

Schönheider Guss GmbH

## **Einsatz von Gießerei-Altsand bei der farbigen Behälterglasherstellung**

Abschlussbericht über ein Projekt,  
gefördert unter dem AZ. 34046/01 von der Deutschen Bundesstiftung Umwelt

von:

Frank Gleißner, Elke Radtke, Dr. Kaled Al-Hamdan, Dr. Marc Lüpfer

November 2018



**SCHÖNHEIDER GUSS** GMBH  
Gießerei für Eisenmetalle

Schönheider Guss GmbH

**Einsatz von Gießerei-Altsand bei der  
farbigen Behälterglasherstellung**

Abschlussbericht über ein Projekt,  
gefördert unter dem AZ. 34046/01 von der Deutschen Bundesstiftung Umwelt

von:

Frank Gleißner, Elke Radtke, Dr. Khaled Al-Hamdan, Dr. Marc Lüpfer

Schönheide, 12.11.2018



**Franke** GTS  
Ingenieurbüro



TECHNISCHE UNIVERSITÄT  
BERGAKADEMIE FREIBERG  
Die Ressourcenuniversität. Seit 1765.

06/02

**Projektkennblatt**  
der  
**Deutschen Bundesstiftung Umwelt**



Az	<b>34046</b>	Referat	<b>21/2</b>	Fördersumme	<b>117.522 €</b>
----	--------------	---------	-------------	-------------	------------------

**Antragstitel**                      **Einsatz von Gießerei-Altsand bei der farbigen Behälterglasproduktion**

**Stichworte**                      Gießerei, Glasindustrie, Abfallverwertung

Laufzeit	Projektbeginn	Projektende	Projektphase(n)
<b>13,5 Monate</b>	<b>15.06.2017</b>	<b>31.07.2018</b>	<b>01</b>

Zwischenbericht                      17.01.2018

<b>Bewilligungsempfänger</b>	Schönheider Guss GmbH	Tel	+49 3775/512-0
	Alte Auerbacher Str. 26	Fax	+49 3775/512-39
	08304 Schönheide	Projektleitung	
		Dipl.-Ing. Frank Gleißner	
		Bearbeiter	
		Gleißner, Radtke, Dr. Al Hamdan, Dr. Lüpfert	

**Kooperationspartner**                      Bundesverband der Deutschen Gießerei-Industrie e.V.  
TU Bergakademie Freiberg Professur für Glas- und Emailtechnik

***Zielsetzung und Anlass des Vorhabens***

In den Gießereien werden jährlich ca. 24 Mio. Tonnen Sand als Formstoff eingesetzt. Für den beim Produktionsprozess anfallenden Gießereialtsand sind neue Verwertungsstrategien zu entwickeln. Steigende Deponie- und Transportkosten, knapper werdende Deponiereserven, die Notwendigkeit zur Schonung der Neusandressourcen und eine Verschärfung der Abfallgesetzgebung erforderten ein Umdenken im Umgang mit Gießereialtsanden.

Die außerbetriebliche Verwertung in Drittindustrien, z.B. die Verwertung im Straßenbau oder in der Zementindustrie, ist möglich aber aus technischen Gründen (u.a. wegen hoher Alkaligehalte) in solchen Industrien mengenmäßig beschränkt und in der Tendenz rückläufig.

Eine Alternative zur außerbetrieblichen Verwertung von Gießereialtsanden kann unter Beachtung technischer Voraussetzungen auch der Einsatz in der Glasindustrie zur Herstellung farbigen Behälterglases sein.

In Vorversuchen konnte die prinzipielle Machbarkeit nachgewiesen werden.

### ***Darstellung der Arbeitsschritte und der angewandten Methoden***

Um diesen völlig neuen Ansatz auf Plausibilität prüfen zu können, muss nach Kenntnis der Zusammensetzung sowie der Schwankungsbreiten der jeweiligen Gießereialtsande umfangreich untersucht werden, inwieweit es durch Abreicherung der für die Glasherstellung schädlichen Komponenten und gleichzeitiger Korrektur des Gemenges in der Glashütte möglich ist, Glasqualitäten zu erzeugen, die zu gleichen Eigenschaften (Farbe, Viskosität, ohne Blasigkeit) führen.

Zur Kompensation negativer Einflüsse der schädlichen Bestandteile im Gießereialtsand auf die Glasherstellung sind Lösungen zu entwickeln und gleichzeitig die Nutzung von im Gießereialtsand für die Glasherstellung nützlichen Komponenten abzusichern. Aus dem Gießereialtsand soll keine Glassandqualität hergestellt werden. Die Abreinigung erfolgt nur in dem Maße wie daraus ein Einsatzprodukt für die farbige Behälterglasherstellung entsteht.

Im Rahmen dieses Projektes sind die Möglichkeiten des Einsatzes von Gießereialtsanden für die Herstellung von farbigem Behälterglas zu überprüfen und die Hindernisse für den Einsatz durch Gemengeveränderungen und die Kalibrierung des Redoxzustandes zu überwinden.

Dazu werden folgende Arbeitspakete behandelt:

- Erarbeitung eines Konzeptes zur Sicherstellung einer konstanten Gießereialtsandqualität durch Klärung der zeitlichen Schwankungen der Zusammensetzung des Sandes im Hinblick auf oxydische, metallische und organische Verbindungen und deren Schwankungen.
- Glastechnologische Charakterisierung der Altsande durch Ermittlung der Korngröße, Korngrößenverteilung und chemischen Zusammensetzung der Sande und Vergleich mit den Eigenschaften des Glassandes zur Ableitung von erforderlichen technologischen Maßnahmen der Sandreinigung
- Erstellung eines Konzeptes für eine Reinigung des Sandes von anhaftenden Metallen.
- Konzeptionelle Untersuchungen zur Minimierung des Feinkornanteiles im Altsand < 63 µm sowie zur Entstaubung
- Schmelzversuche zur Einstellung der Redoxzustände für Grün- und Braunglas sowie zur Einstellung der Redoxzustände
- Einfluss der Gießereialtsande auf das Schmelzverhalten des Gemenges (Restquarzlösezeit, Läuterung und Schaumbildung) bei der Grün- und Braunglasherstellung
- Bestimmung der Anforderungen an die Grenzwerte der Sandqualität nach den vorgegebenen Glaseigenschaften
- Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen

### ***Ergebnisse und Diskussion***

Die innerhalb eines Jahres untersuchten Gießereialtsande weisen erhebliche Schwankungen in der Zusammensetzung aus, besonders bei den Kohlenstoff- und Eisenoxid-Gehalten vor und nach der Reinigung.

Die Abtrennung der metallischen Verunreinigungen aus dem Gießereialtsand ist möglich, muss jedoch weiter untersucht werden.

Die Körnungsverteilung des gereinigten Gießereialsandes entspricht der von Glassand. Der geringere Feinkornanteil verbessert das Einschmelzen.

Die Versuche zeigen, dass sich die Reaktionskinetik der Kohlenstoffträger beim Schmelzvorgang erheblich unterscheidet. Dies erweist sich als kritisch für das Erschmelzen von reduktionssensiblen Gläsern wie Braunglas, kann jedoch produktionstechnisch ausgeglichen werden.

Die Viskositätsmessungen bei den hergestellten Gläsern mit und ohne gereinigten Gießereialsand weisen eine relative Übereinstimmung auf.

Bei beherrschbarer Rohstoffvorbereitung kann der gereinigte Gießereialsand bei der Herstellung farbigen Behälterglases eingesetzt werden. Vorzugsweise sollte dies bei der Braunglasherstellung erfolgen.

Bei der Herstellung von Rohglas ist der anteilige Einsatz von Gießereialsand nur unter Einsatz von Oxidationsmitteln wie Nitrat- und/oder Sulfat-Salzen möglich. Hier sind insbesondere Umweltaspekte zu berücksichtigen. Eine wirtschaftliche Darstellbarkeit ist nicht gegeben.

Bei der Herstellung von Steinwolle (Basaltfaser) spielen die Zusammensetzung und der Redoxzustand eine untergeordnete Rolle. Hier ist der Einsatz von Gießereialsand möglich.

Überschlägige Berechnungen zur Wirtschaftlichkeit bestätigen, dass eine Verwertung der Gießereialsande in der Glasindustrie nach der erforderlichen Aufbereitung keine Kostennachteile für die Gießerei bringt. Vielmehr bietet dieser Verwertungsweg eine langfristige und zuverlässige Lösung für die Entsorgungssicherheit von Gießereien.

### **Öffentlichkeitsarbeit und Präsentation**

Zunächst erfolgt die Prüfung der Ergebnisse dahingehend, inwieweit daraus Schutzrechte angemeldet werden können.

Nach der Entscheidung wird der Bundesverband der Deutschen Gießerei-Industrie die Ergebnisse seinen Mitgliedern präsentieren. Erste Informationen für die Glasindustrie gibt es anlässlich der *glasstec* – Internationale Fachmesse der Glasindustrie Düsseldorf im Oktober 2018.

Zur FIRE-Fachtagung im September 2019 ist ein Vortrag vorgesehen.

### **Fazit**

Die ursprüngliche Annahme, dass eine stoffliche Verwertung von bisher zu deponierenden Gießereialsanden nach einer mechanischen Reinigung bei der Braunglasherstellung prinzipiell möglich ist, fand ihre Bestätigung. Darüber hinaus eignen sich diese auch für die Herstellung von Steinwolle (Basaltfasern). Damit wurde die Voraussetzung geschaffen, um unter Einbindung von Unternehmen der Glas- und Mineralfaserindustrie Untersuchungen für eine praxisrelevante Umsetzung beginnen zu können.

Deutsche Bundesstiftung Umwelt  
0541/9633-0

□ 49096 Genshain □ Tel  
□ Fax 0541/9633 □ <http://www.dbu.de>

# Inhaltsverzeichnis

Einsatz von Gießerei-Altsand bei der farbigen Behälterglasherstellung.....	1
<b>Projektkennblatt.....</b>	<b>2</b>
<b>1 Zusammenfassung.....</b>	<b>9</b>
<b>2 Empfehlungen für das weitere Vorgehen .....</b>	<b>10</b>
<b>3 Einleitung .....</b>	<b>10</b>
<b>4 Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse im Berichtszeitraum .....</b>	<b>11</b>
<b>4.1 Probenahme.....</b>	<b>11</b>
<b>4.2 Reinigung der Gießereialtsande .....</b>	<b>12</b>
4.1.1 Entwicklung und Aufbau der Versuchsanlage sowie Versuchsdurchführung .....	12
4.1.2 Reinigung von Gießereialtsanden der Schönheider Guss GmbH.....	13
4.1.3 Altsandproben aus weiteren Gießereien .....	16
<b>4.3 Glastechnologische Untersuchungen Gießereialtsand Schönheider Guss GmbH.....</b>	<b>18</b>
4.3.1 Untersuchung der Korngrößenverteilung .....	18
4.3.2 Bestimmung der Kornform des Sandes .....	19
4.3.3 Chemische Zusammensetzung des ungereinigten und gereinigten GAS .....	20
4.3.4 XRD- Analyse zur Bestimmung der metallischen Eisen .....	21
4.3.5 Schmelzversuche zur Farbeinstellung .....	22
4.3.6 Versuche zur quantitativen Bestimmung der Kohlenstoffträger im Altgießereisand.....	22
4.3.7 Schmelzversuche zum Einsatz des gereinigten GAS bei der Herstellung von Grünglas ohne Scherben .....	23
4.3.8 Viskositätsmessung der hergestellten Grüngläser mit und ohne gereinigtem GAS .....	26
4.3.9 Einsatz des gereinigten Gießereialtsands in der Braunglasherstellung ohne Scherben	27
4.3.10 Viskositätsmessung der hergestellten Braungläser mit und ohne gereinigtem GAS ...	29
4.3.11 Einsatz von gereinigtem GAS bei dunklen Grünglasherstellung unter Einsatz 70 % Mischscherben .....	29
4.3.12 Einsatz von gereinigtem GAS bei hellen Grünglasherstellung unter Einsatz Mischscherben .....	31
4.3.13 Einsatz des gereinigtem GAS bei Braunglasherstellung unter Einsatz von Braunscherben .....	32
4.3.14 Läuterung des Glases beim Einsatz von gereinigtem GAS .....	34
4.3.15 Einsatz des gereinigten GAS bei Herstellung vom Rohglas .....	34
4.3.16 Einfluss der Gießerei-Altsande auf das Schmelzverhalten des Gemenges .....	35
<b>4.4 Schmelzversuche für Wasserglas .....</b>	<b>36</b>
<b>4.5 Einsatz des Gießereisandes bei der Herstellung von Basaltfasern .....</b>	<b>36</b>
<b>4.6 Wirtschaftlichkeit des Einsatzes von Gießereialtsandes bei der Rohglasherstellung .....</b>	<b>37</b>
<b>5. Glastechnologische Untersuchungen an weiteren Gießereialtsanden .....</b>	<b>37</b>
<b>5.1 Schmelzversuche Grünglas – Mischproben/Einzelproben (wo nur eine vorhanden):.....</b>	<b>39</b>
<b>5.2 Schmelzversuche Braunglas – Mischproben/Einzelproben (wo nur eine vorhanden):.....</b>	<b>41</b>
<b>5.3 Vergleich Grünglas- und Braunglasherstellung bei einer durchschnittlichen Produktion in einer Glaswanne von ca. 150 t Glas/Tag .....</b>	<b>43</b>
<b>6. Kostenabschätzungen/Wirtschaftlichkeit .....</b>	<b>43</b>
<b>6.1 Reinigungstechnologie auf Basis der kleintechnischen Versuchsanlage .....</b>	<b>44</b>
<b>6.2 Reduzierung des Kohlenstoffgehaltes und Beseitigung von metallischem Eisen im Gießereialtsand mittels Intensivmischung .....</b>	<b>45</b>
<b>7. Fazit.....</b>	<b>45</b>
<b>8. Literaturverzeichnis .....</b>	<b>48</b>

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Kleintechnische Versuchsanlage .....	12
Abbildung 2: Paddelmischer .....	12
Abbildung 3: Ausgangsmaterial im Fass(unbehandelt) .....	13
Abbildung 4: Rückstände auf Sieb; Maschenweite 0,5 mm .....	13
Abbildung 5: Formensand, Kernsand, Fe-Tropfen, Fe-Flocken .....	13
Abbildung 6: Rückstände 1. Durchlauf; Aussonderung 1,8 – 3,7 % .....	14
Abbildung 7: Rückstände 12. Durchlauf ; Aussonderung 0,4 – 1,0 % .....	14
Abbildung 8: fest klebende Anbackungen; auf Schutzrohren Magnet .....	14
Abbildung 9: Rückstände 1. Durchlauf; Aussonderung 3,9 – 5,8 % .....	14
Abbildung 10: Rückstände 10. Durchlauf; Aussonderung 0,7 – 1,2 % .....	14
Abbildung 11: Magnetische Wirkung vor Siebung 0,5 mm (Fass 12) .....	15
Abbildung 12: Magnetische Wirkung nach Reinigung (Fass 12) .....	15
Abbildung 13: Magnetisch ausgesondertes Material .....	15
Abbildung 14: Kornform des Altgießereisandes .....	19
Abbildung 15: Kornform des Glassandes .....	19
Abbildung 16: XRD-Analyse der Probe 3 .....	21
Abbildung 17: XRD-Analyse der Probe 7 .....	21
Abbildung 18: Die Proben 1Wg, 2Wg, normierte Transmissionskurve und Farbortdarstellung .....	24
Abbildung 19: Die Proben 1W, 2W2, normierte Transmissionskurve und Farbortdarstellung .....	25
Abbildung 20: Die Proben 3W2r, 4W2r, normierte Transmissionskurve und Farbortdarstellung .....	26
Abbildung 21: Viskositätskurven der Proben 1W und 2W2 .....	26
Abbildung 22: Viskositätskurven der Proben 3W2r und 4W2r .....	27
Abbildung 23: Die Proben 5Wg, 6Wg, normierte Transmissionskurve und Farbortdarstellung .....	28
Abbildung 24: Die Proben 5W2, 6W, normierte Transmissionskurve und Farbortdarstellung .....	28
Abbildung 25: Viskositätskurven der Proben 5W2 und 6W .....	29
Abbildung 26: Die Proben 1SgOA, 2SgOA, normierte Transmissionskurve .....	30
Abbildung 27: Die Proben 1Sr, 2Sr, normierte Transmissionskurve und Farbortdarstellung .....	31
Abbildung 28: Die Proben 3L, 4L, normierte Transmissionskurve und Farbortdarstellung .....	32
Abbildung 29: Die Proben 5Sg, 6Sg, normierte Transmissionskurve und Farbortdarstellung .....	32
Abbildung 30: Die Proben 5Sgk, 6Sr3k, normierte Transmissionskurve und Farbortdarstellung .....	33
Abbildung 31: Die Proben 1Sr4, 6Sgr, normierte Transmissionskurve und Farbortdarstellung .....	34
Abbildung 32: Schaumglas recht hergestellt aus Glassand und links aus anteiligen Einsatz von GAS .....	35

