich in Culmsee et al. (2010).

Auf Grundlage der Biotoptypenkartierung wurden die Stichprobenumfänge und die Verteilung der Stichproben auf den Untersuchungsebenen des Bestandes (Wolf 2011) und der Populationen gefährdeter Arten der Trockenrasenkomplexe (Herrling 2010) festgelegt.

Tab. 1. Summierte Flächengrößen und -anteile der Biotope an den drei Burgbergen.

Untereinheit	Abk.	Gleichen		Mühlburg		Wachsenburg	
		[ha]	[%]	[ha]	[%]	[ha]	[%]
Laubwald	WL	25,91	44	51,16	74	17,10	28
Nadelwald	WN	9,05	16	0,78	1	17,01	28
Mischwald	WM	2,09	4	0,66	1	1,22	2
Gebüsch	BX	3,18	5	2,86	4	3,26	5
Einzelbaum / Baumgruppe	HB	0,18	0	0,01	0	0,21	0
Obstwiese	HO	6,83	12	3,07	4	-	-
Keuperflur	FK	4,49	8	0,41	1	4,67	8
Magerrasen	R	3,92	7	3,47	5	14,11	23
Grünland	G	1,12	2	4,77	7	0,17	0
Acker	A	-	-	0,21	0	0,24	0
Ruderalflur	U	0,22	0	0,84	1	1,21	2
Gebäude	ON	0,48	1	0,44	1	0,60	1
Verkehrsfläche	OV	0,77	1	0,10	0	0,67	1
Ver- und Entsorgungsanlage	OS	-	-	0,13	0	-	-
Sonstige	S	-	-	0,02	0	-	-
Gesamt		58,24 ha		68,94 ha		60,47 ha	

Landschaftsbild



Wachsenburg und Roter Berg

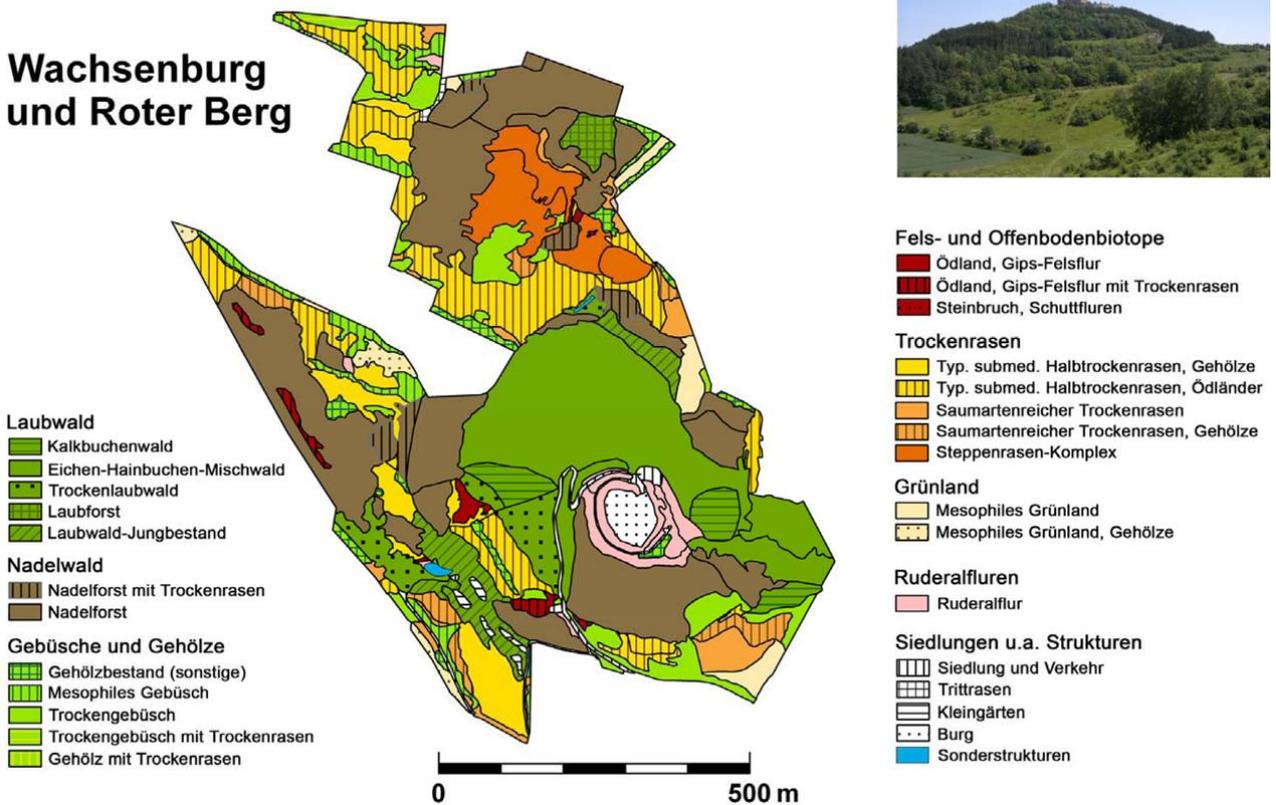


Abb. 1. Landschaftsbild des Gebietes Wachsenburg und Roter Berg, Drei Gleichen.

Phytodiversitätsmuster auf Bestandesebene

Im Rahmen einer Diplomarbeit (Wolf 2011) wurde die Burgvegetation der Drei Gleichen detailliert mit folgenden Zielsetzungen untersucht.

1. Charakterisierung der Burgvegetation an den drei Burgbergen anhand von pflanzensoziologischen Aufnahmen.
2. Identifizierung von Schwerpunkten seltener und gefährdeter Pflanzenarten (Arten der Roten Listen Deutschlands und Thüringens) innerhalb der verschiedenen Formationen und Pflanzengesellschaften.
3. Standörtliche Differenzierung der Pflanzengesellschaften innerhalb der Formationen.
4. Untersuchung der Habitatkontinuität und Vegetationsdynamik (Verbuschung) in Abhängigkeit von historischer sowie aktueller Nutzung und Bewirtschaftung.

Die Wälder der Drei Gleichen weisen eine große Vielfalt auf. Vier Gruppen von Waldgesellschaften mit durchschnittlich 11 bis 30 Gefäßpflanzenarten wurden mit 92 Vegetationsaufnahmen belegt. Viele der Wälder sind durch die anthropogene Nutzung über Jahrhunderte hinweg geprägt worden. Sie entsprechen nicht der potentiellen natürlichen Vegetation (pnV), sind jedoch aufgrund ihrer großen Artenvielfalt und als Refugien für viele seltene und bedrohte Arten für den Naturschutz besonders wertvolle Bereiche. Die Unterschiede der pnV zur aktuellen Vegetation an der Wachsenburg veranschaulicht Abb. 2.

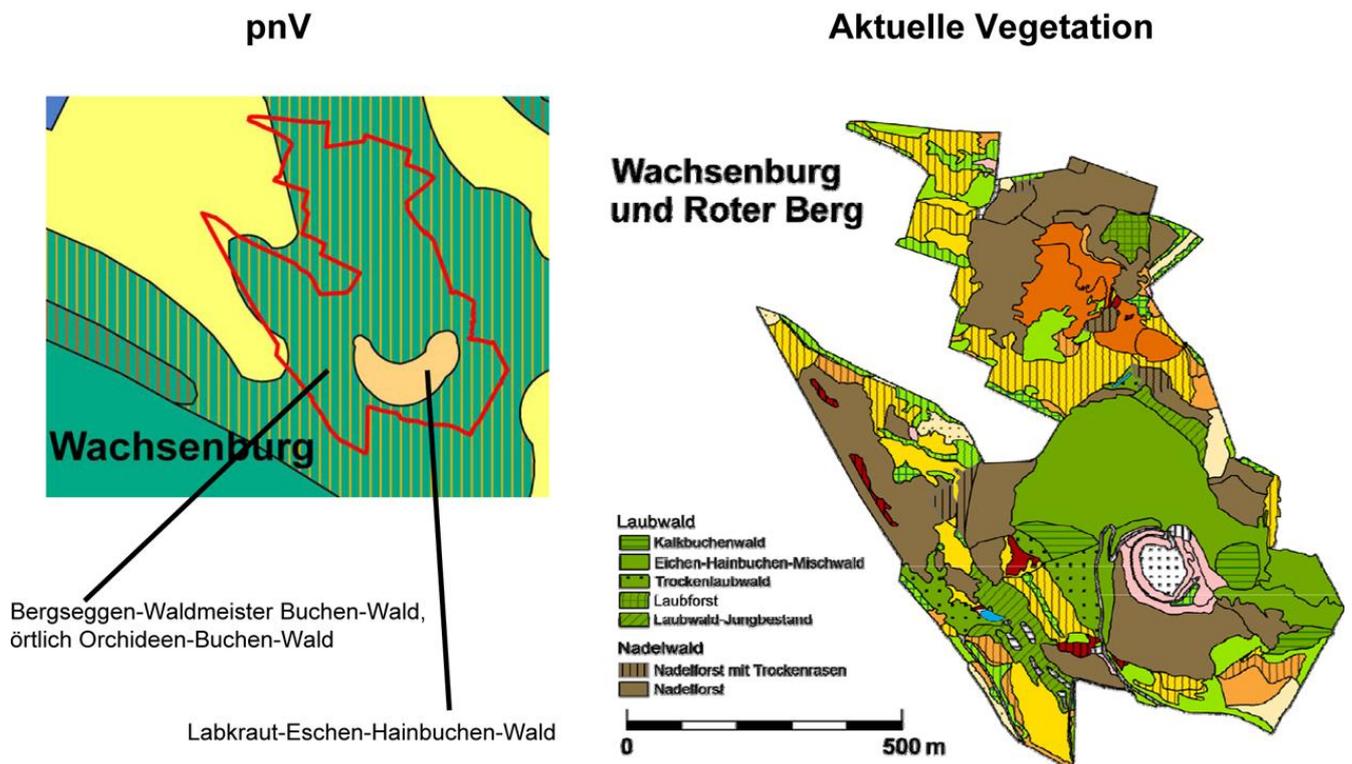


Abb. 2. Die potenzielle natürliche Vegetation im Vergleich zur aktuellen Vegetation an der Wachsenburg

Eine Vielzahl von für den Naturschutz bedeutsamen Grasland-Biototypen sind auf den Hängen der Drei Gleichen zu finden (Abb. 3).

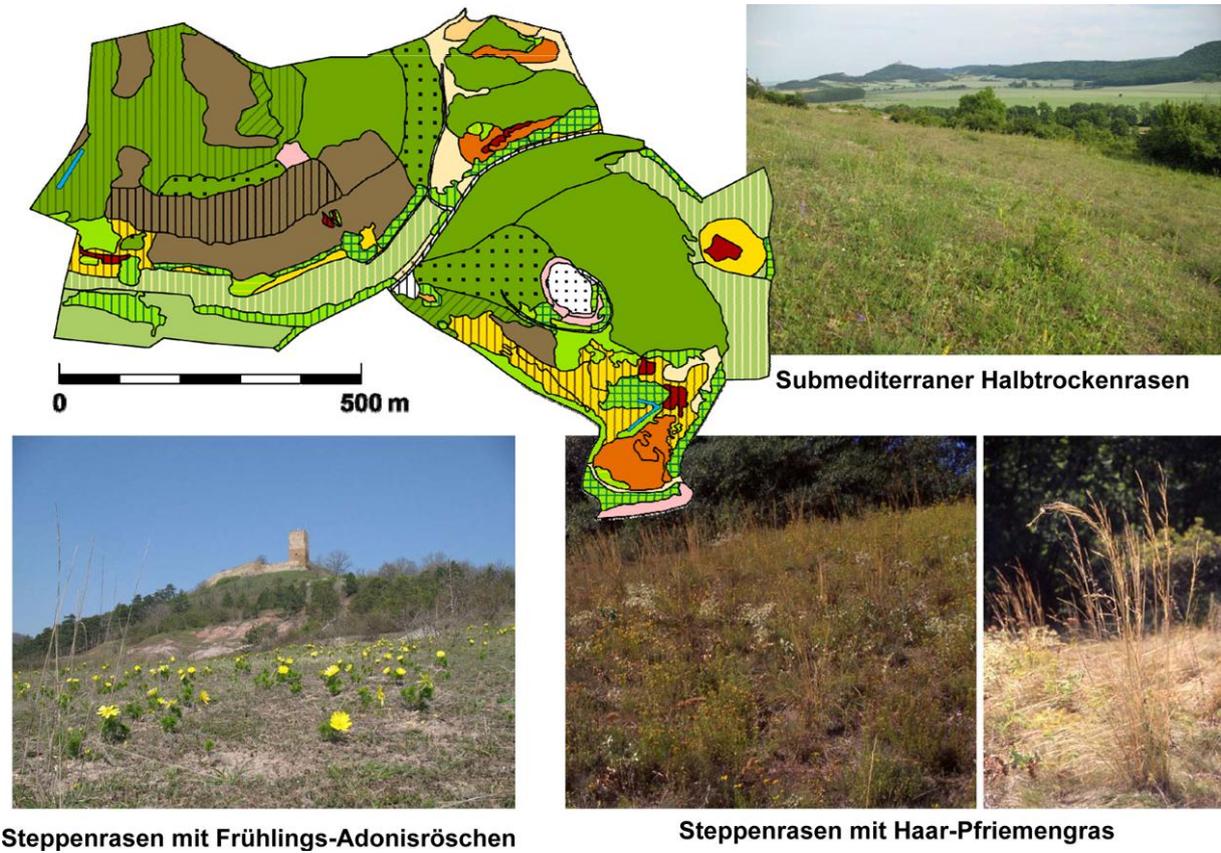


Abb. 3. Graslandgesellschaften an der Burg Gleichen

Die mit 89 Vegetationsaufnahmen belegten sechs Trockenrasen-Gesellschaften weisen sehr unterschiedliche mittlere Artenzahlen (Abb. 4) und Boden-Nährstoffgehalte (P_{gesamt} , Abb. 5) auf.

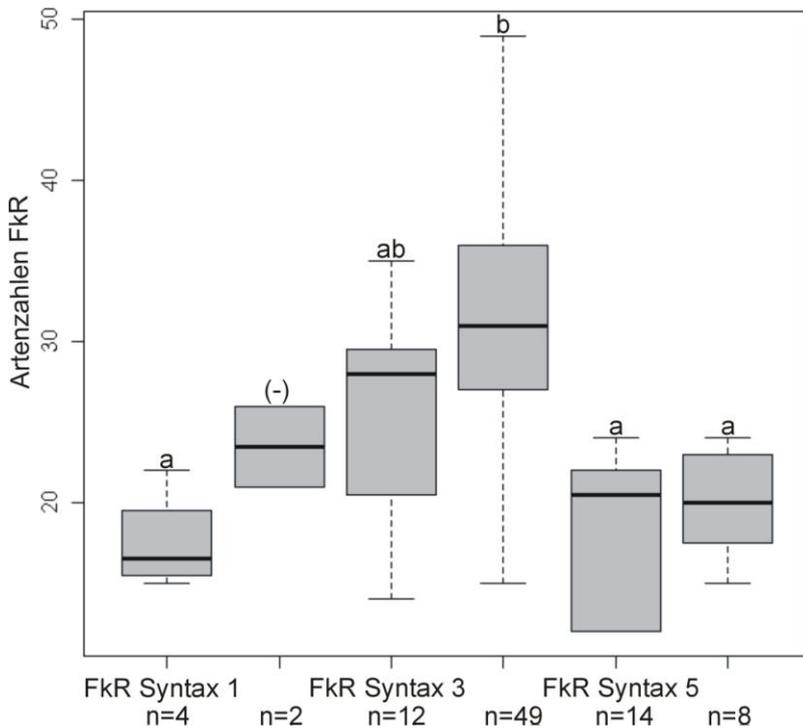


Abb. 4. Artenzahlen der sechs Trockenrasen-Gesellschaften

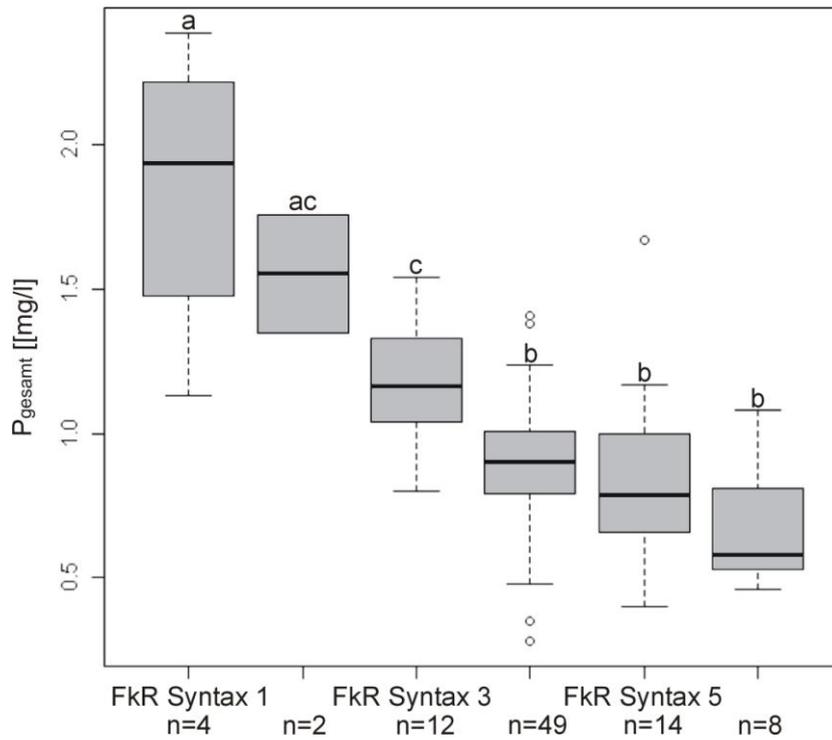
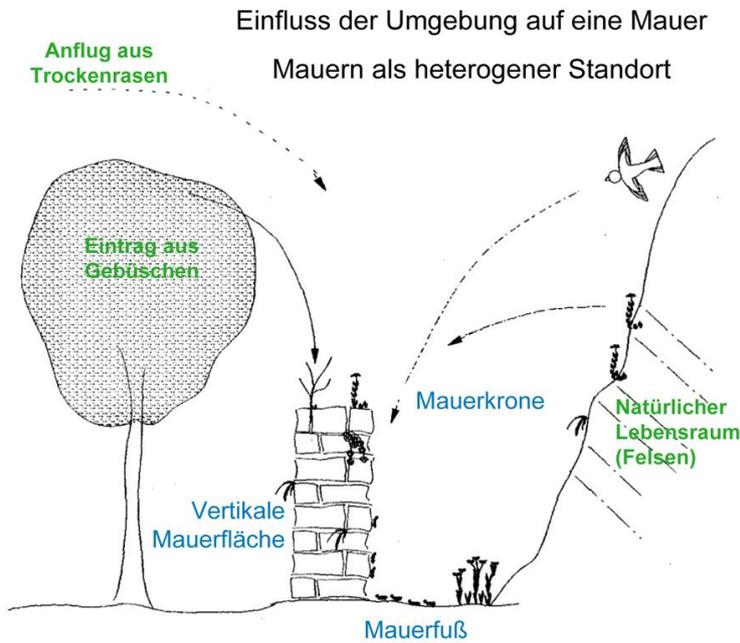


Abb. 5. Mittlere Phosphat-Gehalte in den Bodenproben der sechs Trockenrasen-Gesellschaften (P_{gesamt} von ca. 2,0 – ca. 0,5 mg/l)

Eine Besonderheit sind die unmittelbar mit den Siedlungsstrukturen der Burgen assoziierten Pflanzengesellschaften, die *Mauern und Ruderalfluren*.

Mauern sind ein heterogener Standort. Besonders die alten Mauern der Burg Gleichen und der Mühlburg sind Refugien für Arten der natürlichen Felslebensräume, der Trockenrasen und der Ruderalfluren (Abb. 6).



Zeichnung aus Brandes (1992)



Feldbeifuß
(*Artemisia campestris*)



Mauerraute
(*Asplenium ruta-muraria*)



Eselsdistel
(*Onopordium acanthium*)

Abb. 6. Einfluss der Umgebung auf eine Mauer: Mauern als heterogener Standort; typische Mauervegetation an der Burg Gleichen.

Die Ruderalfluren sind besonders nährstoffreiche Standorte, die wesentlich höhere Phosphatgehalte aufweisen als alle anderen untersuchten Vegetations-Formationen (Abb. 7).

Die Bodenanalysen zeigen die Nährstoffsituation als Ring insbesondere an der nördlichen und nordwestlichen Burgseite auf (Abb. 8). In historischer Zeit lagen hier die Küchenanlagen und der Abtritt.

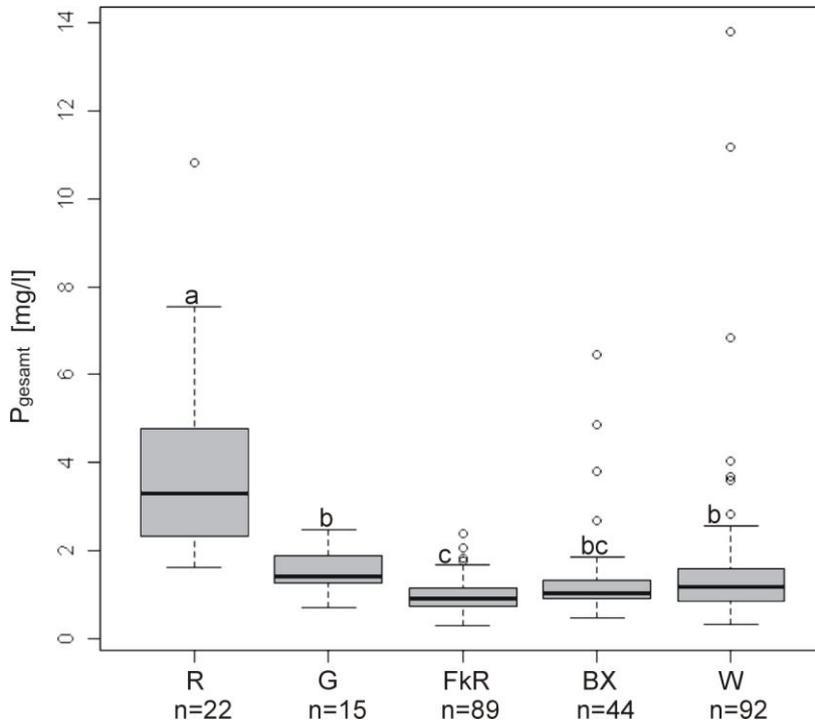


Abb. 7. Gesamt-P (Mittel) für die verschiedenen Formationen im Gebiet der Drei Gleichen. R Ruderalfluren, G Grünland, FkR Trockenrasen, BX Gebüsche, W Wälder. Sich signifikant unterscheidende Boxplots sind durch unterschiedliche Buchstaben gekennzeichnet (BF-Test)



Teiluntersuchungsgebiet Gleichen - Phosphatgehalt (interpoliert)

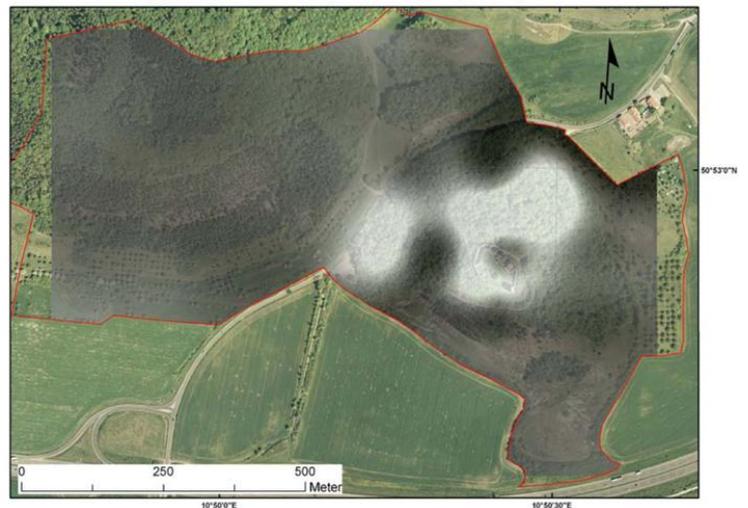


Abb. 8. Ruderalfluren vor der Burg Gleichen und interpolierte Phosphatgehalte im Untersuchungsgebiet um die Burg Gleichen (vgl. Abb. 3).

Populationsgrößen und räumliche Verbreitungsmuster seltener und gefährdeter Pflanzenarten der Trockenrasen

Die Vitalität (Populationsgrößen) und Verbreitungsmuster seltener und gefährdeter Pflanzenarten der Trockenrasen wurden in der Master-Arbeit von Herrling (2010) untersucht.

Eine Übersicht der untersuchten Arten und deren Einordnung entlang des Kontinentalitätsgradienten gibt Tab. 2. Die räumliche Verbreitung und die Hotspots der einzelnen Arten wurde sehr detailliert in einem 2 x 2 m Raster aufgenommen. Abb. 9 zeigt beispielhaft die Verbreitung des Adonisröschens an der Burg Gleichen im Vergleich zu den Trockenrasengesellschaften.

Tab. 2. Rote-Liste-Arten der Trockenrasen und ihre Einordnung entlang eines Kontinentalitätsgradienten

Kontinentalität		Trockenrasen		Halbtrockenrasen	
2	ozeanisch			<i>Ophrys apifera</i>	Bienen-Ragwurz
3				<i>Orchis mascula</i>	Stattliches Knabenkraut
3				<i>Platanthera chlorantha</i>	Grünliche Waldhyazinthe
4	subozeanisch			<i>Orchis pallens</i>	Bleiches Knabenkraut
4				<i>Orchis tridentata</i>	Dreizähiges Knabenkraut
5		<i>Pulsatilla vulgaris</i>	Gewöhnliche Kuhschelle	<i>Linum leoni</i>	Lothringer Lein
5		<i>Orbanche lutea</i>	Gelber Sommerwurz	<i>Pulsatilla vulgaris</i>	Gewöhnliche Kuhschelle
5		<i>Thesium linophyllum</i>	Mittleres Vermeinkraut	<i>Thesium linophyllum</i>	Mittleres Vermeinkraut
5		<i>Aster linosyris</i>	Goldhaar-Aster	<i>Aster linosyris</i>	Goldhaar-Aster
5				<i>Orchis militaris</i>	Helm-Knabenkraut
6	subkontinental	<i>Elymus hispidus (E. intermedia)</i>	Graugrüne Quecke	<i>Scorzonera purpurea</i>	Violette Schwarzwurzel
7		<i>Campanula glomerata</i>	Knäuel-Glockenblume	<i>Campanula glomerata</i>	Knäuel-Glockenblume
7		<i>Adonis vernalis</i>	Frühlings-Adonisröschen	<i>Adonis vernalis</i>	Frühlings-Adonisröschen
7		<i>Onobrychis arenaria</i>	Sand-Esparsette		
7		<i>Oxytropis pilosa</i>	Steppen-Spitzkiel		
8	kontinental	<i>Stipa capillata</i>	Haarpfriemengras		

Verteilung der Grasland-Gesellschaften und Populationsgrößen des Frühlings-Adonisröschens an der Burg Gleichen mit dem Kaffberg

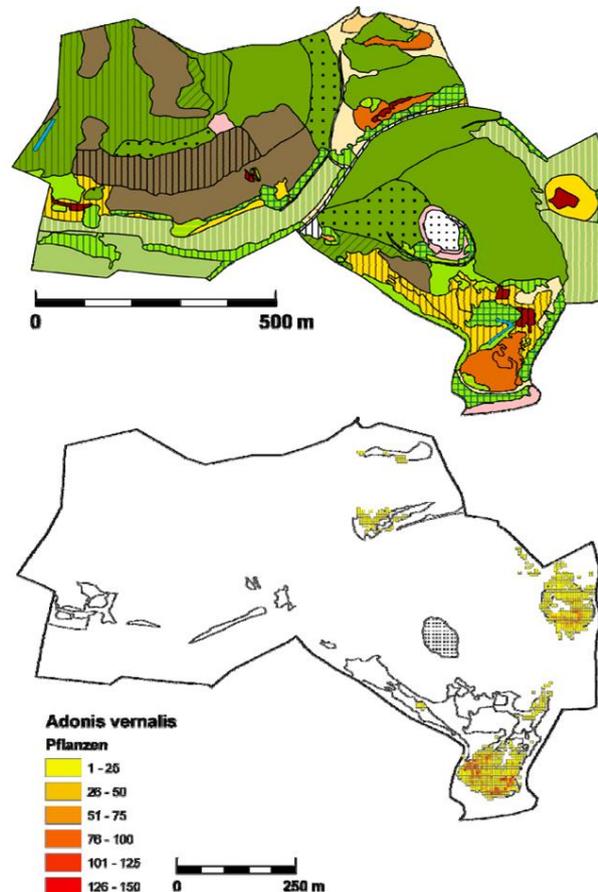


Abb. 9. Die Adonisröschen sind vor allem auf den Steppenrasen und in den trockenen Kiefern-Wäldern verbreitet.

Fazit: Bedeutung der Burgenlandschaft für den Naturschutz

Die Burgberge der Drei Gleichen sind von besonderer Bedeutung für den Naturschutz, weil:

- sie eine Vielzahl von schützenswerten Lebensräumen beherbergen: Natürlich/naturnahe oder anthropogen entstandene Habitate;
- sie eine hohe Diversität und landschaftliche Komplexität besitzen;
- Refugien für Rote-Liste-Arten sind;
- Historische Spuren sichtbar sind und sie somit auch eine kulturhistorische Bedeutung besitzen (z.B. historische Formen der Waldnutzung, Mauer- und Ruderalvegetation);
- Die besonders artenreichen Grasländer typische Elemente einer alten Kulturlandschaft sind und die Drei Gleichen aufgrund der großflächig entwickelten Steppenrasen-Komplexe eine hohe Bedeutung im Gesamtverbund der Trockenrasen in Thüringen und im Übergang zum Mitteldeutschen Trockengebiet (Saale-Unstrut) besitzen.

Der überwiegende Teil der Vegetation dieser Burgenlandschaft wird auch im europäischen Kontext als äußerst schützenswert eingeordnet (Tab. 3).

Tab. 3. Nach der Fauna-Flora-Habitat-Richtlinie im europäischen Kontext schützenswerte Lebensraumtypen im Natura-2000-Gebiet 5131-303 Drei Gleichen (FFH-Gebiet) in Thüringen. Das Gebiet von 888 ha wird in Europa der kontinentalen Region zugeordnet. Die Lebensraumtypen (LRT-Code), die auf unseren im Detail untersuchten Burgbergen der Drei Gleichen vorkommen, sind fett gedruckt. Aus: Culmsee et al. (2010).

LRT-Code	Lebensraumtypen
3150	Natürliche und naturnahe nährstoffreiche Stillgewässer mit Laichkraut- oder Froschbiss-Gesellschaften
6110*	Basenreiche oder Kalk-Pionierrasen
6210	Kalk-(Halb-)Trockenrasen und ihre Verbuschungsstadien (* orchideenreiche Bestände)
6240*	Subpannonische Steppen-Trockenrasen
6430	Feuchte Hochstaudenfluren
6510	Magere Flachland-Mähwiesen
7220*	Kalktuffquellen
7230	Kalkreiche Niedermoore
8210	Kalkfelsen mit Felsspaltvegetation
9130	Waldmeister-Buchen-Wälder
9150	Orchideen-Kalk-Buchen-Wälder
9170	Labkraut-Eichen-Hainbuchen-Wälder
9180*	Schlucht- und Hangmischwälder
91E0*	Erlen-Eschen- und Weichholzaunenwälder

* kennzeichnet prioritäre Lebensraumtypen

Literatur

- Culmsee, H., Herrling, J., Schmiedel, I., Schwienheer, J., Wolf, D. (2010). Die Vegetation der Drei Gleichen im Spiegel der historischen Nutzung und ihre Bedeutung für den Naturschutz. In: Siegesmund, S., Hoppert, M. (Hrsg.), Die Drei Gleichen - Baudenkmäler und Naturraum, Edition Leipzig, S. 202-222.
- Herrling, J. (2010). Populationsgrößen und räumliche Verbreitungsmuster seltener und gefährdeter Pflanzenarten der Trockenrasen im Gebiet der Drei Gleichen, Thüringen. Masterarbeit (Biologische Diversität und Ökologie), Georg-August-Universität Göttingen
- Wolf, D. (2011). Phytodiversitätsmuster in Abhängigkeit von der anthropogenen Nutzung der Burgberge der Drei Gleichen in Thüringen. Diplomarbeit (Biologie), Georg-August-Universität Göttingen
- Schmiedel, I., Schwienheer, J. (2009). Biotoptypenkartierung und Ausarbeitung eines Pflegekonzepts. Gutachten, , Georg-August-Universität Göttingen

3. Naturwerksteine der Drei Gleichen – Petrographie und Schadensphänomene

H. Stück, S. Siegesmund

Einleitung

Die Langlebigkeit bzw. die Verwitterungsbeständigkeit von Werksteinen werden durch ihre Genese und nachfolgende Überprägung definiert. Aufgrund der dabei ablaufenden Prozesse sind Werksteine Baumaterialien mit oft sehr heterogenem Aufbau und variabler Zusammensetzung. Kenntnisse über die natürlichen Prozesse, die diese Materialeigenschaften beeinflussen, sind deshalb wichtig für die Bewertung eines Gesteins als Werkstein. Dazu wurden über eine Bauwerkskartierung auf der Burg Gleichen als auch im Labor Analysen zu Material- und Verwitterungseigenschaften durchgeführt.

Lokaler Werksteinabbau

Die Geologie des Drei-Gleichen-Gebietes spiegelt sich an den Gebäuden seiner Städte und Dörfer wider. Dies gilt für die namensgebenden mittelalterlichen drei Burgen, aber auch für weniger auffällige Häuser und Bauten, die mitunter vollständig aus regional auftretenden Werksteinen bestehen. Die Region ist durch eine Vielzahl unterschiedlicher Abbauorte gekennzeichnet, die jedoch inzwischen größtenteils historische und damit stillgelegte Brüche darstellen (Abb.1).



Abb. 1. Historisches Foto des Sandsteinabbaus am Seeberg bei Gotha (um 1910; von Freyberg 1937). Neben dem Gleis sind formatierte Sandsteinblöcke zu erkennen. An der Steinbruchwand ist die Wechsellaagerung von Sandsteinbänken und Tonsteineinlagen (Oberer Keuper, Rhätkeuper) aufgeschlossen.

Die Verwendung und die Verteilung der einzelnen Natursteinarten an den Burgen Wachsenburg, Mühlburg und Gleichen sind sehr variabel. Entsprechend ihren Eigenschaften wurden bestimmte Gesteinstypen gezielt für bestimmte Bereiche des Burggebäudes ausgewählt. So kamen in den tragenden, stützenden Bereichen härtere, widerstandsfähige Gesteine zum Einsatz. An stark behauenen Fassaden- und Dekorarealen sind dagegen leicht zu bearbeitende, weiche Gesteine anzutreffen.

Was begünstigt den Verfall eines Gebäudes und führte auch dazu, dass die Mühlburg und Burg Gleichen Burgruinen wurden? Dadurch, dass die Gesteine lange der Witterung ausgesetzt waren und nicht wie bei der Wachsenburg restauriert und ersetzt wurden, zeigen diese deutlichere Alterserscheinungen. Die Gesteinsoberfläche verwittert, die Verwitterung schreitet ins Innere des Werk-

stücks voran. Warum und wie intensiv ein Gestein verwittert, hängt von vielen Faktoren ab. Wichtige Faktoren sind insbesondere die materialspezifischen Eigenschaften und die Umweltbedingungen, denen das Material ausgesetzt ist. Sie bestimmen maßgeblich die ablaufenden Verwitterungsprozesse.

Genese von Sedimenten

Die in der Region der Drei Gleichen verwendeten Werksteine sind Sedimentgesteine, welche durch Ausfällung oder Ablagerung von Mineralen sowie Mineralaggregaten entstanden sind. Dabei ist bezüglich ihrer Entstehungsgeschichte zwischen Kalksteinen und Sandsteinen zu unterscheiden.

Kalksteine (Karbonatgesteine) werden hauptsächlich aus Kalkschalen von (Mikro-) Organismen gebildet oder sind durch Ausfällung von Kalziumkarbonat aus Lösungen entstanden. Auch die Ausfällung wird überwiegend durch biologische Vorgänge gesteuert; seltener finden abiotische Fällungsreaktionen statt. Oft sind Kalksteine makrofossilreich und enthalten neben feinkörnigen Karbonatkristallen auch große Mengen an größeren Schalen oder Schalenbruchstücken aus Kalziumkarbonat.

Durch Ablagerungen von durch Wasser oder Wind transportiertem Lockermaterial (Geröll, Sandkörner, Tonröbe) entstehen klastische Sedimentgesteine. Feinkörnige (tonige) Sedimentgesteine sind oft relativ weich und deshalb kaum als Werkstein verwendbar. Feinkörnige Gesteine heißen Mergel, wenn eine Mischung aus Tonröbe und Karbonatschlamm gemeinsam abgelagert wurde. Mergel findet man in direkter Nachbarschaft der Drei Gleichen (Abb. 1). Sie fallen dort durch ihre charakteristische rot-grau-grüne Färbung auf. Die Farbvariation wird durch wechselnde Eisenoxidkonzentrationen im Gestein verursacht. Rote Gesteine enthalten oft Hämatit; grüne Gesteine führen keine Eisenoxide. Solche Farbvariationen sind durch lokal im Gestein stattfindende chemische Reaktionen verursacht, die *nach* der Ablagerung stattfanden (Oxidation: Bildung von Eisenoxiden; Reduktion: Auflösung von Eisenoxiden). Die Mergelsteinschichten aus dem Mittleren Keuper bilden vegetationslose Hänge, sogenannte Badlands (unbewachsene bunte Mergelflächen, siehe Abb. 2). Die jüngeren, darüberliegenden Schichten sind Sandsteine aus dem Oberen Keuper (Rhätkeuper). Die Mühlburg und Burg Gleichen sind auf solchen Sandsteinschichten erbaut worden.



Abb. 2. Blick Richtung Südosten auf die Burg Gleichen (Mitte), Mühlburg (rechts), Wachsenburg (links). Im Vordergrund sind bunte Mergel (Mittlerer Keuper) sichtbar, die die Felder und Talhänge am Burgberg der Burg Gleichen aufbauen. Die Abbildung zeigt eines der frühesten Farbfotos der Drei Gleichen, die Entstehungszeit liegt um 1900.

Sandsteine sind eine weitere wichtige Gruppe von sedimentären Werksteinen. Sandsteine entstehen durch Ablagerung und Verfestigung von Mineralkörnern oder Gesteinsbruchstücken, die vor der Ablagerung durch Wind oder Wasser transportiert wurden. Sand als Lockersediment wird beispielsweise in Sandwüsten, in Flüssen, am Strand oder im flachen Meer transportiert und abgelagert.

Sedimentgesteine sind oft geschichtet. Sie sind aus Schichten variabler Mächtigkeit aufgebaut. Diese können nur wenige Millimeter umfassen oder aber auch metermächtig sein. Wenn ein Sandstein geschichtet ist, kann dies mit bloßem Auge erkannt werden: Im Anschnitt sind gerade oder gekrümmte Schnittlinien von ebenen oder schaufelförmigen Schichtflächen sichtbar. Schichtung wird sichtbar, weil sie durch einen Materialkontrast im Sandstein verursacht wird. Der Materialkontrast wird durch lagenweise unterschiedliches Kornmaterial (beispielsweise helle Körner - dunkle Körner) oder unterschiedliche Korngröße (größere Körner - feinere Körner) verursacht. Ein solcher Materialkontrast kann eine richtungsabhängige Schwächung der Festigkeit des Gesteins verursachen. Beobachtungen zum Gesteinsgefüge sind deshalb wichtig für die Werksteinbewertung. Um aus lockerem Sand einen festen Sandstein zu erzeugen, müssen Prozesse wirken, die Lockermaterial verfestigen oder zementieren. Diese Prozesse werden unter dem Begriff *Diagenese* zusammengefasst. Zu den diagenetischen Prozessen gehören die Kompaktion von Lockermaterial sowie das Auflösen und Ausfällen von Mineralen. Fällungsreaktionen bewirken Mineralneubildungen im Porenraum des Sandes (Abb. 3). Diese Neubildungen wirken wie ein Klebstoff oder Zement, der die losen Körner verkittet. Diageneseprozesse und ihre Produkte definieren deshalb maßgeblich die mechanische Festigkeit der Sandsteine. Umgekehrt können Verwitterungsprozesse eine teilweise oder vollständige Lösung von bestimmten Zementmineralen verursachen.

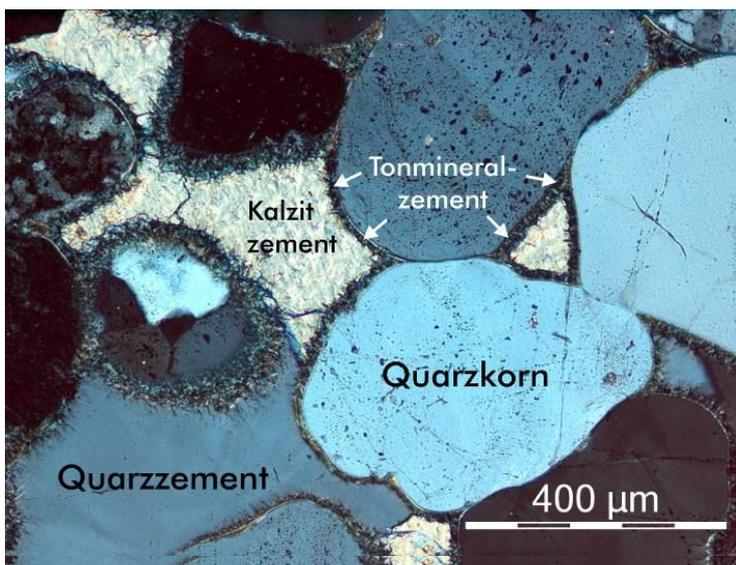


Abb. 3. Mikroskopische Aufnahme eines Sandsteinpräparates (Dünnschliff) im Durchlicht mit polarisiertem Licht (Orientierung von Polarisator- und Analysatorfilter: 90°). In diesem Beispiel sind die Sandkörner durch die Minerale Kalzit und Quarz zementiert. Auf der Kornoberfläche ist als älteste Neubildung ein Rasen aus Tonmineralen sichtbar, der vor der Ausfällung von Quarz- und Kalzit zement im Porenraum gewachsen ist. Die nach der Ablagerung ("diagenetisch") gebildeten Minerale verfestigen das ursprüngliche Lockermaterial zu einem festen Gestein, welches gebrochen, gesägt oder behauen als Werkstein eingesetzt werden kann.

Historische Werksteine sind in der Regel regionaltypische Gesteine. Ein Rundgang durch Dörfer und Städte einer Region zeigt deshalb oft an den historischen Gebäuden die in der unmittelbaren Nachbarschaft verfügbaren Werksteine. Ein lokaler Mangel an hochwertigen Werksteinen konnte dazu führen, dass stellenweise weniger widerstandsfähige Gesteine verbaut wurden. So erklärt sich, dass auch unabhängig von ästhetischen Gesichtspunkten (beispielsweise Farbvariationen) an einem Bauwerk ganz unterschiedliche Werksteintypen aus der Entstehungszeit auftreten.

In der Nachbarschaft der Drei Gleichen sind Kalksteine und Sandsteine als Werksteine abgebaut worden. Die einzelnen Abbauorte sind überwiegend historische, heute inaktive Brüche. Die kleinen Abbauorte sind jetzt oft wieder vollständig verfüllt und nicht mehr augenfällig als historischer Steinbruch erkennbar. Daneben gibt es aber auch heute hier noch einen aktiven Steinbruch. Der Seeberger Sandstein wird am Großen Seeberg bei Gotha abgebaut und als Werkstein angeboten.

Petrologische Eigenschaften

Zur Darstellung der petrologischen Eigenschaften werden im Folgenden erstens mit bloßem Auge sichtbare Sedimentstrukturen (v.a. die Schichtung) an Makrofotografien der Werksteine verdeutlicht. Zweitens werden Merkmale der Sedimentkörner, des Porenraums zwischen den Körnern oder im Porenraum neu gebildete Minerale auf Abbildungen gezeigt, die von Dünnschliff-Präparaten Lichtmikroskopisch im Hellfeld, mit polarisiertem Licht und mit Kathodolumineszenz aufgenommen wurden. Drittens geben elektronenmikroskopische Aufnahmen (REM-Bilder) die Details der Porenoberflächen oder sehr kleine Mineralneubildungen im Porenraum wieder.

Eine Übersicht über die als Werksteine verwendeten Gesteinstypen ist in Tab. 1 gegeben. Gesteinsname, Einordnung in die Stratigraphie und der Name des Herkunftsortes (Steinbruch bzw. Aufschluss) werden genannt.

Tab. 1. Abbauorte und Gesteinstyp (ku: Unterer Keuper, km: Mittlerer Keuper, ko: Oberer Keuper).

No.	Gesteinsname (Stratigraphie)	Steinbruch oder Aufschluss
1	Grenzdolomit (ku)	Apfelstädtaue und Stiedenberg östl. Wandersleben
2	Semionotus-Sandstein (km1)	Aufschluss an der Wachsenburg
3a	Schilfsandstein (km2)	Aufschluss Heideberg nahe der Wachsenburg
3b	Lettenkohlenkeuper	ehem. Steinbruch Ingersleben bei Erfurt
4a	Rhätsandstein (ko)	mehrere Steinbrüche am Großen Seeberg
4b		Aufschluss am Gleichberg
4c		ehem. Steinbruch Röhnberg nahe der Burg Gleichen
5	Travertin (Quartär)	Aufschluss am Mühlberger Spring und Ried

Im Detail treffen wir folgende Gesteinstypen als Werksteine an: Der *Grenzdolomit (1)*, ein Kalkstein, der im Unteren Keuper abgelagert wurde. Die Ablagerungen aus dem Unteren Keuper (oder Lettenkeuper) konnten bezüglich ihrer Entstehung in Ablagerungszyklen gegliedert werden. Diese Zyklen verdeutlichen, dass sich die Sedimentation wiederholt folgendermaßen entwickelte: Über vorwiegend schluffig-sandigen Schichten (grobkörnigere fluviatil-lagunäre Ablagerungen) folgen schluffig-tonige Sedimente, nachfolgend werden tonig-karbonatische Sedimente mit Dolomit- und Kalksteinbänken (feinkörnige marine Ablagerungen) angetroffen. Der Grenzdolomit bildet den hangenden Bereich des jüngsten Zyklus im Unteren Keuper. Der Horizont ist unter anderem südöstlich sowie nordöstlich der Wachsenburg bei Sülzenbrücken aufgeschlossen und etwa 2 m mächtig. Dolomit entsteht sekundär: Nach der Ablagerung von Kalksteinen verursachen chemische Reaktionen einen Austausch des Ca-Ions durch das Mg-Ion im Karbonat. Diese chemische Reaktion, die recht bald nach der Sedimentation eintreten kann, deutet auf eine erhöhte Konzentration von Magnesium im Porenwasser des abgelagerten Kalkschlamms. Dolomitisierung von Kalksteinen wird oft durch hellgelb-ockerbraune Färbung des Gesteins angezeigt.

Das Handstückfoto zeigt eine hohe Porosität des Gesteins, verursacht durch teilweise herausgelöste Kalkschalen in fossilreichen Abschnitten. Oft werden jedoch auch dichte, feinkörnige Gefüge angetroffen. Karbonatmineralneubildungen an den Porenhohlräumen werden durch ebene Kristallflächen im Dünnschliff- und insbesondere im REM-Bild sichtbar (Abb. 4a-c).

Der Grenzdolomit wurde in der Apfelstädtaue und am Stiedenberg östlich von Wandersleben abgebaut. Für die petrophysikalischen und gesteintechnischen Untersuchungen (siehe unten) wurde daher auf im Burggraben befindliches Material zurückgegriffen.

Die Verwendung des sogenannten *Semionotus-Sandsteines (2; Mittlerer Keuper)* stellt eine Besonderheit dar. Seine Verbreitung ist auf ein nur lokales, geringmächtiges Vorkommen unterhalb der Wachsenburg begrenzt. Der Sandstein bildet keine langaushaltenden Schichtkörper, sondern ist lediglich in Form von zwei Linsen an der Wachsenburg aufgeschlossen. Die größere ist westlich der Burg mit einer Mächtigkeit von 0,45 bis 1,00 m über etwa 150 m Länge aufgeschlossen. Die kleinere Linse

ist auf eine Mächtigkeit von 0,3 bis 0,5 m beschränkt und auf ca. 10 m Länge aufgeschlossen. Namensgebend für das Gestein ist das in ihm enthaltene, aber selten vorkommende Fossil des Fisches *Semionotus elongatus*. Die Schichtoberflächen zeigen fossile Trockenrisse. Das weißlich-graue, mittelkörnige Gestein ist durch einen hohen Anteil an blassrosafarbenen Mineralen (Alkalifeldspäten) gekennzeichnet.

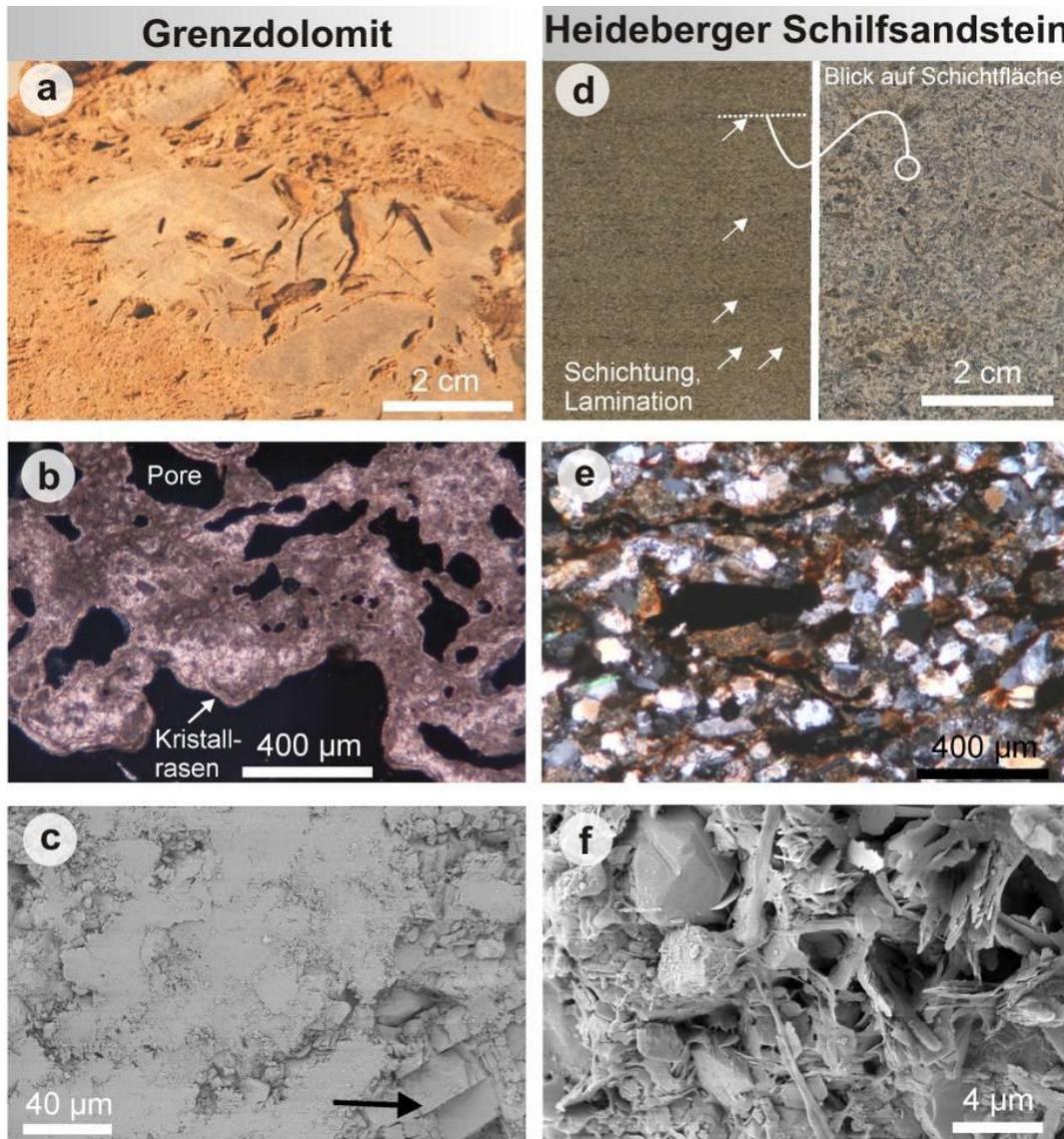


Abb. 4. a-c) Der fossilreiche Grenz dolomit zeigt oft Spuren intensiver Anlösung. Im daraus resultierenden sekundären Porenraum sind Karbonatkristalle gewachsen und bilden Kristallrasen, die durch spiegelnde, ebene Kristallflächen auffallen (Pfeil in c). Das Gestein ist trotz Anlösung auch aufgrund der Neubildungen von Karbonatmineralen sehr fest. d-f) Schilfsandstein des Heidebergs nördlich der Wachsenburg. Der laminierte Feinsandstein enthält inkohlten Pflanzhäcksel, der auf den Schichtflächen deutlich sichtbar ist. Die Schluff- und Feinsandkörner zeigen nur sehr geringmächtige Quarzanwachssäume, weiterhin werden zwischen den Quarzkörnern sehr kleine Eisenoxide und Schichtsilikate (hochauflösendes REM-Bild) angetroffen. a, d) Makrofotografien; b, e) Dünnschliffe im polarisierten Licht; c, f) REM-Aufnahmen.

Das Vorkommen des nur wenig an den Burgen verbauten *Schilfsandsteins* ist auf kleine, lokale Vorkommen am *Heide- und Rotenberg* (3a) beschränkt. Der hell-grünlich braune Schilfsandstein aus dem Mittleren Keuper ist ein deutlich laminiertes Feinsand- oder Schluffstein (Abb. 4 d-f). Neben Quarzkörnern und größeren Glimmern enthält er feinkörnige Schichtsilikate und inkohlte Pflanzenreste. Letztere kann man gehäuft in der Aufsicht auf Schichtflächen finden. Das Dünnschliffbild zeigt ein dichtes klastisches Sedimentgestein. Dafür ist nicht nur die schlechte Korngrößen-sortierung des Gesteins verant-

wortlich. Im REM-Bild erkennt man, dass die feinkörnigen Quarzminerale dezent ausgebildete diagenetische Quarzanwachssäume besitzen. Diese sind wiederum deutlich sichtbar an den ebenen Kristallflächen. Das REM-Bild zeigt außerdem den Negativabdruck der überwachsenen Körner (entfernt bei der Präparation der Bruchfläche) in den Schichtsilikataggregaten, die die Körner umgeben.

Heute werden Schiffsandsteine aufgrund ihrer starken Verwitterungsanfälligkeit nur selten als Bausteine eingesetzt, früher jedoch wurden sie aufgrund ihrer leichten Bearbeitbarkeit bevorzugt für aufwendig behauene Fassadensteine verwendet.

Der nördlich von *Ingersleben* (3b) vorkommende Lettenkohlenkeuper wurde im Mittleren Keuper abgelagert. Der einstige Bruch ist heute stillgelegt, größtenteils zugewachsen, aber noch zugänglich. Den massigen, undeutlich schräggeschichteten Sandsteinbänken sind dm-mächtige, teilweise zurückgewiterte Tonlagen zwischengeschaltet. Das rötlich braune Gestein ist lokal durch Ausfällungen von Eisenoxiden gekennzeichnet und stellenweise im mm-Bereich deutlich geschichtet. Das feinkörnige und poröse Gestein zeichnet sich weiterhin durch seine geringe Festigkeit aus, was sich durch Absanden äußert. Der Fein- bis Mittelsandstein hat eine variable Kornzusammensetzung. Neben Quarz treten häufig auch tonige Gesteinsbruchstücke und Glimmer auf. Die Körner des Sandsteins sind kaum verzahnt und nur schwach zementiert (Abb. 5). Für die rötlich braune Farbe des Sandsteins sind Eisenoxide verantwortlich. Die Pigmentierung des Sandsteins mit Eisenoxiden erfolgt nicht nur durch Kornsäume: Das Volumen zwischen den Sandkörnern ist oft *vollständig* durch einen Filz aus Tonmineralen und Eisenoxidaggregaten eingenommen. Dünnschliffmikroskopische Bilder zeigen für diesen Sandstein deshalb oft eine vollständige Braunfärbung des Volumens zwischen den Körnern (Abb. 6a-e). Eine Oberflächenprobe des verwitterten Ingerslebener Sandsteins wurde an der Burg Gleichen entnommen. Die Entfestigung des Gesteins wird durch das mikroskopische Bild bestätigt (Abb. 5).

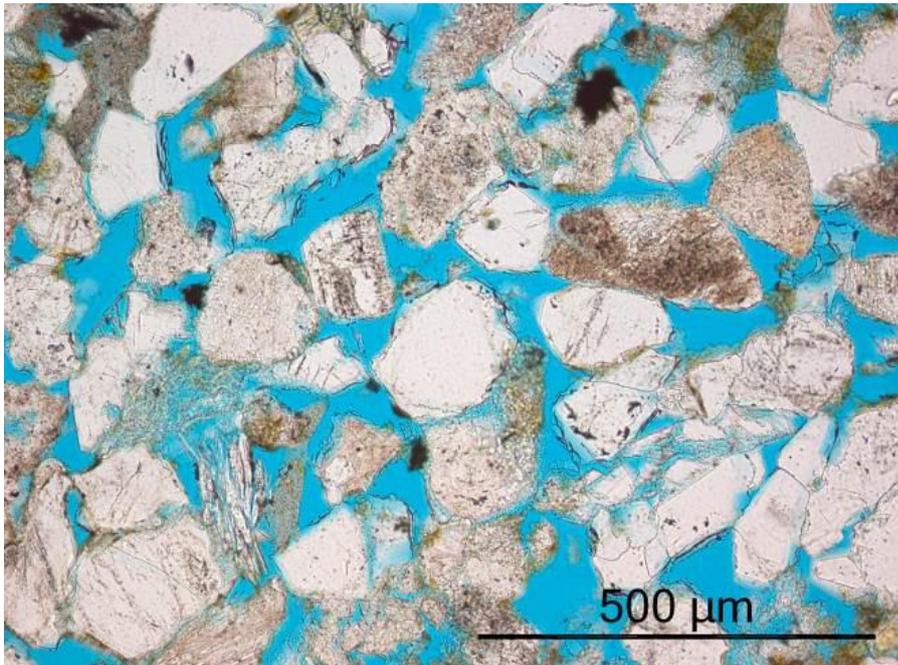


Abb. 5. Verwitterter Ingerslebener Sandstein. Der blau angefarbte Porenraum zeigt die fortgeschrittene Entfestigung des Sandsteins an der Oberfläche eines Werkstücks von der Fassade des Bergfrieds.

Die klastischen Sedimente des *Rhätkeupers* (4; Oberer Keuper) sind Wechsellagerungen hellgelber Feinsandsteinbänke und grauer Tonsteine. Für die Rhätkeuperablagerungen werden wechselnde Sedimentationsbedingungen (flachmarin bis limnisch-terrestrisch) abgeleitet.

Am *Großen Seeberg* (4a) bei Gotha sind hellgelb-weiße, massige Feinsandsteine aufgeschlossen. Unser Beispiel dieser Abfolge zeigt sogenannte mature (reife) Sandsteine, die überwiegend aus Quarzkörnern aufgebaut sind (Abb. 6 f–j). Andere Minerale treten mengenmäßig stark zurück. Die gut sortierten Sandsteine sind durch Quarzanwachssäume zementiert. Die Anwachsäume, die polarisationsmikroskopisch nur undeutlich erkennbar sind, treten durch den Farbkontrast im

Kathodolumineszenzbild deutlicher hervor. Im REM-Bild sind ebene Kristallflächen von Quarz sichtbar, die ebenfalls die Quarzneubildungen belegen. Auf den Quarzanwachssäumen treten Eisenoxide auf, die die charakteristische gelbliche Färbung des Gesteins verursachen. Diese dezente Pigmentierung ist sowohl lichtmikroskopisch im Dünnschliff erkennbar als auch als feinkörniges Material auf den Quarzkristallflächen im REM-Bild sichtbar. Die Quarzzementierung des Sandsteins verursacht seine Härte und diese ermöglicht die Verwendung als widerstandsfähiger Werkstein. Neben dem Einsatz als Werkstein an den Drei Gleichen wurde dieser Sandsteintyp auch an prominenten Bauwerken verwendet, beispielsweise an der Wartburg, am Erfurter Dom und an öffentlichen Gebäuden in Berlin.

Rhätkeupersandsteine treten lokal in der Gegend zwischen Gotha und Arnstadt auf. Die verwitterungsresistenten Schichten bilden zusammen mit den weniger widerstandsfähigen liegenden Schichten aus dem Mittleren Keuper Zeugenberge, wie z. B. am Mühlberg und am Burgberg der Burg Gleichen (4b). Der Seeberger Sandstein am Großen Seeberg bei Gotha wurde seit dem Mittelalter bis zum Jahr 1959 abgebaut. 41 Jahre später wurde der Steinbruch wieder in Betrieb genommen.

Ein weiteres Vorkommen von Rhätsandstein, aufgeschlossen in einem ehemaligen Steinbruch, befindet sich am *Röhnberg* (4c). Das weißlich-graue, feinkörnige, massige Gestein zeigt stellenweise bräunliche, mm-große Flecken (Abb. 7, Abb. 8 a–c). Diese sind durch Eisenoxide verursacht. Der Feinsandstein besitzt eckige Körner ohne Quarzanwachssäume. Lediglich Tonmineral- und Eisenoxidsäume umgeben die Körner. Die geringe Zementation des Gesteins ist für seine nur mäßige Festigkeit (im Vergleich zum Seeberger Sandstein) verantwortlich. Wenn die Menge an Eisenoxidsäumen zunimmt und intensive Rinden um die Körner bildet, wird dies makroskopisch durch bräunliche Flecken im sonst hellen Sandstein sichtbar.

Bei der Verwitterung des Sandsteins vom Röhnberg sind im Porenraum feinkörnige Minerale ausgefällt worden (Abb. 7). Solche bei der Verwitterung entstehenden Inkrustierungen können durch den Kristallisationsdruck aufgrund des benötigten Volumens das ursprüngliche Gesteinsgefüge aufweiten und tragen somit zur Dekonsolidierung bei.

Travertine (5) sind Kalksteine, die durch Ausfällung von Karbonat aus Süßwasserquellen entstehen. Rezente Travertine findet man häufig an Quellaustritten kalkhaltiger Wässer, beispielsweise am Fuß von Muschelkalkhängen. Im Drei-Gleichen-Gebiet sind solche Süßwasserkalke aus dem Holozän entlang dem Mühlberger Spring und Ried aufgeschlossen. Der Travertin ist bei Mühlberg mit einer Mächtigkeit von über 2 m ausgebildet. Er wurde vielfach als Werkstein in der näheren Umgebung verwendet, insbesondere an den Burgen Gleichen und Mühlburg. Charakterisiert ist das weiß-gelbliche Gestein durch seine auffällig ausgeprägten Hohlräume, die nicht selten eine Größe von bis zu mehreren Zentimetern erreichen (Abb. 8 d–f). Ursache sind Einschlüsse von Pflanzenresten bei der Ablagerung. Bei näherer Betrachtung fallen die "verkalkten" Formen von Pflanzenstängeln oder Blättern auf. Auch Gastropodenschalen können im Travertin gefunden werden. Spätere Ausfällungen von Karbonatkristallen in den Porenräumen bewirken eine Verfestigung des initialen Gefüges. Das Dünnschliffbild zeigt bräunliche Schlieren, die durch im Kalkstein eingeschlossene Tonminerale und Eisenoxide verursacht sind.

Bauwerkskartierung - Schadensphänomene am Beispiel der Burg Gleichen

Seit der Erbauung der Burgen waren die Bausteine der Drei Gleichen ständig der Witterung ausgesetzt. Inwieweit die Gesteine dabei geschädigt wurden und welche Schadensphänomene zu sehen sind, soll eine Schadenskartierung am Bauwerk illustrieren. Diese wurde beispielhaft an der Burg Gleichen durchgeführt. Eine Bauwerkskartierung erfasst die Gefüge- und Materialveränderungen der Gesteinsoberfläche anhand eines individuell aufgestellten Klassifikationsschemas. Einen wichtigen Teilaspekt der Schadensdiagnose an Natursteinbauwerken bilden dabei die Erfassung, Dokumentation und Bewertung der auftretenden Gesteinsschäden und Verwitterungsformen unter Berücksichtigung der verwendeten Natursteintypen. Diese systematische Untersuchung der Gesteine sowie der an Gebäuden auftretenden Verwitterungsschäden ist eine notwendige Voraussetzung zum besseren Verständnis von Schadensursachen und Schadensmechanismen der Natursteinverwitterung.