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Siebrückstände, magnetische Aussonderungen der Fässer 1 bis 12 .....	13
Tabelle 2: Siebanalyse Ausgangsprobe vor der Reinigung.....	16
Tabelle 3: Siebanalyse nach der Reinigung.....	16
Tabelle 4: Abgesonderte Korngrößen und abgeschiedene magnetische Massen.....	17
Tabelle 5: Korngrößenanalyse der Altgießereisanden (gereinigt und ungereinigt), neuem Gießereisand sowie einem typischen Glassand HB (Sand Hohenbocka) .....	18
Tabelle 6: ICP- Analyse Ergebnisse der Altgießereisanden (gereinigt und ungereinigt), neuem Gießereisand sowie einem typischen Glassand (Sand Hohenbocka 24) .....	20
Tabelle 7: Ein Vergleich der Eisenoxid-, Glühverlust- und Kohlenstoffgehaltsbereich von Glassand und GAS.....	21
Tabelle 8: ICP-Analyse der Schale <100 µm und des Kornes >100 µm von Gießereisand Pr. 3 und 7 .....	22
Tabelle 9: Restkohlenstoffgehalt im Glasgemenge nach dem Schmelzen 20 Minuten bei 650°C und 1000°C in Abhängigkeit vom Kohlenstoffträger.....	23
Tabelle 10: chemische Zusammensetzung des gereinigten GAS 3 .....	23
Tabelle 11: Gemengesätze des Grünlasses anteilig mit GAS bzw. Glassand .....	24
Tabelle 12: Farbort , Farboxide, Kohlstoff, GAS und Redoxzahl der Proben 1Wg und 2Wg .....	24
Tabelle 13: Farbort , Farboxide und Redoxzahl der Proben 1W und 2W2 .....	25
Tabelle 14: Farbort , Farboxide und Redoxzahl der Proben 3W2r und 4W2r.....	25
Tabelle 15: Farbort , Farboxide und Redoxzahl der Proben 5Wg und 6Wg .....	27
Tabelle 16: Farbort , Farboxide und Redoxzahl der Proben 5W2 und 6W .....	28
Tabelle 17: Gemengesätze des Grünlasses anteilig mit Altgießereisand bzw. Glassand unter Einsatz von Scherben.....	29
Tabelle 18: Farbort , Farboxide und Redoxzahl der Proben 1SgoA und 2SgoA.....	30
Tabelle 19: Farbort , Farboxide und Redoxzahl der Proben 1Sr und 2Sr.....	31
Tabelle 20: Farbort , Farboxide und Redoxzahl der Proben 3Lkp und 4Lkp .....	31
Tabelle 21: Farbort , Farboxide und Redoxzahl der Proben 5Sg und 6Sg .....	32
Tabelle 22: Farbort , Farboxide und Redoxzahl der Proben 5Sgk und 6Sr3k .....	33
Tabelle 23: Farbort , Farboxide und Redoxzahl der Proben 5Sr4 und 6Sgr.....	33
Tabelle 24: Zusammensetzung des Rohglases .....	35
Tabelle 25: Gemengesatz eines Rohglases mit Glassand und anteilige Gießereialsand .....	35
Tabelle 26: Restquarzlösezeit in einer Schmelze aus Glassand und anteilige Einsatz von Gießereialsand .....	36
Tabelle 27: Zusammensetzung Basaltfaser.....	36
Tabelle 28: Chemische Analysen der gereinigten Sande.....	37
Tabelle 29: Glühverluste bei verschiedenen Temperaturen .....	38
Tabelle 30: Grünglasproben .....	39
Tabelle 31: Braunglasproben.....	41
Tabelle 32: Vergleich des Einsatzes von Altsandmengen.....	43
Tabelle 33: Kostenabschätzung der Aufbereitung von Gießereialsand .....	45

## Grafikverzeichnis

Grafik 1: Abnahme der Probenmasse nach durchgeführten Durchläufen .....	15
Grafik 2: Abnahme der Probenmasse nach durchgeführten Durchläufen .....	17

## 1 Zusammenfassung

Die Untersuchungen zur Verwertung bisher deponierter Gießereialtsande hatten zum Ziel, ein Ansatz zu kreieren, um Ressourcen zu schützen, das Aufkommen mineralischer Abfälle zu senken und langfristig den vorwiegend als KMU operierenden Gießereien eine entsorgungstechnische Perspektive zu bieten. Wesentliches Ziel ist die Schonung natürlicher Ressourcen (Quarzsand), deren Bereitstellung mit schwerwiegenden Eingriffen in die Umwelt verbunden ist.

Die Charakterisierung des untersuchten Gießereialtsandes weist erhebliche Anteile an oxydischen, organischen und metallischen Verunreinigungen aus. Zunächst wurde für die ins Vorhaben eingebundenen Gießereien eine einheitliche Probenahmestrategie entwickelt, um Informationen zu den Unterschieden in der Beschaffenheit der Altsande und den monatlichen Schwankungsbreiten zu erhalten.

Zur Abreinigung des Gießereialtsandes wurden metallische Verunreinigungen magnetisch abgetrennt und unerwünschte Feinanteile mittels Fluidisierung und Entstaubung reduziert. Die innerhalb eines Jahres untersuchten Gießereialtsande zeigen starke Schwankungen der Zusammensetzung, insbesondere beim Gehalt an Kohlenstoff und Eisenoxid. Im gereinigten Sand liegen die Gehalte an Kohlenstoff bei 2-3%, an  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  bei 0,7-1,9%, an Schwefel zwischen 0-0,07% und beim Glühverlust bei 3-7%. Derartig starke Schwankungen in der Zusammensetzung des gereinigten Gießereialtsandes sind in der Glasindustrie nicht zulässig. Der Eisenoxidgehalt der üblicherweise eingesetzten Glassande bei der Behälterglasherstellung beträgt 0,02-0,08% und der Glühverlust 0,14-0,18 %. Eine weitere Reduzierung der Gehalte von Eisenoxid, Kohlenstoff und metallischem Eisen mittels Attrition (intensiver Mischung) ist möglich, erhöht jedoch den Aufwand der Abreinigungsprozesse.

Bei der Produktion von Olivglas (unter Einsatz von 70% Mischscherben) kann anteilig 15% und bei Braunglas bis ca. 40% (unter Einsatz von 50% Braunscherben) gereinigter Gießereialtsand eingesetzt werden. Die Versuche zeigen, dass sich die Reaktionskinetik der Kohlenstoffträger erheblich unterscheidet. Dies erweist sich als kritisch für das Erschmelzen von reduktionssensiblen Gläsern, deshalb ist für den Einsatz von gereinigtem Gießereialtsand bei der Herstellung von Buntglas ein entsprechender Reinigungsaufwand erforderlich. Bei beherrschbarer Rohstoffvorbereitung kann der Gießereialtsand bei der Herstellung farbigen Behälterglases grundsätzlich eingesetzt werden.

Die Untersuchungen haben gezeigt, dass der anteilige Einsatz von gereinigtem Gießereialtsand (20%) bei der Herstellung von Rohglas zur Schaumglasherstellung nur unter Einsatz von Oxidationsmitteln wie Nitrat- und/oder Sulfat-Salzen möglich ist. Zusammenfassend ist festzustellen, dass der Einsatz von Gießereialtsand bei der Rohglasherstellung weder wirtschaftlich noch umweltfreundlich ist.

Bei der Herstellung von Steinwolle (Basaltwolle) spielen die Zusammensetzung und der Redoxzustand des Gießereialtsandes eine untergeordnete Rolle. Hier ist der Einsatz vollständig möglich.

Überschlägige Berechnungen zur Wirtschaftlichkeit bestätigen, dass eine Verwertung der Gießereialtsande in der Glasindustrie für die Gießereien mindestens kostenneutral darstellbar ist.

## **2 Empfehlungen für das weitere Vorgehen**

Die Projektbearbeitung erfolgte durch die Eisengießerei Schönheider Guss GmbH, den Bundesverband der Deutschen Gießerei-Industrie e.V. und die TU Bergakademie Freiberg in Zusammenarbeit mit dem Ingenieurbüro Franke GlasTechnologie-Service sowie mit Unterstützung durch acht weitere Gießereien.

Das Vorhaben erhielt durch die Deutsche Bundesstiftung Umwelt eine Förderung (Aktenzeichen 34046/01).

## **3 Einleitung**

In den Gießereien wird Sand eingesetzt, welcher als Füllstoff den Hauptbestandteil des Formstoffes bei Gießvorgängen bildet. Zur Erhöhung der Festigkeit der Gussformen werden Formstoff-Bindemittel zum Sand gemischt (1). Diese Bindemittel sind organischer oder anorganischer Natur. Steigende Deponie- und Transportkosten, knapper werdende Deponiekapazitäten, die Notwendigkeit zur Schonung der Neusandressourcen (2) und die Verschärfung der Abfallgesetzgebung (3) erforderten ein Umdenken im Umgang mit Gießereialsanden.

Der Formsand wird nach dem Abgießen des Metalls aufbereitet und mehrfach verwendet. Ein Teil muss u.a. aufgrund mechanischen und thermischen Verschleißes ausgeschleust und als Abfall entsorgt werden. Eine tatsächliche Verringerung der Abfallmenge wird hauptsächlich durch Regenerierungsanlagen mittels aufwändiger mechanischer und/oder thermischer Prozesse durchgeführt und im Wesentlichen von großen Gießereien praktiziert (4), (5). Aufgrund des hierfür notwendigen hohen Energieaufwandes wird die thermische Regenerierung auch zukünftig nur für wenige Gießereien relevant sein.

Eine Alternative zur außerbetrieblichen Verwertung von Gießereialsanden kann unter Beachtung technischer Voraussetzungen auch der Einsatz in der Glasindustrie, z.B. zur Herstellung farbigen Behälterglases, sein. Die Verwertung der Gießereialsande in der Glasindustrie ist nicht unproblematisch. Zwar ist die Korngrößenverteilung der Gießereisande fast identisch mit den eingesetzten Sanden in der Glasindustrie, kritisch ist aber die Höhe der Belastung des Sandes mit organischen Bestandteilen, der erhöhte Eisenoxid-Anteil und die metallischen Verunreinigungen. Diese Verunreinigungen können beim Einsatz solcher Sande in der Glasherstellung u.a. zu einem Läuterproblem (Blasenbildung), zur Schaumbildung, Farbveränderungen und metallischen Einschlüssen führen. Im Rahmen dieses Projektes wurde die Möglichkeit der Verwertung bisher deponierter Gießereialsande bei der Herstellung von Buntgläsern und Rohglas für die Schaumglasproduktion untersucht. Wesentliche Ziele sind die Schonung natürlicher Ressourcen - die Quarzsandgewinnung ist mit schwerwiegenden Eingriffen in die Natur verbunden - und die Einsparung von Deponieraum durch die stoffliche Verwertung der Gießereialsande.

## 4 Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse im Berichtszeitraum

Im Rahmen dieses Projektes sollte die technologische Einsetzbarkeit von Gießerei-Altsanden in der Behälterglasindustrie (grünes und braunes Glas) und als Rohglas für die Schaumglasherstellung sowie in der Wasserglasindustrie mittels Engineering und Laboruntersuchungen bewertet werden, um Hindernisse für den Einsatz in der Glasindustrie auszuräumen. Dabei werden die Gießerei-Altsande (z.T. gekürzt als GAS) vor und nach dem Abreinigungsprozess charakterisiert sowie Korrekturen des Gemenges und des Redoxzustandes unternommen.

Die Untersuchungen umfassen die glastechnologische Charakterisierung der Gießereialtsande durch Ermittlung der Korngröße, Korngrößenverteilung und chemischen Zusammensetzung der Sande und ein Vergleich mit den Eigenschaften des Glassandes zur Ableitung von erforderlichen technologischen Maßnahmen für die Sandreinigung.

### 4.1 Probenahme

Ziel war, die Entnahme von repräsentativen Proben in den beteiligten Gießereien unter gleichen Bedingungen abzusichern. Für jede Gießerei wurde ein Probenahmeplan in Anlehnung an die LAGA PN 98 „Richtlinie für das Vorgehen bei physikalischen, chemischen und biologischen Untersuchungen im Zusammenhang mit der Verwertung/Beseitigung von Abfällen“ der Länderarbeitsgemeinschaft Abfall (LAGA) erstellt.

Probenahmeplan (allgemein):

Zeitraum	Anzahl Proben Volumen	Anzahl Mischproben	Verwendung	Rückstellung
Arbeitstag	2 Stück Tagesprobe je 0,5 l		Tagesprobe = 1 x 0,5 l	davon je 1 Stück  Tagesprobe
Woche	5 Stück  Schichtproben je 0,5 l	1 Stück Wochenprobe je 2,5 l	Abfüllung in ein Fass (z.B. 10 l)	
Monat	4 Stück  Wochenproben je 2,5 l	1 Stück Monatsprobe je 10,0 l	Abfüllung in ein Fass (z.B. 30 l)	
Quartal	3 Stück  Monatsproben je 10,0 l	1 Stück Quartalsprobe 30,0 l	Abfüllung in ein Fass (z.B. 30 l)	

Im Ergebnis wurde von den jeweiligen Gießereien für die vereinbarten Altsande (1 bis 3 verschiedene Sorten) in der Regel ein Fass (Gebinde 30 Liter) aller 3 Monate (im Untersuchungszeitraum bis max. 4 Fässer) zur Untersuchung versandt. Teilweise konnten einige Gießereien aufgrund firmeninterner Engpässe weniger Fässer ausliefern. Von allen genannten Gießereien wurde der Inhalt von gesamt 29 Quartalsfässern untersucht und von magnetischen Bestandteilen gereinigt.

Die Probennahme erfolgt bei der Schönheider Guss GmbH vor dem Einlauf zum Druckgefäß für die pneumatische Altsand-Förderung.

## 4.2 Reinigung der Gießereialsande

### 4.1.1 Entwicklung und Aufbau der Versuchsanlage sowie Versuchsdurchführung

Die kleintechnische Versuchsanlage zur Abreinigung der Altsande besteht aus den Teilen Aufgabetrichter, Förderrinne, Fluidisierung, Magnetscheider und Auffanggefäß.

Abläufe für die Versuchsdurchführung:

#### 1. Sieben

- Absiebung von Klumpen > 0,5 mm
- Siebanalyse des ungereinigten Ausgangsmaterials (ohne Klumpen)

#### 2. Mehrere Reinigungsläufe durch einen Magnetscheider

- bis Fass Nr. 5: 1 Magnetscheider, 12 Durchläufe
- ab Fass Nr. 6: 2 Magnetscheider, 10 Durchläufe

#### 3. Berechnung der Differenz der abgeschiedenen magnetischen Masse

#### 4. Siebanalyse des gereinigten Materials



Abbildung 1: Kleintechnische Versuchsanlage

Weiterhin gab es Maßnahmen zur Erhöhung der Reinigungsintensität:

1. Magnetwechsel 2 mal je Durchlauf bei 50% und 100%
2. Einsatz eines zweiten Magnetscheiders
3. Auftrennen der Kornhülle durch einen Paddelmischer



Abbildung 2: Paddelmischer

Die Untersuchungen ergaben:

- die Entstehung von dunklem staubintensivem Feinkorn,
- stark kohäsive Anhaftungen an Behälterwandungen, bedingt durch elektrostatische Aufladung,
- die Abtrennung des Feinkornes durch die Magnetabscheider als Resultat der elektrostatischen Aufladung,
- die Verwendung des Paddelmischers reduziert den Anteil an Kohlenstoff durch Aufbrechen der Kornhülle.

#### 4.1.2 Reinigung von Gießereialsanden der Schönheider Guss GmbH

Die Klassiersversuche ergaben folgende Ergebnisse:



Abbildung 3: Ausgangsmaterial im Fass (unbehandelt)



Abbildung 4: Rückstände auf Sieb; Maschenweite 0,5 mm



Abbildung 5: Formensand, Kernsand, Fe-Tropfen, Fe-Flocken

Die Siebrückstände > 0,5 mm haben einen Anteil von 8,0 bis 15,2 %.

Tabelle 1: Siebrückstände, magnetische Aussonderungen der Fässer 1 bis 12

Bezeichnung	Versuchsbedingung	Masse Rest					Aussonderung			
		ungesiebt [kg]	abgesiebt [kg]	1. DL [kg]	10. DL [kg]	12. DL [kg]	abgesiebt > 0,5 mm	1. DL abgesiebt	10. DL abgesiebt	12. DL abgesiebt
Fass 1	ohne Entst., ohne Fluid.	10,00	9,08	8,92	8,44	8,35	9,20%	1,76%	7,05%	8,04%
Fass 2	ohne Entst., ohne Fluid.	10,00	8,90	8,74	8,04	8,18	11,00%	1,80%	9,66%	8,09%
Fass 2	mit Entst., mit Fluid.	10,00	8,48	8,18	7,86	7,58	15,20%	3,54%	7,31%	10,61%
Fass 3	mit Entst., mit Fluid.	10,00	8,88	8,66	8,11	8,02	11,20%	2,48%	8,67%	9,68%
Fass 4	mit Entst., mit Fluid.	10,00	9,08	8,88	7,94	7,78	9,20%	2,20%	12,56%	14,32%
Fass 5	mit Entst., mit Fluid.	10,00	9,20	8,86	7,88	7,72	8,00%	3,70%	14,35%	16,09%
Fass 6	Entst., Fluid., 2.Magnet	8,28	7,66	6,72	5,68	5,52	7,49%	12,27%	25,85%	27,94%
Fass 7	Entst., Fluid., 2.Magnet	10,00	9,20	8,84	7,66	7,52	8,00%	3,91%	16,74%	18,26%
Fass 8	Entst., Fluid., 2.Magnet	10,00	9,14	8,76	7,48		8,60%	4,16%	18,16%	
Fass 9	Entst., Fluid., 2.Magnet	10,00	8,92	8,42	7,29		10,80%	5,61%	18,27%	
Fass 10	Entst., Fluid., 2.Magnet	12,00	10,58				11,83%			
			10,00	9,42	8,28			5,80%	17,20%	
Fass 11	Entst., Fluid., 2.Magnet	15,00	13,72				8,53%			
			10,00	9,58	8,48			4,20%	15,20%	
Fass 12	Entst., Fluid., 2.Magnet	15,00	13,62				9,20%			
			10,00	9,60	8,54			4,00%	14,60%	

Anmerkung:

Bei Fass 6 war die Entstaubung zu stark eingestellt und das Material wurde fast vollständig durch die Entstaubung weggesaugt. Daher erfolgte keine Berücksichtigung in der Auswertung.

Die Versuche zur Magnetscheidung ergaben folgende Ergebnisse:

- Verwendung von einem Magnetabscheider (Fass 1 bis Fass 5)

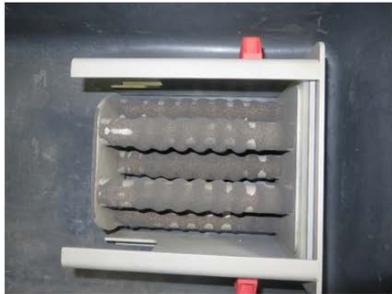


Abbildung 6:  
Rückstände 1. Durchlauf; Aussonderung 1,8 – 3,7 %



Abbildung 7:  
Rückstände 12. Durchlauf; Aussonderung 0,4 – 1,0 %



Abbildung 8:  
fest klebende Anbackungen auf Schutzrohren Magnet

Die magnetischen Aussonderungen betragen bei einem Magneten 8,0 bis 16,1 %

- Verwendung von zwei Magnetabscheidern (Fass 6 bis Fass 12)



Abbildung 9:  
Rückstände 1. Durchlauf; Aussonderung 3,9 – 5,8 %



Abbildung 10:  
Rückstände 10. Durchlauf; Aussonderung 0,7 – 1,2 %

Die magnetischen Aussonderungen betragen bei zwei Magneten 14,6 bis 18,3 %



Abbildung 11: Magnetische Wirkung vor Siebung 0,5 mm (Fass 12)

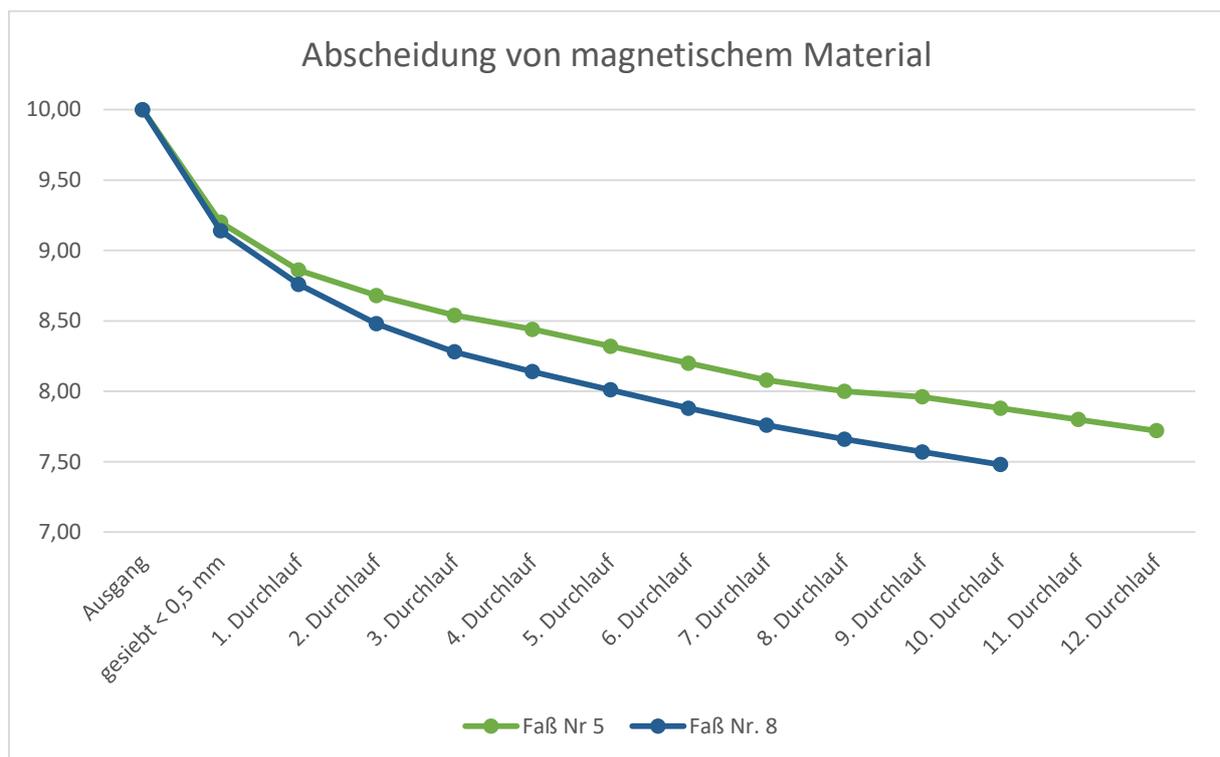
Abbildung 12: Magnetische Wirkung nach Reinigung (Fass 12)

Abbildung 13: Magnetisch ausgesondertes Material

Die magnetischen Aussonderungen bei zwei Magneten sind höher.

Es haften jedoch auch nach dem 12. bzw. 10. Durchlauf noch magnetisch wirkende Reststoffe an den Magnetabscheidern (z.B. Bentonit).

Der Einsatz der Luft-Fluidisierung verbunden mit Entstaubung der Übergabestelle Förderrinne – Kaskadenrohr führt zu einer Erhöhung der magnetischen Aussonderung.



Grafik 1: Abnahme der Probenmasse nach durchgeführten Durchläufen



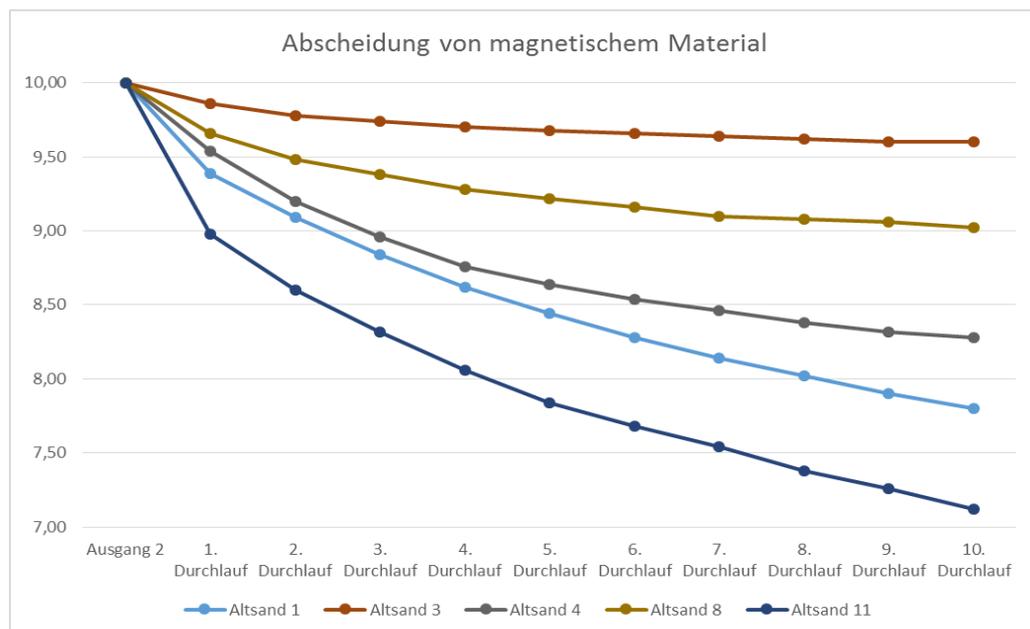
- Gießerei 4 (Stahlguss)
  - Gießerei 5 (Eisen-, Stahl-, NE-Guss)
  - Gießerei 6 (Eisenguss)
  - Gießerei 7 (Stahlguss)
  - Gießerei 8 (Eisenguss)
- Altsand 5 (Alphaset-Sand)
  - Altsand 6
  - Altsand 7 (Furanharzsand gebunden)
  - Altsand 8 (Furanharzsand ungebunden)
  - Altsand 11 (Grünsand)
  - Altsand 9 (Alphaset-Sand)
  - Altsand 10

Nachfolgend eine Übersicht für jede Altsandsorte über deren Durchschnittswerte für abge-sonderte Korngrößen und abgeschiedene magnetische Massen:

Tabelle 4: Abgesonderte Korngrößen und abgeschiedene magnetische Massen

Bezeichnung	Magnete	Siebanteil		Magnetische Aussonderung	nutzbarer Altsandanteil		
		> 0,5 mm	< 0,1 mm		ohne	mit Ausbeute 90%	
		Mittelw.	Mittelw.	Aufbereitung Grobanteil			
		[%]	[%]	[%]			[%]
	[Stück]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	
Altsand 1	2	17,9%	0,2%	18,8%	63,0%	79,2%	
Altsand 2	2	36,3%	1,4%	1,7%	60,6%	93,3%	
Altsand 3	2	10,4%	2,1%	5,3%	82,2%	91,5%	
Altsand 4	2	8,7%	8,0%	21,1%	62,3%	70,1%	
Altsand 5	2	46,7%	0,5%	2,2%	50,7%	92,7%	
Altsand 6	2	5,7%	1,1%	2,9%	90,3%	95,5%	
Altsand 7	1	54,8%	0,4%	5,4%	39,4%	88,7%	
Altsand 8	1	3,2%	0,5%	10,0%	86,3%	89,2%	
Altsand 9	1 (2xMW)	12,9%	0,1%	18,2%	68,8%	80,4%	
Altsand 10	2	11,0%	1,9%	25,9%	61,2%	71,1%	
Altsand 11	1	29,0%	2,6%	22,6%	45,8%	71,9%	

Darstellung von ausgewählten Altsandsorten über die typische Abnahme der Restmassen nach jedem Durchlauf, bezogen auf eine Ausgangsmasse von 10 kg, 2 Magneten und 10 Durchläufe:



Grafik 2: Abnahme der Probenmasse nach durchgeführten Durchläufen

Nach dem Absieben > 0,5 mm entspricht die Korngrößenverteilung in den meisten Fällen im Wesentlichen den Anforderungen der Glasindustrie. Der Anteil Unterkorn < 0,1 mm beträgt 0,1 – 1,5 %. Es treten jedoch auch sortenabhängig Extremfälle bis 10,7 % auf.

Nach der Reinigung reduziert sich der Anteil Unterkorn < 0,1 mm auf weniger als 0,1%. Ursachen sind Staubabscheidungen durch die Entstaubungsanlage (Übergabepunkt Förderrinne in Fallrohr) sowie vermutlich elektrostatische Anhaftungen an den Magneten.

### 4.3 Glastechnologische Untersuchungen Gießereisand Schönheider Guss GmbH

#### 4.3.1 Untersuchung der Korngrößenverteilung

Für die Untersuchung der Korngrößenverteilung wurde eine Siebanalyse nach DIN 66165 mit den verschiedenen GAS (gereinigt und ungereinigt), neuem Gießereisand sowie einem typischen Glassand HB (Sand Hohenbocka) durchgeführt. Die Trockensiebung mit einem Siebturm erfolgte unter Verwendung von Prüfsieben mit den Maschenweiten 1000 µm; 3150 µm und 5000 µm. Die erhaltenen Messwerte sind in der Tabelle 5 dargestellt.

Tabelle 5: Korngrößenanalyse der Altgießereisanden (gereinigt und ungereinigt), neuem Gießereisand sowie einem typischen Glassand HB (Sand Hohenbocka)

	> 0,5	0,5-0,315	0,315-0,1	<0,1
	%	%	%	%
Glassand HB	0,58	10,34	87,84	0,34
0 Sand (neue Gießereisand)	0	2,39	96	0,4
1-Ausgang (nicht gereinigte Sand/ Fass1)	0	2,7	94,7	2,4
1 (nur magnetisch ger. Sand / Fa1)	0	2,35	96,4	0,7
2-A (nicht ger. Sand/ Fa2)	0,08	7,2	90,3	2,03
2-1 (mag. ger. Sand / Fa2)	0	5,5	93,4	0,5
2-2 (mag. ger. Sand, Entstaubt, Fluidisierung/ Fa2)	0	5,47	93,7	0,16
3-A (nicht ger. Sand/ Fa3)	0	4,7	93,8	1,3
3 (mag. ger. Sand mit Ent, Flui/ Fa3)	0	2,96	96,55	0,3
4-A (nicht ger. Sand / Fa4)	0,07	5,14	92,9	1,7
4 (mag. ger. Sand mit Ent, Flui / Fa4)	0,04	3,74	95,6	0,33
5-A (nicht ger. Sand / Fa5)	0,04	5	93	1,67
5 (mag. ger. Sand mit Ent, Flui / Fa5)	0,19	4,5	94,9	0,17
6-A (nicht ger. Sand / Fa6)	0,02	3,7	94,2	1,5
6 (mag. ger. Sand mit Ent, Flui / Fa6)	0,03	1,9	97,5	0,4
7-A (nicht ger. Sand / Fa7)	0,03	7,3	90,5	1,6
7 (mag. ger. Sand mit Ent, Flui / Fa7)	0,03	2,15	97,5	0,06

8-A (nicht ger. Sand / Fa8)	0,06	5,25	92	2,1
8 (mag. ger. Sand mit Ent, Flui / Fa8)	0,2	3,85	95,8	0,05
9-A (nicht ger. Sand / Fa9)	0,54	7,49	89	2,15
9 (mag. ger. Sand mit Ent, Flui / Fa9)	0,07	3,2	96,3	0,09
10-A (nicht ger. Sand / Fa10)	0,7	6,2	90,4	2,7
10 (mag. ger. Sand mit Ent, Flui / Fa10)	0,06	4,3	95,6	0,06
11-A (nicht ger. Sand / Fa11)	0,9	4,5	93	1,6
11 (mag. ger. Sand mit Ent, Flui / Fa11)	0,05	3,1	96,15	0,7
12-A (nicht ger. Sand / Fa12)	0,9	4,5	93	1,6
12 (mag. ger. Sand mit Ent, Flui / Fa12)	0,05	3,1	96,15	0,7

Anhand der ermittelten Werte in der Tabelle 5 ist ersichtlich, dass die Korngrößenverteilung des gereinigten GAS der des Glassandes ähnlich ist. Daher ist nicht mit technologischen Schwierigkeiten aufgrund der Korngrößenverteilung zu rechnen. Nach dem Einsatz des Sandes in der Gießerei als Formenmaterial erhöht sich der Feinanteil (< 0,1 mm). Dessen Zunahme ist vermutlich auf die Zugabe von Bindemitteln wie Bentonit, Steinkohlenstaub, Graphit und weitere organische Komponenten für den Einsatz als Gießereiform und auf auftretende Verunreinigungen zurückzuführen, denn der Feinanteil nimmt durch die verschiedenen Reinigungsschritte ( Fluidisierung und Entstaubung) wieder deutlich ab. Der Staubanteil und der Grobanteil sind für gereinigte GAS deutlich niedriger als bei Glassand und das soll positiv auf das Schmelzverhalten wirken.

#### 4.3.2 Bestimmung der Kornform des Sandes

Aus den Abbildungen ist ersichtlich, dass die Kornform des GAS rund dagegen die Kornform des Glassandes eckig ist.

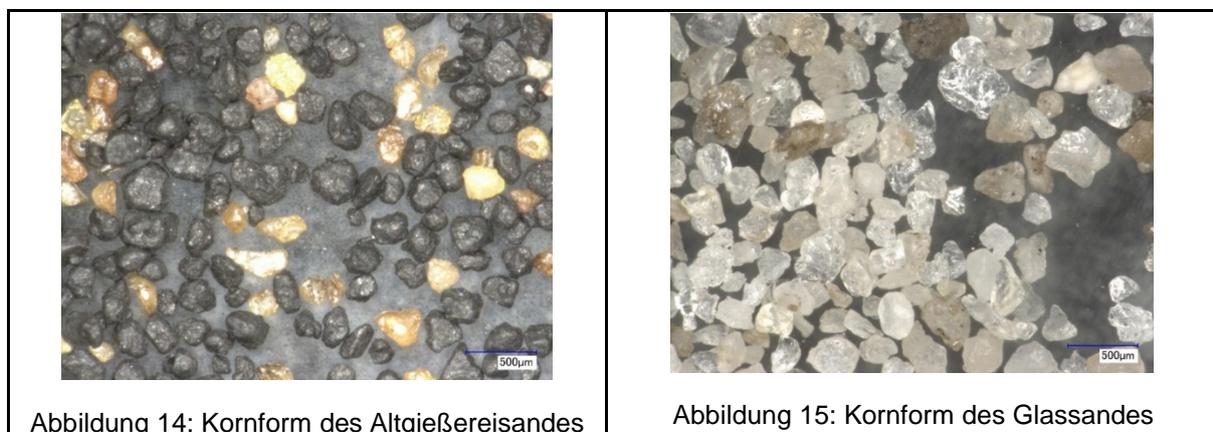


Abbildung 14: Kornform des Altgießereisandes

Abbildung 15: Kornform des Glassandes

### 4.3.3 Chemische Zusammensetzung des ungereinigten und gereinigten GAS

Im nächsten Schritt wurde die chemische Zusammensetzung des ungereinigten und der gereinigten (ger.) GAS mittels magnetischer Abscheider (mag.) ohne und mit Fluidisierung (Flui) und Entstaubung (Entst.) sowie des Glassandes nach DIN 51086 durch eine ICP-Analyse untersucht. Dabei wurden folgende Werte ermittelt, s. Tabelle 6.