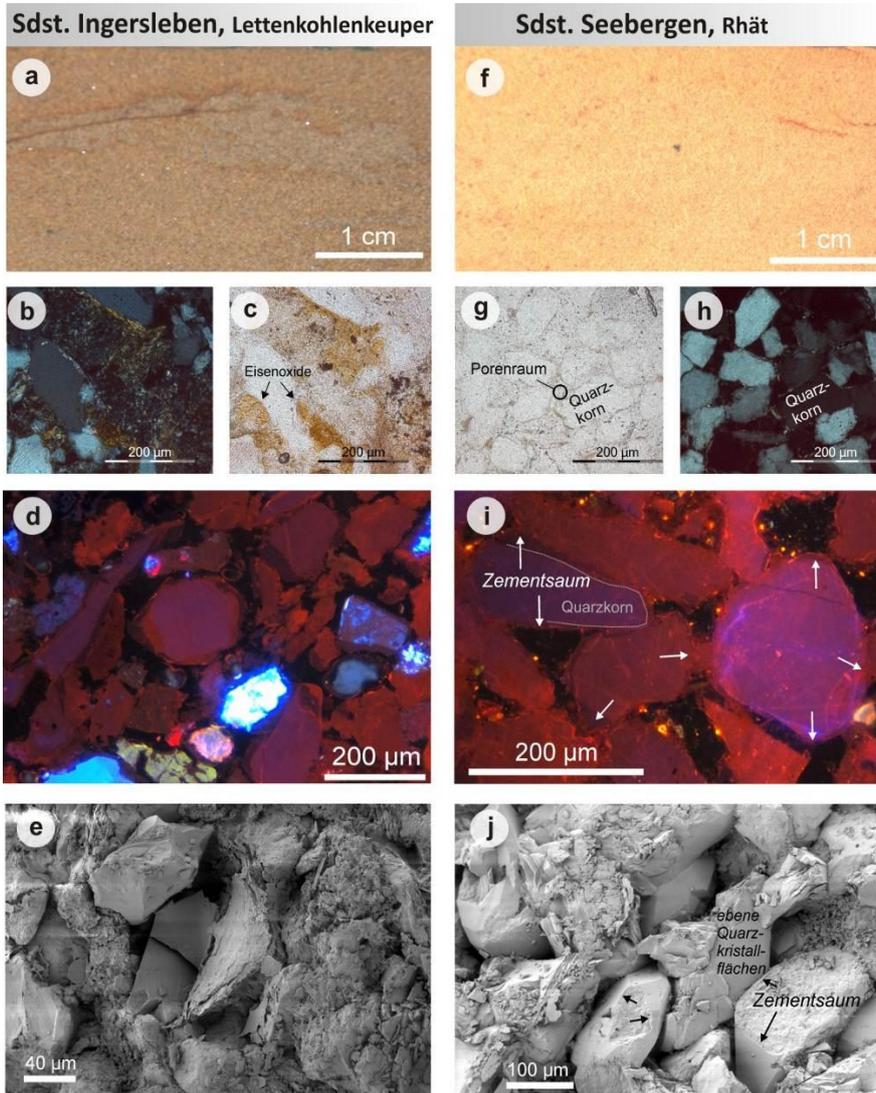


Abb. 6. a-e) Der rotbraune Sandstein von Ingersleben zeigt im Dünnschliffbild bräunliche Eisenoxide, die die Farbgebung des Gesteins verursachen. Eine Zementierung mit Quarz fehlt fast vollständig, stattdessen verkitteten Aggregate von Eisenoxid den Sandstein.

f-j) Der Seeberger Sandstein (Rhätsandstein) ist ein hellgelbliches, massiges Gestein. Der Sandstein ist mit Quarz zementiert. Im Dünnschliffbild fällt dies kaum auf, da keine dunklen kornumhüllenden Säume existieren. Die Kathodolumineszenz zeigt jedoch einen deutlichen Kontrast zwischen Quarzkorn (braun-violette Lumineszenz) und neugebildetem, auf dem Korn aufgewachsenem Quarzement (dunkle Lumineszenz). Die Quarzanwachs-säume sind im REM-Bild durch deutliche glatte, ebene Kristallflächen erkennbar. a, f) Makro fotografien; b, c, g, h) Dünnschliffe im Hellfeld und im polarisierten Licht; d, i), Kathodolumineszenzaufnahmen, e, j) REM-Aufnahmen.

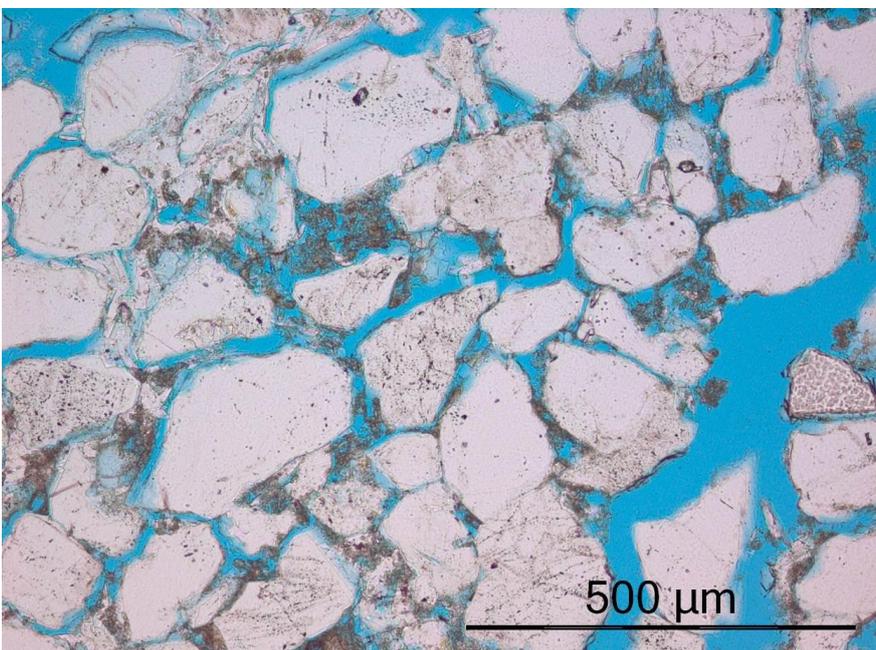


Abb. 7. Im Porenraum des entfestigten, gefügeaufgeweiteten Sandsteins vom Röhnberg sind bei der Verwitterung neue Minerale gewachsen. Sie sind als bräunliche, feinkristalline Aggregate zwischen den hellen Quarzkörnern im blau angefarbten Porenraum erkennbar. Diese Probe wurde auf der Burg Gleichen an einem abschalenden Fassadenstein entnommen.

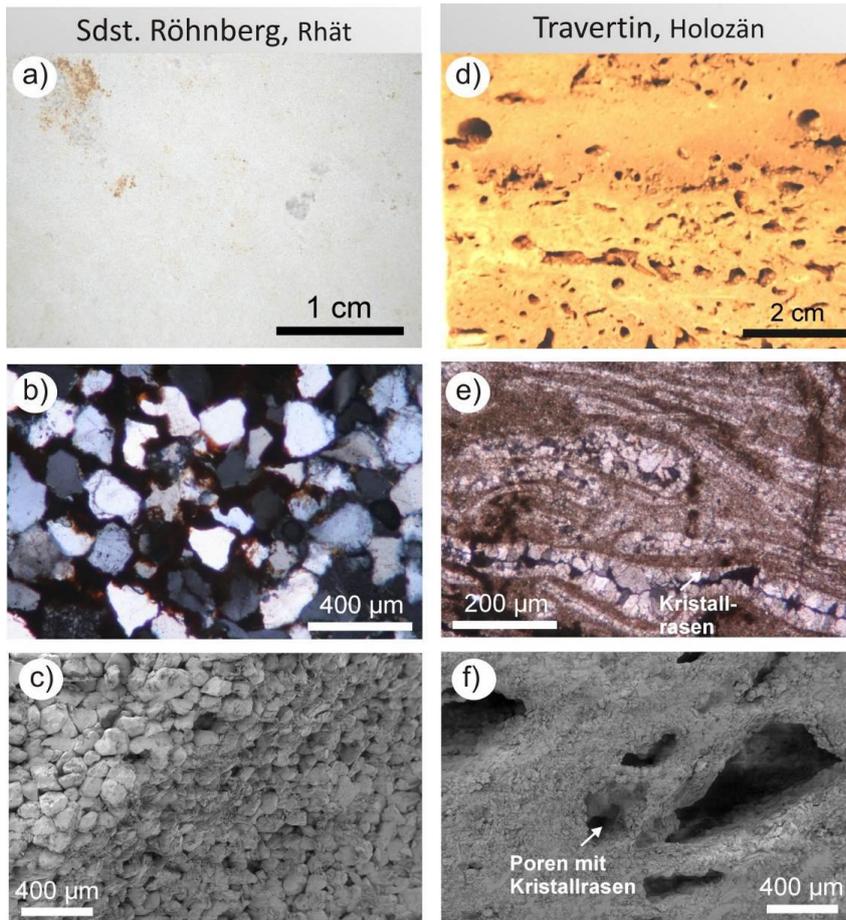


Abb. 8. a-c) Rhätsandstein des Röhnbergs. Das helle, massige Gestein zeigt mm-große bräunliche Flecken. Diese sind durch Eisenoxide verursacht, die zwischen den Quarzkörnern den Porenraum ausfüllen (Dünnschliffbild). Das REM-Bild zeigt solche feinkörnigen Eisenoxidaggregate, die stellenweise gehäuft zwischen den Quarzkörnern auftreten. Im Vergleich zum Seeberger Sandstein fällt er durch seine überwiegend weiße Farbgebung auf. d-f: Travertine sind oft sehr porös. Die hohe Porosität wird durch ursprünglich umkrustetes Pflanzen- und Blattmaterial verursacht. Spätere Lösungs- und Ausfällungsreaktionen werden durch im Porenraum neu gebildete Kalzitkristalle angezeigt. a ,d) Makrofotografien; b, e) Dünnschliffe im polarisierten Licht; c, f) REM-Aufnahmen.

Kartierung der Lithologie und der Schadensformen

Die Auswahl der kartierten Bereiche erfolgte aufgrund ihrer Exposition (Abb. 9): Ein kartierter Mauerbereich befindet sich im Inneren der Burganlage, der romanische Wohnbau. Ein weiterer Bereich wurde seitlich des Turms gewählt, da dieser stärkerer Witterung ausgesetzt ist als der innere Bereich. So sollte ein Vergleich zwischen den unterschiedlichen Expositionen und ihren Schadensformen möglich sein. Während die Außenmauer wahrscheinlich stärkerer Beregnung, aber aufgrund der Windverhältnisse auch schnellerer Abtrocknung unterliegt, ist der innere Bereich geringerer Witterung ausgesetzt. Auf der mittleren Höhe des romanischen Wohnbaus sind herausragende "Stützpfiler" eingelassen, auf denen einst ein Holzboden eingezogen war. Weiterhin besitzt er vier Durchgänge im oberen und zwei im unteren Bereich.

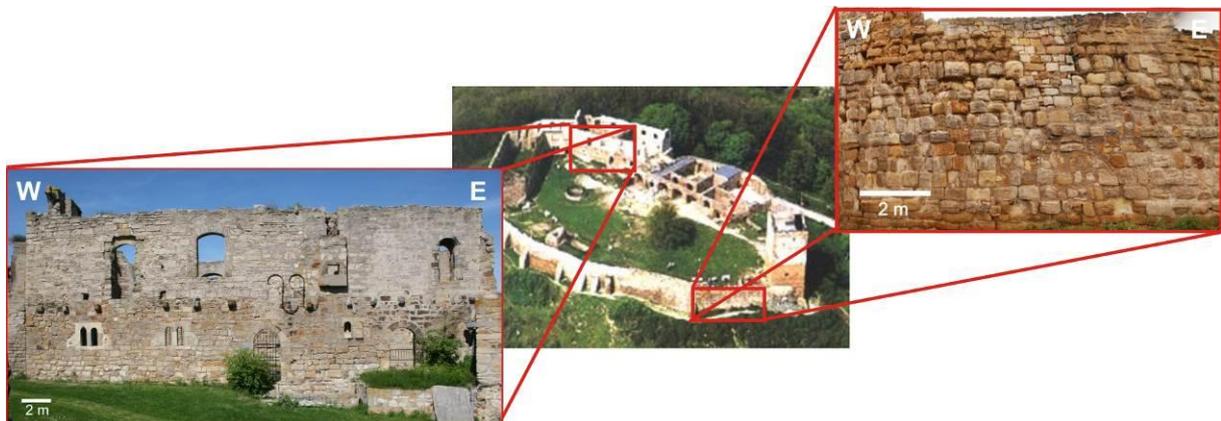


Abb. 9. Bearbeitete Mauerbereiche der Burg Gleichen: romanischer Wohnbau und seitlich des Turms

Lithologie

An dem bearbeiteten Teilstück der Ringmauer seitlich des Turms konnten sechs der insgesamt acht verwendeten Naturwerksteine nachgewiesen werden (Abb. 10 a). Dabei wurden beinahe zu gleichen Teilen der Grendolomit und Gleichenberger Rhätsandstein verwandt. Weiterhin kommen die Rhätsandsteine des Seebergs und Röhnbergs vor. Der Semionotus-Sandstein und Ingerslebener Sandstein wurden nur wenig verbaut.

Die Grendolomite wurden im Verbund am Fuß und im oberen Bereich der Mauer eingesetzt. Lediglich oben im mittleren Bereich ist diese Einheit von Rhätsandsteinen, kleineren Semionotus- und den einzigen Ingerslebener Sandsteinvorkommen unterbrochen. Den mittleren Mauerwerksbereich teilen sich die unterschiedlichen Rhätsandsteine, wobei der Gleichenberger Rhätsandstein am häufigsten zu finden ist. Der Semionotus-Sandstein tritt auch hier nur vereinzelt auf. Bei den meisten Gesteinen handelt es sich um massige, annähernd quaderförmige Blöcke, die stellenweise eine Länge von bis zu 1 m erreichen. Vereinzelt treten auch kleinere Bruchstücke auf, welche offenbar ausgewechselt und anschließend mit jüngerem Mörtel verputzt worden sind.

Im Inneren der Burg Gleichen, am romanischen Wohnbau, wurden insgesamt sieben der acht Gesteine verbaut (Abb. 10 b). Dabei lassen sich bedingt durch zwei Baustile und Bauphasen auch jeweils bevorzugte Materialien erkennen. Während im unteren Bereich beinahe sämtliche Gesteine der Drei-Gleichen-Region zum Einsatz kamen, wurde im oberen Bereich ausschließlich der stabile und verwitterungsresistente Travertin verbaut. Lediglich die dekorierten Durchgänge sind aus dem sehr weichen, leicht grünlichen Heideberger Schilfsandstein erbaut. Im unteren Teil der Mauer wurden vorwiegend Rhätsandsteine, mit Schwerpunkt auf dem Seeberger Rhätsandstein, verbaut. Aber auch Semionotus-Sandstein und der Grendolomit sind zu finden. Ersterer lässt sich als "feines Band" und beinahe kontinuierlich den Fuß der Mauer entlang verfolgen. Die wenigen Grendolomite sind im linken Mauerbereich und nicht im Verbund eingesetzt worden. Während der Travertin meist quaderartige Formen aufweist, sind die unteren Gesteine eher als Bruchmauerwerk anzusehen, das heißt, die Gesteine wurden nicht zugesägt, sondern gebrochen. Weiterhin lassen sich insgesamt zwei verschiedene Mörtelsorten unterscheiden: die eine sehr grobkörnig, mit bis zu 3 cm großen Geröllen und feinkörniger Matrix, die andere insgesamt sehr feinkörnig und mit einer homogenen Korngrößenverteilung (siehe Kap. "Maßnahmen zur Ruinensicherung").

Schadensformen

Die an den Wänden dokumentierten Schadensphänomene werden in drei Obergruppen eingeteilt und im Folgenden beschrieben. Nach ihrer Intensität wurden die Schadensphänomene in der erstellten Karte in primäre, sekundäre und untergeordnete Schadensformen eingeteilt.

Gesteinsablösung

Gesteinsablösung umfasst diejenigen Prozesse, bei denen Gesteinspartikel im Begriff sind, sich zu lösen bzw. nur noch partieller Kontakt zur Oberfläche besteht. Dazu wurden die Schadensphänomene des Absandens, Abschuppens und Abschalens gezählt (Abb. 11). Die Schadensform des Absandens bezeichnet das Ablösen von mm-großen (oder kleineren) Partikeln von der Gesteinsoberfläche. Das Abschuppen äußert sich an den untersuchten Objekten in Form von lockeren, kleinflächigen Partikeln im cm-Bereich, welche teilweise blasenartig ausgebildet oder aufgewölbt sind und sich parallel zur Oberfläche ablösen. Als Abschalen wurden diejenigen Oberflächenveränderungen bezeichnet, die das Ablösen von großflächigeren, parallel zur Oberfläche liegenden Bereichen umfassen. Die Schalen weisen an den untersuchten Mauern Mächtigkeiten von bis zu 4 cm auf. Des Weiteren konnte häufig das Abschalen mehrerer Lagen übereinander registriert werden, was jedoch vorwiegend im Randbereich der Gesteine zu sehen war. Die Schalenoberflächen weisen zumeist eine hellere Farbe als das Untergrundgestein auf und besitzen ein kompakteres, festeres Gefüge.

W

-Ringmauer westlich des Turms-

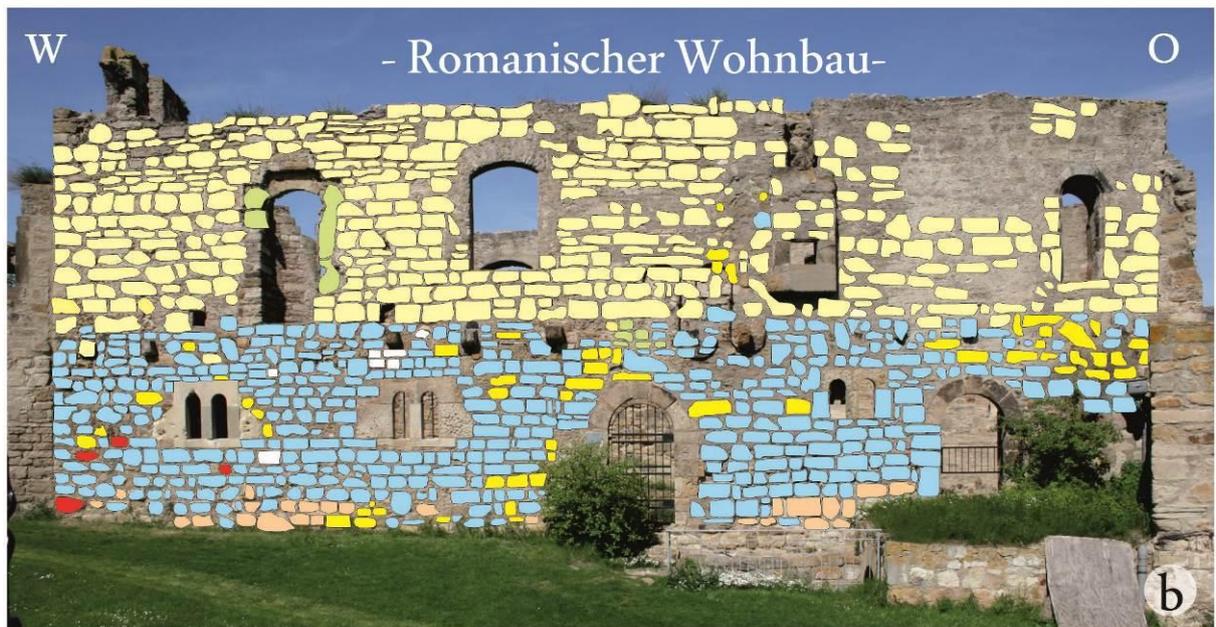
O



W

- Romanischer Wohnbau-

O



- | | |
|--|--|
| ■ Grenzdolomit (1) | ■ Seeberger Rätssandstein (4a) |
| ■ Semionotus Sandstein (2) | ■ Gleichenberg Rätssandstein (4b) |
| ■ Heideberger Schilfsandstein (3a) | Röhnberger Rätssandstein (4c) |
| ■ Ingerslebener Schilfsandstein (3b) | ■ Travertin (5) |

Abb. 10. Lithologische Kartierungen a) an der Ringmauer westlich des Turms und b) am romanischen Wohnbau der Burg Gleichen. Die Ziffern der Legende entsprechen der stratigraphischen Einordnung. Nicht kartierte Bereiche sind durch Verputz verdeckt.

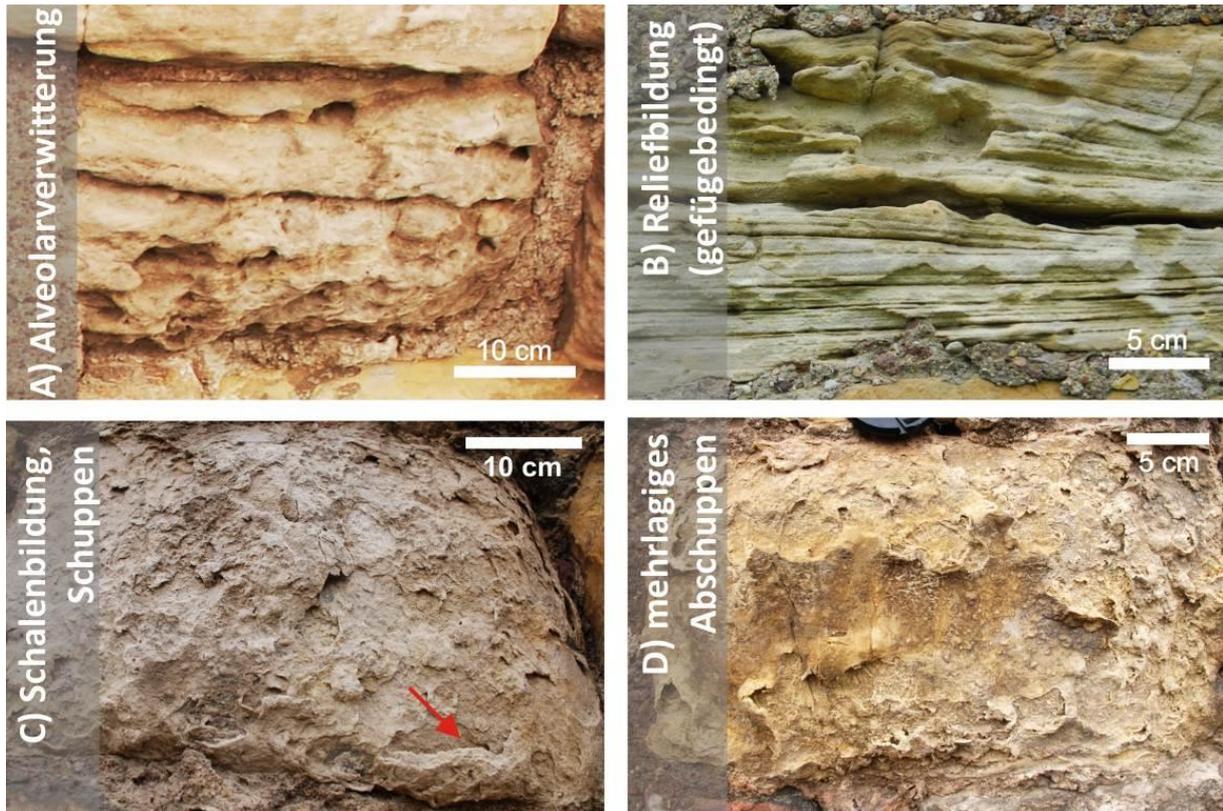


Abb. 11. Gesteinsablösende Oberflächenveränderungen und Gesteinsverlust: A) Alveolarverwitterung, B) Reliefbildung, C) Schuppenbildung und Schalenbildung (roter Pfeil) und D) mehrlagiges Abschuppen mit blasenartigem Aufwölben der Oberfläche.

Nach Poschlod (1990) stellt die Schalenbildung bzw. das Abschalen einen oberflächenparallelen Verdichtungshorizont dar, der auf Lösungs-, Transport- oder Ausfällungsprozesse zurückzuführen ist. Unter der äußerlich unveränderten Gesteinsoberfläche bildet sich eine mürbe Zone, die sich über einen gewissen Zeitraum solange erweitert, bis diese den Kontakt zur ursprünglichen Oberfläche verliert und sich anschließend ablöst. Diese Schadensphänomene entstehen meist an den Wetterseiten der Fassaden.

Gesteinsverlust

Prozesse, die eine relative Verringerung der Gesteinsoberfläche zur Folge haben, wurden als Gesteinsverlust bewertet (z.B. Abb. 11 b). Im Gegensatz zur Gesteinsablösung, bei der der Materialverlust auf bestimmte Bereiche beschränkt ist, ist beim Gesteinsverlust die gesamte Oberfläche des Gesteins vom Materialverlust betroffen. Zum Gesteinsverlust wurden die Rückwitterung sowie Reliefbildung gezählt.



Abb. 12. Gesteinsanlagernde Oberflächenveränderungen. A) Effloreszenzen, vom Mörtel auf die Gesteine übertragen, B) links im Bild dunkel gefärbte Krustenbildung, rechts oberflächliches Absanden nach Lösung des Bindemittels, C) oberflächliche biologische Besiedelung durch Flechten (s.a. Kap. "Untersuchung der Aufwuchsflora").

Das Schadensphänomen der Rückwitterung stellt einen einheitlichen Materialverlust parallel zur ursprünglichen Gesteinsoberfläche dar. Unter dem Begriff Relief wurden alle Schadensphänomene zusammengefasst, welche einen unebenen, partiellen Materialverlust der Oberfläche bewirken. Dazu zählt das Herauspräparieren verwitterungsresistenterer Bereiche der Gesteine. Des Weiteren wurden die Zurundung von Ecken und Kanten eines Werksteins sowie die Alveolarverwitterung als Reliefbildung kartiert. Die Alveolarverwitterung ist durch dicht nebeneinanderliegende, ellipsoide Aushöhlungen im Gestein gekennzeichnet.

(Gesteins-)anlagernde Oberflächenveränderungen

Zu (gesteins-)anlagernden Oberflächenveränderungen wurden alle Schadensphänomene gezählt, die eine oberflächliche Anlagerung fremden Materials zur Folge haben (Abb. 12).

Der Begriff Materialanlagerung bezieht sich hierbei auf visuell erkennbare Veränderungen der Gesteinsoberfläche. Dazu zählen zum einen die biologische Besiedlung sowie die Krustenbildung und Effloreszenzen (Salzausblühungen). Krustenbildung bezeichnet eine an der Gesteinsoberfläche fest anhaftende Materialanlagerung, welche meist eine dunklere Farbe als das Untergrundgestein ausweist. Die an den bearbeiteten Objekten beobachteten Krusten erreichen dabei Mächtigkeiten von bis zu 5 mm. Zur biologischen Besiedlung wurden rezent wachsende Pflanzen, Flechten oder Algen gezählt.

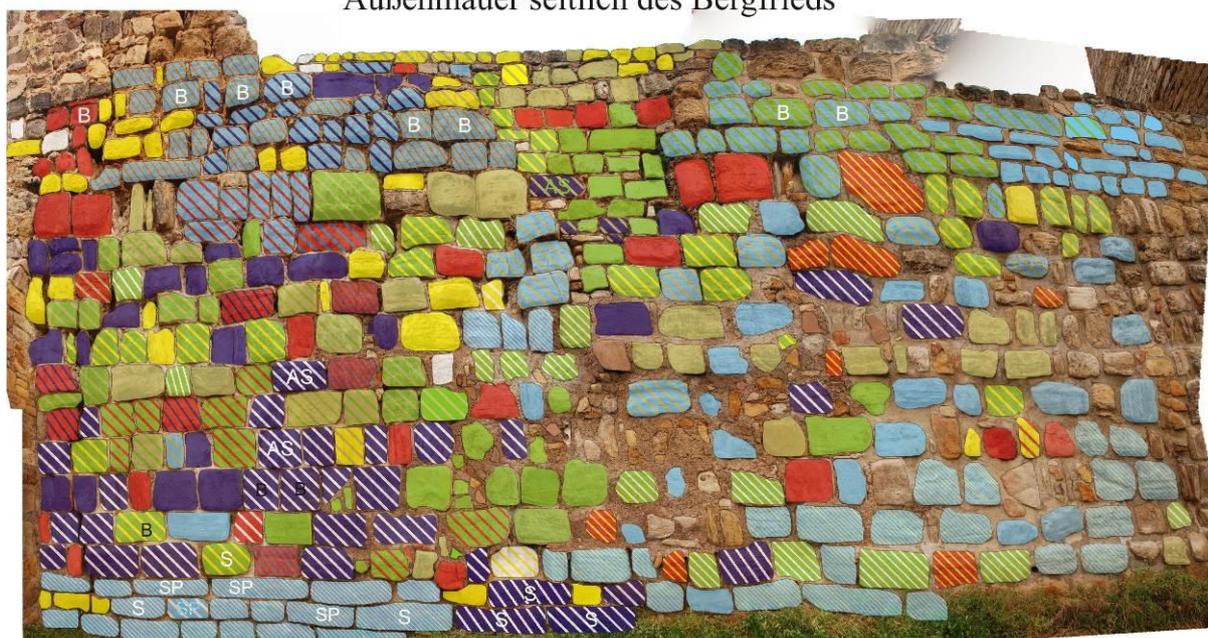
Das Auftreten der Schadensphänomene an der *Ringmauer* der Burg weist zum Teil eine Abhängigkeit zur Lithologie, aber auch zur Position im Mauerwerk auf (Abb. 13). So zeigt der im unteren Bereich verbaute Grenzdolomit vorwiegend eine Herauspräparierung der verwitterungsresistenteren Bereiche und Effloreszenzen, im oberen Bereich Schuppenbildung und auch häufiger Schalenbildung. Die häufig verbauten Gleichenberger und Seeberger Rhätsandsteine zeigen Reliefbildung, Absanden, Abschuppen und vereinzelt biologische Besiedlung. Die Oberfläche des sehr hellen Röhnberger Rhätsandsteins sandet sehr oft großflächig ab. Die Oberfläche des Semionotus-Sandsteins ist durch biologische Besiedlung oft dunkel gefärbt und ist ansonsten oft durch Abschuppen gekennzeichnet. Die Verwitterungsformen des Ingerslebener Sandsteins äußern sich dagegen in Schuppen- und Schalenbildung sowie Reliefbildung durch Herauspräparierung der eisenoxidhaltigen Bestandteile.

Weiterhin scheint die Exposition bezüglich des Auftretens der Schadensformen eine entscheidende Rolle zu spielen. So treten die auffälligen, weißen Effloreszenzen vorwiegend im unteren Bereich der Mauer unabhängig von der Gesteinsart und bis in ca. 1 m Höhe auf. Gleichzeitig zeigen diese Gesteine auch gehäuft randliches Abschuppen. Die Herkunft der Salze ist in dem umgebenden Mörtel zu suchen, der in den Porenraum des Gesteins eingetragen wurde (vgl. Kap. "Maßnahmen zur Ruinensicherung"). Weiterhin lässt sich im linken Mauerabschnitt eine höhere Verwitterungsintensität als im rechten feststellen, was jedoch auf eine jüngere Restaurierungsphase im rechten Bereich zurückzuführen ist. Weiterhin sind im unteren Mauerabschnitt die Gesteine durch kapillaren Wassereintrag in der Regel feuchter als weiter oben. Die Intensität dieses Eintrags korreliert mit den im Labor ermittelten w-Werten, wonach insbesondere die Grenzdolomite stark wassersaugend sind. Die Besiedlung mit höheren Pflanzen konzentriert sich dennoch nicht in den unteren durchfeuchteten Bereichen, sondern ganz oben, wo ablaufendes Regenwasser die Gesteine benetzt.

Die meisten Schadensformen, die seitlich des Turms vorkommen, treten auch am *romanischen Wohnbau* auf (Abb. 14). Der Travertin lässt bis auf eine Besiedlung seiner hellen Oberfläche mit einigen Moosen und Flechten keinerlei Anzeichen von Verwitterungsphänomenen erkennen. Damit konzentrieren sich die Verwitterungsformen weitestgehend auf den unteren Bereich des romanischen Wohnbaus. Der ausschließlich an den Durchgängen verbaute Heideberger Sandstein ist stark von Reliefbildung gekennzeichnet und teilweise an die Schichtung gebunden. Besonders deutlich ist die verringerte Verwitterung gegenüber den eisenoxidreichen Partien, diese sind beinahe bis zu ihrer Originaloberfläche erhalten. Nahe am Boden (bis 1 m Höhe) weisen die meisten Gesteine Krusten, Effloreszenzen und Reliefbildung auf. Die hier verstärkt auftretenden Krusten und Effloreszenzen sind vermutlich auf die stete Durchfeuchtung durch kapillaren Wassereintrag zurückzuführen.

W Schadensformkartierung Burg Gleichen O

Außenmauer seitlich des Bergfrieds



B Biologische Besiedelung	AS Absanden	RÜ Rückwitterung
E Effloreszenzen	SP Abschuppen	R Reliefbildung
K Krustenbildung	S Schalenbildung	

Abb. 13. Schadensformkartierung an der Ringmauer westlich des Turms (Bergfrieds) der Burg Gleichen. Primäre Schadensformen wurden als Füllfarbe, sekundäre als Schraffur und untergeordnete Schadensformen mit Buchstaben gekennzeichnet.

Als Quelle der Salze und auch das "Material" der Krusten kann auch hier der umgebende Mörtel angenommen werden (Kapitel Denkmalgerechte Ruinensicherung). Weiterhin kommt im unteren Bereich Schalenbildung, vorwiegend am Semionotus-Sandstein und Seeberger Rhätsandstein, vor. Während direkt über den Fenstern die Gesteine kaum geschädigt sind, finden sich jeweils links und rechts davon vorwiegend Gleichenberger Rhätsandsteine, mit auffallend intensiver Alveolarverwitterung bzw. Reliefbildung (Abb. 11a, b, Abb. 14). Der Seeberger Sandstein zeigt an seiner Oberfläche oft eine bis zu mehreren Millimetern dicke Eisenoxidkruste, die sich jedoch wahrscheinlich nicht erst am Bauwerk, sondern bereits unter diagenetischen Bedingungen gebildet hat. Der vereinzelt auftretende Grenzdoomit ist auch durch das Herauspräparieren seiner kompakteren Bereiche gekennzeichnet und zeigt randliches Abschuppen. Die Verwitterungsformen des Röhnberger Rhätsandsteins sind Absanden und Abschuppen. Biologische Besiedelung tritt, vereinzelt auch am Travertin, in Form von Moosen, aber auch dunklen, mikrobiellen Überzügen auf (siehe Kap. "Mikrobielle Besiedelung auf Naturwerksteinen").