Tabelle 6: ICP- Analyse Ergebnisse der Altgießereisanden (gereinigt und ungereinigt), neuem Gießereisand sowie einem typischen Glassand (Sand Hohenbocka 24)

Probennummer	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> %	TiO <sub>2</sub> %	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> %	ZnO %	BaO %	MnO %	Ni <sub>2</sub> O %	C %	S %
Glassand Hohenbocka 24	0,03		0,035						
1-Ausg. (nicht ger. Sand)	2,14	0,07	0,77	0,003	0,02	0,01	0,00	2,54	0,03
1 (ger. Sand ohne Flui )	1,99	0,04	0,68	0,002	0,01	0,007	0,00	2,01	0,00
2-A (nicht ger. Sand)	2,61	0,08	0,77	0,000	0,02	0,01	0,00	2,57	0,03
2-1 (ger. Sand ohne Flui)	2,14	0,04	0,73	0,002	0,01	0,007	0,00	2,28	0,03
2-2 (ger. Sand mit, Flui)	1,89	0,04	0,64	0,002	0,01	0,006	0,00	1,91	0,00
3-A (nicht ger. Sand)	2,22	0,06	0,78	0,003	0,01	0,009	0,00	2,33	0,03
3 (ger. Sand, Ent, Flui)	2,1	0,04	0,71	0,002	0,01	0,007	0,01	2,01	0,03
4-A (nicht ger. Sand)	3,54	0,07	1,06	0,000	0,02	0,013	0,02	3,11	0,04
4 (ger. Sand)	2,37	0,08	0,740	0,000	0,01	0,012	0,00	2,58	0,03
5-A (nicht ger. Sand)	3,98	0,09	1,36	0,000	0,02	0,019	0,00	4,3	0,05
5 (ger. Sand)	2,54	0,05	0,82	0,000	0,01	0,010	0,00	2,47	0,03
6-A	6,51	0,13	2,122	0,003	0,00	0,021	0,00	6,85	0,09
6	3,27	0,06	1,096	0,003	0,00	0,015	0,00	3,14	0,04
7- A Wiederholung	2,99	0,10	1,002	0,003	0,01	0,000	0,00	3,02	0,04
7-A	8,19	0,16	2,6	0,004	0,00	0,033	0,00	8,56	0,12
7	6,36	0,11	1,93	0,004	0,00	0,022	0,00	5,75	0,07
8-A	3,95	0,1	1,37	0,003	0,00	0,016	0,00	3,85	0,04
8	2,73	0,05	0,91	0,002	0,00	0,009	0,00	2,72	0,07
9-A	3,27	0,07	0,991	0,004	0,00	0,013	0,00	3,71	0,05
9	2,73	0,05	0,75	0,003	0,00	0,010	0,00	2,66	0,03
10-A	6,11	0,16	1,92	0,005	0,03	0,000	0,00	3,08	0,04
10	4,09	0,13	1,2	0,004	0,02	0,000	0,00	2,78	0,04
11-A	3,06	0,11	1,04	0,003	0,02	0,000	0,00	3,19	0,04
11	2,44	0,05	0,79	0,002	0,01	0,000	0,00	2,41	0,04
12-A	3,05	0,09	0,88	0,003	0,01	0,000	0,00	3,26	0,04
12	2,55	0,06	0,68	0,000	0,00	0,000	0,00	2,55	0,04

As, Cd, Co, Cr, Cu, Li, Mo, Pb, Sb, Sn und V konnten nicht nachgewiesen werden. Sr ist in geringen Spuren vorhanden.

Aus der Tabelle 6 ist ersichtlich, dass der ursprüngliche (neue) Gießereisand, vergleichbar mit Glassand, höhere Anteile an Verunreinigen hat. Durch die Zugabe von Bindemittel und Reduktionsmittel erhöhen sich diese. Nach der magnetischen Abscheidung sinken alle Verunreinigungen. Die zusätzliche Entstaubung und Fluidisierung führt zur besseren Ergebnissen, s. Probe 2. Im gereinigten GAS liegt Kohlenstoffgehalt zwischen 2-3% (Ausnahme Pro-

be 6 und 7) und  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  –Gehalt zwischen 0,7- 1,9% und Schwefelgehalt von 0-0,07%. Auch nach der Reinigung weist der GAS höhere Verunreinigungen als der Glassand (HB) auf. Im eisenoxidreichen Glassand HB24 beträgt der Eisengehalt 0,035 % bei einem Kohlenstoffgehalt nahe null. Die ermittelten Werte der Farboxide  $\text{MnO}_2$ ,  $\text{Ni}_2\text{O}$ ,  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  in dem GAS sind sehr niedrig, sodass keine Verfärbung beim Einsatz des GAS bei Herstellung des Grün- und Braunglases zu erwarten ist. Die Probennahme ist problematisch. Nach der Entnahme einer neuen Sandprobe vom Fass 7 und Wiederholung der Analyse wurde ein erhebliche Unterschied in der Zusammensetzung festgestellt (s. Kohlenstoff in 7-A und 7-A Wiederholung). Der Eisenoxidgehalt der eingesetzten Sande bei der Behälterglasherstellung schwankt zwischen 0,02-0,028% und einem Glühverlust zwischen 0,14 – 0,18 % (Angabe vom Betrieb A). Im gereinigten GAS beträgt der Glühverlust 3,01-7% (ausgenommen der Probe 7 und 8), s. Tabelle 7.

Tabelle 7: Ein Vergleich der Eisenoxid-, Glühverlust- und Kohlenstoffgehaltsbereich von Glassand und GAS

	$\text{Fe}_2\text{O}_3$ %	Glühverlust %	Kohlenstoffgehalt%
Glassand	0,02-0,028	0,14-0,18	0,05-0,07
Gießereialsand	0,7- 1,9	3-7	2-3

#### 4.3.4 XRD- Analyse zur Bestimmung der metallischen Eisen

Die metallischen Verunreinigungen sind bei der Glasherstellung sehr schädlich sowohl für Glasproduktion als auch für das Feuerfestmaterial, deshalb muss der gereinigte GAS metallfrei sein. Die Reinigungsprozesse müssen die Freiheit des GAS von den Metallen garantieren. Die ICP- Analyse liefert nur die Gehalte von metallischen und nicht-metallischen Verunreinigen, deshalb ist eine XRD-Untersuchung zur Bestimmung der kristallinen Speziesart vor und nach der Sandreinigung (GAS) nötig.

Die erste durchgeführte XRD- Analyse von einigen Gießereialsandproben (gereinigt und nicht gereinigt) weist nur die Existenz von Quarz und Ton aber kein metallisches Eisen, Eisenoxid, MgO nach. Dies ist aber an Hand der ICP-Analyse nicht nachvollziehbar. Diese fehlerbehafteten Ergebnisse können begründet werden mit der Konzentration der Elemente unter der XRD-Nachweisgrenze und Zerstörung der Kristalle während der Zerkleinerung der Probe bei der Aufmahlung.

Mit dem Ziel Eisen und Kohlenstoff in der untersuchen GAS anzureichern, wurden die Sandprobe 3 bzw.7 getrennt voneinander eine Stunde im Eirichmischer intensiv gemischt, danach wurden der Sand 3 und 7 in zwei Fraktionen kleiner und größer als 100  $\mu\text{m}$  getrennt. Die angereicherte Fraktion unter 100  $\mu\text{m}$  beider Proben wurde mittels XRD analysiert, s. die Ergebnisse in Abbildung 16 und Abbildung 17.

18050024 3<63 $\mu$ (3-2)		18050025 7<63 $\mu$ (7-2)	
Quartz	$\text{SiO}_2$	Quartz	
Muscovite		Muscovite	
Montmorillonite-14A		Montmorillonite-14A	
Cordierite	$\text{Mg}_2\text{Al}_4\text{Si}_5\text{O}_{18}$	Cordierite	
Anorthite		Anorthite	

Abbildung 16: XRD-Analyse der Probe 3

Abbildung 17: XRD-Analyse der Probe 7

Aus den Abbildungen ist ersichtlich, dass mittels XRD- Analyse keine metallische Reste und kein Kohlenstoff nachzuweisen sind, obwohl die Gehalte an Kohlenstoff und Eisenoxid über der Nachweisgrenze liegen, s. ICP-Analyse beider Proben in der Tabelle 8.

Tabelle 8: ICP-Analyse der Schale <100 µm und des Kornes >100 µm von Gießereisand Pr. 3 und 7

Probenbezeichnung	% TiO <sub>2</sub>	% Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	% Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	% MnO <sub>2</sub>	% NiO <sub>2</sub>	% C	% S
3 (gereinigte Sand) vor der Trennung)	0,05	0,7	2,1	0,007	0,0	2,01	0,03
3-2 (<100µm; 4%, 1 Stunde mischen)	0,27	4,2	14,07	0	0,0	15,47	0,22
3-1 (>100µm; 96%, 1 Stunde mischen)	0,044	0,44	1,66	0,00	0,0	1,770	0,03
7 (gereinigte Sand) vor der Trennung)	0,11	1,93	6,35	0,022	0,0	5,75	0,07
7-2(<100 µm 2,3 %, 1 Stunde mischen)	0,27	4,6	15,5	0	0,0	16,6	0,23
7-1(>100µm 97,7%, 1 Stunde mischen )	0,071	0,61	2,354	0,00	0,0	1,450	0,03

Im Feinanteil <100 µm des GAS wurden mittels Neodym Magnet magnetische Reste nachgewiesen. Diese Reste sind aber uninteressant, weil dieser Anteil in der Fraktion <100 µm auf alle Fälle entsorgt wird.

Die Ergebnisse der ICP-Analyse (s. Tabelle 8) beweisen deutlich, dass die intensive Mischung des GAS ein effektive und sichere Verfahren für die Reduzierung des Kohlenstoffes und Eisen- bzw. Eisenoxidgehalt darstellt.

An Hand dieser Versuch kann ein Reinigungsverfahren für Gießereisand GAS abgeleitet werden, um Kohlenstoff und Eisenoxidgehalt drastisch zu reduzieren und metallische Eisen zu beseitigen.

#### 4.3.5 Schmelzversuche zur Farbeinstellung

Die Bearbeitung umfasst Schmelzversuche (mit und ohne Scherben) zur Bestimmung des maximalen einsetzbaren GAS in Abhängigkeit ihrer chemischen Zusammensetzung für die unterschiedlichen Anwendungen (Grünglas, Braunglas, Rohglas). Dabei sollen ihre Auswirkungen auf die Farbbildung (Redoxzustand, Farbort) und die Viskosität untersucht werden.

#### 4.3.6 Versuche zur quantitativen Bestimmung der Kohlenstoffträger im Altgießereisand

Bei reduzierend hergestellte Gläser, wie Braunglas, werden in gewöhnlicher Weise Reduktionsmittel, wie Steinkohlenstaub in seltenen Fällen Holzkohle, zu gegeben. Die Reduktionsmittel haben unterschiedlichen Redoxpotentiale. Die Kohlenstoffträger wirken auf Grund der unterschiedlichen Verbrennungsgeschwindigkeiten auf Redoxzustand des Glases bei gleichen Kohlenstoffgehalt unterschiedlich. Im Gießereisand resultieren reduzierenden Materialien aus dem Binder (2%Graphit, 17%Steinkohlenstaub, Kohlenwasserstoff; Gießerei-Angaben). Da sich keine direkte Möglichkeit für die Ermittlung der Kohlenstoffträgerart im GAS anbot, wurden gleiche Gemenge mit gleichem Kohlenstoffgehalt 0,187% aber unterschiedlichen Kohlenstoffträgern, wie Graphit , Steinkohlenstaub untersucht. Zum Vergleich wurde ein Gemenge ohne Kohlenstoffanteile vorbereitet. Die thermische Behandlung (Auf-

heizen) erfolgte in zwei Versuchsserien bei 650°C und bei 1000°C. Die Kohlenstoffbestimmung erfolgt mittels das Gerät ELTRA CS-580, bei 1300°C. Zum Vergleich wurden die Proben vor dem Aufheizen bei Raumtemperatur analysiert, s. Tabelle 9.

Tabelle 9: Restkohlenstoffgehalt im Glasgemenge nach dem Schmelzen 20 Minuten bei 650°C und 1000°C in Abhängigkeit vom Kohlenstoffträger

	Gemenge. ohne Kohle und ohne GAS (0C)	Gem. mit Graphit (0,187%C)	Gem. mit Steinkohle (0,187% C)	Gem. mit nur AGS (Kohle 0,187 %)
20°C	3,73	3,92	3,92	4,02
650°C	3,53	3,45	3,43	3,38
1000°C	0,07	0,16	0,07	0,06

Aus der Tabelle kann folgende geschlussfolgert werden:

- In diesem Versuch verhält sich der Kohlenstoffträger im GAS eher als Steinkohlen als Graphitzusatz.
- Kohlenstoff beschleunigt die Zersetzung der Karbonate.
- Die Versuche zeigen, dass sich die Abreicherungskinetik (Verbrennung) der Kohlenstoffträger erheblich sich unterscheidet. Dies erweist sich kritisch für das Erschmelzen von reduktionssensiblen Gläser insbesondere Braungläser. Deshalb ist der Einsatz von GAS bei der Herstellung Buntglas nur unter erheblichen Aufwand möglich.

#### 4.3.7 Schmelzversuche zum Einsatz des gereinigten GAS bei der Herstellung von Grünglas ohne Scherben

Zunächst sollte versucht werden unter Einsatz von GAS 3 (gereinigt, entstaubt, fluidisiert, Tabelle 10) hellgrünes, dunkelgrünes und braunes Glas zu erschmelzen.

Tabelle 10: chemische Zusammensetzung des gereinigten GAS 3

MgO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	K <sub>2</sub> O	CaO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Na <sub>2</sub> O	C	S
%	%	%	%	%	%	%	%
0,4	2,1	0,17	0,33	0,7	0,2	2,0	0,03

Dabei wurden für die jeweiligen Farben übliche Glaszusammensetzungen und Redoxzustände gewählt. Die Gemengeberechnung erfolgte mit dem Programm ‚BatchMaker‘. Für eine Beurteilung der Wirkung des GAS wurden die drei gewählten Referenzzusammensetzungen (dunkelgrün, hellgrün, braun) ebenfalls mit Glassand (als Vergleichsproben) geschmolzen. Die theoretisch berechneten Redoxzahlen sollten dabei in der ersten Versuchsreihe bei der jeweiligen Probe mit GAS und der Probe mit Glassand gleich sein. Anhand des bei der Analyse ermittelten Kohlenstoffanteils im GAS 3 ergibt sich die maximale Zugabemenge an GAS. Die Verunreinigungen wurden durch Anpassung im Gemengesatz ausgeglichen. In der Tabelle 11 ist der Gemengesatz des Grünglases ohne Einsatz von Scherben als Beispiel zur Verdeutlichung der Verfahrensweise bei Gemengerechnung unter anteiligem Einsatz von GAS zu sehen.

Tabelle 11: Gemengesätze des Grünglases anteilig mit GAS bzw. Glassand

Hauptoxidträger	Ohne GAS	mit 16% GAS	Komponente	Anteil [Gew.-%]
	[Gew.-%]	[Gew.-%]		
	1Wg	2Wg		
<b>Feldspat</b>	13,2	10,6	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,4
<b>Eisenoxid</b>	0,065	0	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,37
<b>Soda</b>	23,7	23,7	Na <sub>2</sub> O	14
<b>Sand</b>	59,9	52,8	SiO <sub>2</sub>	71
			K <sub>2</sub> O	0,5
<b>Kalk</b>	11,6	11,6	CaO	9,4
<b>Dolomit</b>	10,8	10,6	MgO	2,26
<b>Chromerz</b>	0,75	0,75	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,33
<b>Sulfat</b>	0,3	0,3	SO <sub>3</sub>	0,32
<b>Kohle</b>	0,2	0		
<b>Gießereisand F3</b>		10		

Aus Wirtschaftlichkeits- und Umweltgründen wurde der Einsatz eines zusätzlichen Oxidationsmittels vermieden. Die Charakterisierung der Farbe erfolgt über Farbortbestimmung, diese beinhaltet Bestimmung der dominierenden Wellenlänge (WL, der Sättigung und der Helligkeit. Die Läuterung wird unter Mikroskop abgeschätzt, siehe Abbildung 18, Tabelle 12.

Tabelle 12: Farbort, Farboxide, Kohlstoff, GAS und Redoxzahl der Proben 1Wg und 2Wg

Probe	Dom. WL	Sättigung	Helligkeit	Übereinstimmung (Überein.)	Redoxzahl (R)	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> %	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> %	C %	GAS %
<b>1Wg</b>	563,3	44	47,6		-52,5	0,37	0,33	0,2	0
<b>2Wg</b>	566,3	54	44,9	nein	-52,9	0,37	0,33	0	16

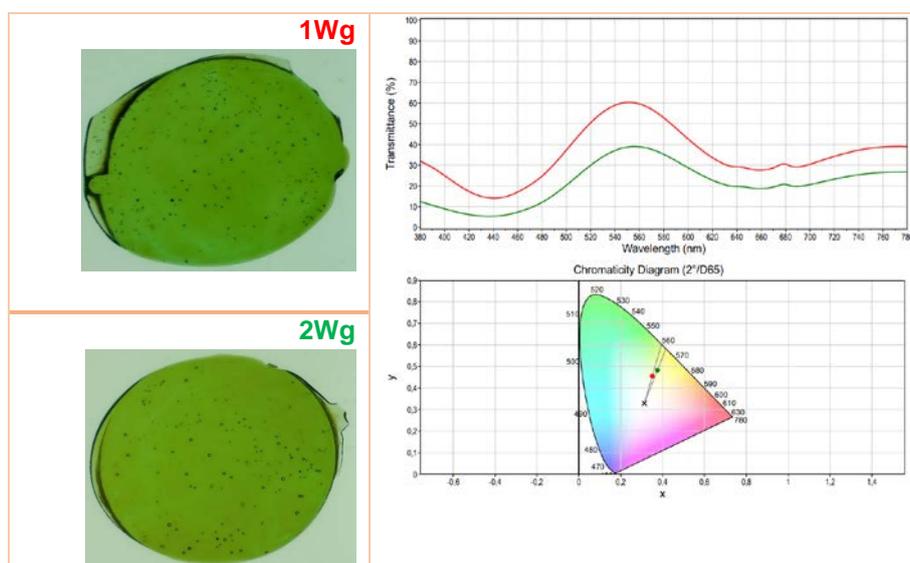


Abbildung 18: Die Proben 1Wg, 2Wg, normierte Transmissionskurve und Farbortdarstellung

Aus den Farbortwerten ist zu erkennen, dass trotz gleicher Redoxzahl und Farboxidanteile keine Farbortübereinstimmung zu erzielen ist.

Die Schmelzversuche wurden deshalb nach Reduzierung der Redoxzahl in der Glasprobe 2Wg durch Reduzierung des GAS-Menges von 16 auf 13% wiederholt. Anhand der Farbortmessungen (s. Abbildung 19 und Tabelle 13) ist eine nun Übereinstimmung mit der Vergleichsprobe zu erkennen.

Tabelle 13: Farbort , Farboxide und Redoxzahl der Proben 1W und 2W2

Probe	WL	Sättigung	Helligkeit	Überein.	R	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> %	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> %	C%	AGS%
<b>1W</b>	560,9	42,7	50,1		-52,59	0,37	0,33	0,2	0
<b>2W2</b>	562,5	42,46	48,8	ja	-45,7	0,37	0,33	0	13

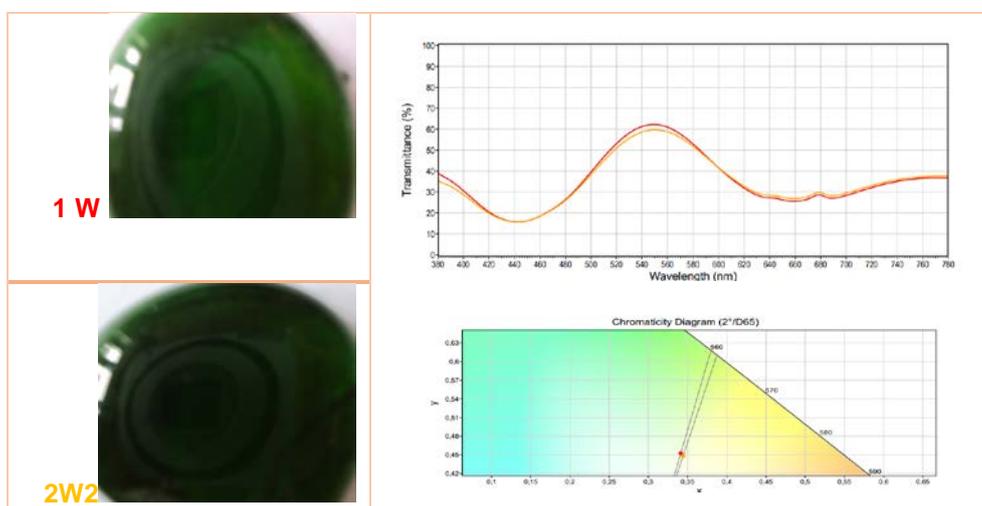


Abbildung 19: Die Proben 1W, 2W2, normierte Transmissionskurve und Farbortdarstellung

Zur Herstellung von Hellgrün glas mit und ohne GAS wurden die Schmelzversuche mit Farboxiden und Kohlenstoff und 9% GAS-Gehalt entsprechend der Darstellung in der Tabelle 14 durchgeführt.

Tabelle 14: Farbort , Farboxide und Redoxzahl der Proben 3W2r und 4W2r

Pr.	WL	Sättigung	Helligkeit	Überein.	R	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> %	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> %	C%	AGS %
<b>3W2r</b>	557,6	18,7	61		-36,79	0,25	0,22	0,15	0
<b>4W2r</b>	555,1	17	61,4	Ja	-27,59	0,25	0,22	0	9

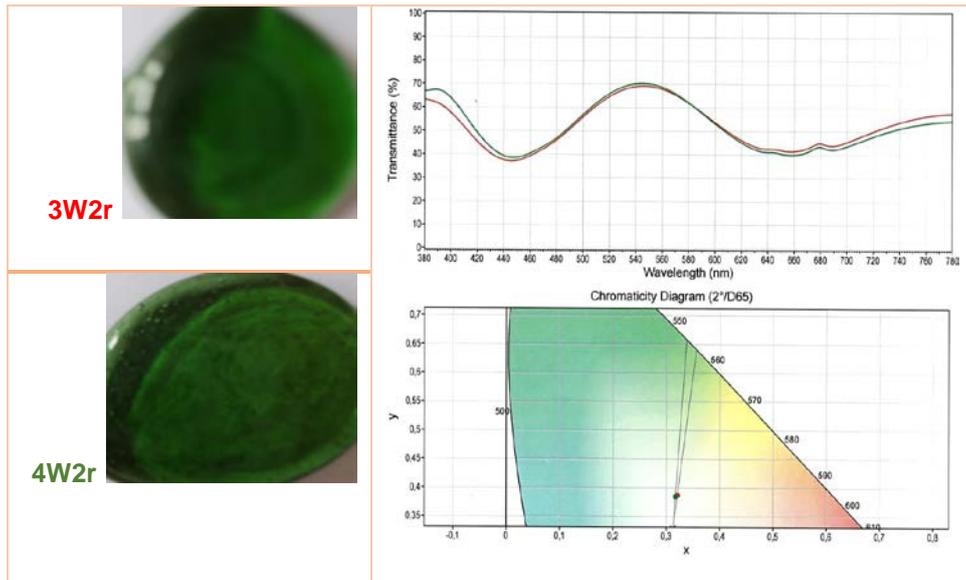


Abbildung 20: Die Proben 3W2r, 4W2r, normierte Transmissionskurve und Farbortdarstellung

Die Farbortmessungen (s. Tabelle 14 und Abbildung 20) weisen eine Übereinstimmung der Farbe von den Proben 3W2r und 4W2r aus.

#### 4.3.8 Viskositätsmessung der hergestellten Grüngläser mit und ohne gereinigtem GAS

Die Gestalt der Viskositätskurve der Glasproben ist wichtig für die Glasformgebung. Sie hängt von Zusammensetzung des Glases ab. In der Abbildung 21 und der Abbildung 22 weisen die Grüngläser mit und ohne GAS-Zusatz weitgehend eine Übereinstimmung aus.

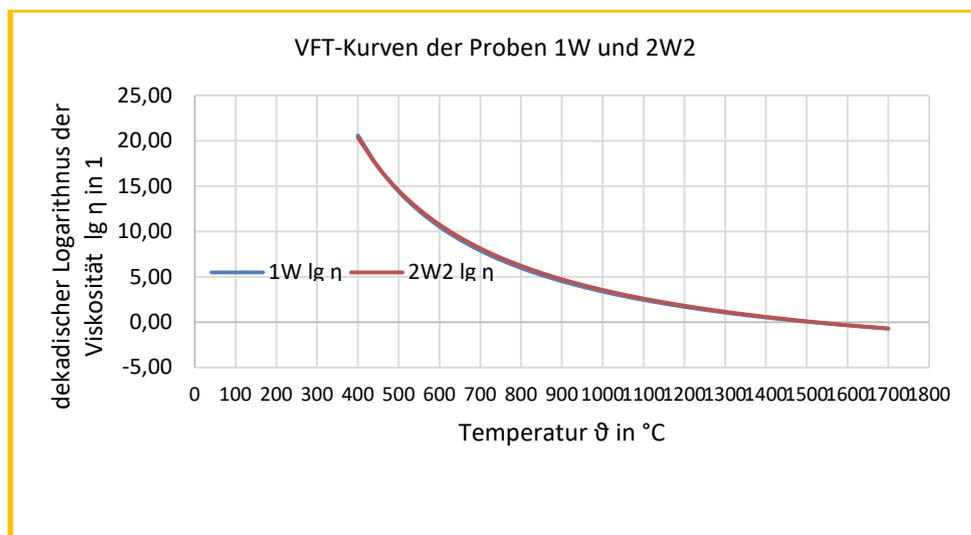


Abbildung 21: Viskositätskurven der Proben 1W und 2W2

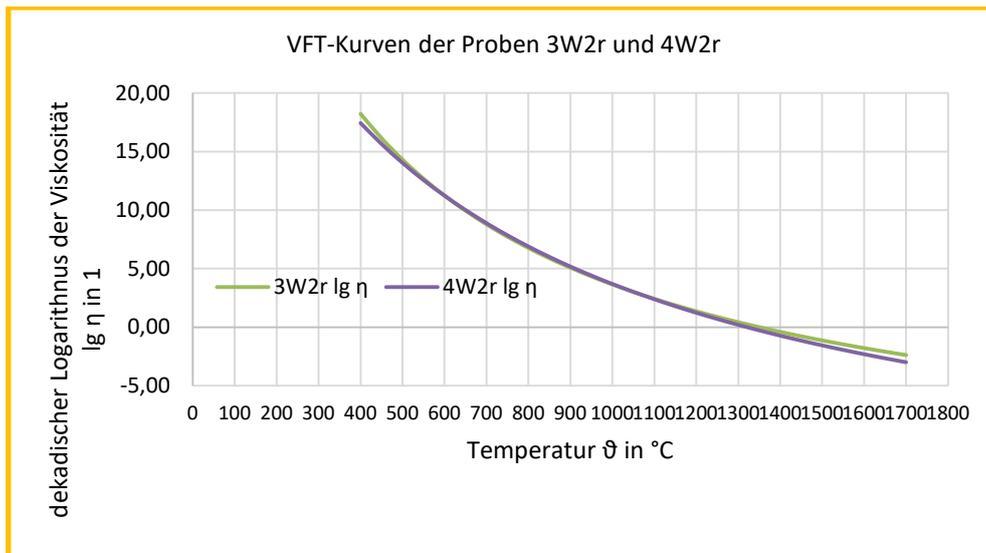


Abbildung 22: Viskositätskurven der Proben 3W2r und 4W2r

Aus den Vergleich der Farbort-Werte der hergestellten Grüngläser mit und ohne GAS (ohne Scherben) kann folgende geschlussfolgert werden:

- Beim anteiligen Einsatz von GAS zur Herstellung von Grüngläser soll die Redoxzahl niedriger liegen als im Normalfall. Dieser Unterschied kann eine Folge der Schwankung im Kohlenstoffgehalt im GAS oder in der Art der Kohlenstoffträger oder Eisengehalt sein. Die Kohlenstoffträger haben verschiedene Redoxpotentiale.
- Der Einfluss der Redoxzahl auf den Schmelzprozess im Zusammenhang mit GAS-Zusätzen ist nicht ohne weiteres anwendbar, da der Unterschied der Redoxzahl nicht mit der Differenz der Farbort-Werte korreliert.

#### 4.3.9 Einsatz des gereinigten Gießereialsands in der Braunglasherstellung ohne Scherben

Nach dem gleichen Ablauf wie beim Grünglas erfolgten die Untersuchungen zum Braunglas. Anhand der Farbortmessungen (s. Abbildung 23 und Tabelle 15) ist keine Übereinstimmung der geschmolzenen Glasprobe mit 18% Gießereialsand mit der Vergleichsprobe trotz der gleichen Redoxzahl sichtbar.

Tabelle 15: Farbort , Farboxide und Redoxzahl der Proben 5Wg und 6Wg

Pr.	WL	Sättigung	Helligkeit	Überein.	R	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> %	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> %	C%	GAS%
5Wg	573,3	38,6	65,5		-36,74	0,27	0	0,187	0
6Wg	575,5	58,4	59,1	nicht	-36,68	0,27	0	0	18

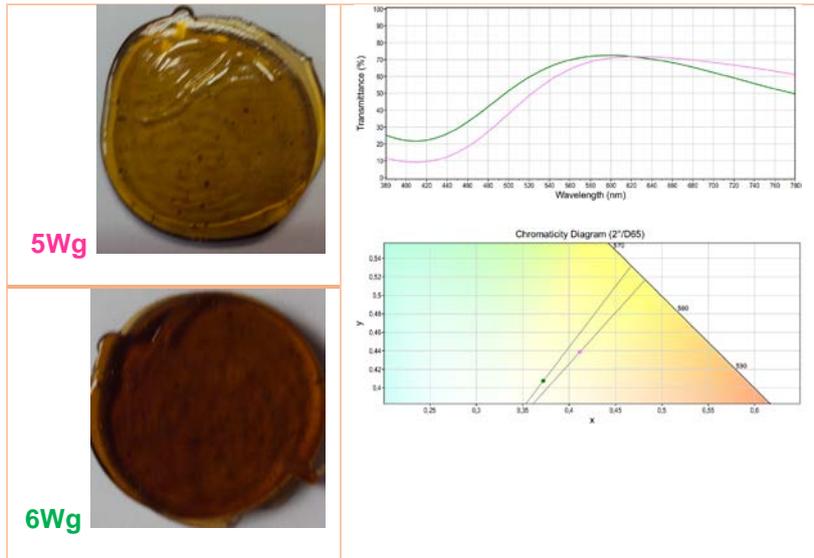


Abbildung 23: Die Proben 5Wg, 6Wg, normierte Transmissionskurve und Farbortdarstellung

Die Schmelzversuche wurden deshalb nach Absenkung der Redoxzahl beim Schmelzen der GAS-haltigen Glasprobe wiederholt. Anhand der Farbortmessungen (s. Abbildung 24 und Tabelle 16) ist eine Übereinstimmung mit der Vergleichsprobe zu erkennen

Tabelle 16: Farbort , Farboxide und Redoxzahl der Proben 5W2 und 6W

Pr.	Dom. WL	Sättigung	Helligkeit	Übereinstimmung	Redoxzahl	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> %	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> %	C%	AGS%
5W2	577,9	79	44,6		-48,85	0,27	0	0,25	0
6W	577,4	77	47	ja	-38,89	0,27	0	0	20

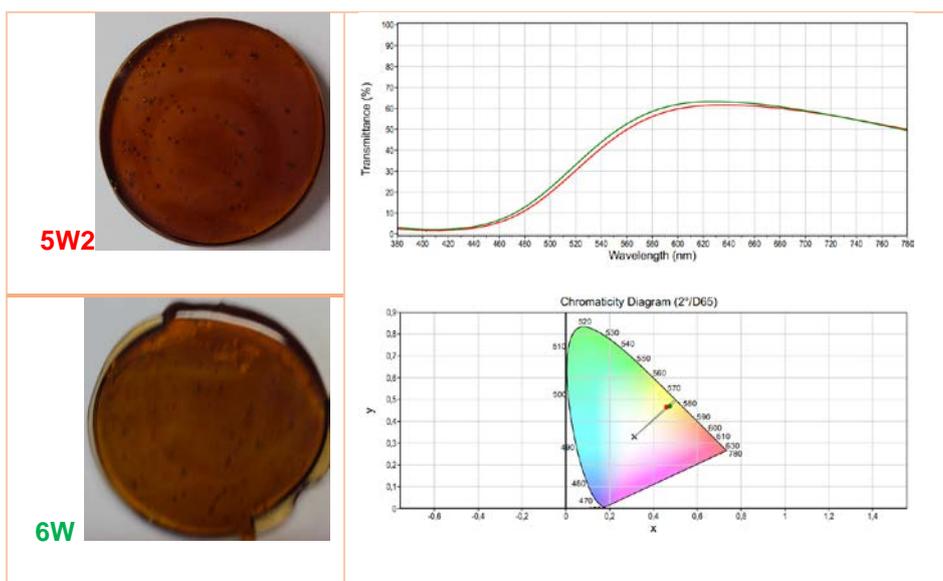


Abbildung 24: Die Proben 5W2, 6W, normierte Transmissionskurve und Farbortdarstellung

#### 4.3.10 Viskositätsmessung der hergestellten Braungläser mit und ohne gereinigtem GAS

Die Gestalt der Viskositätskurve der Glasproben ist wichtig für die Glasformgebung und hängt von Zusammensetzung des Glases ab. Wie Abbildung 25 ausweist, stimmen die Kurven der Braungläser mit und ohne GAS weitgehend überein.

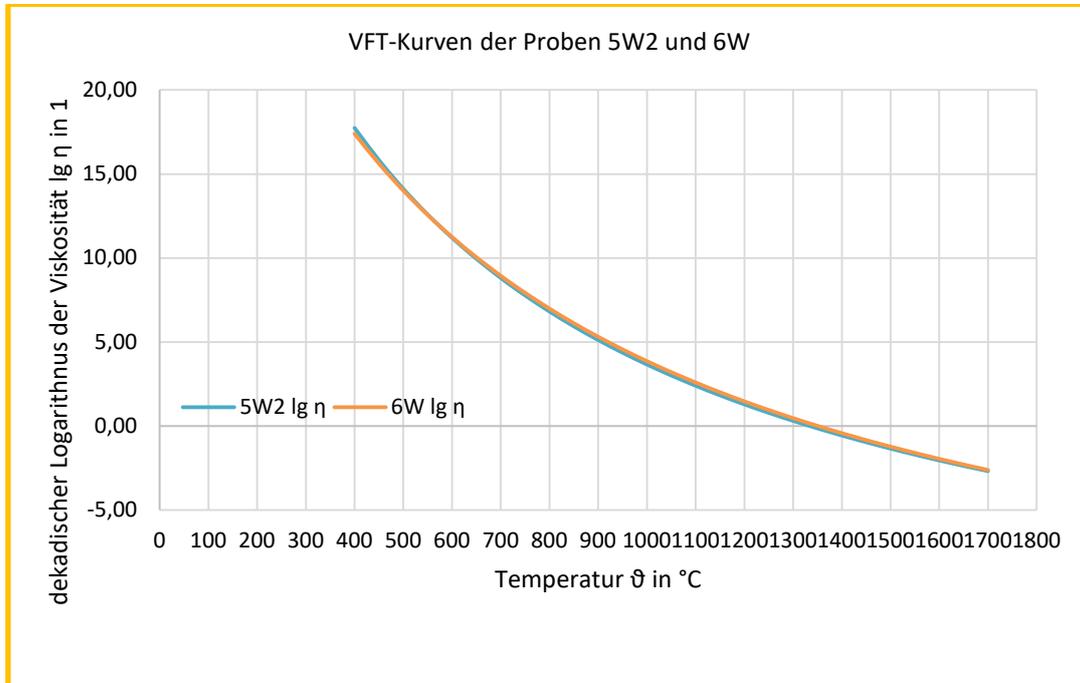


Abbildung 25: Viskositätskurven der Proben 5W2 und 6W

#### 4.3.11 Einsatz von gereinigtem GAS bei dunklen Grünglasherstellung unter Einsatz 70% Mischscherben

Bei der Herstellung von Grün- und Braunglas werden 50-90 % Scherben im Gemenge eingesetzt. Scherben (Altglasscherben) sind weitere Lieferquellen von organischen Verunreinigungen und bei den Untersuchungen zum Einsatz von Gießereialsand zu berücksichtigen. Um Einfluss des Einsatzes von Scherben untersuchen zu können, wurden Schmelzversuche durchgeführt. In der Tabelle 17 ist der Gemengesatz des Grünglases unter Einsatz von ca. 70% Scherben als Beispiel zur Verdeutlichung der Verfahrensweise bei Gemengerechnung unter anteiligem Einsatz von Gießereialsand aufgeführt.