Bewertung der bautechnischen Eignung

Basierend auf der Untersuchung des Materialverhaltens (Petrologie, Petrophysik und Verwitterungstests) im Labor sowie der Bauwerkskartierung am Schloss Gleichen konnte/kann eine Bewertung der bautechnischen Eigenschaften und ersatzgeeigneten Gesteine der Drei Gleichen Region erfolgen.

- Im verbauten Zustand zeigen nur die Travertine schwache bis keine Schädigung, was ebenfalls durch die im Labor erfolgten Untersuchungen belegt werden konnte. Neben einem geringen thermischen Expansionskoeffizienten weist das Gestein eine geringe hygrische Dehnung und keine Schädigung während der Salzsprengtests auf. Dieses Verhalten ist wahrscheinlich auf seine positiven Porenraumeigenschaften zurückzuführen, welche eine geringe Wasseraufnahme bedingen. Daher ist dieses Gestein als bautechnisch geeignet einzustufen.



Abb. 14. Schadensformkartierung am romanischen Wohnbau (Palas) der Burg Gleichen. Primäre Schadensformen wurden als Füllfarbe, sekundäre als Schraffur und untergeordnete Schadensformen mit Buchstaben gekennzeichnet.

- Die Materialeigenschaften des Grenzdolomits sind durch unterschiedliche Schadensformen und -intensitäten gekennzeichnet. Die ausgeprägte hygrische Dehnung des Gesteins erklären die Schadensphänomene der häufig vorkommenden Abschuppung, Abschabung und Salzeffloreszenz. Die Porenraumeigenschaften begünstigen hier eine verstärkte kapillare Wasseraufnahme. Gleichzeitig zeigt das Gestein durch seine geringe Festigkeit eine entsprechend geringe Resistenz gegenüber Salzverwitterung. Aufgrund dieser Eigenschaften ist dieses Gestein als potentielles Ersatzgestein eher ungeeignet.

Obwohl die Sandsteine Seebergen, Röhnberg und Gleichenberg derselben stratigraphischen Einheit zuzuordnen sind und auf eng begrenzten Raum nebeneinander vorkommen, weisen sie sehr unterschiedliche Materialeigenschaften auf:

- Der Seeberger Sandstein zeigt am Objekt und auch während der gesteintechnischen Untersuchungen im Labor eine schwache Schädigung bzw. eine hohe Verwitterungsresistenz. Dies ist auf das Fehlen frühdiagenetisch gebildeter Tonkutanen zurückzuführen, welche eine Verringerung der Porosität durch Quarzzementation, verhindert hätten. Infolge der durchdringenden Quarzzementation und der damit geringen Porosität, weist das Gestein eine hohe Festigkeit auf. Weiterhin bedingen die Porenraumeigenschaften eine nur geringe Wasseraufnahme über kapillaren und hygroskopischen Weg.
- Der Rhätsandstein des Röhnbergs zeigt am Objekt intensive Schädigungen der Oberflächenbereiche in Form von Absanden und Abschuppen. Zum einen ist dies durch seine punktförmigen Kornkontakte bedingt, zum anderen durch einen hohen Anteil frühdiagenetisch gebildeter Illitkutanen um die detritischen Quarzkörner. Letztere haben eine stabilisierende Quarzzementation verhindert und damit auch eine geringe Festigkeit des Gesteins verursacht. Diese wiederum äußert sich in der geringen Resistenz gegenüber Salzverwitterung.
- Die Schadensform des Gleichenberger Rhätsandsteins äußert sich im Wesentlichen durch gefügebedingte Reliefbildung, die auf seine ausgeprägte Schichtung zurückzuführen ist. Aufgrund des hohen Intergranularvolumens und geringen Zementation besitzt das Gestein eine

eher geringe Festigkeit. Weiterhin zeigt der Rhätsandstein aufgrund seiner Porenraumeigenschaften eine hohe Affinität zur kapillaren Wasseraufnahme.

- Alle Rhätsandsteine zeigen eine nur geringe Volumenänderung bei Befeuchtung und geringe thermische Ausdehnungskoeffizienten. Bezüglich der Salzsensibilität ist jedoch nur ein Gestein als "resistent" zu bewerten. Reagieren die Sandsteine des Röhn- und Gleichenbergs auf Salzbefrachtung mit vielfältigen und intensiven Schadensformen ihrer Oberfläche, weist der Seeberger Sandstein dagegen auch nach mehr als 70 Belastungszyklen keine Veränderung auf. Somit kann der Seeberger Sandstein sowohl als bautechnisch geeignet, und als möglicher Ersatzbaustein bewertet werden.
- Die Gesteine geringster Verwitterungsresistenz sind die Sandsteine Ingersleben und Heideberg. Angereichert mit alterierten Lithoklasten und organischen Komponenten, weisen sie eine geringe Festigkeit auf, die eine leichte Bearbeitung ermöglichen. Gleichzeitig sind sie damit anfällig für Salzverwitterung. Die Anwesenheit alterierter Lithoklasten in Kombination mit hoher Porosität und einer als negativ zu bewertenden Porenradienverteilung (hoher Anteil Mikro- und Kapillarporen), verursachen damit eine geringe Festigkeit und hohe Wasseraufnahme in den Porenraum. Falls ein Gestein geringer Festigkeit aufgrund der leichteren Bearbeitbarkeit zur Verwendung kommen sollte, ist notwendigerweise mit geeigneteren Wasseraufnahmewerte einzusetzen.
- Einer der verwitterungsresistentesten Gesteine neben dem Seeberger Sandstein und Travertin, ist der Semionotus Sandstein. Vorort und während der Laboruntersuchungen zeigt das Gestein eine nur schwache Schädigung. Zurückzuführen ist dies auf seine geringe Porosität, geringe Wasseraufnahme und hohe Festigkeit. Zwar ist dieses Gestein damit als bautechnisch geeignet zu bewerten, das nur geringe Vorkommen unterhalb der Wachsenburg schließt es jedoch als möglichen Ersatzbaustein oder Naturwerkstein aus.

Weiterführende und detaillierte Ergebnisse zur Petrologie, Petrophysik sowie zum Verwitterungsverhalten der Gesteine sind dem Artikel "Weathering behaviour and construction suitability of dimension stones from the Drei Gleichen area (Thuringia, Germany)" von Stück, H., Siegesmund, S. und Rüdlich, R. zu entnehmen (s. Anhang; Stück et al., 2011).

Literatur

- Poschlod, K. (1990). Das Wasser im Porenraum kristalliner Naturwerksteine und sein Einfluss auf die Verwitterung. Geow. Abh., Reihe B, München, 1990.
- von Freyberg, B. (1937). Thüringen - Geologische Geschichte und Landschaftsbild. Schriften des Deutschen Naturkundevereins, neue Folge, Bd. 5, Oehringen.
- Stück, H., Siegesmund, S., Rüdlich, J. (2011). Weathering behaviour and construction suitability of dimension stones from the Drei Gleichen area (Thuringia, Germany). Environ. Earth Sci. DOI 10.1007/s12665-011-1043-7.

4. Mikrobielle Besiedlung auf Naturwerksteinen und Biodeterioration

Michael Hoppert, Christine Hallmann, Lorena Stanek

Einleitung

Den Mauern der ruinösen Burgen Gleichen und der Mühlburg gilt zunächst das Hauptaugenmerk derzeitiger und zukünftiger Sicherheits- und Restaurierungsmaßnahmen. Sie sind gleichzeitig als Ersatzstandorte für Felsen potentielle Refugien für typische Felsvegetation. Die Gefäßpflanzen bilden jedoch eine potentielle Gefahr, da sie meist in lockerem Fugenmaterial wurzeln und vorhandene Wegsamkeiten erweitern können und letztendlich zur Ablösung von Mauerelementen oder dem Zusammenbruch einer Mauer beitragen können. Neben den typischen Standorten Mauerfuß, Mauerfuge und Mauerkrone für Gefäßpflanzen ist zudem die Gesteinsoberfläche besiedelt. Gefäßpflanzen spielen hier keine Rolle, allerdings finden sich neben einigen Moosen v.a. Flechten sowie Grünalgen, Cyanobakterien und filamentöse Pilze. Das Teilprojekt widmet sich vor allem der Frage, wie die Mikroorganismen an Schadprozessen, z.B. Absanden, Abschuppen oder Schalenbildung beteiligt sein können und ob ggf. Schutzmaßnahmen zu ergreifen sind (vgl. auch Hoppert et al. 2010, Hallmann et al. 2011)

Gefäßpflanzen

Die Mauern der Burg Gleichen und der Mühlburg werden verschiedenen Mikroorganismen, Moosen, Flechten und Phanerogamen besiedelt. Insbesondere bei der Besiedlung mit Gefäßpflanzen ist abzuwägen, ob hier durch Eindringen von Wurzeln in die Mauerfugen mit einer Schädigung des Mauerwerks gerechnet werden muss, oder ob die Pflanzen zu schützenden Elementen der Flora gehören. Phanerogamen spielen bei der Besiedlung auf der Gesteinsoberfläche keine Rolle, sind aber häufig in den offenen Fugen der Mauern auf der Burg Gleichen zu finden. Die Flora ist auf dieser Burg am vielfältigsten. Zu unterscheiden ist hier zwischen der Vegetation am Mauerfuß, auf der Mauerkrone und in den Mauerfugen. Das Fugenbild ist geprägt von Besiedlung durch *Asplenium ruta-muraria* (Mauerraute) und *Euphorbia cyparissias* (Zypressen-Wolfsmilch) sowie dem Schöllkraut (*Chelidonium majus*). Vereinzelt ist auch die Stachelbeere (*Ribes uva-crispa*) zu finden. Die Vegetation der Mauerkrone enthält Elemente der umliegenden Trockenrasen. Hier ist insbesondere *Stipa capillata* (Haarpfriemengras) auf der Krone des Romanischen Wohnbaus der Burg Gleichen hervorzuheben. Ebenfalls an der Burg Gleichen findet sich eine reich strukturierte Vegetation am Mauerfuß, die durch wärmeliebende Rudersaalpflanzen, z.B. die Eselsdistel (*Onopordum acanthium*) geprägt ist (vgl. auch Kap. "Hotspots der Phytodiversität").

Mikrobielle Besiedlung auf Gesteinsoberflächen

Die Gesteinsoberflächen, z. T. auch die verwendeten Mörtel sind an Musterflächen der Burg Gleichen in Hinblick auf mikrobiell bedingte Schädwirkungen ("Biodeterioration") eingehend untersucht worden. Schädwirkungen, die durch Flechtenbesiedlung und nicht lichenisierte Grünalgen sowie Pilze begleitet werden, sind v.a. auf den verbauten Sandsteinen zu beobachten (Abb. 1).



Abb. 1. Typische Schadprozesse, die von Mikroorganismen begleitet werden
a) Besiedlung endolithischer Flechten in Verbindung mit Abschalung und Rückwitterung der Oberfläche
b) Abschuppen der Oberfläche und Krustenbildung in Verbindung mit Mikroalgen-Besiedlung
c) Intensive Besiedlung von Mikroalgen unter einer Kruste
d) Algen auf der Innenseite einer abgelösten Kruste

Raster-elektronenmikroskopische Analysen des Standortmaterials bestätigen den intensiven Bewuchs. Mikroalgen besiedeln insbesondere die Zwischenräume zwischen sich ablösenden Krusten und dem aufliegenden Gesteinsmaterial. Abb. 2 zeigt eine entsprechende Situation. In a) ist eine intensive Besiedlung einer Kruste gezeigt; die röntgenspektroskopische Analyse zeigte hier einen hohen CaSO_4 (Gips)-Anteil. Die coccalen Algen sind zur Verdeutlichung in b) grün eingefärbt. Einige Diatomeen-Morphotypen, die fast vollständig von dem Material umgeben waren, konnten ebenfalls identifiziert werden (Abb. 2 c).

Eine differenzierte qualitative und quantitative Analyse der vertretenen Gruppen der mikrobiellen Besiedlung erfordert die Erstellung von Klonbanken aus Standort-DNA. Hierzu wurden zwei geeignete Musterflächen auf der Burg Gleichen beprobt. Die Lage der Flächen und die Probenpunkte sind in Abb. 3 dargestellt.

Die Flächen sind hinsichtlich der vorgefundenen Schadbilder unterschiedlich: Die Fläche A zeichnet sich durch vollständig vermörtelte Fugen aus, während Fläche B ein offenes Fugenbild aufweist. Typisch für Fläche A sind Krusten- und Schalenbildungen sowie Rückwitterung durch Absanden. Auf der Fläche wurde fast ausschließlich Seeberger Sandstein und Gleichenberger Rhätsandstein verbaut (vgl. Kap. "Naturwerksteine der Drei Gleichen").

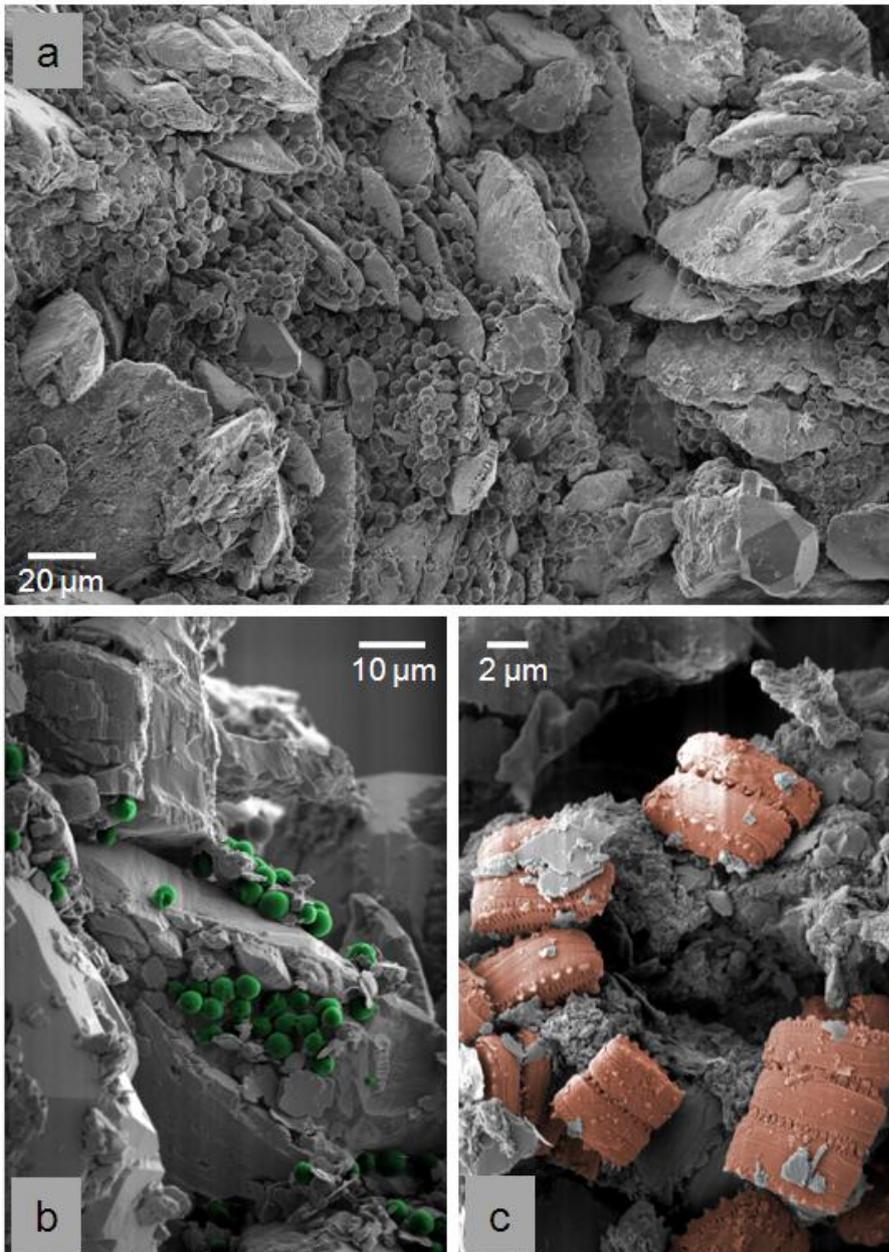


Abb. 2. Besiedlung von Krusten mit Mikroalgen.
 a) coccale Mikroalgen (hier v.a. *Bracteacoccus*) auf der Unterseite einer Kruste.
 b) siehe a, die Algen sind grün eingefärbt
 c) Diatomee der Gattung *Achnanthydium* (orange)
 (Aufn. D. Hause-Reitner)

Auf Fläche B wurden zusätzlich hauptsächlich Grenzdolomit und Travertin verwendet. In vergleichende Untersuchungen zwischen Fläche A und B wurden nur die Sandsteine einbezogen, um Parameter, die von den Eigenschaften des Gesteins herrühren auszuschließen. Für die Analyse der Gesamt-Diversität wurden Klone aus allen Probenpunkte eingeschlossen. Die Sandsteine dieser Fläche zeigen - abgesehen von Krustenbildungen - die gleichen Verwitterungsphänomene wie auf Fläche A.

Für die Erfassung aller am Standort vorkommenden Mikroorganismen wurde nach dem Fließschema in Abb. 4 vorgegangen. Das Probenmaterial wurde direkt für die Präparation der DNA eingesetzt. Nach der Amplifikation der für die Diversitätsanalyse wichtigen Sequenzabschnitte der rDNA wurde diese über Klonierung und Transformation in *E. coli* vermehrt, danach präpariert und sequenziert. Die Auswertung der Sequenzen wurde mittels einer Analyse des Basic local alignment search tools (BLAST) des National Center for Biotechnology Information (NCBI, Bethesda, Maryland) durchgeführt. Stammbäume wurden erstellt mit der Software ARB unter Rückgriff auf die SILVA Datenbank der TU München und die interne Datenbank der Experimentellen Phykologie/Sammlung von Algenkulturen der Universität Göttingen.

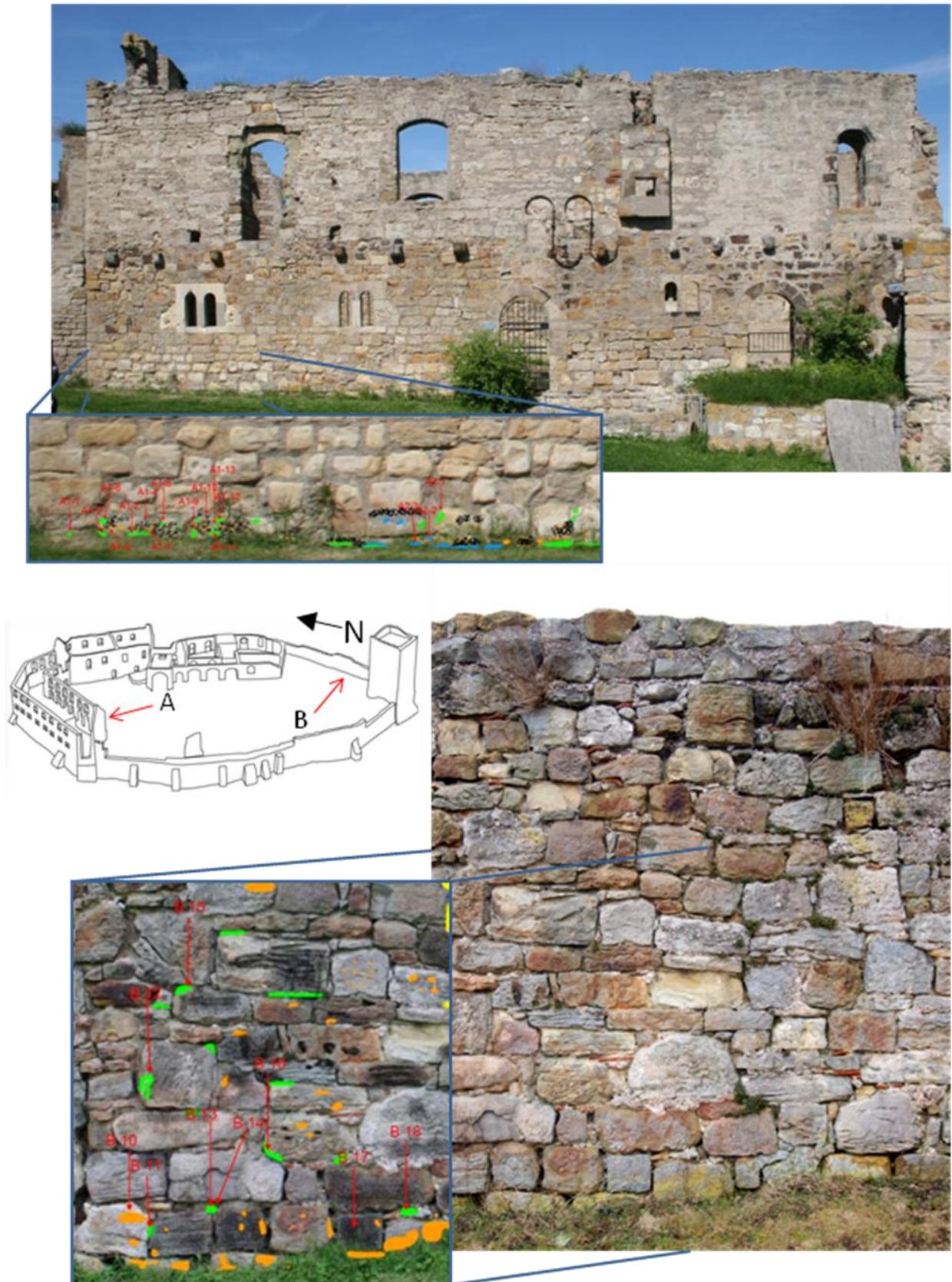


Abb. 3. Lage der Wandflächen A (oben) und B (unten) auf der Burg Gleichen und entsprechende Probenpunkte (Schemazeichnung: Wanja Wedekind)

Für die Musterflächen wurden insgesamt ca. 45 Klonbanken angelegt, um die Diversität von Bakterien (insbesondere Cyanobakterien) von Grünalgen und Pilzen möglichst umfassend zu erfassen.

Bakterielle Gruppen

In den Biofilmproben konnten neben den Cyanobacteria auch Bakterien aus den Klassen der Actinobakterien, Sphingobakterien, Proteobakterien und Flavobakterien identifiziert werden. 70 Klone wurden laut BLAST-Antwort als Actinobakterien, welche typische Boden-Mikroorganismen sind, identifiziert. Davon zeigten 26 Klone Ähnlichkeiten von 88-98 % mit bisher nicht kultivierten Actinobakterien-Arten. Vierzehn weitere Klone wurden der Gattung *Friedmaniella*, fünf Klone *Kineococcus*, sieben Klone *Acidothermus* und zwei Klone *Ornithinimicrobium* zugeordnet. Die Sequenzähnlichkeiten lagen hier zwischen 89 % und 98 %. Neun weitere Klone wurden mit einer Ähnlichkeit von 87-98 % der Gruppe der Sphingobakterien zugeordnet. Ein Klon wurde dem Proteobacterium *Acidiphilium cryptum* und ein Klon dem Flavobacterium *Gillisia myxillae* zugeordnet. Als Ergebnis ist festzuhalten, dass in den Klonbanken aller Proben überwiegend unkultivierte Bakterien als auch typische Bodenbakterien nachgewiesen werden konnten. Bemerkenswert ist das Vorkommen von Verwandten acidophiler und thermophiler Arten (*Acidiphilium*, *Acidothermus*).

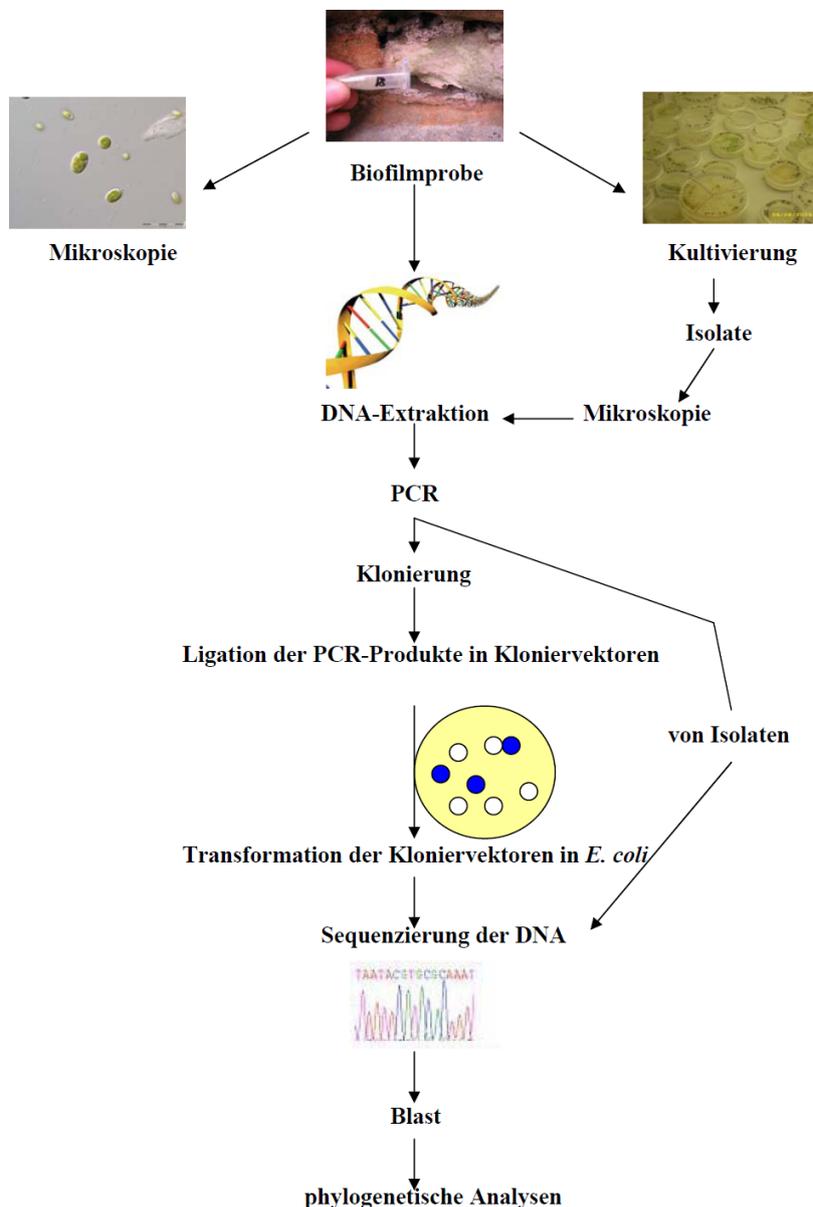


Abb. 4. Fließschema zur Durchführung der phylogenetischen Analysen

Es wurden keine Klone gefunden, die klassischen Produzenten starker Säuren (lithoautotrophe Nitrifikanten, Schwefeloxidierer) zugeordnet sind. Es also nicht davon auszugehen, dass Vertreter dieser Gruppen zum Zeitpunkt der Probenahme an der Biodeterioration beteiligt sind.

Im Folgenden werden detaillierter die Ergebnisse bzgl. der Cyanobakterien als eine der dominanten Gruppen unter den Bacteria beschrieben. In den Klonbanken der Wandfläche A wiesen 54 Klone Sequenzähnlichkeiten mit Cyanobakterien auf. Aus der Klonbank der Probe A 1-2 (Gleichenberger Sandstein, Oberfläche) glichen sechs Sequenzen laut BLAST der von *Synechococcus sp.*, einem Cyanobakterium der Ordnung *Chroococcales*. Eine weitere Sequenz wurde einem nicht näher bestimmten Cyanobakterium zugewiesen. Auch in der Klonbank A 1-4 (Gleichenberger Sandstein, Oberfläche mit Flechtenbewuchs) wiesen drei von acht Sequenzen Ähnlichkeiten mit Cyanobakterien der Ordnung der *Chroococcales* auf. Gleiches galt für 80 % der Sequenzen aus der Klonbank A 1-8 (Semionotus-Sandstein, Oberfläche mit Algenbewuchs). Zwei Sequenzen wurden dem Vertreter *Cyanothece sp.* und 19 Sequenzen *Synechococcus sp.* zugeordnet. In der Klonbank der Probe A 1-12 (Gleichenberger Sandstein) zeigten 14 Sequenzen Ähnlichkeiten zu *Synechococcus sp.* und 6 Sequenzen wurden *Cyanothece sp.* zugeordnet. Dem Genus *Acaryochloris*, wie auch dem Genus *Pseudanabaena*, wurden je eine Sequenz zugeordnet.

Lediglich 5 Cyanobakterien-Klone wurden von der Musterfläche B von Gleichenberger Sandstein erhalten. In den Klonbanken der Proben B-12 (Abschalung), B-17 (Flechte) und B-18 (Mörtelprobe) konnten keine Hinweise auf Cyanobakterien gefunden werden. Dagegen war in der Klonbank aus Probe B-20 (Abschalung) ein Klon, dessen Sequenz mit 94 % einem unkultivierten Cyanobakterium der Ordnung *Nostocales* glich. In den Klonbanken der Proben B-13 (Gesteinsoberfläche) und B-21 (Abschalung) waren je zwei Cyanobakterien-Klone zu finden. Ein Klon wies sogar eine 100 %-ige Sequenzähnlichkeit zu *Microcoleus vaginatus* auf. Die Gattung *Microcoleus* repräsentiert typischerweise an trockene Standorte angepasste Arten. Insbesondere ist das Vorkommen des Cyanobakteriums *Synechococcus* auffällig, das im Zusammenhang mit Krustenbildungen gefunden wurde. Diese Krusten sind an vielen Stellen der Burg Gleichen zu finden, wo zur Verfügbung Gipsmörtel verwendet wurden. Wird Mörtel ausgewaschen und Gips auf der Oberfläche eines benachbarten Natursteins abgelagert, kommt es zur Krustenbildung. Die Cyanobakterien besiedeln dann massenhaft den Zwischenraum zwischen Gesteinsoberfläche und Gipskruste. Stellt man die Sequenzen aus allen erhaltenen Klonen der Musterfläche A denjenigen der Fläche B gegenüber, ist die Dominanz der Cyanobakterien auf dieser Fläche im Vergleich zu den übrigen Flächen deutlich (Abb. 5).

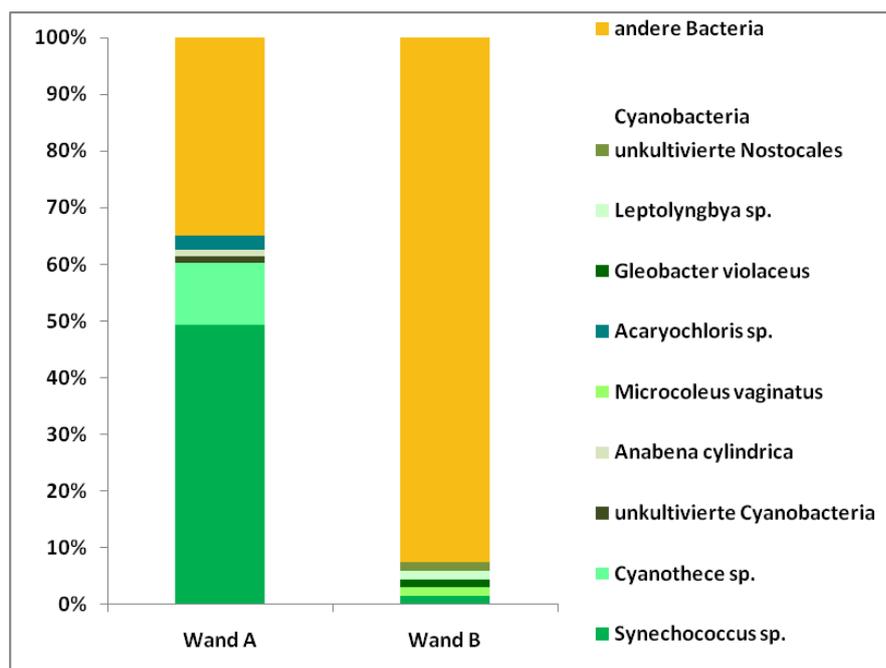


Abb. 5. zahlenmäßige Anteile der bakteriellen Klone von den Wänden A und B der Burg Gleichen

Algen und Pilze

Cyanobakterien machen zusammen mit den übrigen Bacteria nur einen kleinen Anteil der Gesamtbio-masse aus. Sie sind in der Mikroskopie gegenüber den eukaryotischen Organismen, v.a. Grünalgen und filamentösen Pilzen, kaum auffällig (Abb. 6). Den Eukaryoten gilt daher bei der Untersuchung der mikrobiellen Diversität das besondere Augenmerk (Hallmann et al., 2011). Neben einer Reihe von Iso-laten (s.u.) wurden von Wand A 65 (48), und Wand B 30 (75) Pilz- (Algen-) Klone in vergleichende Un-tersuchungen einbezogen. Aus diesen Daten ergab sich eine eindeutige Verteilung der großen Grup-pen. Von Wand A konnte ein deutlich größerer Anteil von Flechtenalgen und -pilzen erhalten werden als von Wand B (Abb. 7). Eine detailliertere Auflistung der Klone, die die nächst-verwandten Arten wiedergeben (Tabelle 1) verdeutlicht, dass nur einige wenige Arten an beiden Wänden gleichzeitig vorkommen.



Abb. 6. Die lichtmikroskopische Aufnahme der Grünalge *Trebouxia* (T) neben Pilzhyphen (P) und bakteriellen Zellformen ("*"; v.a. Cyanobacteria) zeigt die typische Verteilung und der Mikroorganismen aus Probenmaterial der Burg Gleichen

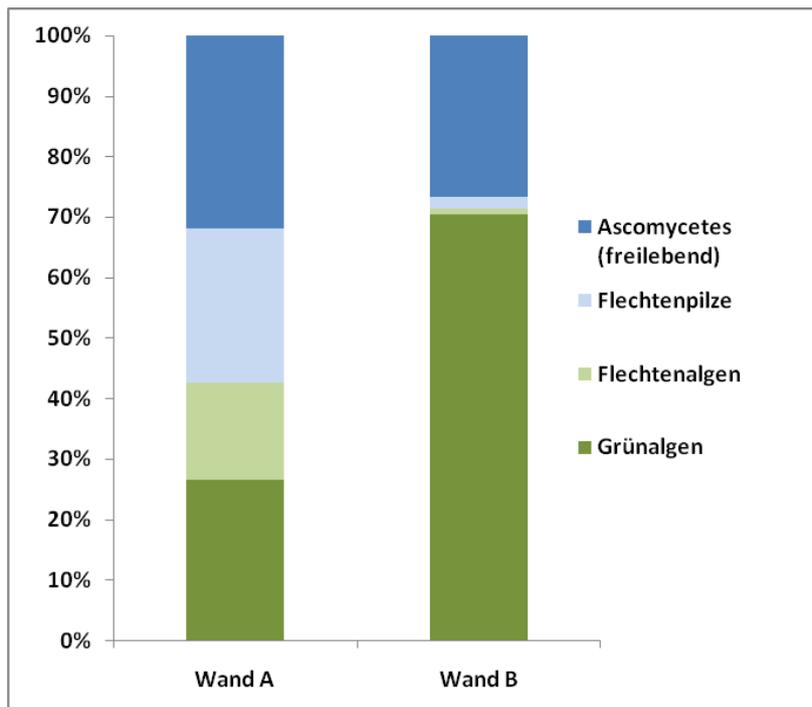


Abb. 7. zahlenmäßige Anteile der Pilz- und Algenklone von den Wänden A und B der Burg Gleichen

Tab. 1. Verteilung von Algen- und Pilzklonen an den Wandflächen A und B. Schwarze Pilze sind mit einem (*) markiert. Flechtenalgen und -pilze sind in roter Schrift aufgeführt. Die mit farbigen Kästen markierten Teile der Tabelle zeigen Arten, die in beiden Flächen vorkommen (grün), nur in A (blau) und nur in B (beige). Die Dominanz von *Sarcinomyces petricola* in B ist durch einen dunkelgrünen Kasten angezeigt. Die Spalte "Ähnlichkeit (%)" gibt die Sequenzähnlichkeit zur nächsten beschriebenen Art in Prozent an.

nächstverwandte beschriebene Art	be-	A1-4									Ähnlich- keit (%)	
		A2-1	A1-4	(50 s)	A1-8	B13	B1 4	B1 7	B1 8	B18 (50 s)		B2 2
<i>Sarcinomyces petricola</i> *		1		1	1	6	5		2	5		97-98
<i>Phaeococcomyces chersonesos</i> *			2	2	3	1			4	1	1	96-97
Uncultured <i>Cladosporium</i> clone *			1							1		99-100
<i>Caloplaca decipiens</i>					1		2					99
<i>Capnobotryella</i> sp. *			6	3								99
<i>Cladosporium cladosporioides</i> *		1	1									99
<i>Phaeobotryphaeria citrigena</i>			1									90
Uncultured <i>Dothideomycetes</i>			3	10								82-83
<i>Anisomeridium polypori</i>		16			1							86-88
<i>Dolichousnea longissima</i>		1										96
<i>Phaeophyscia ciliata</i>		8										89-90
<i>Pseudocyphellaria fimbriatoides</i>				1								83
<i>Umbilicaria arctica</i>					1							85
<i>Erysiphe alphitoides</i>									1			99
<i>Pleospora herbarum</i>							1					100
<i>Stichococcus mirabilis</i>		1	7	4	16	7	5		15	8	7	89-96
<i>Trebouxia</i> sp.		1					1					98-99
Uncultured <i>Trebouxia</i> photobiont		4	1	11								93-100
<i>Trebouxia arboricola</i>				1								97
<i>Chlorella</i> sp.		1										92
<i>Stichococcus</i> related						1	2	18	5	1		79-82
<i>Pseudochlorella</i> sp.					1	1			2	2		86-89

Für die Pilze sind dies *Sarcinomyces petricola* und *Phaeococcomyces chersonesos*, für die Algen *Stichococcus mirabilis*. *Sarcinomyces* findet sich in 3 Proben der Wandfläche A (A2-1, A1-4, A1-8, alle Gleichenberger Sandstein), allerdings ist er zahlenmäßig häufiger in Fläche B. Deutlich ist auch die Dominanz der Flechten-assoziierten Algen und Pilze in einigen Proben (z.B. A1-2 und A1-4, Gleichenberger Sandstein). Hier ist Bewuchs mit endolithischen Flechten auch makroskopisch sichtbar. Die freilebenden Pilze gehören zu den Gruppen der Dematiaceae, die sich durch melanisierte vegetative Hyphen auszeichnen. Sie sind auf allen Bauwerken weltweit verbreitet. Auch nach dem Absterben dieser Pilze bleibt das dunkle Pigment auf der Materialoberfläche. Von Wand B konnte ein *Beauveria bassiana*-Stamm (nicht in den Klonbänken), sowie 4 *Cladosporium cladosporioides*-Stämme und 2 *Phaeococcomyces chersonesos*-Stämme isoliert werden. Beim Wachstum in Pilz-Nährmedium zeigte *Cladosporium* auch in Flüssigkultur die deutliche Schwarzfärbung (Abb. 8 a). Das Merkmal konnte aber auch im Laufe der Laborkultivierung verloren gehen. Das Mycel blieb dann farblos (Abb. 8 b). Selbst nach Kochen des schwarzen Pilzmycels in 6 M Salzsäure für mehrere Stunden blieb das schwarze Pigment sichtbar. Auch im Transmissions-Elektronenmikroskop waren die Melanineinlagerungen als Überreste der Zellwand noch zu erkennen (Abb. 8 c, d).

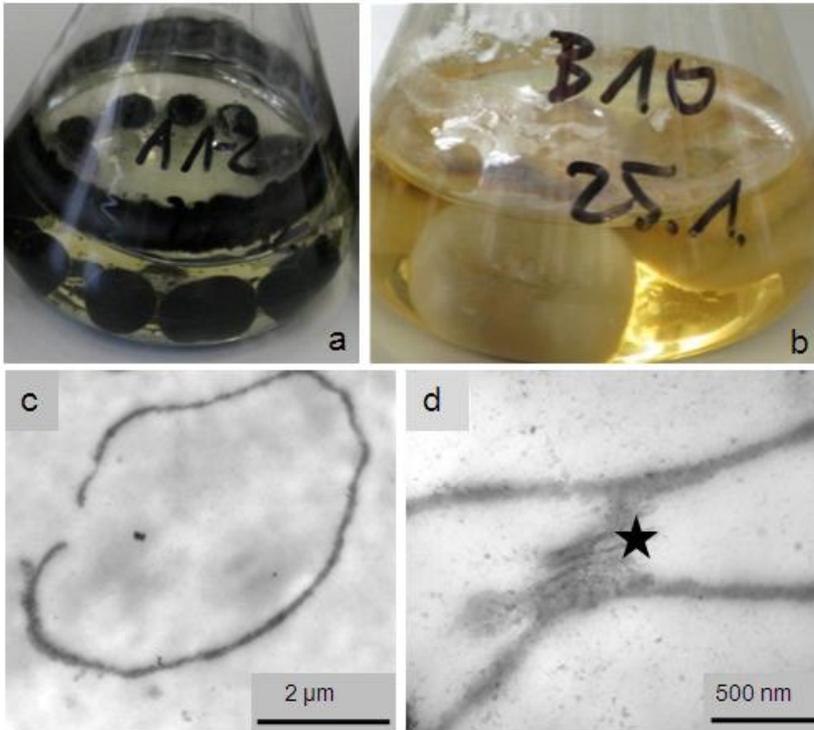


Abb. 8. *Phaeococcomyces*-Isolate von den Wänden der Burg Gleichen
 a) schwarz gefärbtes Mycel nach mehrtägiger Kultivierung in Flüssigkultur
 b) nicht pigmentiertes Isolat nach mehreren Überimpfungen in der Laborkultur
 c, d) partikuläre Überreste des Melanin nach Kochen in Salzsäure. Die mit "*" markierte Position zeigt wahrscheinlich die ursprüngliche Lage einer Querwand.

Eine noch umfassendere Analyse von ca. 400 Algenklonen zeigte ein differenziertes Bild der Besiedlung. Die meisten Klone gehören zur Klasse der Trebouxiophyceae mit *Stichococcus mirabilis* als ubiquitären Vertreter auf beiden Wandflächen, wohingegen *Apatococcus* nur auf Fläche A und *Prasiococcus calcarius* auf Fläche B detektiert werden konnte (Abb. 9).

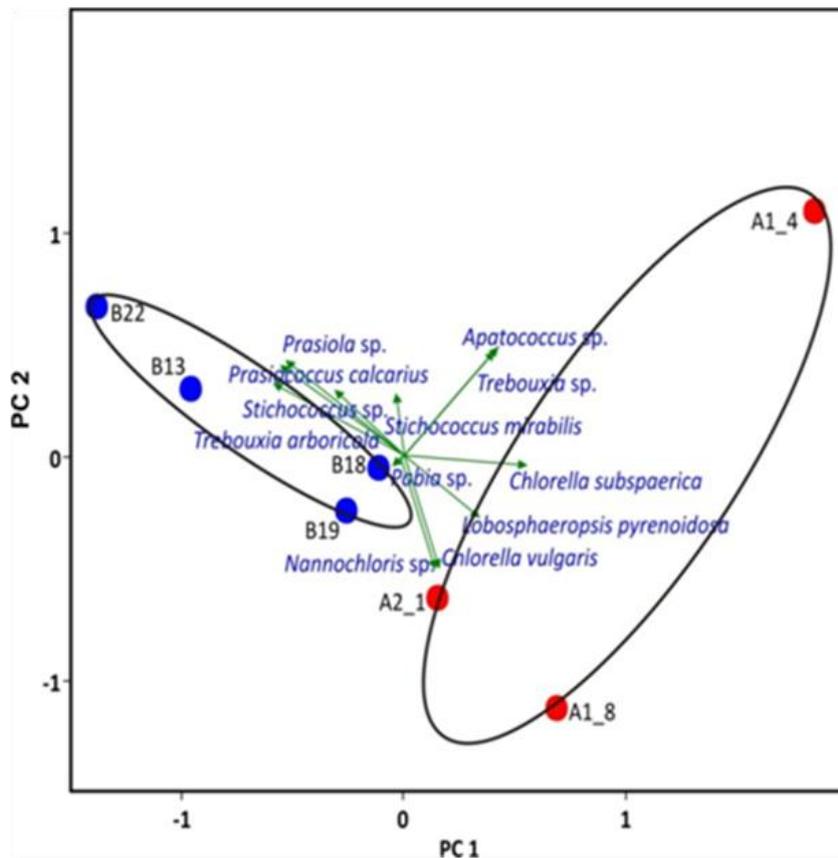


Abb. 9. Die Principal Components Analysis (PCA) zeigt Unterschiede in der Zusammensetzung der Algen-Gruppen auf beiden Wänden.

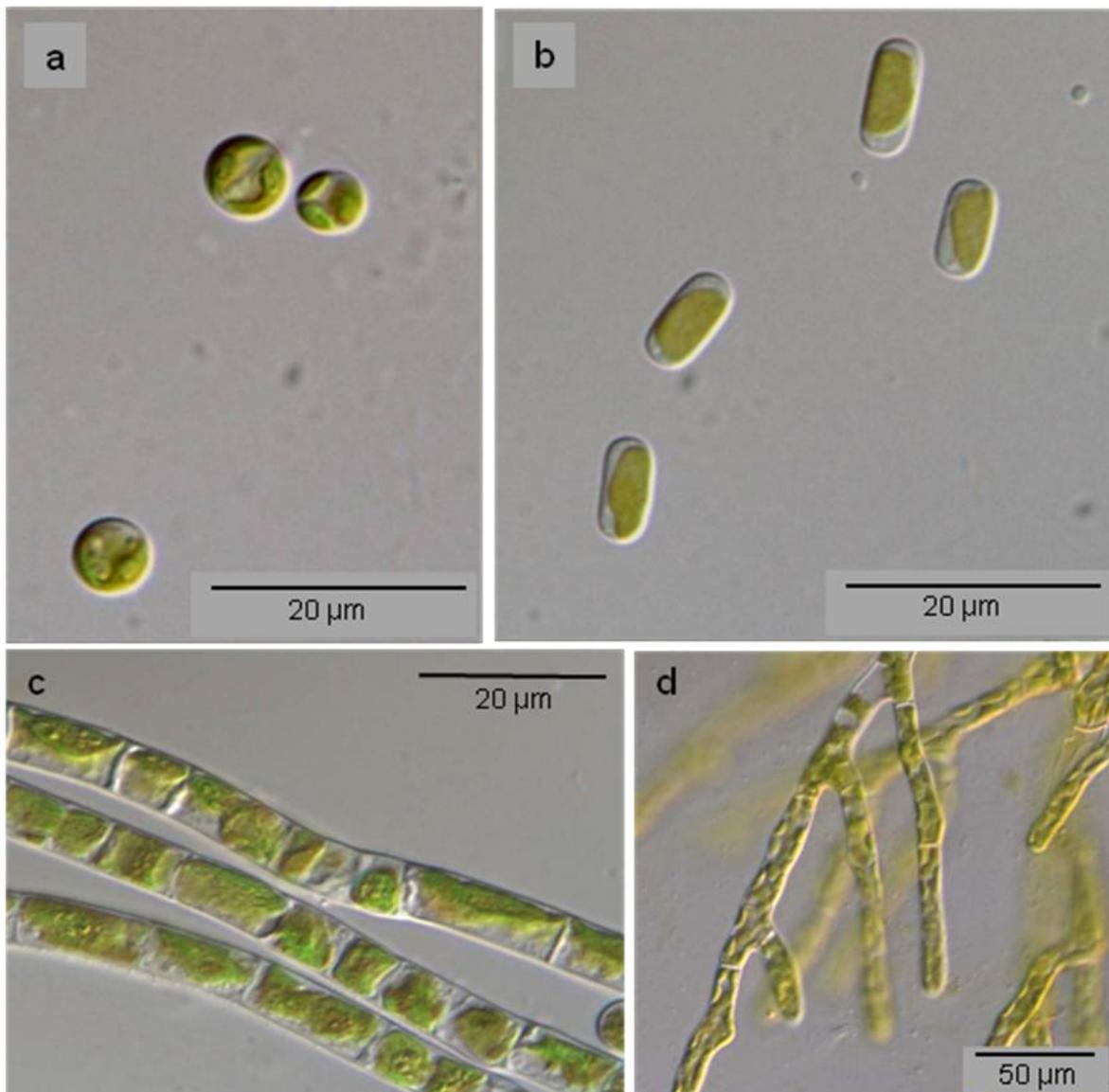


Abb. 10. Repräsentative Grünalgenisolate von den Wandflächen der Burg Gleichen: *Chlorella vulgaris* (Wandfläche A). *Stichococcus deasonii* (Wandfläche B). *Klebsormidium fluitans* (Wandfläche A) *Pottia truncata* (Wandfläche A).

Die Isolate geben im Gegensatz zu den Klonbanken kein repräsentatives Bild der Zusammensetzung der Arten und Gruppen und reflektieren auch nicht unbedingt die am häufigsten vorkommenden Arten. Sie zeigen aber, dass bestimmte Arten in wenigen Exemplaren auf dem Standort vorliegen und unter geeigneten Umständen (hier durch Transfer in Wachstumsmedium) zur Entwicklung kommen können. In Abb. 10 sind neben den auch in Klonbanken vertretenen häufigen Arten *Chlorella* und *Stichococcus* auch die in den Klonbanken selten (oder nie) vertretenen *Klebsormidium fluitans* und *Pottia truncata*. *Pottia* ist ein weit verbreitetes Erdmoos. Die Abbildung zeigt ein Protonema. Diese Vorkeime sind auch immer in dem Probenmaterial von den Wandflächen mikroskopisch nachweisbar, auch wenn die Moospflänzchen selbst nicht zur Entwicklung kommen.

Bewertung der mikrobiellen Besiedlung

Eindeutig ist ein differenziertes Bild mikrobieller Besiedlung verschiedener Wandflächen zu erkennen. Neben einigen wenigen Generalisten, die zu weit verbreiteten Gattungen (*Stichococcus*, *Sarcinomyces*, *Phaeococcomyces*) gehören, existieren spezifische Besiedler (Flechtenalgen/Pilze, *Synechococcus*), die kleinräumig unter bestimmten Bedingungen wirksam sind. Sie sind tatsächlich auch mit Schadbildern assoziiert (Krusten- und Schalenbildung), die für die Planung und Durchführung geeigneter Restaurierungsmaßnahmen relevant sind.

Eine detaillierte Bewertung und Empfehlungen zum Umgang der Organismen im Zusammenhang mit Restaurierungs- und Pflegemaßnahmen wird im Pflege- und Entwicklungsplan erläutert.

Literatur

- Hallmann, C., Fritzlar, D., Stannek, L., Hoppert, M. (2011). Ascomycete fungi on dimension stone of the "Burg Gleichen", Thuringia. *Environ. Earth. Sci.* DOI 10.1007/s12665-011-1076-y
- Hoppert, M., Hallmann, C., Stannek, L., Fritzlar, D., Enseleit, M. (2010). Makro- und Mikroflora in Fuge und Gestein. In: Siegesmund, S., Hoppert, M. (Hrsg.). *Die Drei Gleichen - Baudenkmäler und Naturraum*. Verlag Edition Leipzig. S. 286-299.

5. Maßnahmen zur Ruinensicherung – Modellhafte Restaurierung von Musterflächen

W. Wedekind

Aus konservatorischer Sicht präsentieren sich die Drei Gleichen heute in ganz unterschiedlichen Zuständen. Während die Wachsenburg teilweise einen ergänzenden Wiederaufbau erfuhr, stehen von der Wanderslebener Gleiche zumindest noch das Mauerwerk der wichtigsten Gebäude.

Die Mühlburg hingegen hat am stärksten an Zerstörungen und Raubbau gelitten. Als restauratorischen Beitrag zum Drei Gleichen-Projekt wurden an der Wanderslebener Gleiche und der Mühlburg Musterflächen für Langzeitbeobachtungen angelegt, um mögliche Erhaltungsempfehlungen für die ruinösen Bauwerkstrukturen geben zu können. Als Fallbeispiel sei im Folgenden näher auf die Projektarbeit an der Wanderslebener Gleiche, der größten und komplexesten Burganlage der Drei Gleichen eingegangen.

Burganlage Wanderslebener Gleiche (Burg Gleichen)

Objektsituation

Die Burganlage ist eine typische Burgruine mit unterschiedlicher Bau- und Restaurierungsphasen. Der Großteil der Gebäudetrakte ist der Witterung weitgehend ungeschützt ausgesetzt.

Umfeld- und Objektanalyse

Die Wanderslebener Gleiche ist eine Höhenburg in Gipfelage und liegt 370 m ü. NN. Der Burgberg ist heute teilweise bewaldet, eine Situation wie sie sich im Mittelalter sicher anders dargestellt hat. Die höhere Bewaldung insbesondere an der NO Burgmauer führt zu in diesem Bereich z.B. ganzjährig zu einer ständigen Verschattung. Für das südöstliche Randgebiet des Thüringer Beckens wird eine langjährige mittlere Temperatur von 8,6 °C und ein mittlerer Niederschlag von 528 mm angegeben. Im Bearbeitungszeitraum 2009 wurde eine jährliche Niederschlagsmenge von 631,3 l/m² gemessen, die Hauptwind- und Regenrichtung dominierte in NW mit 21,2% gefolgt von N-NW mit 10,4% (siehe Abb. 1).

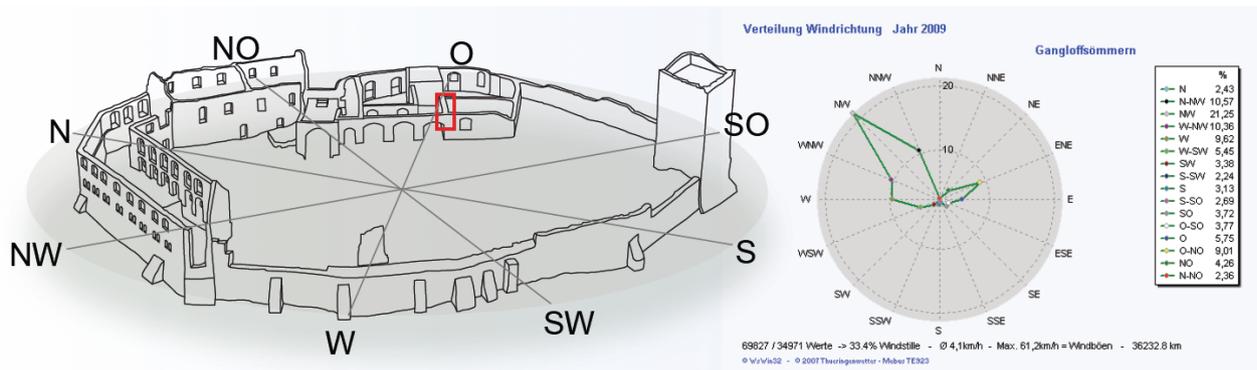


Abb. 1. Hauptwindrichtung und Orientierung der Burganlage Gleichen.

Die Außenmauern sowie der Bergfried der Anlage sind auf den anstehenden Fels gegründet. Es ist anzunehmen, dass Teile der fehlenden Bergkuppe, die heute den weitgehend eben gestalteten Burghof bildet, als Material für den Burgenbau bzw. als Schüttmaterial diente. Nach Befundlage wies das an der Bergkuppe anstehende Material eine schlechte Gesteinsqualität auf. Im Burginneren wurden das Niveau an die Umfassungsmauern um etwa 2/3 mit Geröll und Erde aufgefüllt. Deutlich wird dies auch an den Kellerkonstruktionen. Diese sind nicht, wie bei anderen Burganlagen häufig anzutreffen,

in den Fels eingetrieben, sondern lediglich auf Felsboden gegründet und dann in örtlichem Sandstein als imposantes Tonnengewölbe aufgemauert.

Projektziele

Im Rahmen des Forschungsprojektes sollten unterschiedliche Vorgehensweisen und Materialien getestet werden um unterschiedliche Varianten restauratorischer Ruinensicherung vergleichend zu eruieren. Hierzu sollen unterschiedliche Mörtelvarianten angewendet werden und festgestellt werden, wie sich die in unterschiedliche Laboruntersuchungen qualitätsgeprüfte Mörtel in situ unter realen Objektbedingungen bewähren.

Bestandsaufnahme des Baukörpers

Im Rahmen des Projektes erfolgte eine konservatorische Bestandsaufnahme der gesamten Burganlage der Wachsenburger Gleiche. Bei der konservatorischen Bestandsaufnahme werden unterschiedliche Zustände dokumentierend bewertet und gegebenenfalls mit konkreten oder mittelbaren Handlungsanweisungen verbunden. Eine Bestandsaufnahme sollte unterschiedliche Umfeldbedingungen berücksichtigen. Diese umfassen sowohl die klimatischen Verhältnisse im Verlauf eines Jahres als auch die Bedingungen während Regen, Schnee, Schneeschmelze, Sonneneinstrahlung und Verschattung. Erst die sich über einen längeren Zeitraum hinziehenden Arbeiten auf der Wachsenburger Gleiche ermöglichten eine genauere Beobachtung sich oftmals verändernder Umfeldbedingungen. Nach einer umfangreichen Umfeldanalyse und der Bewertung der Zustände wurden verschiedene Beeinträchtigungen unterschieden und in unterschiedlichen Farbschraffuren und in Symbolform auf den Planunterlagen abgebildet (vgl. Abb. 2 u. 3).

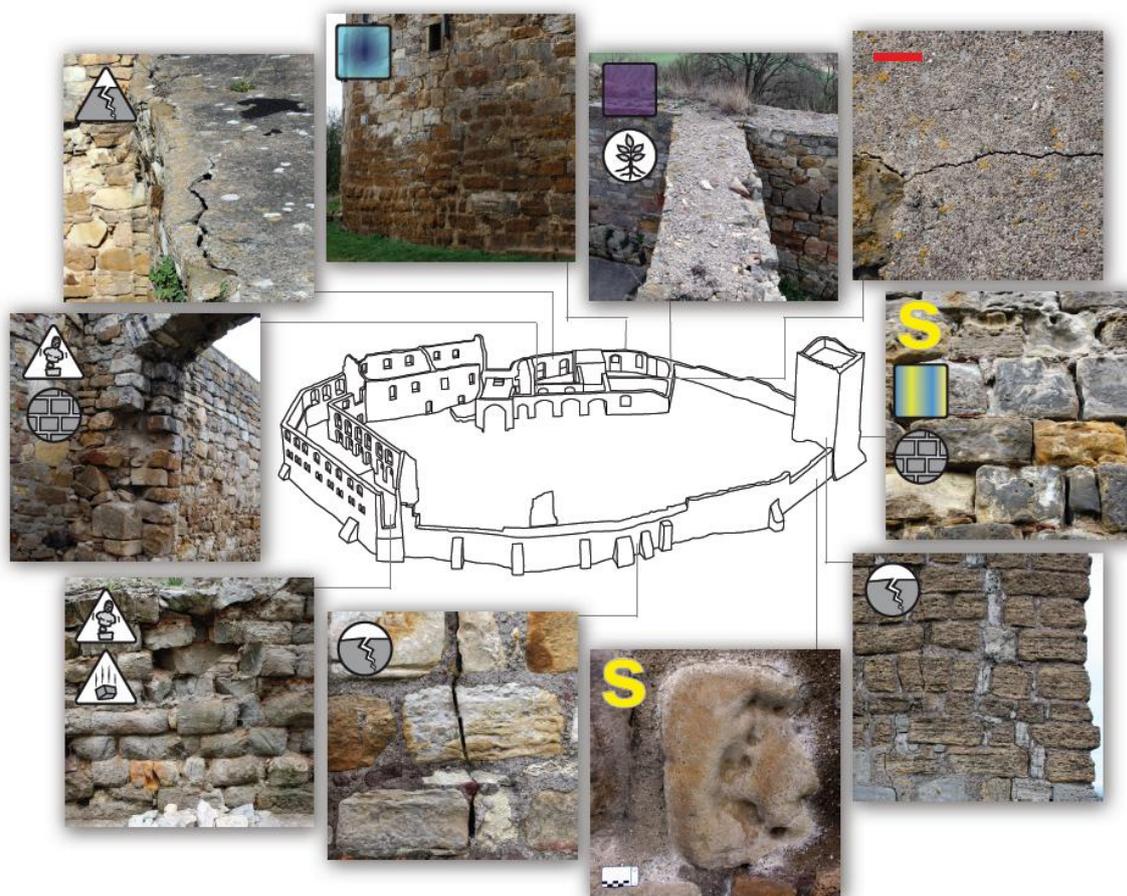


Abb. 2. Bildtafel zu den unterschiedlichen Mauerwerkszuständen

Burgruine Gleichen (Wanderslebenener Gleiche)

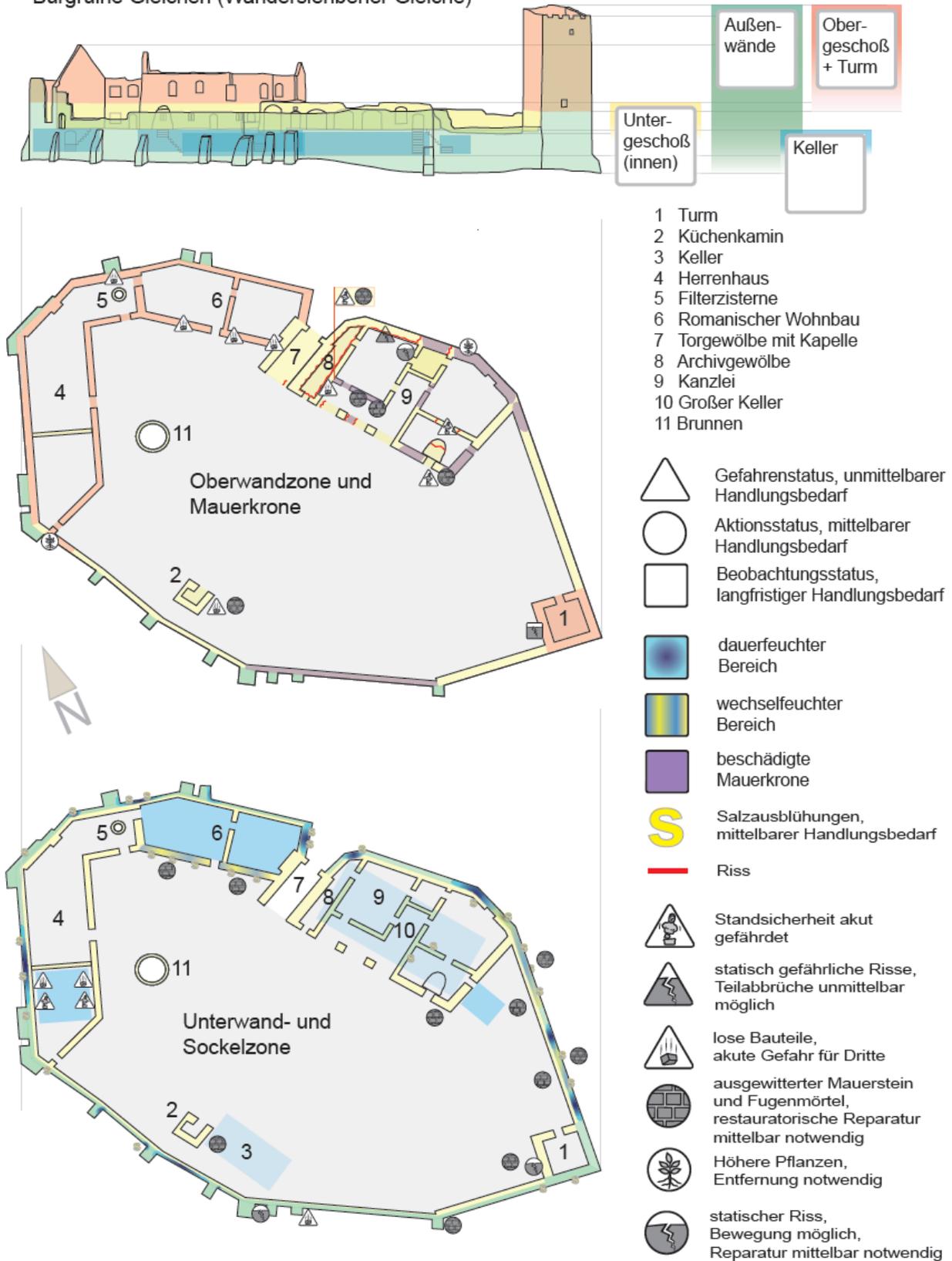


Abb. 3. Bildtafel zur konservatorischen Bestandsaufnahme

Salzausblühungen und Salzschäden sind in erster Linie in Bereichen zu erwarten, in denen im tageszeitlichen oder auch jahreszeitlichen Verlauf wechselfeuchte Zustände herrschen, wie z.B. an der nach Südwesten ausgerichteten Palas-Fassade. Eine ähnliche Situation gilt auch für die ost-südöstlich ausgerichtete Burgmauer, die in den Morgenstunden von der Sonne beschienen wird. Aufgrund ihrer Hanglage und den einige Meter starken Erdaufschüttungen zur Nivellierung des Burghofes kommt es je nach Witterungssituation zu einem Wechsel von Durchfeuchtung und nach außen gerichteter Austrocknung. In Folge sind an der Außenmauer deshalb flächige Salzausblühungen zu konstatieren, die in einigen Bereichen schon zu erheblichen Rückwitterungen am Gesteins- und Mörtelmaterial geführt haben. Dauerhaft durchfeuchtete Mauerwerksbereiche konzentrieren sich auf die äußeren. Die Erfassung umfassten statische Aspekte wie Rissbildungen, lose Bauteile und die Gefährdung der Standsicherheit sowie bauwerkshydrologische Aspekte wie dauerhafte oder temporäre Durchfeuchtung. Letztere kann zu Auswaschungen des Mauermörtels, Frostsprengungen und der Anreicherungen bauschädlicher Salze führen, die Rückwitterungen zu Folge haben können (vgl. Kap. "Naturwerksteine der Drei Gleichen"). Durchfeuchtungen können sich auch statisch auf die Standsicherheit von Bauwerkskonstruktionen auswirken. Für acht unterschiedliche Sandsteine stellten sich nach Untersuchungen teilweise ein dramatischer Festigkeitsverlust von zwischen 1% - 50% ein. Die große Streubreite des Festigkeitsverlustes erklärt sich aufgrund der unterschiedlichen Porenraumeigenschaften, mineralogischen Zusammensetzung und der Art der Zementation des jeweiligen Gesteins.