Tabelle 17: Gemengesätze des Grünglases anteilig mit Altgießereisand bzw. Glassand unter Einsatz von Scherben

Hauptoxidträger	Ohne GS	mit 15% GS	Komponente	Anteil [Gew.-%]
	1SgOA	2SgOA		
Feldspat	3,2	2,3	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,4
Eisenoxid	0,04	0	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,37
Soda	9,1	9,07	Na <sub>2</sub> O	14
Sand	18,9	16,5	SiO <sub>2</sub>	71

<b>Kalk</b>	1,3	1,4	CaO	9,4
<b>Dolomit</b>	4,07	4	MgO	2,26
<b>Chromerz</b>	0,36	0,36	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,33
<b>Sulfat</b>	0,3	0,3	SO <sub>3</sub>	0,3
<b>Kohle</b>	0,07	0		
<b>Gießereisand F3</b>		3,38		
<b>Grünscherben</b>	23,3	23,3		
<b>Braunscherben</b>	23,2	23,2		
<b>Olivscherben</b>	22,9	22,9		

Die theoretisch berechneten Redoxzahlen sollten dabei in der ersten Versuchsreihe bei der jeweiligen Probe mit GAS und der Probe mit Glassand gleich sein. Anhand des analytisch ermittelten Kohlenstoffanteils im GAS 3 ergibt sich die maximale Zugabemenge an GAS. Die Verunreinigungen wurden durch Anpassung im Gemengesatz ausgeglichen. Die Charakterisierung der Farbe erfolgt über Farbortbestimmung, diese beinhaltet Bestimmung der dominierenden Wellenlänge, der Sättigung und der Helligkeit (siehe Abbildung 26, Tabelle 18).

Tabelle 18: Farbort , Farboxide und Redoxzahl der Proben 1SgoA und 2SgoA

Pr.	WL	Sättigung	Helligkeit	Überein	R	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> %	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> %	C %	AGS%
<b>1SgoA</b>	553,9	13,7	68		-17,47	0,37	0,33	0,07	0
<b>2SgoA</b>	551,9	13,1	66,5	ja	-17,17	0,37	0,33	0	17

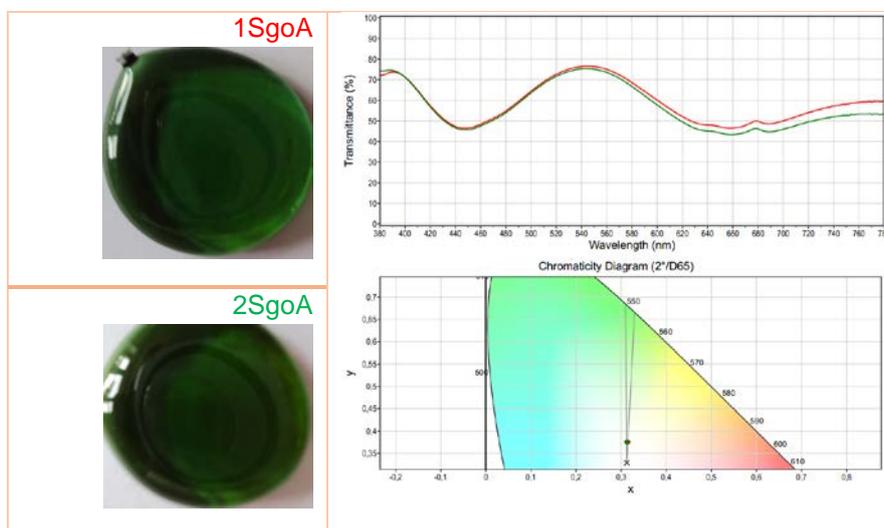


Abbildung 26: Die Proben 1SgoA, 2SgoA, normierte Transmissionskurve und Farbortdarstellung

Aus der Farbortwerten ist zu sehen, dass bei gleicher Redoxzahl und Farboxidanteile eine Farbortübereinstimmung erreicht werden kann. Die Schmelzversuche werden nach Reduzierung der Redoxzahl in der Glasprobe 2SgoA durch Reduzierung des GAS von 17 auf 15%

wiederholt. An Hand der Farbortmessungen (s. Abbildung 27 und Tabelle 19) ist auch eine Übereinstimmung mit der Vergleichsprobe zu erkennen.

Tabelle 19: Farbort, Farboxide und Redoxzahl der Proben 1Sr und 2Sr

Pr.	WL	Sättigung	Helligkeit	Übereinst.	Re	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> %	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> %	C%	GAS%
1Sr	554,9	16,6	65		-17,7	0,37	0,33	0,065	0
2Sr	553,3	16	62,9	ja	-16,12	0,37	0,33	0	15

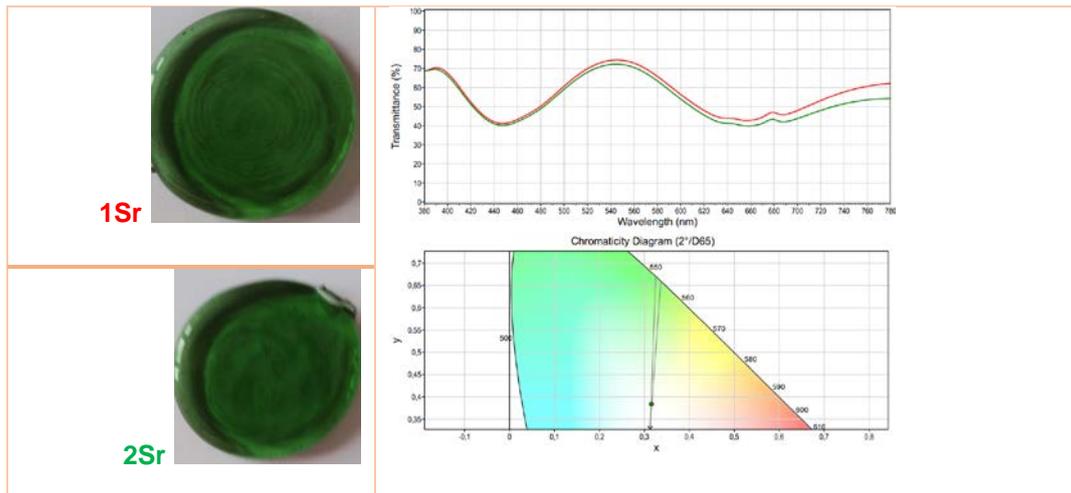


Abbildung 27: Die Proben 1Sr, 2Sr, normierte Transmissionskurve und Farbortdarstellung

#### 4.3.12 Einsatz von gereinigtem GAS bei hellen Grünglasherstellung unter Einsatz Mischscherben

Zur Herstellung von Hellgrün Glas mit und ohne GAS wurden die Schmelzversuche mit Farboxiden und Kohlenstoff und GAS entsprechend der Angaben in der Tabelle 20 durchgeführt.

Tabelle 20: Farbort, Farboxide und Redoxzahl der Proben 3Lkp und 4Lkp

Pr.	WL	Sättigung	Helligkeit	Übereinst.	R	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> %	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> %	C%	GAS%
3Lkp	552,6	6,7	78,9		-5,67	0,27	0,22	0,05	0
4Lkp	553,7	6,5	80	ja	-4,69	0,27	0,22	0	5

Die Farbortmessungen (s. Tabelle 20 und Abbildung 28) weisen eine Übereinstimmung der Farbe bei der Proben 3L und 4L trotz nicht übereinstimmender Redoxzahlen nach.

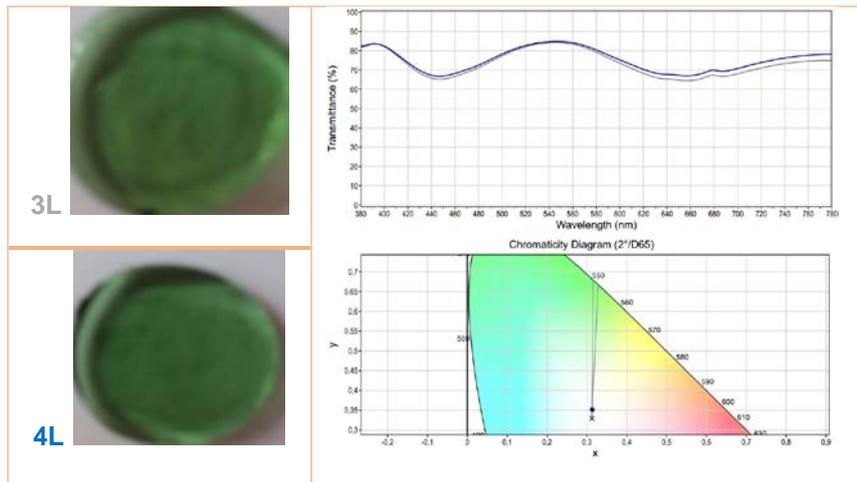


Abbildung 28: Die Proben 3L, 4L, normierte Transmissionskurve und Farbortdarstellung

Die Redoxzahlen der hergestellten Grünglasproben mit kleinem Anteil an GAS stimmen fast überein mit der Redoxzahl der Vergleichsproben mit gleicher Farbe.

#### 4.3.13 Einsatz des gereinigtem GAS bei Braunglaserstellung unter Einsatz von Braunscherben

Nach dem gleichen Ablauf wie beim Grünglas wurde Braunglas mit Anteilen von 50% Braunscherben hergestellt. An Hand der Farbortmessungen (s. Abbildung 29 und Tabelle 21) ergab sich keine Übereinstimmung der geschmolzenen Glasprobe mit 42% Gießereialtsand mit der Vergleichsprobe trotz der gleichen Redoxzahl.

Tabelle 21: Farbort , Farboxide und Redoxzahl der Proben 5Sg und 6Sg

Pr.	WL	Sättigung	Helligkeit	Übereinst.	R	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> %	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> %	C%	AGS%
5Sg	573	61	57		-29,1	0,27	0,095	0,18	0
6Sg	585,7	71,7	20,1	nein	-29,4	0,27	0,095	0	42

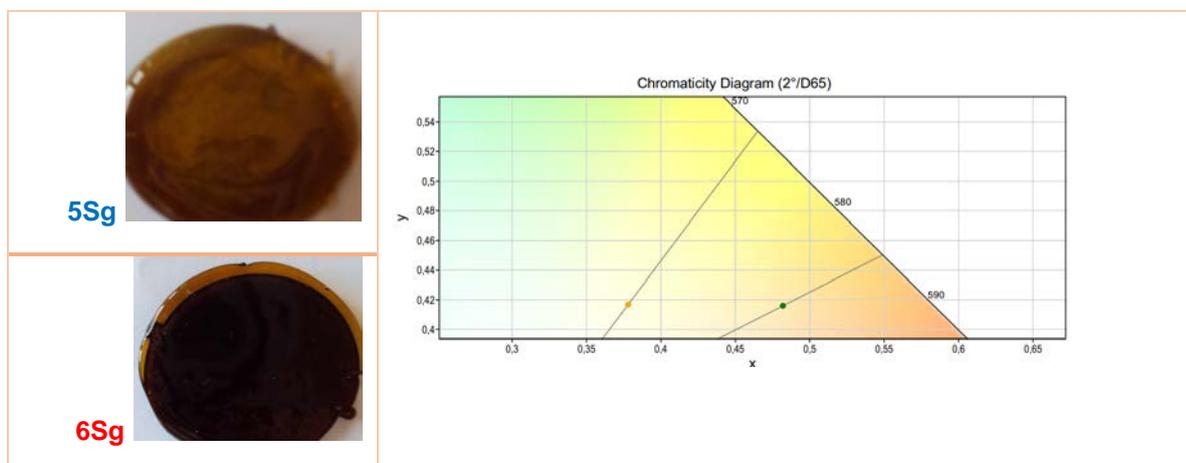


Abbildung 29: Die Proben 5Sg, 6Sg, normierte Transmissionskurve und Farbortdarstellung

Die Schmelzversuche werden nach Reduzierung der Redoxzahl in der Glasprobe 2Sg durch Reduzierung des GAS von 42 auf 37% wiederholt. Anhand der Farbortmessungen im Abbildung 30 und Tabelle 22 ist eine Übereinstimmung mit der Vergleichsprobe zu erkennen.

Tabelle 22: Farbort , Farboxide und Redoxzahl der Proben 5Sgk und 6Sr3k

Pr.	WL	Sättigung	Helligkeit	Übereinst.	R	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> %	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> %	C %	AGS%
<b>5SgK</b>	574,9	61,1	57,6		-29,1	0,27	0,095	0,18	0
<b>6Sr3K</b>	574,7	58,6	51,6	ja	-24,78	0,27	0,095	0	37

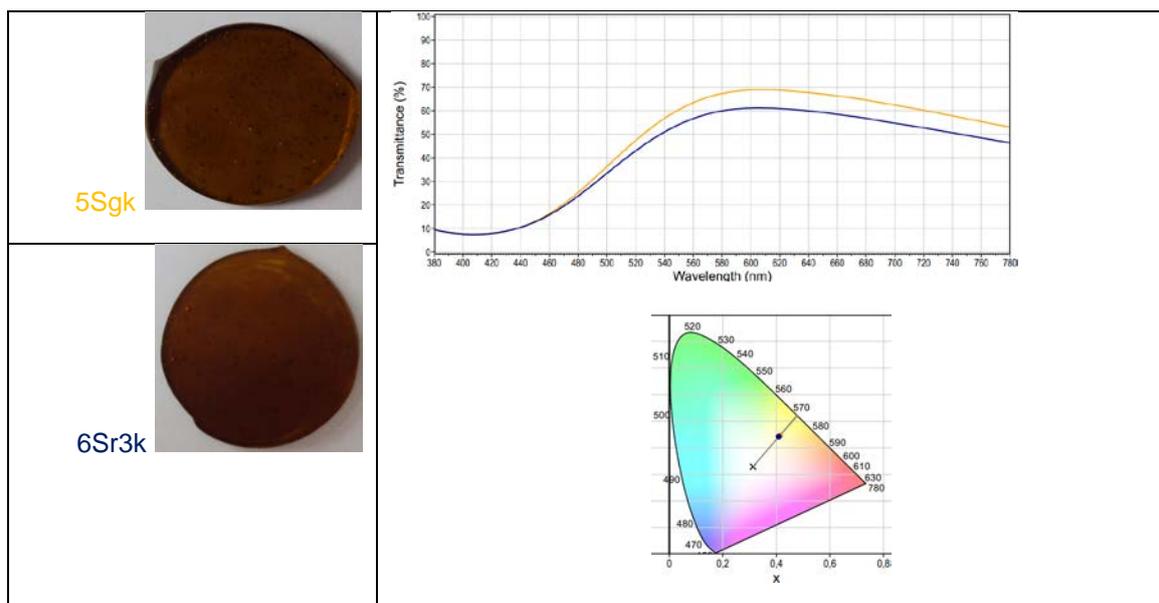


Abbildung 30: Die Proben 5Sgk, 6Sr3k, normierte Transmissionskurve und Farbortdarstellung

Eine Wiederholung der Versuch mit 43% GAS zeigt eine Übereinstimmung der beiden Farbort, dieses Ergebnis ist auf die Schwankung der Zusammensetzung des GAS zurückzuführen (s. Tabelle 23 und Abbildung 31).

Tabelle 23: Farbort , Farboxide und Redoxzahl der Proben 5Sr4 und 6Sgr

Pr.	WL.	Sättigung	Helligkeit	Überein	R	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> %	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> %	C%	AGS %
<b>5Sr4 kpol</b>	579,7	90	28		-32,85	0,27	0,095	0,2	0
<b>6Sgr kpol</b>	579,7	92	22	ja	-30,35	0,27	0,095	0	43

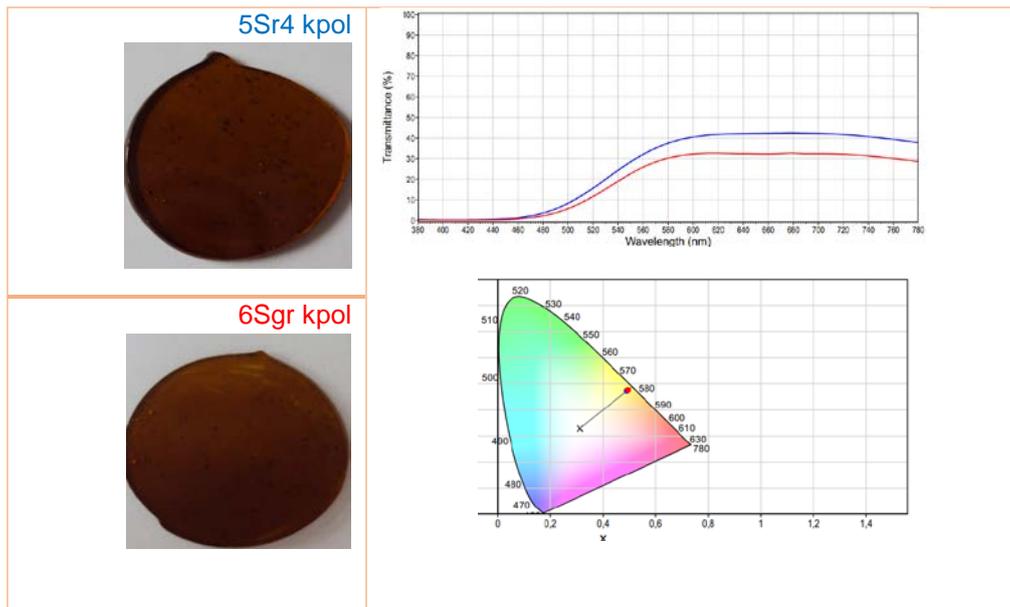


Abbildung 31: Die Proben 1Sr4, 6Sgr, normierte Transmissionskurve und Farbortdarstellung

Ein Vergleich der Farbortbestimmung der Braungläser mit dem der Grüngläser weist eine bessere Übereinstimmung der hergestellten Grünglasproben mit den Vergleichsproben als Braunglasproben mit den Vergleichsproben aus. Die wesentliche Ursache ist auf die höheren GAS-Anteile bei der Braunglaserherstellung zurückzuführen.