Grundsätzlich ist ein mögliches Gefährdungspotential also nicht in erster Linie von der einzelnen Schadensform, sondern von dessen Intensität abhängig. Unterschieden wurde deshalb unterschiedliche Stadien: Ein unmittelbarer Gefährdungsstatus wird mit einem aufrecht stehenden Dreieck, ein mittelbarer Handlungsbedarf in Kreisform und die Notwendigkeit der stetigen Beobachtung der Situation in Quadratform dargestellt (s. Abb. 2). Der Bewertungsschlüssel wurde angelehnt an einem System für die konservatorische Erfassung von Kleindenkmalen (Wedekind und Rieffel, 2009). Besonderes Augenmerk wurde zum einen der Situation des aufgehenden Mauerwerks und der Mauerkronen und zum anderen der Sockelzone der Anlage geschenkt. Für beide Gebäudelevel wurde eine differenzierte Schadensaufnahme durchgeführt (vgl. Rieffel et al., 2004).

Als ein erstes Ergebnis der Bestandsaufnahme konnte festgestellt werden, dass der in der ersten Hälfte des 16. Jahrhunderts entstandenen Gebäudetrakt der Kanzlei derzeit die massivsten Bauwerkschäden anzutreffen sind. Diese konzentrieren sich auf die aufgehende Mauerwerksbereiche und die Mauerwerkskronen. Als ein weiterer kritischer Bereich aus statischer Sicht sind die Überreste der Einwölbung des Kellers im Herrenhaus anzusprechen.

Burgmauern des romanischen Wohnbaus und des Kanzleitraktes, die nach Nord-Osten und Osten ausgerichtet und überwiegend ganzjährig verschattet sind. Hier kommt es nur an den nach Süd-Osten ausgerichteten Mauerwerksteifflächen zu Salzausblühungen und Schäden durch Rückwitterung.

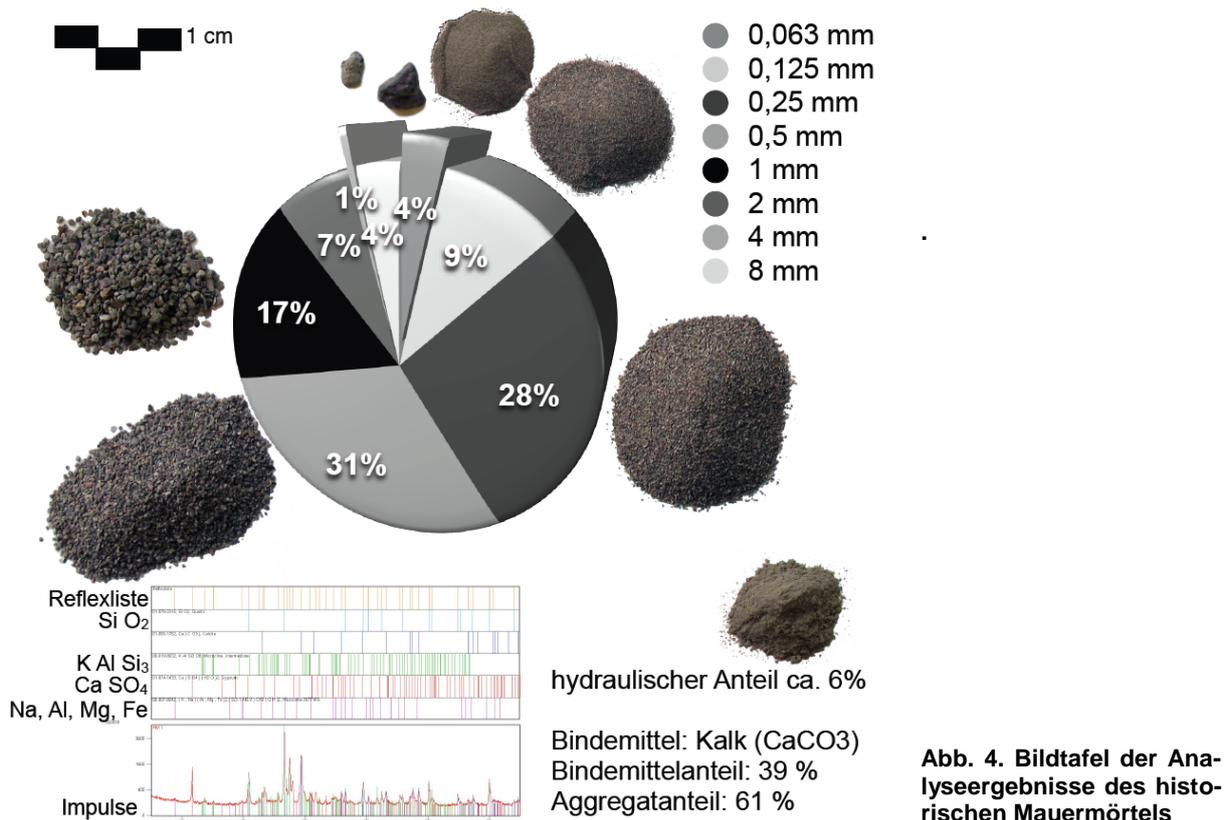
Die modellhafte Restaurierung auf der Burg Gleichen sollte sich daher v.a auf die Fragestellung richten, wie mit dem Mauerwerk angesichts der Schäden aufgrund von hydrologischen Wechselwirkungen in Verbindung mit Salzbelastung umgegangen werden kann.

Die Probefläche

Hierzu wurden modellhaft an einer Musterfläche unterschiedliche Mörtelvarianten appliziert um diese hinsichtlich ihrer Langzeitstabilität zu testen. Ziel war hier, Empfehlungen geeigneter Vorgehensweisen und Materialien für nachhaltige Sanierungsmaßnahmen der Gesamtanlage für die Zukunft geben zu können. Eine Referenzfläche für Langzeitbeobachtungen sollte eine ausreichende Größe besitzen, sich über alle relevanten Mauerwerkszonen erstrecken und Übereinstimmungen mit den häufig vorkommenden Problemlagen am Baukörper aufweisen.

Als Probefläche an der Wanderslebender Burg wurde eine ca. 6 m breite und 4 m hohe Mauer im ehemaligen Versorgungstraktes der Kanzlei der Burganlage ausgewählt, bei der sowohl Rissbildungen an der Mauerwerkskrone, ein weitgehender Verlust des Setzmörtels, als auch Rückwitterungen in Folge von Salzbelastungen festgestellt werden konnten. Die Wand ist nach Osten ausgerichtet, wird also bevorzugt rückseitig beregnet und trocknet über die nach Osten ausgerichtete Seite ab. Die Probefläche erstreckt sich von der Sockelzone bis zur Mauerwerkskrone. Die Fläche besteht aus Bruch-

steinmauerwerk, welche aus Sandstein unterschiedlicher Varietäten errichtet worden ist. Als historische Mauerermörtel fand ein trocken gelöschter Kalkmörtel mit überwiegend feiner Gesteinskörnung Verwendung. Als Bindemittel ist ein Kalk mit hydraulischen Anteilen (6 M.-%) eingesetzt worden. Als Gesteinskörnung fand ein grauer quarzitischer Sand aus der Region Verwendung mit dominierenden Kornfraktionen zwischen 0,5 mm und 0,125 mm. An einigen kleinen, jedoch flächendeckend verteilten Bereichen sind Reste des ehemaligen Verputzes erhalten geblieben. Dabei handelt es sich um einen ockerfarben-weißen Mörtel aus Hochbrandgips. An der Fläche sind mehrere Restaurierungsphasen ablesbar. Zwei unterschiedliche neuzeitliche Reparaturmörtel können unterschieden werden. Dabei handelt es sich um einen grauen Zementmörtel und einen bräunlichen Kalkmörtel (s. Abb. 5).



Die Schadenskartierung verdeutlicht den Verlauf der Rückwitterung einzelner Sandsteinen bis in eine Höhe von ca. 2m. Reste des braunen Reparaturmörtels hatten sich in der Mauerwerksmitte noch erhalten, sandeten jedoch massiv ab. Im unteren Drittel der Wandfläche ist der Reparaturmörtel weitgehend ausgewittert. Der Horizont der Verwitterung mit der erhöhten Feuchtebelastung wie Messungen der elektrischen Leitfähigkeit der Mauerwerksoberfläche ergeben haben. Die Feuchtigkeit dient als Transportmedium für lösliche Salze, die sich in oberflächennahen Zonen der Mauerwerksmaterialien anreichern. Waren bei einer Ortsbegehung im August 2009 nur vereinzelt Salzausblühungen zu erkennen, so stellte sich die Situation Anfang September 2009 weitaus dramatischer dar. Im unteren Viertel der Fläche waren zu diesem Zeitraum massive Salzausblühungen zu verzeichnen, was offenbar mit einer intensiven Austrocknungsphase und darauf folgenden Regenfällen im trockenen Spätsommer dieses Jahres in Zusammenhang steht (siehe Abb. 5).

Um der Salzbelastung auf die Spur zu gehen erfolgten weitere Voruntersuchungen: Am Setzmörtel des Mauerwerkes wurden Proben von Bohrmehl im Tiefenprofil entnommen. Als Ergebnis konnte festgestellt werden, dass sowohl der originale Fugenmörtel als auch der Reparaturmörtel erheblich durch Sulfat und Nitrat belastet war, was mittels photometrischer Methoden nachgewiesen werden konnte. Ferner konnten Spuren von Chlorid nachgewiesen werden.

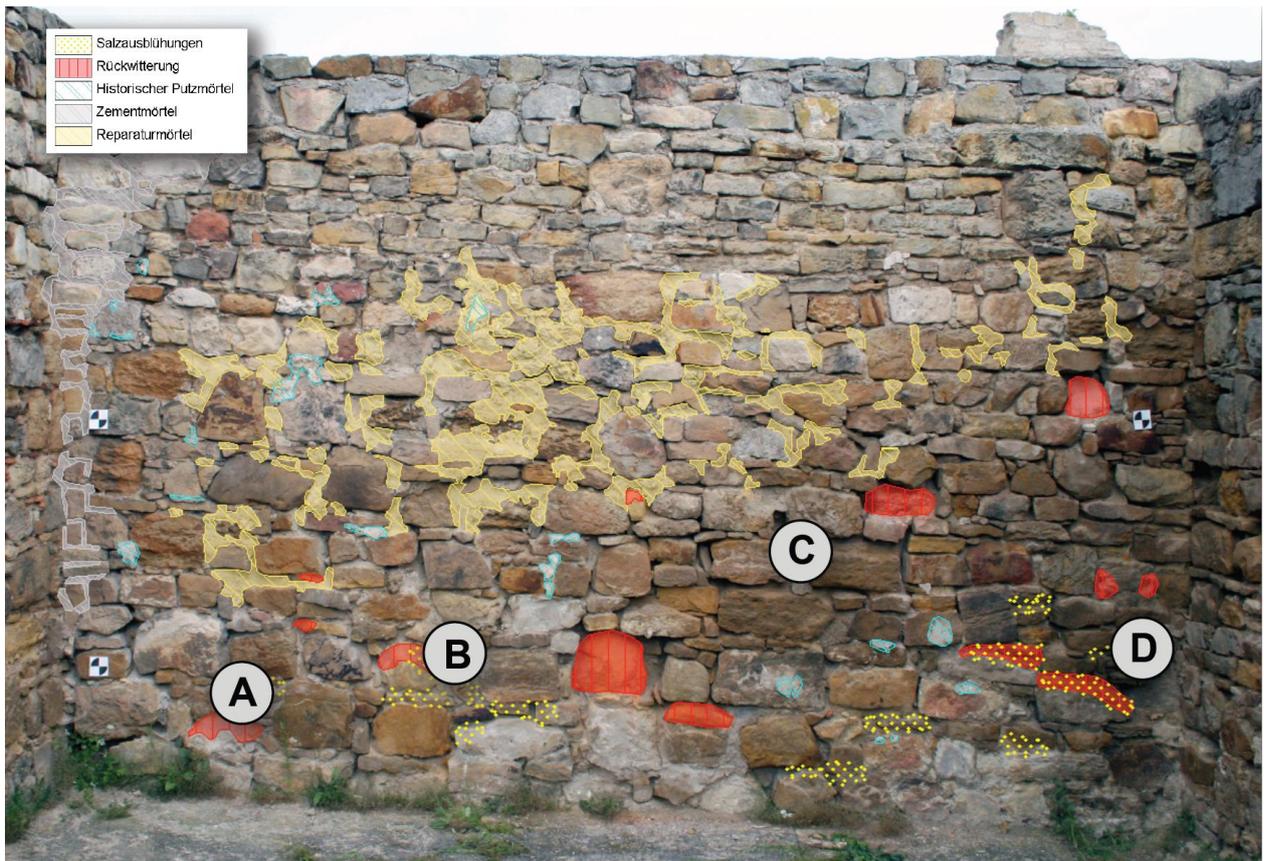


Abb. 5. Zustandskartierung der der Probefläche auf der Burg Gleichen unter besonderer Berücksichtigung der vorgefundenen Mörtel. Für die Markierungen A-D vgl. Abb. 6

Messergebnisse aller Anionen und Kationen von Kratzproben beider Mörtel und die hier dokumentierten Bohrmehlproben aus vier Tiefenprofilen (A-D, s. Abb. 6) wurden im Labor der Remmers-Fachplanung und im Labor des Lehrstuhls Werkstoffe des Bauwesens an der TU-Dortmund untersucht.

Die Ergebnisse belegen eine massive Salzbelastung durch Sulfat- und Nitratverbindungen, insbesondere bis in eine Profiltiefe von 4 cm. In Probe C konnten auch relevante Chlorid-Werte festgestellt werden. Die Rückwitterungen an den Sandsteinen und am Fugenmörtel sind somit mit großer Wahrscheinlichkeit auf bauschädliche Salze und Frostsprengung in Folge von Durchfeuchtung zurückzuführen. Als Feuchtequelle ist in erster Linie das Regenwasser, das weitgehend ungehindert rückseitig auf die Wand auftrifft und durch Ritzen und Fugen in den Baukörper eindringt anzusprechen. Aufgrund des Schadenshorizontes bis in eine Höhe von 1,5m ist jedoch auch von aufsteigender Feuchte auszugehen. Dieser Effekt wird durch die das Objekt umgebende Versiegelung der Böden mit Zementestrich noch weiter verstärkt. Eine deutliche Materialfeuchte konnte bis in eine Höhe von etwa einem Meter über Bodenniveau festgestellt werden.

Die Mühlburg

Objektsituation. Die Mühlburg musste zahlreiche Zerstörungen und Bauphasen sowie restauratorische Eingriffe über sich ergehen lassen (Abb. 7, 8). Aufgrund der Nähe zur Ansiedlung Mühlberg war die Ruine über einen Zeitraum von über 100 Jahren als Steinbruch genutzt worden. Das Erscheinungsbild der Sanierungsmaßnahmen ist an zahlreichen Bereichen sowohl hinsichtlich der Materialauswahl als auch aufgrund der Ausführung als nicht geglückt anzusehen und präsentiert sich heute ähnlich eines Flickenteppichs. Trotz dieser Kritik bleibt jedoch festzuhalten, dass ohne die erfolgten

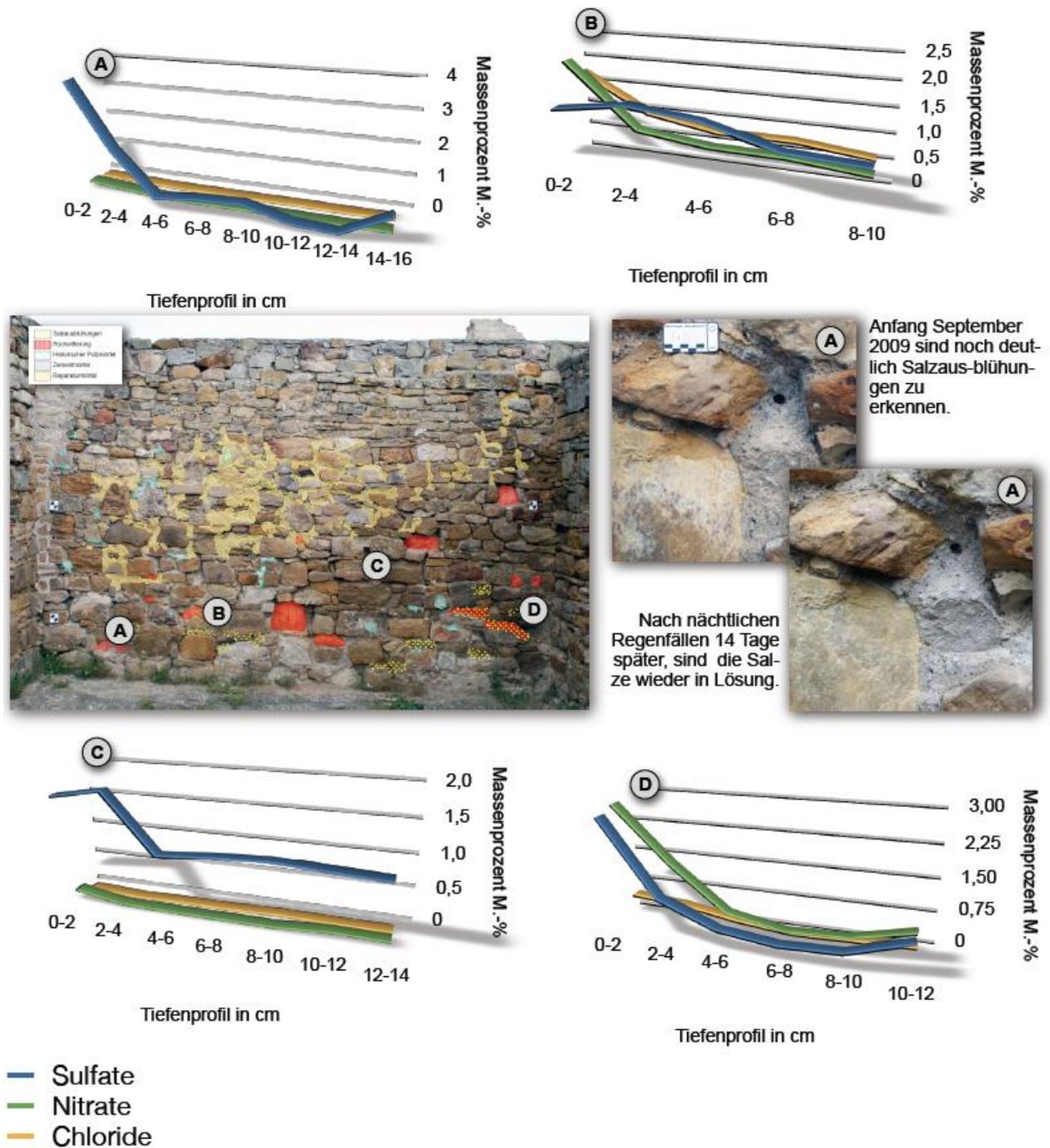


Abb. 6. Zustandskartierung und Untersuchungen zur Salzbelastung

Stabilisierungsarbeiten ein großer Teil der lediglich sehr fragmentarisch erhaltenen Mauerwerkssubstanz heute verloren wäre. Der örtliche Verein hat diesbezüglich eine wertvolle Arbeit geleistet. An einer Innenwandmauerfläche der Burg auf dem Mühlberg wurde eine etwa 4x2 m große Probefläche festgelegt (Abb. 9). Diese wurde in der jüngeren Vergangenheit auf unsachgemäße Art und Weise mit Zementmörtel saniert. Bei dem Originalmörtel handelt es sich um einen hochgebrannten Gipsmörtel mit deutlichem Überkornanteilen, einen so genannten Steinbrechermörtel. Durch die Zugabe von Ziegelsplitt und Ziegelmehl wurde der Mörtel deutlich rot eingefärbt.

Die Restaurierung der Probeflächen auf der Burg Gleichen und der Mühlburg unter Verwendung eines geeigneten Mörtels und Empfehlungen zum Monitoring sind im Kapitel "Plan zur objektangepassten Pflege und Entwicklung" dargestellt



Abb. 7. Die Mühlburg auf der Schossleite (Aufn. R. Bellstedt)



Abb. 8. Mauerwerk auf der Mühlburg im Detail



Abb. 9. Die Probefläche auf der Mühlburg

Literatur

Wedekind, W., Rieffel, Y. (2009). Safeguarding Systems for the Monitoring of Monuments. Post-erpräsentation bei der Inauguration of UNESCO Chair on Preventive Conservation, Monitoring and Maintenance of Monuments and Sites, 24. -25. März 2009. Leuven. Belgien.

Pletinckx, D. (2008). Monitoring Monuments. A low-cost digital early warning system for preventive conservation of build heritage. Epoch, Stockholm, 2008.

6. Plan zur objektangepassten Pflege und Entwicklung

Einleitung

Ein integriertes Pflegekonzept umfasst Maßnahmen, die Burgen und die sie umgebende Kulturlandschaft in einen erkennbaren Bezug zueinander stellen und dauerhaft schützen sollen. Hierzu gehören Maßnahmen zur Erhaltung der Bausubstanz der Burgen und zu einer nachhaltigen Restaurierung, die Entwicklung und Pflege von Biotopen, insbesondere, wenn sie Elemente einer historischen Kulturlandschaft darstellen, die durch die Burgen mitgeprägt wurden und schließlich die Veranschaulichung dieser Zusammenhänge für die Öffentlichkeit.

Das Pflegekonzept gibt hierbei zunächst Empfehlungen für den Naturschutz, der über bereits bestehende Maßnahmen hinaus insbesondere auf die Pflege der lokal bedeutsamen Kulturlandschaftselemente abzielt.

Unter Einbeziehung der Resultate aus den Voruntersuchungen (siehe Abschlussbericht) umfasst der Pflegeplan auch die Darstellung der objektangepassten Entwicklung, Anwendung und Zustandsüberwachung von Reparaturmörteln.

Durch ein Bündel von Maßnahmen werden die Resultate des Projekts und die Hintergründe zur Entwicklung der Kulturlandschaft in die Öffentlichkeit getragen. Insbesondere wird eine im Mai 2011 eröffnete Dauerausstellung zu dem Projekt und seinen Hintergründen auf der Mühlburg langfristig diese Informationen vermitteln.

Erhaltung und Pflege der Biotope

Leitbild und Entwicklungsziele

Im Folgenden werden bestehende Gefährdung, sowie Möglichkeiten zur Pflege und Entwicklung der aus naturschutzfachlicher und kulturhistorischer Sicht wertbestimmenden Biotoptypen des Untersuchungsgebietes dargelegt. Die Ausführungen sind Teil des im Rahmen des Projekts angefertigten Gutachtens zur Erfassung der Biotoptypen (Schmiedel und Schwienherr, 2010). Die Bearbeitung erfolgt im Abgleich mit dem bestehenden Pflege- und Entwicklungsplan ("PEP"; INL, 2001) sowie der Offenland-Biotopkartierung des NSG Wachsenburg (unveröffentlicht), die ausführliche und flächenscharfe Angaben zur Gefährdung und erforderlichen Erhaltungsmaßnahmen der Biotope machen. Die Leitbilder des PEP (Erhalt/Entwicklung von naturnahen Wäldern sowie Mittel- und anderen lichten Wäldern und Sonderbiotopen; Erhaltung, Sicherung, Pflege und Entwicklung wertvoller Offenlandbiotope durch pflegerische Nutzung) entsprechen den hier verfolgten übergeordneten Entwicklungszielen. Zusätzlich zu denen im Rahmen der Schutzgebietsverordnungen und der FFH-Erhaltungsziele definierten Nutzungs- und Pflegeempfehlungen für das Drei Gleichen-Gebiet (vgl. Kap. 2.5 und 4), wird als übergeordnetes Leitbild der **Erhalt der historisch gewachsenen Strukturen in Kombination mit dem Erhalt naturschutzfachlich wertvoller Biotoptypen und Landschaftselemente** angestrebt.

Bezogen auf die einzelnen Burgberge sollen dabei die Elemente hervorgehoben werden, die den jeweiligen Berg besonders prägen. Die wertbestimmenden Biotoptypen im Gebiet der Drei Gleichen sind im wesentlichen Zeugnisse der historischen Kulturlandschaft und nur durch eine Fortführung der Nutzung - idealerweise in Form der historischen Nutzung - in ihrem Fortbestand zu sichern. Dagegen sind - einhergehend mit der Auffassung des PEP - Nutzungsaufgabe und Prozessschutz im Untersuchungsgebiet keine vorrangigen Ziele.

Gefährdungen und Maßnahmen

Verbindliche, flächenscharfe und sehr detaillierte Angaben zu Pflege- und Entwicklungsmaßnahmen liefert der PEP (INL, 2001). Diese sind, obwohl sie bereits im Jahr 2001 aufgestellt wurden, noch immer aktuell. Der Vergleich der Managementvorschläge mit der im Gelände vorgefundenen Situation hat gezeigt, dass bereits viele Maßnahmen umgesetzt wurden, wenn auch aufgrund der großen Fläche und des starken Pflegebedarfs Magerrasen und Badlands weiterhin pflegerische Defizite aufweisen. Im Folgenden finden einige Pflege- und Entwicklungsmaßnahmen beispielhaft Erwähnung. Weitergehende Empfehlungen zu Pflege- und Entwicklungsmaßnahmen sollten in jedem Fall in enger Zusammenarbeit mit den zuständigen Unteren Naturschutzbehörden erfolgen.

Laubwald

Auf die Laubwälder des Untersuchungsgebietes wirken aktuell keine besonderen Gefährdungen, da sie i. d. R. forstlich nur wenig genutzt werden. Als Entwicklungsziel gilt es hier v. a. ihren Strukturreichtum (Totholzanteil, Vorkommen von Altbäumen, etc.) zu erhöhen und standortfremde sukzessiv mit standortheimischen Baumarten zu ersetzen, die Bestände also in Richtung der potentiell natürlichen Vegetation zu entwickeln. Standortfremde Laubbaumbestände, wie etwa von Robinien, sollten nach Möglichkeit in standortheimische Bestände überführt werden.

Im Hinblick auf das übergeordnete Leitbild, das auf den Erhalt typischer, historisch gewachsener Strukturen zielt, wäre es wünschenswert zumindest in Teilbereichen die historische Nutzungsform (Niederwald-/Mittelwaldwirtschaft) wieder aufzunehmen. Dies sollte vorrangig in den Waldbereichen erfolgen, in denen aktuell noch Anzeichen einer ehemaligen historischen Nutzung erkennbar sind. Besonders großflächige mesophile Laubwälder dieser Art finden sich auf der Schlosseite. Sie tragen stark zum Charakter dieses Burgberges bei und erscheinen daher besonders beachtenswert. Jedoch müssen mögliche Zielkonflikte mit den Vorgaben der FFH-Richtlinie äußerst sorgsam abgewogen

werden. So sollten beispielsweise die gemeldeten Bestände des prioritären Lebensraumtyp *9180 (Schlucht- und Hangmischwälder) „nicht bewirtschaftet werden“ (SSYMANK et al. 1998).

Nadelwälder

Die Nadelwälder im Untersuchungsgebiet sind als großteils standortfremde Bestände (Ausnahme: Waldkiefernbestand am Kaffberg) nicht gefährdet. Vielmehr stocken sie oftmals auf Flächen, die ehemals von anderen, naturschutzfachlich und kulturhistorisch bedeutsamen Biotopen eingenommen wurden.

Während die Waldkiefer (*Pinus sylvestris*) lichte Bestände bildet, die einen Fortbestand der Magerrasenvegetation gestatten, beschatten Schwarzkieferbestände (*Pinus nigra*) die Bodenoberfläche i. d. R. so stark, dass wenig oder keine krautige Vegetation vorhanden ist (vgl. z. B. Schwarzkiefernbestand am Hang südlich der Ruine Gleichen). Somit sollten prioritär die Schwarzkiefernforste gelichtet oder - wo die charakteristische Bodenvegetation bereits vollständig vernichtet wurde - durch natürliche Sukzession und nur in Ausnahmefällen durch zusätzliche Pflanzungen in standortheimische Laubwälder überführt werden.

Gebüsche und Gehölzbestände

Der Bestand vieler Streuobstwiesen des Untersuchungsgebiets ist durch die Aufgabe der Nutzung, die in Form von starker Verbuschung der Flächen oder auch Ausfällen im Baumbestand sichtbar wird, gefährdet (INL, 2001).

Um die Obstwiesen in ihrer traditionellen Erscheinungsform zu sichern, sind vielfältige Pflegemaßnahmen notwendig: Einerseits sollten Entbuschungsmaßnahmen durchgeführt und Lücken im Baumbestand kontinuierlich durch Nachpflanzungen (vorwiegend Verwendung „alter“ Obstsorten) geschlossen werden. Andererseits sollte weiterhin der Charakter der jeweiligen Wiesen je nach Graslandtyp (Halbtrockenrasen/Grünland) durch geeignete Pflegemaßnahmen (Weide/Mahd) wieder deutlicher herausgestellt werden.

Obstwiesen erscheinen vor allem für den Burgberg der Ruine Gleichen (inkl. Kaffberg) besonders charakteristisch, so dass vor allem in diesem Gebiet besonderes Augenmerk auf ihren Erhalt gerichtet werden sollte.

Mesophile und Trockengebüsche stellen einen wichtigen Bestandteil der Vegetation im Gebiet dar, sollten jedoch in ihrer Ausbreitung im Bereich der Magerrasen und Badlands eingeschränkt werden. Eventuell wäre es sinnvoll, historische Nutzungsformen wie etwa das „Auf den Stock setzen“ der Gehölzbestände aufzunehmen. Insbesondere im Übergang zu intensiv genutzten Flächen außerhalb des Untersuchungsgebietes können Gebüsche eine wirksame Pufferfunktion gegen unerwünschte Nährstoff- und Pestizideinträge übernehmen.

Fels-, Gesteins- und Offenbodenbiotope

Einige Badlands des Untersuchungsgebiets sind vor allem durch die fortschreitende Verbuschung durch *Prunus spinosa*, *Pinus nigra* und *Robinia pseudoacacia* gefährdet. Weitere, die Badlands in ihrem typischen Erscheinungsbild gefährdenden Faktoren stellen der Tourismus und die Freizeitnutzung (v.a. inoffizielle Trampelpfade und Motocross-Strecken) dar.

Um den typischen offenen Charakter der Badlands zu erhalten, müssen die Badland-Flächen im gesamten Gebiet von Gehölzaufwuchs befreit und durch Schafbeweidung (Hutebetrieb) und/ oder Plaggen des Oberbodens freigehalten werden (INL, 2001). Außerdem sollte die Nutzung der nicht in das Wanderwegenetz eingeschlossenen Trampelpfade innerhalb der Badlands und Badland-Magerrasen-Komplexe sowie vor allem die Nutzung der Flächen als Motocross-Gelände unterbunden werden.

Besonders das Gebiet der Wachsenburg wird stark durch die dort großflächig auftretenden Badlands und Badland-Magerrasen-Komplexe charakterisiert, so dass diesem Biotoptyp gerade hier besondere Aufmerksamkeit entgegengebracht werden sollte.

Magerrasen

Die Magerrasen des Untersuchungsraums sind - wie auch die Obstwiesen - stark durch Nutzungsaufgabe gefährdet. Diese zieht in den meisten Fällen eine starke Verbuschung und die Einwanderung konkurrenzstarker Saumarten nach sich, so dass die typischen Arten der Magerrasen verdrängt werden. Neben der Schlehe (*Prunus spinosa*) besiedeln im Gebiet auch die Baumarten *Pinus nigra* und *Robinia pseudoacacia* brachliegende Magerrasen. Zwei Halbtrockenrasen im Gebiet der Ruine Gleichen und der Wachsenburg können als eindeutige Beispiele für durch Verbuschung gefährdete Magerrasen angesehen werden: Der Bestand eines Magerrasens am Fuße des Südhangs des Kaffbergs wird stark durch ein angrenzendes Schlehengebüsch bedroht, das sich durch Ausläuferbildung (Polycormonbildung) sukzessiv in den Magerrasen vorschiebt. Der Magerrasen südöstlich des Burgberges der Wachsenburg dagegen ist bereits von Gebüsch eingenommen, weist jedoch trotzdem noch einige Arten typischer Kalkmagerrasen auf. Beispiele für die Ausbreitung der Robinie finden sich im Bereich der südöstlich der Wachsenburg gelegenen Magerrasen-Badland-Komplexe.

Die Verbuschung und die Einwanderung konkurrenzstarker Saumarten wird durch zusätzliche Nährstoffeinträge aus angrenzenden Flächen (v. a. Äcker) verstärkt. Weiterhin stellen - wie für die Badlands - der Tourismus und die Freizeitnutzung (v. a. inoffizielle Trampelpfade und Motocross-Strecken) auch für die Magerrasen eine Gefährdung dar.

Um das typische Erscheinungsbild der Magerrasen zu erhalten, müssen diese im gesamten Gebiet durch Schafbeweidung, idealerweise im Hutebetrieb (gleichzeitige Förderung des Biotopverbundes), gepflegt werden. Stark verbuschte Magerrasen sollten vor Beginn der Beweidung zunächst entkusselt werden. Konkrete Pflege- und Nutzungspläne sind den örtlichen Gegebenheiten anzupassen, so sollten etwa orchideenreiche Bestände nicht zu früh im Jahr genutzt werden, damit Orchideen nicht in ihrem Bestand gefährdet werden.

Des Weiteren sollte die Eutrophierung der Magerrasen aus angrenzenden Flächen möglichst verhindert werden (evtl. puffernde Wirkung von Randstreifen, Gehölzbeständen etc. nutzen). Auch im Bereich der Magerrasen sollte die Nutzung der nicht in das Wanderwegenetz eingeschlossenen Trampelpfade sowie die Nutzung der Flächen als Motocross-Gelände unterbunden werden.

Grünland

Insgesamt sind im Untersuchungsgebiet nur wenige Grünländer vorhanden. Von diesen sind vor allem die mesophilen Grünländer besonders artenreich und schützenswert. Auch für diesen Biotoptyp stellt die Nutzungsaufgabe die größte Gefährdung dar: Fällt eine Fläche brach, so sind Verbuschung und Veränderungen der Artenkombinationen die Folge. Die vorhandenen mesophilen Grünländer sollten daher unbedingt durch eine extensive Wiesen- oder Weidewirtschaft genutzt und somit vor dem Brachfallen geschützt werden.

Die artenarmen Grünländer des Untersuchungsgebietes sollten durch geeignete Maßnahmen wie etwa Mahd und die Entfernung des Mahdgutes ausgemagert und durch weiterführende extensive Bewirtschaftung in artenreichere Bestände überführt werden.

Ruderalfluren

Allgemein ist anzunehmen, dass der Großteil der Ruderalfluren im Untersuchungsgebiet nicht gefährdet ist. Eine Ausnahme stellt die Ruderalflur trockenwarmer Standorte im Bereich der Ruine Gleichen dar, die viele gefährdete und in Thüringen seltene Arten beheimatet. Ihr Bestehen wird durch eine oberhalb des Bestandes gelegene, sich stark ausbreitende Neophytenflur (Bocksorn-Gebüsch) ge-

fährdet. Letztere muss aus diesem Grund unbedingt in ihrer Ausbreitung eingedämmt werden. Entgegen der Auffassung des Pflege- und Entwicklungsplanes (INL, 2001) wäre es jedoch aufgrund der kulturhistorischen Bedeutung wünschenswert, zumindest Teilbereiche dieses Gebüschs zu erhalten. Auch die Nitrophytenfluren im Bereich der Burgberge sollten aufgrund ihrer kulturhistorischen Bedeutung und als „Zeugen“ des früheren Einflusses der Burg erhalten bleiben.

Siedlung und Verkehr

Aus Sicht des Biotopschutzes sind der Großteil der Siedlungs- und Verkehrsflächen ohne Funktion und somit keiner Gefährdung ausgesetzt. Eine Ausnahme stellen die Burgmauern als potentielle Refugien für Arten der Mauerfugenvegetation dar. Aktuell sind die Mauern aller Burgen nur sehr wenig durch Farn- und Gefäßpflanzen bewachsen. Sollte es im Rahmen der Konservierung und Pflege der Mauern nicht möglich sein, die naturschutzfachlich bedeutsame Mauerfugenvegetation zu fördern, wäre eventuell alternativ die Anlage von „Mustermauern“ möglich, um den potentiellen Artenreichtum mauer- und fugenbesiedelnder Arten zu bewahren und zu demonstrieren. Eine durch charakteristische Arten besiedelte Mauer befindet sich einige Meter links des Burgtores der Ruine Gleichen (Abb. 1).



Abb. 1. Stark bewachsenes Mauerelement vor der Ruine Gleichen

Maßnahmen zur Besucherlenkung werden ausführlich im PEP (INL, 2001) vorgestellt und sollen an dieser Stelle nicht detailliert genannt werden. An markanten Aussichtspunkten sollten Sichtachsen freigehalten werden, sofern die Maßnahmen nicht den Erhaltungszielen von Wäldern widersprechen. Somit können Besucher der Burgberge die direkte Umgebung der traditionell gewachsenen Kultur-

landschaft der Burgberge zu der hoch transformierten, modernen Kulturlandschaft in den Ebenen in Beziehung setzen.

Sonderstrukturen

Im Hinblick auf das übergeordnete Leitbild, kulturhistorisch und naturschutzfachlich bedeutsame Landschaftsbestandteile zu erhalten, spielen die Sonderstrukturen als anthropogen entstandene, naturschutzfachlich sehr wertvolle Landschaftselemente eine wichtige Rolle. Eine Gefährdung der Strukturen geht vor allem von Sukzessionsprozessen aus. Durch den sukzessiven Bewuchs verlieren sowohl Hohlwege als auch Steinbrüche, Lesesteinriegel und -haufen i.d.R. im Laufe der Zeit ihre charakteristische Form und gehen somit meist auf lange Sicht dem Landschaftsbild und als Lebensraum für die Fauna verloren. Um dies zu verhindern, müssen Pflegemaßnahmen erfolgen, die die Sukzession zurückdrängen und das ursprüngliche Erscheinungsbild der Strukturen erhalten. Weiterhin sollten als weitere wichtige kulturhistorische Landschaftselemente markante, breitkronige Einzelbäume, die aktuell in andere Gehölzbestände eingebettet sind, als „Zeugen“ der historischen Landschaftsentwicklung freigestellt werden.

Allgemein finden sich Sonderstrukturen auf allen Burgbergen, besonders auffällig erscheint jedoch das vermehrte Auftreten von Lesesteinriegeln und -haufen im Bereich der Schlossleite. Neben den großflächigen Laubwaldkomplexen stellen diese Sonderstrukturen eine weitere Charakteristik des Burgbergs der Mühlburg dar und sollten besonders herausgestellt werden (Abb. 2).



Abb. 2. Lesesteinriegel an der Schlossleite

Literatur

- Schmiedel, I., Schwienheer, J. (2009). Biotoptypenkartierung und Ausarbeitung eines Pflegekonzepts. Gutachten, 48 S., 13 Karten und Daten-CD-ROM.
- INL (2001). Pflege- und Entwicklungsplan NSG „Röhnberg“ u. NSG „Schlossleite“. Ingenieurbüro für Naturschutz und Landschaftsplanung (INL). Unveröffentlicht.
- Ssymank, A., Hauke, U., Ruckriem, C., Schroder, E. Das europäische Schutzgebietsystem Natura 2000 - BfN-Handbuch zur Umsetzung der Fauna-Flora-Habitat-Richtlinie-(92/43/EWG) und der Vogelschutzrichtlinie (79/409/EWG). *BfN Schr. Vertriebi im Landwirtschaftsverlag*.

Empfehlungen zur Restaurierung der Baukörper

Biologischer Impact

Die Auswirkungen der unterschiedlichen Besiedelung mit Mikroorganismen, niederen Pflanzen und Gefäßpflanzen auf die Fugen und Werksteine der Burg Gleichen sind vielfältig und wirken an der Entstehung von Schadbildern mit. In jedem Einzelfall ist abzuwägen, ob Bewuchs von Gefäßpflanzen bzw. niederen Pflanzen erhalten werden kann oder aus, um die Erhaltung des Mauerwerks nicht zu gefährden. Allerdings ist festzustellen, dass biologischer Bewuchs in unterschiedlichen Dimensionen nicht die Ursache von Schadbildern ist, sondern in ihrer Folge auftritt.

Erhaltung der Mauervegetation

Das übergeordnete Leitbild (Erhalt der historisch gewachsenen Strukturen in Kombination mit dem Erhalt naturschutzfachlich wertvoller Biotoptypen und Landschaftselemente, s.o.) ist auf der Burg Gleichen und der Mühlburg mit Restaurierungsmaßnahmen gut in Einklang zu bringen. Wie in den vorangegangenen Kapiteln bereits ausgeführt, ist die Mauerfugen-Vegetation der Burgen nicht charakteristisch ausgeprägt, so dass durch Restaurierungen zunächst potentiell schützenswerte Vegetation auch nicht gefährdet ist. Nach den Empfehlungen zur denkmalgerechten Ruinensicherung ist die Entfernung von einigen wenigen Einzelpflanzen zum Schutz des Mauerwerks notwendig. Soweit möglich sollten die Mauerkronen soweit gesichert werden, dass hier Elemente der Trockenrasen weiterhin Bestand haben (Abb. 3). In jedem Fall sollten die strukturreichen Nitrophytenfluren in unmittelbarem Kontakt mit dem Mauerfuß erhalten bleiben (Abb. 2). An den wenigen Stellen der Burg Gleichen, wo sich eine strukturreiche Mauerfugenvegetation entwickelt hat, sollte diese auch durch Erhaltung der offenen Fugen bewahrt bleiben.



Abb. 3. Trockenrasen-Fragment auf der Mauerkrone am Herrenhaus der Burg Gleichen
(Aufn. H. Culmsee)

Biodeterioration durch Mikroorganismen

Die mikrobielle Besiedelung ist in im Zusammenhang mit vielen Schadbildern auffällig. Die Schadensformen (Abplatzen von Krusten, Absanden und Abschalen) sind auch bei augenscheinlich nicht besiedelten Werksteinen sichtbar, können allerdings durch Mikroorganismen beschleunigt werden (Abb. 4, 5). Das Auftreten mikrobieller Besiedelung ist abhängig von physikalischen Parametern (v.a. ständig durchfeuchtete oder wechselfeuchte Mauerbereiche). Bei Beseitigung der Ursache durch geeignete restauratorische Maßnahmen wird die Besiedelung und auch die mit ihr verbundene Schadensform rückläufig sein. Eine Ausnahme stellt hier die Schalenbildung im Zusammenhang mit endolithischen Flechten dar. Sie konnte auch auf nicht deutlich Feuchte-belastetem Sandstein, allerdings nur im Bereich des Mauerfußes beobachtet werden (z.B. am romanischen Wohnbau der Burg Gleichen, Abb. 5 c).



Abb. 4. Verschiedene durch Biodeterioration begleitete Verwitterungsformen auf Sandsteinen am Mauerfuß des romanischen Wohnbaus. Krustenbildung mit darunter befindlichem Algenbewuchs auf dem Gleichenberger Sandstein in der oberen Reihe, Flechtenbewuchs mit Abschuppen in der unteren Reihe auf Wachsenburger (links) und Gleichenberger Sandstein

Die detektierten Dematiaceae (*Sarcinomyces*, *Phaeococcomyces*) sind im Zusammenhang mit Biodeterioration (v.a micropitting) häufig beschrieben worden (vgl. z.B Diakumaku et al., 1995). Die mit dem Wachstum der Pilze einhergehende Pigmentierung ist in jedem Fall augenfällig. Eine typische Biodeterioration geht von den stark Pilz-belasteten Flächen allerdings nicht aus. Wie alle Dematiaceae hinterlassen die Pilze auf der Oberfläche allerdings eine persistierende Melanin-Pigmentierung, die nur durch eine aufwändige Reinigung wieder entfernt werden kann. Da allerdings gerade bei Naturstein-Mauern die Färbung als nicht störend, bzw. als natürliche Gesteinsfarbe empfunden wird, sind in betroffenen Bereichen solche Reinigungsmaßnahmen nicht zielführend. Grundsätzlich muss auf allen Flächen, unabhängig von der Feuchte des Mauerwerks, davon ausgegangen werden, dass Dematiaceae vertreten sind.

Augenfällig wirken Algen an Schadphänomenen mit: Auf vielen der verbauten Sandsteine der Wand des romanischen Wohnbaus treten sie zusammen mit der Bildung von Gipskrusten auf (Abb. 4, 5 d). Derartige Gipskrusten werden weltweit insbesondere auf Carbonatgesteinen in stark durch Schwefeldioxid-Emissionen belasteten Regionen gefunden (z.B. Török et al., 2007). Hier wird das Schwefeldioxid in der Luft zu Schwefeltrioxid umgesetzt, um als Schwefelsäure ausgewaschen zu werden. Auf der Gesteinsoberfläche setzt es sich unter Herauslösung dieser Calciumionen zu Gips um. Die sich bildenden Krusten weisen häufig einen deutlichen mikrobiellen Bewuchs auf.

Für den vorliegenden Fall kann jedoch eine SO_2 -Belastung aus der Luft ausgeschlossen werden. Für die Region werden seit 1994 Werte unterhalb von $0.25 \mu\text{g}/\text{m}^3 \text{SO}_2$ verzeichnet (vgl. z. B. Jahresbericht

1998 aus dem Messnetz des Umweltbundesamts). Die Krusten selbst sind Neubildungen, da sie meist noch dünn (1 mm dicke) und oft noch ohne eigene Phänomene der Rückwitterung auf dem Material aufliegen. Sie bilden sich dort, wo offensichtlich der Gipsanteil des für die Verfüzung verwendeten Mörtels ausgewaschen wurde und auf dem Gestein einen Überzug über die verbauten Gesteine gebildet hat. Am romanischen Wohnbau sind dies fast ausschließlich Gleichenberger und Wachsenburger Sandstein, allerdings können sich die Krusten auch auf anderen Gesteinen bilden. Die Krusten lösen sich nach einiger Zeit ab, und nehmen daher auch immer Teile der entfestigten Sandstein-Oberfläche mit. An der Grenzfläche zwischen Kruste und Gestein wurde an dem romanischen Wohnbau eine intensive Besiedlung mit Cyanobakterien der Gattung *Synechococcus* festgestellt. Sie wirken nach dem in Abb. 6 gezeigten Schema an der Bildung der Krusten mit und beschleunigen den Materialverlust an der Oberfläche. Die Ursache ist hier allerdings der verwendete Mörtel. Hier sollte bei künftigen Reparaturen angepasste Mörtelmischung verwendet werden (s.u.).

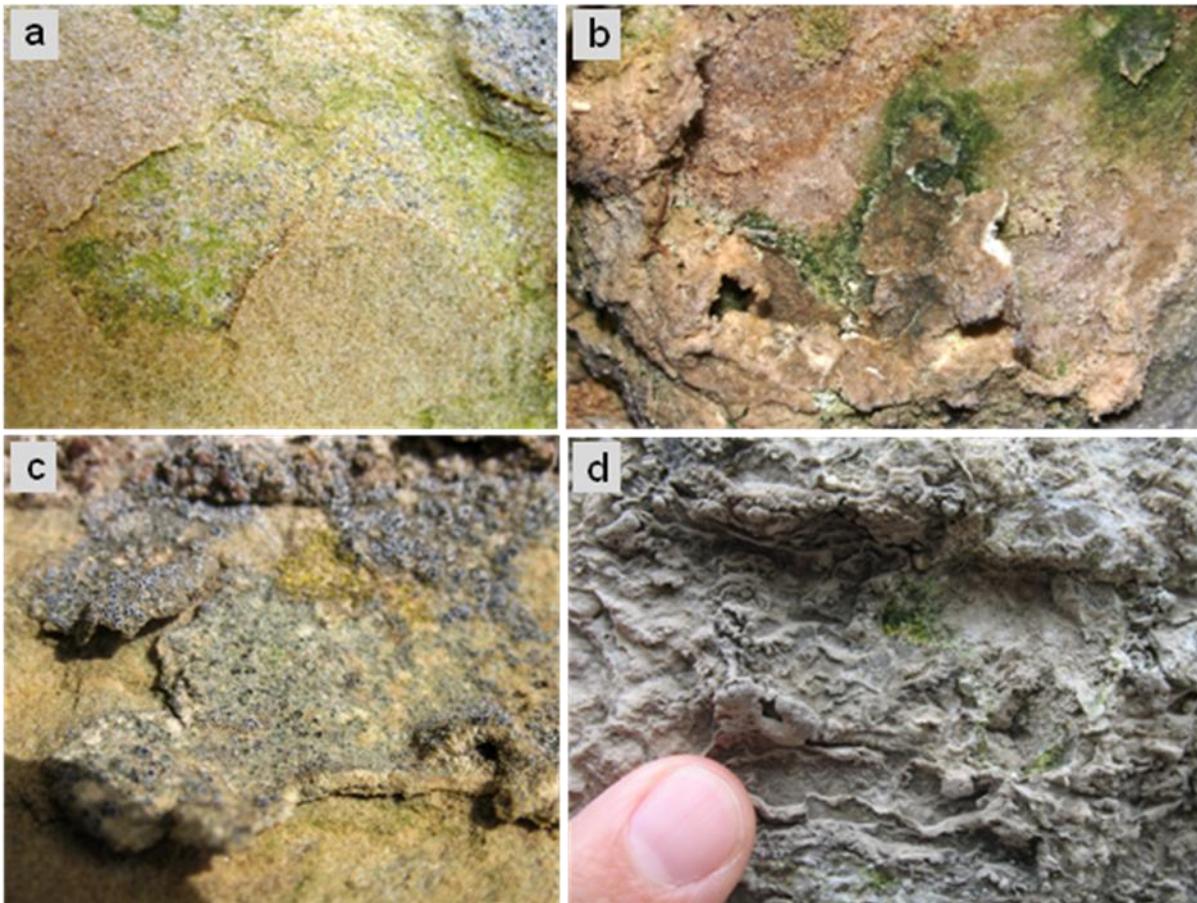


Abb. 5. Verwitterungsformen unter Beteiligung von Algen und Flechten

a) Bildung von Schuppen unter Beteiligung eines Algen-Biofilms auf Sandstein b) großflächige Kruste mit darunterliegendem Algen-Biofilm c) Schuppen- und Schalenbildung unter Beteiligung endolithischer Flechten auf Sandstein c) Algen-Biofilm unter einer dünnen Gipskruste

Das dauerfeuchte Deckengewöbe des an der O-Seite der Burganlage gelegenen Einganges zum großen Keller der Burg Gleichen ist v.a. durch Mörtelverlust, Rückwitterungen an den Gesteinen, die im Gewölbe und den Seitenwänden verbaut sind, sowie Schuppen-, Schalen- und Krustenbildungen gekennzeichnet (Abb. 5 b). Alle Krusten sind hier v.a. durch Grünalgen der Gattungen *Chlorella* oder *Bracteacoccus* besiedelt sowie durch Moos-Vorkeime. Die Situation ist ähnlich wie in der in Abb. 4 gezeigten Bildung und Ablösung von Krusten des romanischen Wohnbaus. Allerdings finden sich hier meist dickere Krusten, die nach den EDX-Messungen neben Gips auch Tonminerale enthalten. Die Krustenbildungen ist auch an den Wänden und Decken des gesamten Kellerraumes sichtbar, allerdings kann nur bei ausreichend vorhandenem Licht eine sichtbare Besiedlung mit Algen verfolgt wer-

den. Tatsächlich sind dort (insbesondere im Abgang zum Keller) auch die Schuppen und Schalen am deutlichsten ausgebildet. Wiederum an der Grenzfläche einer sich ablösenden Schuppe oder Schale und dem darunterliegenden Gesteinsmaterial ist ein Algen-Biofilm angehaftet und trägt zur Entfestigung bei. Eine Kontrolle des Feuchteregimes durch restauratorische Maßnahmen würde auch hier die Besiedlung entsprechend reduzieren.

Die augenfälligen Schadphänomene an den Außenmauern der Burg Gleichen zeigten ebenfalls mikrobielle Besiedlung. Allerdings treten hier in der Regel keine großflächigen Krustenbildung, sondern neben Schalen meist Schuppen auf (Abb. 5 a). Insbesondere die dauerfeuchten Bereiche, die zudem noch durch organische Einträge stellenweise stark belastet sind. Diese v.a. an der NO- und O-Seite der Außenmauer liegenden Stellen können nur mit großem Aufwand trocken gehalten werden. Hier sollte zumindest versucht werden, durch geeignete Lenkung der Besucher die Nährstoffeinträge zu reduzieren. Mittelfristig sollte daher angesichts des Besucheraufkommens auch erwogen werden, eine geeignete Sanitärtechnik zu installieren. Hier bieten sich Komposttoilettenanlagen an, die auch an anderen Einrichtungen ohne Anschluss an das Wassernetz (Berghütten, Nationalparks u.a.) eingesetzt werden.

Auf der Mühlburg lassen sich Schuppen und Krusten, die mikrobiell belastet sind, seltener finden. Allerdings ist durch die Positionierung eines Wasser-Abflusses eine dauerhaft vernässte Stelle an der Außenmauer geschaffen, die zu weiträumig zu starker Biofilm-Bildung und Rückwitterung führt. Hier muss die Drainage entsprechend günstiger gelegt werden.

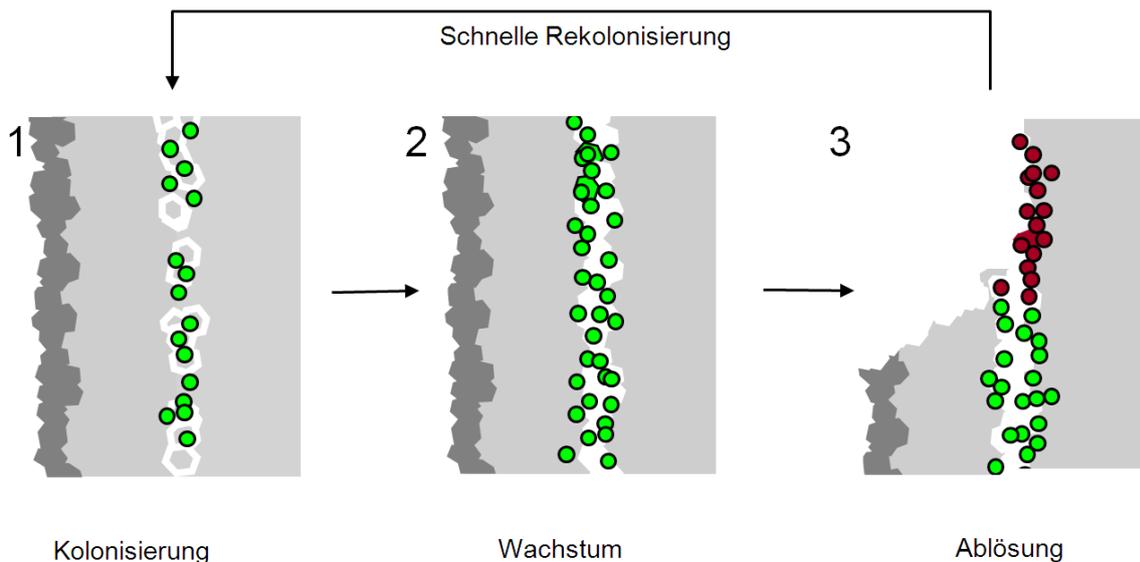


Abb. 6. Kolonisierung von Wagsamkeiten in sich ablösenden Schalen und Abspaltung von Schalen durch mikrobielles Wachstum. Nach Beendigung des Zyklus kann eine sich neu bildende Schale im verbleibenden Material rekolonisiert werden.

Einsatz unterschiedlicher Mörtel (Burg Gleichen)

Als ein praktischer, materialspezifischer Ansatz wurde modellhaft an einer Musterfläche auf der Burg Gleichen (vgl. Kap. "Maßnahmen zur Ruinensicherung") unterschiedliche Mörtelvarianten appliziert, um diese hinsichtlich ihrer Langzeitstabilität zu testen. Ziel ist es, Empfehlungen geeigneter Vorgehensweisen und Materialien für nachhaltige Sanierungsmaßnahmen der Gesamtanlage für die Zukunft geben zu können.

Als Probefläche an der Burg Gleichen wurde eine etwa 6 m breite und 4 m hohe Mauer im ehemaligen Versorgungstrakt der Kanzlei der Burganlage ausgewählt, bei der sowohl Rissbildungen an der Mauerwerkskrone, ein weitgehender Verlust des Setzmörtels als auch Rückwitterungen in Folge von Salzbelastungen festgestellt werden konnten. Die Wand ist nach Osten ausgerichtet, wird also bevorzugt rückseitig beregnet und trocknet über die nach Osten ausgerichtete Seite ab. Die Probefläche er-

streckt sich von der Sockelzone bis zur Mauerwerkskrone. Nach umfangreichen Voruntersuchungen zur Salzbelastung und der Untersuchung der historischen Bestandsmörtel und späteren Reparaturphasen wurden unterschiedliche Mörtel ausgewählt, hergestellt und eingebracht: Die ausgewählte Mauerwerksfläche in der Wanderslebener Burg wurde eingerüstet und nach dem Ausräumen der Fugen von geschädigten Mörteln und ungeeigneten Reparaturmörteln kraftschlüssig mit unterschiedlichen Instandsetzungsmörteln verfügt. Hierzu kamen zwei Mörteltypen in unterschiedlichen Verarbeitungsvarianten zur Ausführung. Größere Fehlstellenbereiche wurden mit örtlichen Bruchsteinen vermauert. Aufgrund der teilweise bis in eine Mauerwerkstiefe von 40 cm ausgespülten Mauerwerksbereiche wurde in zwei Arbeitsschritten vorgegangen. Erst wurde das Mauerwerk tiefgründig stabilisiert und in einem zweiten Arbeitsschritt verfügt.

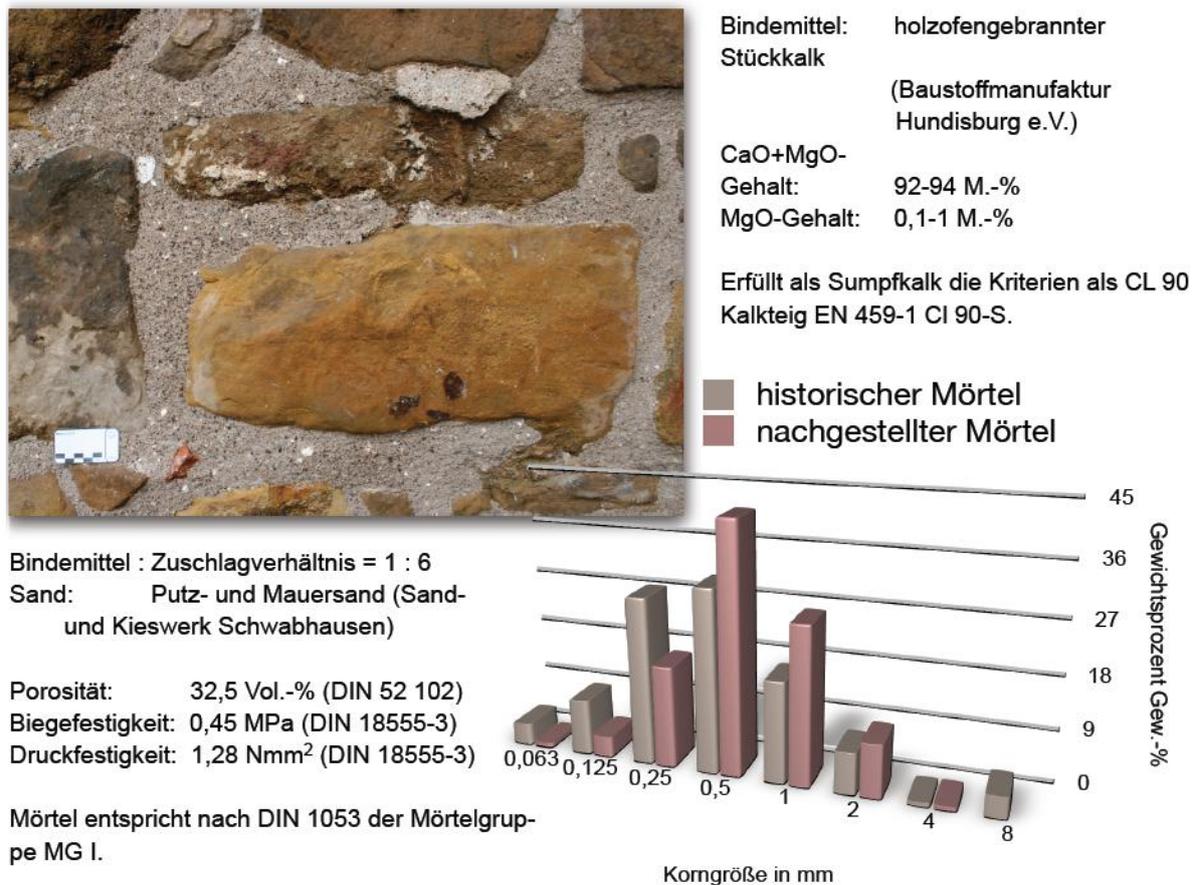


Abb. 7. Bildtafel zu den technischen Daten des trocken gelöschten Sandkalkmörtels. Detailaufnahme des Mörtels im Endzustand mit hellen Kalkspatzen.

Materialvariante 1: Trocken gelöschter Sandkalkmörtel. Vergleichbar zum Befund der Mörtelanalyse wurde ein trocken gelöschter Sandkalkmörtel hergestellt (Abb. 7). Hierzu wurden die ortsnah gewonnenen Sande mit Gas-gebranntem Stückkalk der Baustoffmanufaktur Hundisburg in dem für das Herstellungsverfahren bekanntem Sandwichverfahren aufgeschichtet und mit Wasser übergossen. Das Verhältnis von Aggregatanteil zu Kalk bestand in 6:1 Volumenanteilen. Nachdem der geschichtete Mörtelhaufen keine Volumenexpansion bzw. Rissbildungen in Folge des Ablöschprozesses mehr gezeigt hatte, wurde die Wasserzugabe beendet. Der Mörtel wurde dann für eine Woche ruhen gelassen um die Bildung eventueller Kalktreiber zu verhindern. Die Mörtelmischung wurde danach senkrecht zur Schichtung abgestochen und im Freifallmischer ohne weitere Wasserzugabe gemischt. Der verarbeitungsfertige Mörtel wurde zum Transport in Fässer abgefüllt. Nach dem Ausräumen der Fugen von mürben Mörtelpartien und ungeeigneten Reparaturmörteln wurden in einem ersten Arbeitsschritt die Fugen des Mauerwerks tiefgründig mit dem nach historischem Vorbild konfiguriertem Mörtel (trocken gelöschter Sandkalkmörtel) aufgefüllt und anschließend mit demselben Material verfügt. Nach dem

ersten Erhärten wurde der Mörtel abgearbeitet um die Ausbildung einer Sinterschicht zu verhindern und das Mörtelbild an den Bestand anzupassen. Für trocken gelöschte Sandkalkmörtel konnten hinsichtlich des Speichervermögens von Steinsalz aus Petra/Jordanien sehr positive Eigenschaften nachgewiesen werden (Wedekind et al., 2008). Entsprechend positive Erfahrungen konnten auch beim Einsatz von trocken gelöschtem Sandkalkmörtel bei stark mit Sulfaten belastetem Mauerwerks an der historischen Klosteranlage Michaelstein in Sachsen Anhalt gemacht werden (Rieffell et al., 2004).

Materialvariante 2: Kompressenputz, Werk trockenmörtel. Als zweites Material wurde ein werkskonfektionierter Kompressenputz der Firma Remmers verarbeitet (Abb. 8). Remmers Kompressenputz ist ein werkgemischter, mineralischer Trockenmörtel, der nach dem Anmischen mit Wasser gebrauchsfertig ist und hydraulisch erhärtet. Das Material wurde in unserem Fall als Fugen- und Stopfmörtel und nicht als herkömmlicher Putzmörtel eingesetzt. Die Konsistenz musste deshalb etwas steifer angesetzt werden als vom Hersteller vorgegeben wird. Laut Werksangabe (Remmers Baustofftechnik, Techn. Merkblatt, Art-No. 1077, Kompressenputzmörtel) stellt "Remmers Kompressenputz [...] eine Komponente im Remmers Sanierputzsystem als temporäre Maßnahme dar. Vor Applikation eines Sanierputzes dient die Opferschicht aus Remmers Kompressenputz zur deutlichen Senkung des Salzgehaltes im Mauerwerk. Dadurch wird eine Kristallisation im Grenzbereich Mauerwerk/Sanierputz aufgehoben; eine Schädigung des Mauerwerks wird vermindert. Remmers Kompressenputz ist speziell geeignet als Opferputz bzw. als Pufferschicht (z. B. unter nach historischen Rezepturen nachgestellten Putzen) bei Altbauten, historischen Bauwerken und Baudenkmälern, innen und außen."

Tatsächlich verfügt der Kompressenputzmörtel über beachtliche Verformungseigenschaften. Seine Biegezugfestigkeit liegt gemittelt bei 2,63 MPa, ähnliches gilt für sein Druckfestigkeitsverhalten. Einen ersten Kompressionsdruck halten die Mörtelprüflinge bis $1,43 \text{ N/mm}^2$ aus, danach wird die Probe zusammengedrückt und schließlich bei einer Drucklast von $8,64 \text{ N/mm}^2$ vollends zerstört. Verarbeitet wurden zwei unterschiedliche Typen diesen Material, ein grauer und ein weißer Kompressenputzmörtel, wobei die Farbe des Materials mutmaßlich auf die Art des hydraulischen Bindemittels zurückzuführen ist.



Bindemittel: sulfatbeständiger Zement nach DIN 1164*

Zuschlag: Natürliche, mineralische Zuschläge nach DIN 4226*

Erfüllt die Anforderungen nach DIN 18550, T. 2 und T. 4 und entspricht der Putzmörtelgruppe PII*.

Porosität: ca. 60 Vol.-%*
52 Vol.-% (DIN 52 102)

Biegefestigkeit: 2,63 MPa (DIN 18555-3)

Druckfestigkeit: 2,5 Nmm² nach
(CS II DIN EN 998-1)*

*Werksangaben: Technisches Merkblatt, Artikelnummer 1077, Remmers Baustofftechnik

Abb. 8. Bildtafel zu den technischen Daten des Kompressenputzmörtels. Links auf der Detailaufnahme die graue und rechts die weiße Mörtelvariante in Bearbeitung.

Beide Materialien, der Sandkalkmörtel und auch die beiden Typen des Kompressenputzmörtels wurden in vier verschiedenen Varianten an der Musterfläche verarbeitet (s. Abb. 6-9).