#### 4.3.14 Läuterung des Glases beim Einsatz von gereinigtem GAS

Alle hergestellten Gläser weisen eine erhöhte Blasigkeit auf, bei Reduzierung der Läutermittelemenge auf 0,3% Natriumsulfat und Reduzierung der Schmelztemperatur auf 1450°C, ist die Blasenanzahl geringer geworden. Es ist bekannt, dass unter Laborbedingungen kein gut geläutertes Glas hergestellt werden kann.

#### 4.3.15 Einsatz des gereinigten GAS bei Herstellung vom Rohglas

Zunächst sollte versucht werden unter Einsatz von GAS 3 (gereinigt, entstaubt, fluidisiert, s. Tabelle 10) Rohglas zu erschmelzen. Dabei wurde eine übliche Glaszusammensetzung (s. Tabelle 25) festgelegt. Wegen der gewünschten maximalen Schwefellöslichkeit wurde das Glas oxidierend geschmolzen. Die Mengerechnung erfolgte mit dem Programm ‚BatchMaker‘. Für eine Beurteilung der Wirkung eines GAS-Zusatzes wurde eine Vergleichsprobe mit der gewählten Referenzzusammensetzung mit Glassand (als Vergleichsprobe) geschmolzen. Die theoretisch berechneten Redoxzahlen sollten dabei in der ersten Versuchsreihe bei der jeweiligen Probe mit GAS und der Probe mit Glassand gleich sein. Um den Einfluss des GAS zu begleichen, wurden extra Nitrat- und Sulfat-Salze gegeben, so dass das Rohglas oxidierend geschmolzen wurde. Die Verunreinigungen wurden durch Anpassung im Gemengesatz ausgeglichen. In der Tabelle 25 ist der Gemengesatz des Rohglases zur Verdeutlichung der Verfahrensweise bei Mengerechnung unter anteiligem Einsatz von GAS dargestellt.

Tabelle 24: Zusammensetzung des Rohglases

%Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	%Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	%Na <sub>2</sub> O	%SiO <sub>2</sub>	%K <sub>2</sub> O	%CaO	%MgO	%Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	%MnO
4,41	2	13,9	68,66	3,08	4,27	1,83	0,01	1,1

Tabelle 25: Gemengesatz eines Rohglases mit Glassand und anteilige Gießereialtsand

Rohstoff	Rohglasgemenge ohne AGS (1)	Rohglasgemenge mit 18% AGS (2)
Feldspat	54,06	52,85
Sand HB	22,68	18,65
Soda	22,3	21,4
Dolomit	8,8	8,8
Kalk	2,9	2,9
Eisenoxid	1,86	1,83
Natriumsulfat	1,5	2
MnO	1,09	1,09
NaNO <sub>3</sub>	0,5	1,3

Nach dem Schmelzen bei 1450 °C wurde das Glas gefrittet und unter 40 µm- Körnung zerkleinert. Das Glaspulver wurde mit 1,5 % Ruß und 3% Wasser gemischt. Die Mischung wurde bei 900°C 20 Minuten in einem elektrisch beheizten Ofen geschäumt, danach wurden die erkalteten Proben geschnitten. Die Dichtemessungen ergaben 0,268 g/cm<sup>3</sup> für die Vergleichsprobe und 0,234 g/cm<sup>3</sup> für GAS-haltige Probe. Die Dichtewerte sind akzeptabel, einen Eindruck vermittelt das Probenaufnahme (s. Abbildung 32).



Abbildung 32: Schaumglas rechts hergestellt aus Glassand und links aus anteiligen Einsatz von GAS

#### 4.3.16 Einfluss der Gießerei-Altsande auf das Schmelzverhalten des Gemenges

Der Einfluss der Zusätze von Gießerei-Altsanden (GAS) auf das Schmelzverhalten des Gemenges (Restquarzlösezeit, Läuterung und Schaumbildung) war Ziel des AP 6. Da der Gießerei-Altsand eine andere Oberflächenmorphologie als Glassand hat, wird ein anderes Schmelzverhalten erwartet.

Zu Untersuchung des Einflusses des GAS auf die Schmelzbarkeit wurden Schmelzversuche bei 1400 °C durchgeführt. Die Restquarzlösezeit bei den Gemengen wurde mit Hilfe des Fandenziehverfahrens ermittelt. In der Tabelle 26 sind die Restquarzlösezeiten von Vergleichs- und 20%- haltigen GAS-Probe dargestellt.

Tabelle 26: Restquarzlösezeit in einer Schmelze aus Glassand und anteilige Einsatz von Gießereialsand

Gemenge	Restquarzlösezeit/Minute
Gemenge mit HB Sand	120±3
Gemenge mit 80% HB Sand und 20% AGS	118±4

Restquarzlösezeit richtet sich nach dem größten Sandkorn, das heißt die Restquarzlösung vom Glassand HB ist entscheidend. Der Einsatz von GAS hat keinen Einfluss auf die Schmelzbarkeit des Gemenges. Restquarzlösezeit und Schaumverhalten sind fast gleich wie beim Einsatz von Glassand.

#### 4.4 Schmelzversuche für Wasserglas

Es kann sicher prognostiziert werden, dass sich organische Verunreinigungen (z.B. Harz aus Formstoffbindemitteln), Bentonit und insbesondere metallische eisenhaltige Verunreinigungen im Gießereialsand störend auf die Qualität des gelösten Na-Silikates auswirken. Bei Lösung des Na-Wasserglases treten schwerwiegende Nachteile – insbes. hinsichtlich Qualität und Filterfunktion – auf.

Der Einsatz von Gießereialsand in der Wasserglas-Schmelze kann erst bei einem hohen Reinigungsgrad in Bezug auf metallisches Eisen, Bentonit und organischen Bestandteilen erfolgen.

Auf Grund der noch vorhandenen Verunreinigung auf Basis der ermittelten chemischen Zusammensetzung des abgereinigten Gießereialsandes ist dessen Einsatz in der Wasserglasindustrie nicht möglich, siehe Tabelle 5. Der Einsatz von Gießereialsand in der Mineralfaserindustrie (Kurzglas) ist aber vielversprechend.

#### 4.5 Einsatz des Gießereialsandes bei der Herstellung von Basaltfasern

Die Herstellung von Basaltfasern (Steinwolle) ist ein robuster Prozess, beidem vielfältige mineralische Abfälle eingesetzt werden können. Ein Vergleich der Zusammensetzung des gereinigten GAS 3 (siehe Tabelle 10) mit der Basaltfaserzusammensetzung (siehe Tabelle 27) verdeutlicht die Möglichkeit des Einsatzes von Gießereialsand bei der Basaltfaserherstellung.

Tabelle 27: Zusammensetzung Basaltfaser

%Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	%Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	%Na <sub>2</sub> O	%SiO <sub>2</sub>	%K <sub>2</sub> O	%CaO	%MgO
16,4	11,3	2,5	54,9	1,6	7,7	4,4

Bei der Herstellung von Basaltfasern spielt die Zusammensetzung des Gemenges eine untergeordnete Rolle, weshalb der Einsatz von gereinigtem Gießereialsand bei der Herstellung von Basaltfasern vorstellbar ist. Zurzeit werden sehr billige und unter Umweltgesichtspunkten unproblematische Reste von Natursteinen wie Rhyolith, Granit, Dazit, Basalt sowie Hochofenschlacke bei der Herstellung von Basaltfaser eingesetzt.

#### 4.6 Wirtschaftlichkeit des Einsatzes von Gießereialsandes bei der Rohglasherstellung

Für die Herstellung von 1 Tonne Rohglas unter Einsatz von 18% Gießereialsand bedarf es die Zugabe von 5 kg Natriumsulfat und 8 kg Natriumnitrat. 1 kg Natriumnitrat kostet 6 € (48 €) und 1 kg Natriumsulfat kostet 8 € (40 €). Der gesamte Aufwand beträgt 88 €. Die Ersparnis beim Einsatz von 180 kg Sand beträgt 2,70 €. Zusammenfassend kann gesagt werden, dass der Einsatz von GAS bei Rohglasherstellung nicht wirtschaftlich und umweltfreundlich ist.

#### 5. Glastechnologische Untersuchungen an weiteren Gießereialsanden

Nach dem Aufbereitungs- und Reinigungsprozess wurden mittels ICP-OES-Analyse die anorganischen Bestandteile der Altsande neu bestimmt und anschließend mit einem Berechnungsprogramm Gemengesätze mit anteiligem Altsandeinsatz für Grün- und Braunglas errechnet.

Die Zusammensetzungen [%] der ungereinigten (u) bzw. gereinigten (g) Altsande (AS 1 bis 10) und eines herkömmlichen Glassandes sind in Tabelle 28 aufgeführt.

Tabelle 28: Chemische Analysen der gereinigten Sande

Sand	MgO %	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> %	K <sub>2</sub> O %	CaO %	TiO <sub>2</sub> %	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> %	Na <sub>2</sub> O %	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> %	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> %
Sand HB	0,005	0,053	0,03	0,01	0,02	0,03	0,006	0,003	-
AS 1 u	0,79	4,66	0,32	0,75	0,33	2,33	0,75	0,01	-
AS 1 g	0,36	2,11	0,14	0,34	0,16	0,87	0,26	0,005	0,030
AS 2 u	0,067	6,97	0,03	0,039	0,019	0,2	0,02	< 0,01	-
AS 2 g	0,02	0,26	0,01	0,02	0,02	0,12	0,01	0,003	0,004
AS 3 u	0,52	2,04	0,165	0,44	0,06	2,33	0,19	< 0,01	-
AS 3 g	0,08	0,50	0,06	0,04	0,05	0,18	0,03	0,003	0,002
AS 4 u	1,18	4,94	0,38	1,05	0,1	1,61	0,7	< 0,01	-
AS 4 g	0,53	2,45	0,19	0,38	0,06	0,79	0,29	0,012	0,011
AS 5 u	0,0415	1,98	1,3	0,075	0,027	0,15	0,029	0,01	-
AS 5 g	0,02	1,39	0,85	0,06	0,04	0,10	0,14	0,002	0,006
AS 6 u	0,0273	0,74	0,015	0,035	0,48	0,082	0,45	0,01	-
AS 6 g	0,01	0,51	0,04	0,02	0,03	0,07	0,01	0,004	0,005
AS 7 u	1,9	5,56	0,29	1,03	0,42	2,48	0,99	0,01	-
AS 7 g	0,02	0,47	0,04	0,02	0,03	0,17	0,02	0,023	0,003
AS 8 u	0,04	0,51	0,008	0,095	0,03	0,42	0,1	0,01	-
AS 8 g	0,02	0,42	0,04	0,02	0,03	0,14	0,02	0,020	0,003
AS 9 u	0,66	3,64	0,15	0,53	0,09	1,67	0,5	0,02	-
AS 9 g	0,07	0,35	0,49	0,03	0,02	0,19	0,07	0,039	0,001
AS 10 u	1,35	0,62	0,61	1,3	0,12	1,98	0,85	0,056	-
AS 10 g	0,45	2,50	0,20	0,35	0,05	0,78	0,26	0,007	0,011

Die Glühverluste bei verschiedenen Temperaturen zeigt Tabelle 29.

Der Glühverlust gibt einen Hinweis auf den Anteil organischer Bestandteile. Der Glühverlust bei 600 °C und 1000 °C kann bei Anwesenheit von Bentonit durch dessen Wasserabspaltung erhöht werden. Organische Bestandteile beeinflussen das Einschmelzverhalten sowie den Redoxzustand des Glases, der sich wiederum auf die Blasigkeit und Farbe des Produktes auswirkt. Dadurch kann der Organikgehalt den Altsandeinsatz mengenmäßig begrenzen.

Tabelle 29: Glühverluste bei verschiedenen Temperaturen

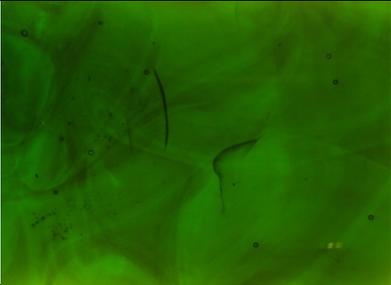
Probe	Glühverlust [%] bei 400 °C	Glühverlust [%] bei 600 °C	Glühverlust [%] bei 1000 °C
Gießerei 1 (Eisenguss) gereinigt (Mischprobe Fass 1/2) AS 1	1,67	3,83	4,60
Gießerei 2 (Eisenguss) gereinigt (Mischprobe Fass 1/2/3) AS 2	3,25	3,91	4,00
Gießerei 3 (Eisenguss) Handformerei gereinigt (Mischprobe 1/2/3) AS 3	3,41	4,06	4,23
Gießerei 4 (Stahlguss) Maschinenformerei gereinigt (Mischprobe 1/2/3) AS 4	3,33	4,67	5,26
Gießerei 5 (Eisen-, Stahl-, NE-Guss) gereinigt (Mischprobe 1/2/3) AS 5	1,26	1,34	1,46
Gießerei 5 (Eisen-, Stahl-, NE-Guss) gereinigt (Mischprobe 1/2/3) AS 6	1,01	1,06	1,15
Gießerei 6 (Eisenguss) Furansand gebunden gereinigt (Probe 4.1.18) AS 7	4,84	5,13	5,22
Gießerei 6 (Eisenguss) Furansand ungebunden gereinigt (Probe 3.1.18) AS 8	3,43	3,63	3,70
Gießerei 7 (Stahlguss) gereinigt (Probe 20.12.17) AS 9	1,60	1,62	1,80
Gießerei 8 (Eisenguss) gereinigt (Mischprobe 1/2/3) AS 10	2,07	2,97	3,61

Mit den neu berechneten Gemengesätzen wurden Versuche zum Schmelzen farbigen Behälterglases durchgeführt. Wo vorhanden, wurden Mischungen von verschiedenen Probennahmen verwendet, um zeitliche Schwankungen in der Zusammensetzung der Altsande auszugleichen.

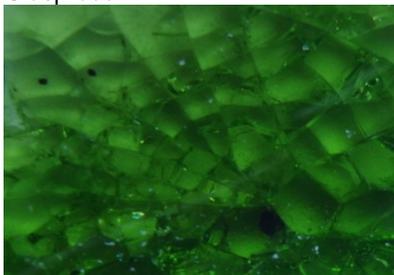
Die Tabelle 30 und die Tabelle 31 geben einen Überblick über Schmelzversuche für Grün- bzw. Braunglas. Die Bewertung für einen möglichen Einsatz in der Behälterglasindustrie erfolgte hauptsächlich danach, ob Verunreinigungen des Altsandes zu Einschlüssen im Glas führen. Die Farben, Blasen sowie das Einschmelzverhalten können in gewissen Grenzen mit Anpassung des Gemengesatzes in industriellen Versuchen weiter optimiert werden. Schlieren (farbliche Inhomogenität) werden durch eine bessere Durchmischung in Industrieanlagen beseitigt.