Bearbeitung der Mauerkrone. Auf der Mauerkrone wurde Zementmörtelverstrich entfernt, der sich zu großen Teilen bereits vom Untergrund abgelöst hatte. Unter dieser Mörtelschicht präsentierte sich der desolate Zustand des Mauerwerkes der Mauerkrone: Die Mauerwerksfüllung bestand ausschließlich

aus Trockenmaterial ohne jeden Halt. Unter den Verfüllmaterialien befanden sich auch zahlreiche großformatige Mörtelstücke aus Hochbrandgipsmörtel. Diese wurden vorsorglich entfernt, stellen diese doch eine potentielle Quelle für die konstatierte Sulfatbelastung da. Die Mauerwerksfüllung wurde bis auf eine Tiefe von ca. 40. cm ausgeräumt, gereinigt und anschließend mit großformatigen Steinen zu einer Mauerwerkskrone aufgebaut. Um der Konstruktion Halt zu verleihen, wurde diese mit Heißkalkmörtel vergossen. Bindemittel für diesen Mörtel war ein Weißfeinkalk nach EN 459-1 CL 80-Q (Firma: Otterbeiner) als Aggregatenteil wurde der örtliche Putz und Mauersand verwendet. Heißkalkmörtel verfügen, auch als Verfüllmörtel, über ideale Anbindeigenschaften an das Gesteinsmaterial und zeigen während des exothermischen Erhärtungsprozesses eine geringe Volumenvergrößerung, die eine optimale Verkrallung und Anbindung an alle Mauerwerkskomponenten begünstigt. Die rasche Frühfestigkeit ermöglicht ein zügiges Weiterarbeiten, sprich die Verfugung und weitere Aufmauerung der Mörtelkrone. Hierzu wurde auf der rechten Hälfte der Kompressenputzmörtel und auf der linken Hälfte der Mauerkrone der trocken gelöschte Sandkalkmörtel, letzterer bei Zugabe von natürlichen hydraulischem Trassmehl verarbeitet.

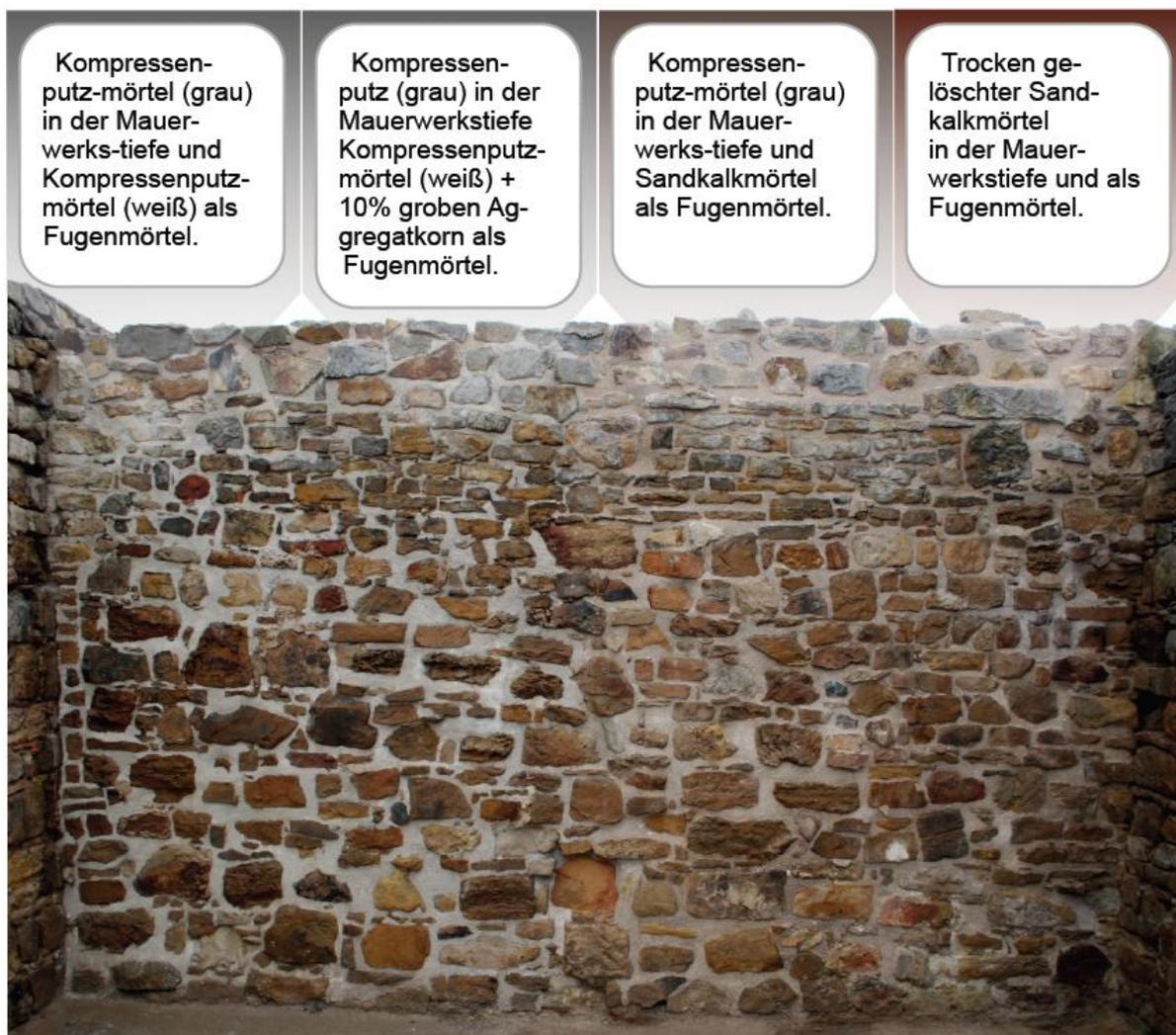


Abb. 9. Bildtafel zum Endzustand der Musterfläche mit den unterschiedlichen Materialvarianten.

Restaurierung auf der Mühlburg

Der Restaurierungsmörtel an der Probefläche sollte im besonderen den ästhetischen Anforderungen im Bezug auf die noch vorhandenen originalen Mauermörtel entsprechen. Der Werk trockenmörtel wurde auf Verfugekonsistenz eingestellt, angetragen und nach erster Früherhärtung mit Wasser

nachgewaschen, so dass die Körnung des Materials sichtbar wurde (Abb. 10-14). Die Fläche wurde auf sachgemäße Weise restauriert. Hierbei wurde auch auf den Bewuchs Rücksicht genommen und die niederen Pflanzen im Mauerwerk belassen (Abb. 16). Hierzu wurde das Mauerwerk mit einem Mörtel auf Basis von Hochbrandgips reparieren und neu verfugt. Der Mörtel ist ein Produkt der Firma Tubag und wurde im Rahmen eines DBU-Projektes entwickelt (Visser 2005).



Abb. 10. Der angetragene Mörtel



Abb. 11. Der nachbearbeitete Mörtel



Abb. 12. Freiwaschen
des Mörtels



Abb. 13. Integration des
Bestandsmörtels



Abb. 14. Die restaurierte Wandfläche

Nachhaltige Erhaltungsstrategien

Die Grundlage für eine nachhaltige Erhaltungsstrategie ruinöser historischer Anlagen bildet eine systematische Zustandserfassung und regelmäßige Inspektion. Entsprechende Anlagen sind durch große Komplexität im Aufbau und eine Vielfalt unterschiedlicher Materialkompositionen und Erhaltungszustände geprägt. Ziel einer in diesem Beitrag am Modell der Burganlage Gleichen vorgeschlagenes Planungssystem ist die einfache Orientierung für den Denkmalverwalter, den Denkmalwart und Externe.

Das Objektdatenblatt. Neben einer Gesamtansicht als Aufsichtplan (vgl. Kap. "Maßnahmen zur ruinsicherung", Abb. 3) wird pro Inspektionsabschnitt ein Objektdatenblatt angelegt, auf dessen Fotogrundlage die einzelnen Zustände einkartiert werden können (Abb. 15). Berücksichtigung erfahren alle relevanten Informationen zum Objekt wie z.B. Bautyp, Bemaßung, Bauzeit, Funktion (Typ), Bauart, die Materialien und deren Oberflächenbearbeitung, Zustände, wechselfeuchte und dauerfeuchte Bereiche, Rückwitterung von Stein und Mörtel, Risse und verschiedene Verwitterungsformen, Pflanzen, Ablösungen. Außerdem werden die derzeitigen Besitz- und Verantwortlichkeitsverhältnisse, sowie die Daten der erstmaligen Inspektion und späterer Monitoringtermine vermerkt. Informationen zur Quellenlage sowie Bau- und Restaurierungsgeschichte runden das Paket ab. Nach Auswertung aller Ergebnisse wird die Priorität für den Gebäudeabschnitt als Zahl errechnet.

OBJEKTDATENBLATT Palas - Frontfassade

Typ: Schloss **Inspektion:** August 2009
Kategorie: Ruine **Bearbeiter:** Wanja Wedekind, Heidrun Stück, Christoph Schmidt
Zeit: 12. Jahrhundert & nach 1231 **Foto:** Wanja Wedekind
Stil: Romanik **Datenblatt Nr.:** 6 S-SW
Baumeister: unbekannt **Priorität:** 85
Bauart: massives Werksteinmauerwerk
Verortung: Wanderlebener Gleiche / Thüringen / 50° 52'49"N, 10° 50'20"E
Eigentümer: Stiftung Thüringer Schlösser und Gärten
Kurzbeschreibung: Zweigeschossiger rechteckiger romanischer Wohnbau.

Aufbau	Länge (m)	Breite (m)	Höhe (m)	Materialien
Obergeschoss	20,7	1	4	Kalksinter, Haideberger Schiffsandstein Mauermörtel: trocken gelöschter Sandkalkmörtel (bauzeitl.), Zementmörtel (neuzeitl.)
Untergeschoss	20,7	1,2	4,6	Werksteine: Semionotus Sandstein, Seeberger Sandstein, Ingerslebener Sandstein, Röhnberger Sandstein Mauermörtel: Hochbrandgipsmörtel (bauzeitl.), Zementmörtel (neuzeitl.)



Süd-Süd-West (S-SW)

Oberfläche: gebeit und bildhauerisch Ornamentiert (Fenstergewölbe Obergeschoß, links)

S

S

Quellen & Literatur:
 Storch, Ludwig: Die Drei Gleichen. In Thüringen und der Harz. Fünfter Band, Sondershausen 1841.
 Hopf, Udo, Strickhausen, Gerd, Altwasser Elmar: Die Drei Gleichen. Regensburg 2003.

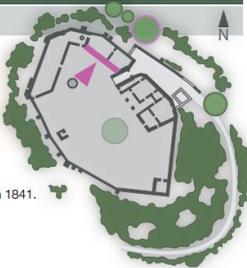


Abb. 15. Objektdatenblatt der Palas-Fassade

Eine Schlüsselfunktion kommt jedoch der regelmäßigen Beobachtung der Situation, der Inspektion und einem regelmäßig zu terminierenden Monitoring zu. Auf Grundlage der Bestandsaufnahme können hierfür ehrenamtlich aktive Personen, als auch die zahlreichen Burgwarte die heute schon Anstellung auf zahlreichen Anlagen erfahren mit einbezogen werden. Niemand kennt in der Regel die Objekte besser als der örtliche Burgwart oder die Mitglieder eines örtlichen Burgenvereins, niemand kann Veränderungen am Baukörper schneller erkennen. Viele dieser langjährigen Begleiter haben das Schicksal der Gebäude und Objekte über Jahre verfolgt und darüber hinaus ein persönliches Interesse ausgebildet. Nicht wenige fungieren neben Ihrer Funktion als Wächter heute auch als Fremdenführer. Auch kleinere Reparaturarbeiten könnten nach einer kurzen Schulung, ohne Probleme von örtlichem Personal durchgeführt werden. Dasselbe gilt für das regelmäßige Monitoring der konservatorischen Bestandsaufnahme. Die tatsächliche Festlegung von Handlungs- und Reparaturphasen sollte hingegen mit einem Fachverantwortlichen abgesprochen und sinnvoll koordiniert werden.

Plädoyer für eine nachhaltige Denkmalpflege. Angesichts der unzähligen Ruinen und begrenzten finanziellen Mittel fällt und steht jedoch alles mit der Sensibilisierung und Qualifizierung der örtlichen Kapazitäten. Jede Erhaltungsmaßnahme, die das ehrenamtliche Engagement der zahllosen Initiativen und die heute schon eingesetzten personellen Kapazitäten nicht aktiv in Erhaltungskonzepte mit einbezieht, muss sich damit von vorne herein in Frage zu stellen. Dass Bereitschaft zur aktiven Teilhabe besteht, dokumentieren die zahlreichen Erhaltungsmaßnahmen in ehrenamtlicher Trägerschaft an den Drei Gleichen in eindrucksvoller Weise. Auch wenn einzelne Restaurierungsmaßnahmen hierbei hin und wieder nicht dem Stand der Technik entsprechen, so ist den Auszuführenden kein Vorwurf zu machen. Vielmehr ist festzustellen, dass den Aktiven vor Ort eine denkmalpflegerische Beratung, eine unterstützende Ausbildung und Betreuung der eigentlich zuständigen Stellen weitgehend versagt geblieben ist, was in erster Linie als ein strukturelles Defizit aufzufassen ist. Bis heute fehlt in der Denkmalpflegelandschaft hierzulande eine Organisation, die sich um die Vermittlung von Kernkompetenzen in der praktischen Denkmalpflege einsetzt und entsprechende Trainingsprogramme anbietet. Dass entsprechende Modelle jedoch funktionieren können zeigen z.B. die Arbeit der Niederländischen Monumentenwacht, die ein beispielgebendes Monitoring-Programm entwickelt hat (Pletinckx 2008)⁵ oder die englische SPAB, die in Kursen praktische Bau- und Werkstoffliche Kenntnisse vermittelt, und das seit über einhundert Jahren.

Monitoring

Nach zweijähriger Standzeit stehen die Mörtel grundsätzlich betrachtet stabil da. Teilbereiche der rechten Mörtelfläche und ein kleinerer Bereich der linken Mörtelfläche sind jedoch leicht ab. Insbesondere an der linken Mörtelfläche mit zementgebundenem Werk trockenmörtel ist vereinzelt auch eine leichte Schalenbildung der oberen Mörtelbereiche zu verzeichnen. Dies spricht für Frostsprengung in Folge von Durchfeuchtung.

Wahrscheinlich ist die rückseitige Beregnung der Mauer für die Durchfeuchtung und Frostsprengung im Winter verantwortlich zu machen. Angesichts einer derartigen Feuchtebelastung mit einem entsprechend drastischen Schädigungspotential zeigen beide Mörtel Verluste an der Oberfläche. Diese ersten Beobachtungen lassen den Schluss zu, dass sowohl hydraulisch als auch rein kalkgebundene Mörtel für eine Restaurierung einsetzbar sind.

Zum anderen unterstreichen die Beobachtungen die Dringlichkeit eine Ruine - gemäß der erfolgten Bestandsaufnahme - als Baukörper im Raum zu begreifen. Erste Restaurierungsschritte haben deshalb insbesondere an besonders gefährdeten oder belasteten Bereichen zu erfolgen, um den Bestand von weiteren Restaurierungsmaßnahmen zu gewährleisten.

Umso erfreulicher ist deshalb, dass die Bereiche, die in Folge der Bestandsaufnahme als besonders gefährdet angesehen wurden, derzeit von der Stiftung Thüringischer Schlösser und Gärten restauratorisch bearbeitet werden. Als Schwerpunkt der Arbeiten wird derzeit die Kanzlei und die Reste des Kellers des Herrenhauses bearbeitet (Abb.16, 17). Die leitende Architektin greift für die Arbeiten auch hinsichtlich der Restaurierungsmörtel auf die Erkenntnisse des Projektes zurück.



Abb. 16. Ergebnis von Restaurierungsarbeiten in der Kanzlei.

Eine Schlüsselfunktion kommt der regelmäßigen Beobachtung der Situation, der Inspektion und einem regelmäßig zu terminierenden Monitoring zu. Auf Grundlage der Bestandsaufnahme können hierfür ehrenamtlich aktive Personen, als auch die zahlreichen Burgwarte, die heute schon Anstellung auf zahlreichen Anlagen erfahren mit einbezogen werden. Niemand kennt in der Regel die Objekte besser als dieser Personenkreis, niemand kann Veränderungen am Baukörper schneller erkennen. Viele dieser langjährigen Begleiter haben das Schicksal der Gebäude und Objekte über Jahre verfolgt und darüber hinaus ein persönliches Interesse ausgebildet. Nicht wenige fungieren neben Ihrer Funktion als Wächter heute auch als Fremdenführer.



Abb. 17. Sicherungs- und Restaurierungsarbeiten im Keller des Herrenhauses.

Auch kleinere Reparaturarbeiten könnten nach einer kurzen Schulung, ohne Probleme von örtlichem Personal durchgeführt werden. Dasselbe gilt für das regelmäßige Monitoring der konservatorischen Bestandsaufnahme. Die tatsächliche Festlegung von Handlungs- und Reparaturphasen sollte hingegen mit einem Fachverantwortlichen abgesprochen und sinnvoll koordiniert werden.

Angesichts der unzähligen Ruinen und begrenzten finanziellen Mittel fällt und steht jedoch alles mit der Sensibilisierung und Qualifizierung der örtlichen Kapazitäten. Jede Erhaltungsmaßnahme, die das ehrenamtliche Engagement der zahllosen Initiativen und die heute schon eingesetzten personellen Kapazitäten nicht aktiv in Erhaltungskonzepte mit einbezieht, muss sich damit von vorneherein in Frage zu stellen. Dass Bereitschaft zur aktiven Teilhabe besteht, dokumentieren die zahlreichen Erhaltungsmaßnahmen in ehrenamtlicher Trägerschaft an den Drei Gleichen in eindrucksvoller Weise. Auch wenn einzelne Restaurierungsmaßnahmen hierbei hin und wieder nicht dem Stand der Technik entsprechen, so ist den Ausführenden kein Vorwurf zu machen. Vielmehr ist festzustellen, dass den Aktiven vor Ort eine denkmalpflegerische Beratung, eine unterstützende Ausbildung und Betreuung der eigentlich zuständigen Stellen weitgehend versagt geblieben ist, was in erster Linie als ein strukturelles Defizit aufzufassen ist. Bis heute fehlt in der Denkmalpflegelandschaft hierzulande eine Organisation, die sich um die Vermittlung von Kernkompetenzen in der praktischen Denkmalpflege einsetzt und entsprechende Trainingsprogramme anbietet.

Veranstaltung und Workshop

Im Nachgang an das Projekt wird deshalb mit Vertretern des Vereins, der sich um den Erhalt der Mühlburg kümmert eine Veranstaltung und ein kleiner Workshop organisiert werden. Hierzu werden auch alle Zuständigen Personen und Vereinigungen eingeladen, die sich um den Erhalt der anderen beiden Burganlagen bemühen.

Vorgestellt werden sollen zum einen das hier skizzierte Modell für eine konservatorische Bestandsaufnahme. Zum anderen soll auf die unterschiedlichen Materialien, die an den Burganlagen verbaut wurden, eingegangen werden und die Verträglichkeit unterschiedlicher Ergänzungs- und Restaurierungsmaterialien diskutiert werden.

In dem Workshop sollen entsprechende Restaurierungsmaterialien in situ angewendet werden. Hierbei handelt es sich in erster Linie um Mörtel auf Kalkbasis sowie auf hochgebrannten Gips.

Literatur

- Diakumaku, E., Gorbushina, A. A., Krumbein, W. E., Panina, L., Soukharjevski, S. (1995). Black fungi in marble and limestones- an aesthetical, chemical and physical problem for the conservation of monuments. *Sci. Total. Environ.* 167,295-304.
- Jahresbericht aus dem Messnetz des Umweltbundesamts (1998). Umweltbundesamt Berlin 1999
- Török, A., Müller, C., Hüpers, A., Hoppert, M., Weiss, T., Siegesmund, S. (2007). Differences in texture, physical properties and microbiology of weathering crust and host rock: a case study of the porous limestone of Budapest (Hungary). *Geol. Soc. Spec. Publ.* 271, 261-276.
- Visser, H. (2005). Abschlussbericht Optimierung und Erprobung dauerhafter Gipsmörtel für die Instandsetzung umweltgeschädigter historischer Bauten. Norddeutsches Zentrum für Materialkunde und Kulturgut, e.V., Hannover.
- Wedekind, W., Fischer, H., Krantz, A. (2008). Protection of the sandstone facades in Petra by new conservation techniques and reactivation of ancient drainage systems and mortars. Beitrag für die VI International Conference: Science and Technology in Archaeology and Conservation, 9. - 13. Dezember 2008 Rom. Italien.
- Rieffel, Y., Huettich, C., Eiden, M. (2004). Zum konservatorischen Umgang mit den Architekturoberflächen im Kapitelsaal und Kreuzgang von Kloster Michaelstein. *Denkmalpflege in Sachsen-Anhalt*, 12, S. 52-59.

Transfer von Informationen in die Öffentlichkeit

Ein wesentlicher Aspekt des Projekts sollte durch den Transfer der Projektidee- und Ausführung in die Öffentlichkeit sein.

Die durchgeführten Umfragen und ihre Analyse (siehe Kap. Kulturlandschaftsentwicklung und Tourismus) ergaben eine Übersicht zu dem Ist-Zustand und einige Ansatzpunkte für eine bessere touristische Inwertsetzung der Burgen. Diese kann erreicht werden durch eine ansprechende, authentische Informationsvermittlung basierend auf „Landschaftsinterpretation“, bei der die Geschichte, das Typische der Zeit, Geschichten und Sagen erfahrbar gemacht werden. Da die Motivationen der Besucher und ihre Aktivitäten unterschiedlich sind, wäre es erforderlich, die verschiedenen Besuchersegmente zielgruppengenau anzusprechen. In diesem Zusammenhang sollten auch die *Infrastruktur und touristische Beschilderung* im Auge behalten werden. Gerade der Erreichbarkeit sowie der guten Wegeführung müssen besondere Aufmerksamkeit gewidmet werden. Dass in diesen Bereichen Optimierungsbedarf besteht, zeigen die Daten zur Zufriedenheit der Burgbesucher. Im Rahmen des Projektes sind auf diesem Weg einige wichtige Ziele erreicht worden.

Realisiert wurde dies, neben Ankündigungen in den regionalen Zeitungen, durch mehrere Fernsehberichte des MDR (zur Eröffnung der Ausstellung auf der Mühlburg am 13. Mai 2011 [Thüringen-Journal]), zu den Arbeiten zur Restaurierung [Thüringen Spezial am 15. Juni 2011] und zur Natur/Kulturlandschaft der Drei Gleichen [Unterwegs in Thüringen, geplanter Sendetermin Mitte August 2011]). Daneben sind die Projekte auch in der lokalen Presse vorgestellt worden.

Im Dezember 2010 sind das Buch "Die Drei Gleichen – Baudenkmäler und Naturraum" (Edition Leipzig, Leipzig, Auflage 750 Expl.) sowie ein Jahreskalender (Druckmedienzentrum Gotha, mit Unterstützung des NABU, Kreisverband Gotha, 600 Expl.) zu dem Projekt erschienen (Abb. 18). Buch und Kalender befassen sich allgemein verständlich mit allen Projektteilen, beziehen aber auch die Kompetenz von in der Region tätigen Fachleuten mit ein.

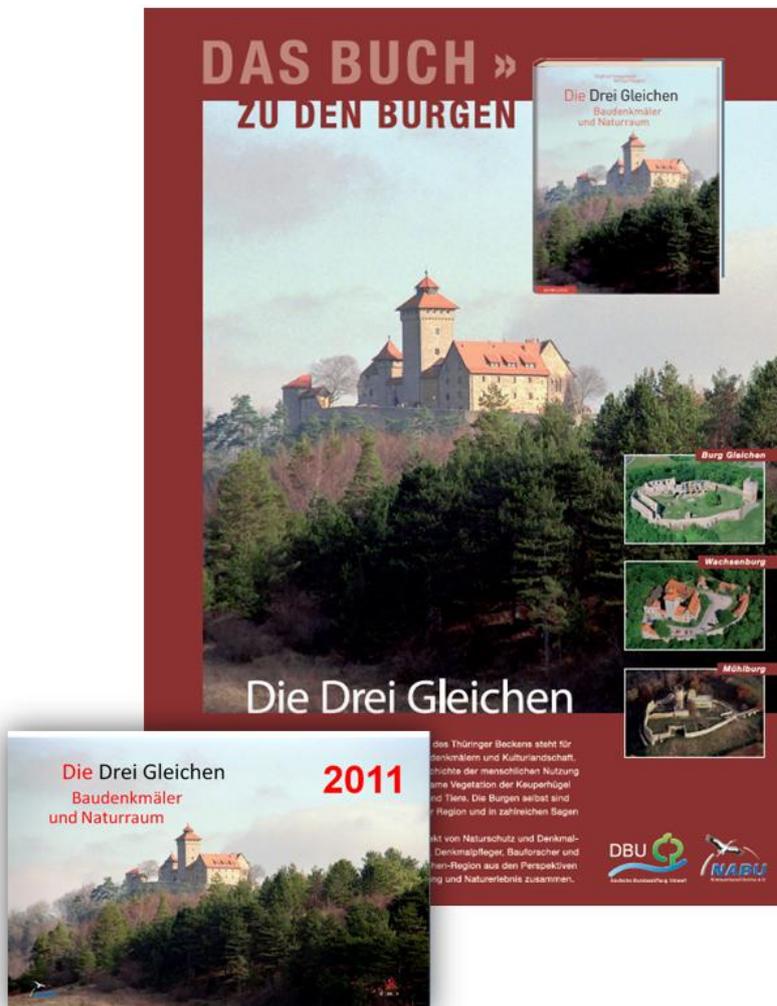


Abb. 18. Buchankündigung und Kalender "Die Drei Gleichen - Baudenkmäler und Naturraum"

Eine Dauerausstellung zu dem Projekt mit zahlreichen Informationstafeln ist am 13. Mai 2011 mit Unterstützung der Gemeinde Mühlberg fertiggestellt und der Öffentlichkeit übergeben worden (Abb. 19-21). Die Ausstellung soll die Projektergebnisse und ihre Folgerungen verknüpfen mit den bestehenden Besonderheiten der regionalen Kulturlandschaft.

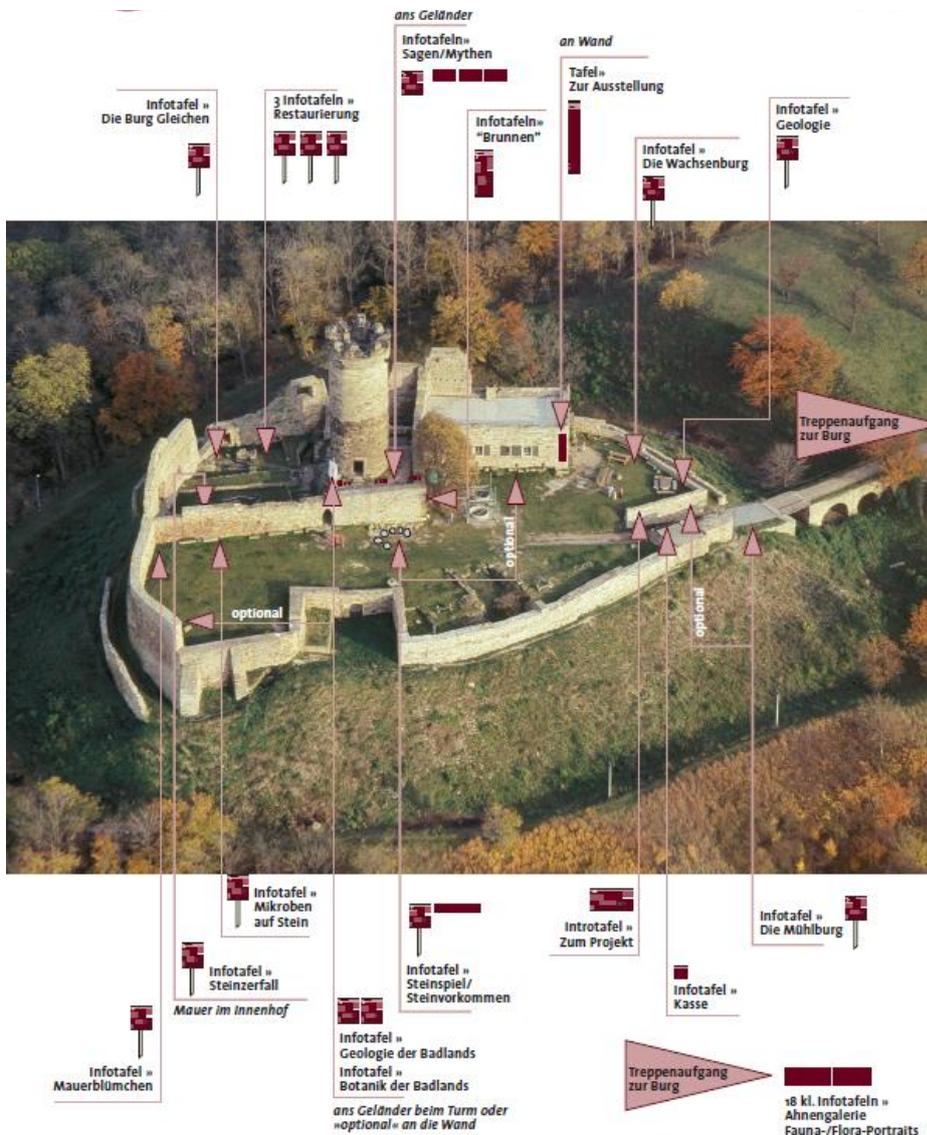


Abb. 19. Plan zur Ausstellung auf der Mühlburg

Der Besucher wird schon durch den Aufgang zur Mühlburg mit kleinen Tafeln, die wichtige Elemente der Flora und Fauna zeigen und kurz beschreiben, auf die Mühlburg begleitet. Auf der Mühlburg wurden bereits vorhandene Bestandtafeln ausgetauscht und gegen Tafeln mit einem einheitlichen Layout (vgl. Abb. 19) ausgetauscht. Unterschiedliche Hintergrundfarben differenzieren zwischen Hinweistafeln und dem Projekt zugeordneten Tafeln.

Die Tafeln sind im Außenbereich der Burg angebracht (Abb. 19, 21) und erläutern in kurzen anschaulichen Texten die Zusammenhänge zur Geologie und Landschaftsentwicklung, zur Verwitterung von Natursteinen, zur Denkmalpflege allgemein und bezogen auf die Burgen, zur Mauer als Lebensraum für Mikroorganismen und höhere Pflanzen, zur Burgengeschichte und zu Sagen und Mythen. Ein interaktives "Steinspiel" soll den Besucher dazu anregen, die wichtigen Natursteine zu erkennen und wiederzufinden (Abb. 21 oben).

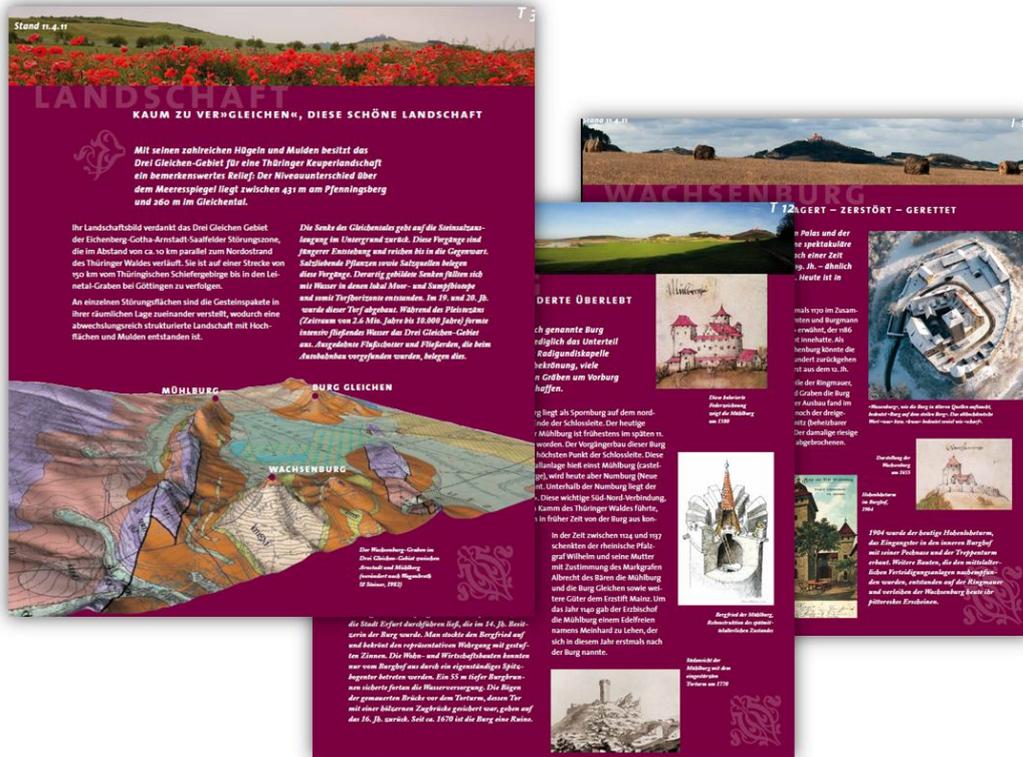


Abb. 19. Einige der Informationstafeln zur Dauerausstellung auf der Mühlburg



Abb. 20. Zur Eröffnung der Ausstellung auf der Mühlburg