## 5.1 Schmelzversuche Grünglas – Mischproben/Einzelproben (wo nur eine vorhanden):

Tabelle 30: Grünglasproben

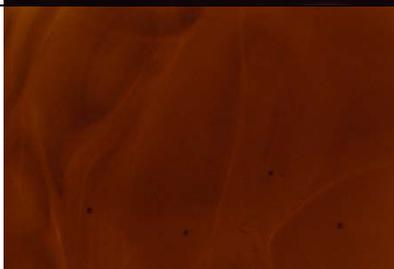
Gießerei	Beurteilung	
<b>Gießerei 1 (Eisenguss) Probe 30.05.18</b> <b>AS 1</b>	Schlieren, kaum Blasen wenige Einschlüsse im Tiegel  Einsatz vorstellbar	
<b>Gießerei 2 (Eisenguss)</b> <b>Mischprobe aus Fass 1, 2 und 3</b> <b>AS 2</b>	kaum Blasen keine Einschlüsse  Einsatz vorstellbar	
<b>Gießerei 3 (Eisenguss)</b> <b>Mischprobe aus Fass 1, 2 und 3</b> <b>AS 3</b>	kaum Blasen keine Einschlüsse  Einsatz vorstellbar	
<b>Gießerei 3 (Eisenguss)</b> <b>Mischprobe aus Fass 1, 2 und 3</b> <b>AS 4</b>	kaum Blasen keine Einschlüsse  Einsatz vorstellbar	
<b>Gießerei 4 (Stahlguss)</b> <b>Mischprobe aus Fass 1, 2 und 3</b> <b>AS 5</b>	kaum Blasen keine Einschlüsse  Einsatz vorstellbar	

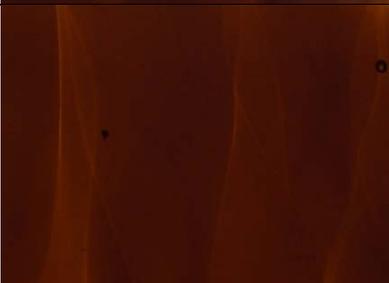
<p><b>Gießerei 5 (Eisen-, Stahl-NE-Guss) Mischprobe aus Fass 1 und 2</b> AS 6</p>	<p>wenig Blasen 1-2 Einschlüsse im Tiegel</p> <p>Einsatz vorstellbar</p>	
<p><b>Gießerei 6 (Eisenguss) Probe vom 04.01.18</b> Furansand gebunden AS 7</p>	<p>wenig Blasen wenige kleine Einschlüsse im Tiegel</p> <p>Einsatz vorstellbar</p>	
<p><b>Gießerei 6 (Eisenguss) Probe vom 03.01.18</b> Furansand ungebunden AS 8</p>	<p>kaum Blasen viele kleine Einschlüsse im Tiegel</p> <p>Einsatz unwahrscheinlich</p>	 <p>Glasprobe</p>  <p>Tiegel mit Einschlüssen</p>
<p><b>Gießerei 7 (Stahlguss) Probe 20.12.17</b> AS 9</p>	<p>blasig viele Einschlüsse im Tiegel</p> <p>Einsatz unwahrscheinlich</p>	 <p>Glasprobe</p>  <p>Tiegel mit Einschlüssen</p>

<p><b>Gießerei 8 (Eisenguss)</b>  <b>Mischprobe aus Fass 1 und 2</b>  <b>AS 10</b></p>	<p>kaum Blasen  wenige Einschlüsse im Tiegel</p> <p>Einsatz evtl. vorstellbar</p>	 <p>Glasprobe</p>  <p>Tiegel mit Einschlüssen</p>
--	---	---

## 5.2 Schmelzversuche Braunglas – Mischproben/Einzelprouben (wo nur eine vorhanden):

Tabelle 31: Braunglasproben

Gießerei	Beurteilung	
<p><b>Gießerei 1 (Eisenguss)</b>  <b>Mischprobe aus Fass 1 und 2</b>  <b>AS 1</b></p>	<p>fast blasenfrei  Schlieren  keine Einschlüsse</p> <p>Einsatz vorstellbar</p>	
<p><b>Gießerei 2 (Eisenguss)</b>  <b>Mischprobe aus Fass 1, 2 und 3</b>  <b>AS 2</b></p>	<p>wenige Blasen  Schlieren, sehr dunkel  keine Einschlüsse</p> <p>Einsatz vorstellbar</p>	
<p><b>Gießerei 3 (Eisenguss)</b>  <b>Mischprobe aus Fass 1, 2 und 3</b>  <b>AS 3</b></p>	<p>kaum Blasen  Schlieren  wenige, sehr kleine Einschlüsse in gegossener Probe &amp; im Tiegel</p> <p>Einsatz evtl. vorstellbar</p>	

<p><b>Gießerei 3 (Eisenguss)</b>  <b>Mischprobe aus Fass 1, 2 und 3</b>  <b>AS 4</b></p>	<p>fast blasenfrei  Schlieren  keine Einschlüsse</p> <p><b>Einsatz vorstellbar</b></p>	
<p><b>Gießerei 4 (Stahlguss)</b>  <b>Mischprobe aus Fass 1, 2 und 3</b>  <b>AS 5</b></p>	<p>fast blasenfrei  Schlieren  wenige Einschlüsse in gegossener Probe, keine Einschlüsse im Tiegel</p> <p><b>Einsatz vorstellbar</b></p>	
<p><b>Gießerei 5 (Eisen-, Stahl-, NE-Guss) Mischprobe</b>  <b>aus Fass 1, 2 und 3</b>  <b>AS 6</b></p>	<p>wenige Blasen  Schlieren  wenige kleine Einschlüsse in gegossener Probe &amp; 1 Einschluss im Tiegel</p> <p><b>Einsatz vorstellbar</b></p>	
<p><b>Gießerei 6 (Eisenguss) (14-1)</b>  <b>Probe vom 04.01.18</b>  <b>AS 7</b></p>	<p>kleine Blasen  Schlieren  keine Einschlüsse in gegossener Probe  einige Einschlüsse im Tiegel</p> <p><b>Einsatz evtl. vorstellbar</b></p>	
<p><b>Gießerei 6 (Eisenguss) (14-2)</b>  <b>Probe vom 03.01.18</b>  <b>AS 8</b></p>	<p>kleine Blasen  Schlieren, sehr dunkel  keine Einschlüsse in gegossener Probe  viele Einschlüsse im Tiegel</p> <p><b>Einsatz unwahrscheinlich</b></p>	
<p><b>Gießerei 7 (Stahlguss)</b>  <b>Probe 20.12.17</b>  <b>AS 9</b></p>	<p>viele Blasen  Schlieren  keine Einschlüsse in gegossener Probe  viele Einschlüsse im Tiegel</p> <p><b>Einsatz unwahrscheinlich</b></p>	

<b>Gießerei 8 (Eisenguss)</b> <b>Mischprobe aus Fass 1, 2</b> <b>und 3</b> <b>AS 10</b>	kleine Blasen Schlieren, sehr dunkel keine Einschlüsse in gegossener Probe wenige Einschlüsse im Tiegel  Einsatz evtl. vorstellbar	
--	---	--

- Die Laborversuche haben gezeigt, dass größere Fe-Partikel während des Schmelzprozesses im Tiegel absinken, was später zu Ablagerungen in der Schmelzwanne und damit zur Korrosion des Wannenaufbaus führen würde.
- Weiterführend wäre zu untersuchen, ob und bis zu welcher Größe sich (noch vorhandene) Einschlüsse im industriellen Maßstab in der Schmelze lösen (gibt es Unterschiede zu den Versuchen im Labormaßstab?).
- Ist eine Verbesserung des Löseprozesses metallischer Verunreinigungen im Grünglas durch Zugabe von Oxidationsmittel möglich?
- Die Altsandqualität könnte durch Trennung verschiedener Sande in den Gießereien verbessert werden (Formensand, Kernsand usw.).
- Eine mögliche Aufbereitung in den Gießereien ist zu prüfen.
- Der Einsatz von Altsand in der Grünglasherstellung (Behälterglas) ist vorstellbar aber eher unwirtschaftlich, da nur geringe Mengen mineralischer Rohstoffe beim Schmelzprozess verwendet werden. Der Einsatz in der Braunglasherstellung (Behälterglas) ist vorstellbar.

### 5.3 Vergleich Grünglas- und Braunglasherstellung bei einer durchschnittlichen Produktion in einer Glaswanne von ca. 150 t Glas/Tag

Tabelle 32: Vergleich des Einsatzes von Altsandmengen

Behälterglas	Scherben-Anteil	Gemenge	Sandanteil im Gemenge 70 %	davon z. B. 20 % Altsand
<b>Grün</b>	90 %	10 %	10,5 t	<b>2,1 t/Tag</b>
<b>Braun</b>	50 %	50 %	52,5 t	<b>10,5 t/Tag</b>

- Der Anteil an Altsand kann durch Anpassung der Rezeptur erhöht werden.
- Neben der Verwertung in der Behälterglasindustrie wäre eine Nutzung zur Herstellung von Mineralwolle zu untersuchen.

Die Aufbereitungs- und Reinigungsversuche sowie die glastechnologischen Untersuchungen und anschließende Schmelzversuche haben die stoffliche Verwertbarkeit verschiedener Altsande in der Glasindustrie bestätigt. Es ist zu prüfen, wie die Ergebnisse in den industriellen Maßstab überführt werden können.

## 6. Kostenabschätzungen/Wirtschaftlichkeit

Zur Überführung der Ergebnisse in die Praxis erfolgte eine erste Abschätzung der Wirtschaftlichkeit für verschiedene Szenarien.

## 6.1 Reinigungstechnologie auf Basis der kleintechnischen Versuchsanlage

Die Anlagenkonfiguration besteht aus Aufgabe- und Klassiervorrichtungen, Magnetscheider und Entstaubungsvorrichtung sowie Verladeanlage.

<b>Leistung:</b>	50 t/d
<b>Prod.-zeit:</b>	14 h/d
	250 d/a
<b>Anlagenleistung:</b>	3,57 t/h
	12.500,00 t/a
<b>Auslegung:</b>	4 t/h

**Personal:** 2 Personen/Schicht

Position	Kosten/Jahr [Euro]	Kosten/1t [Euro]
Abschreibung Ausrüstungen: Abschr. sonst. Leistungen Er- richt.:	101.312,50	8,11
Elektroenergie:	72.500,00	5,80
Personal:	36.750,00	2,94
Instandhaltung:	216.000,00	17,28
	69.000	5,52
<b>Gesamt:</b>	<b>495.562,50</b>	<b>39,65</b>

Eine wirtschaftlich darstellbare Lösungen ergibt sich erst bei höheren Durchsätzen:

<b>Leistung:</b>	50 t/d	100	200
<b>Prod.-zeit:</b>	14 h/d	14	14
	250 d/a	250	250
<b>Anlagenleistung:</b>	3,57 t/h	7,14	14,29
	12.500,00 t/a	25.000,00	50.000,00
<b>Auslegung:</b>	4 t/h	8	15

Leistung Position	50 t/d Kosten/Jahr [Euro]	50 t/d Kosten/1t [Euro]	100 t/d Kosten/1t [Euro]	200 t/d Kosten/1t [Euro]
Abschreibung Ausrüstungen: Abschr. sonst. Leistungen Er- richt.:	101.312,50	8,11	6,77	4,05
Elektroenergie:	72.500,00	5,80	4,84	2,90
Personal:	36.750,00	2,94	2,45	1,47
Instandhaltung:	216.000,00	17,28	8,64	6,48
	69.000	5,52	4,61	2,76
<b>Gesamt:</b>	<b>495.562,50</b>	<b>39,65</b>	<b>27,31</b>	<b>17,66</b>

Gegenwärtig liegen die Kosten für die Entsorgung der Gießereialsande zwischen 30 und 50 €/t.

## 6.2 Reduzierung des Kohlenstoffgehaltes und Beseitigung von metallischem Eisen im Gießereialsand mittels Intensivmischung

Bei Abschätzung der anfallenden Kosten werden folgenden Teilkosten betrachtet (siehe Tabelle 33).

Tabelle 33: Kostenabschätzung der Aufbereitung von Gießereialsand

	€/Tonne
Aufbereitungskosten für Siebklassierung und Metallabtrennung (Magnetscheidung +NE-Abtrennung)	8
Energieverbrauch des Mixers pro Tonne 75 kWh/t	75 x 0,20 = 15
Entsorgung der Abfälle ca. 30% (fein und grob)	10
Verschleißkosten des Mixers 5-7% bei 150.000 € Investitionskosten für den Mixer	1
Abschreibung	?
SUMME	26-34€+AfA

Die wirtschaftliche Abschätzung der Abreinigungsprozesse des Gießereialsandes zeigt, dass die Aufbereitungskosten für Siebklassierung und Metallabtrennung und Attrition mittels intensiver Mischung und die noch nicht berücksichtigte Investitionskosten vergleichbar mit den derzeit anfallenden Kosten bei Entsorgung des Sandes auf Deponien (ca. 30 €) ist. Die Abschätzung der Kosten geschieht mit der Annahme, dass der Reinigungsprozess in der jeweiligen Gießerei stattfindet. Bei der Aufbereitung des Gießereialsandes außerhalb der Gießerei sind zusätzliche Transportkosten zu berücksichtigen. Alternativ ist die Kornauftrennung mit anderen, kostengünstigeren Technologien möglich.

## 7. Fazit

Die ursprüngliche Annahme, dass eine stoffliche Verwertung von bisher zu deponierenden Gießereialsanden nach einer mechanischen Reinigung bei der Braunglaserstellung prinzipiell möglich ist, fand ihre Bestätigung. Darüber hinaus eignen sich Gießereialsande mit niedrigerem Kohlenstoffanteil auch für die Herstellung von Basaltfasern. Damit ist die Voraussetzung geschaffen, um unter Einbindung von Unternehmen der Glas- und Mineralfaserindustrie mit Untersuchungen für eine praxisrelevante Umsetzung beginnen zu können.

Insbesondere galt es, die rohstoffliche Zusammensetzung der Gießereialsande zu untersuchen und auf dieser Basis geeignete Aufbereitungstechnologien – insbesondere zur Abreicherung von metallischem Eisen und Kohlenstoff – im Rahmen von von Labor- und kleintechnischen Versuchen zu entwickeln. Für die so gereinigten Gießereialsande waren kleintechnische Schmelzversuche hinsichtlich der Anforderungen für angepasste Schmelz- und Läuterungstechnologien durchzuführen.

Auf dieser Grundlage waren Algorithmen zu entwickeln, die eine prozesstechnische Beherrschung des Einsatzes von gereinigtem Gießereialsand bei der Produktion von farbigem Behälterglas – insbes. von Braunglas – sichern.

Konkret ergaben sich folgende Erkenntnisse:

- Die innerhalb eines Jahres untersuchten Gießereialsande weisen zum Teil erhebliche Schwankungen in der Zusammensetzung aus, insbesondere bei den Kohlenstoff-

und Eisenoxidgehalten vor und nach der Reinigung. Dies ist auf Schwankungen in der Sandqualität aufgrund der Gussproduktion (z.B. Produktwechsel) zurückzuführen. Im gereinigten Sand liegt der Kohlenstoffgehalt zwischen 2-3% (Ausnahme Probe 6 und 7), der  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  –Gehalt zwischen 0,7- 1,9%, der Schwefelgehalt zwischen 0-0,07 und der Glühverlust zwischen 3,01-7% (ausgenommen Proben 7 und 8). Solch große Schwankungen in der Zusammensetzung des Sandes sind in der Glasindustrie nicht zulässig. Der Gehalt an Eisenoxid der eingesetzten Glassande bei der Behälterglasherstellung liegt zwischen 0,02-0,028% und der Glühverlust zwischen 0,14-0,18 %.

- Die Abtrennung der metallischen Verunreinigungen aus dem Gießereialsand erscheint ausreichend; für den industriellen Einsatz wäre dies durch eine stabile Zusammensetzung des gereinigten Gießereialsandes sicherzustellen.
- Die XRD-Analyse weist kein metallisches Eisen nach, dieses Ergebnis ist jedoch nicht nachvollziehbar.
- In dem Feinanteil (Schale)  $<100\ \mu\text{m}$  des Gießereialsandes werden magnetisierbare Reste nachgewiesen infolge einer Abtrennung der Verunreinigung mittels Intensivmischer.
- Die Anteile von metallischem Eisen bzw. Eisenoxid und Kohlenstoff in der Sandschale sind größer. Eine Reduzierung dieser Gehalte mittels intensiver Mischung ist technisch machbar.
- Die Untersuchungen des gereinigten GAS 3 haben gezeigt, dass der Kohlenstoffanteil im Gießereialsand seinen Ursprung eher im Steinkohle- als im Graphit-Zusatz hat. Die Versuche zeigen, dass sich die Reaktionskinetik der Kohlenstoffträger beim Schmelzvorgang erheblich unterscheidet. Dies erweist sich als kritisch für das Erhitzen von reduktionssensiblen Gläsern. Deshalb ist der Einsatz von gereinigtem Gießereialsand bei der Herstellung von bunten Gläsern nur mit entsprechendem Aufwand realisierbar.
- Die Viskositätsmessungen bei den hergestellten Gläsern mit und ohne gereinigten Gießereialsand weisen eine relative Übereinstimmung auf.
- Das Modell der Redoxzahl ist auf dem Schmelzprozess mit gereinigtem Gießereialsand nicht ohne weiteres anwendbar, der Unterschied der Redoxzahl korreliert nicht mit der Differenz der Farbort-Werte.
- Bei beherrschbarer Rohstoffvorbereitung und unter Einsatz der erforderlichen Reinigungstechnik kann der gereinigte Gießereialsand bei der Buntglasherstellung eingesetzt werden.
- Die Untersuchungen haben gezeigt, dass der anteilige Einsatz von gereinigtem Gießereialsand (20%) bei der Herstellung von Rohglas zur Schaumglasherstellung nur unter Einsatz von Oxidationsmitteln wie Nitrat- und/oder Sulfat-Salzen möglich ist. Hier sind umwelt- und wirtschaftliche Aspekte zu berücksichtigen. Eine überschlägige Rechnung zeigt, dass der Einsatz in diesem speziellen Fall nicht wirtschaftlich ist.

- Bei der Herstellung von Basaltfasern spielen die Zusammensetzung und der Redoxzustand eine untergeordnete Rolle. Hier ist der Einsatz von Gießereialsand vorstellbar.

Überschlägige Berechnungen zur Wirtschaftlichkeit bestätigen, dass eine Verwertung der Gießereialsande in der Glasindustrie mindestens kostenneutral für die Gießereien darstellbar ist.

## 8. Literaturverzeichnis

1. **Polzin, Hartmut.** Dr. Ing. habil. *persönliche Gespräch.* Institut für Gießereitechnik, TU Bergakademie Freiberg.
2. **Weiss, R. und Kleinheyer, U.** *Aktuelle Anwendungstrends der Form- und Kernherstellverfahren, Altsandregenerierung, Teil 1.* 1987, *Giesserei* 74, Bd. 21, S. 629-633.
3. **Präfke, K. U.** *Gießereisande und andere Reststoffe- Vermeiden, Verwerten, Deponieren.* Düsseldorf : s.n., 1991.
4. **Bauch, G. und Dieterle, U.** Betriebserfahrungen mit der Regenerierung von Mischaltsanden und dem Einsatz des Regenerates in Kernfertigung. *Giesserei* . 1992, Bd. 79 Nr. 3, S. 102 - 110.
5. **Stuzmann, W. , Godderidge, V.** Ein- und mehrstufige Sandregenrieranlagen im Modulsystem- Anlagenkonzeption und Betriebsergebnisse. *Giesserei* 79. 1992, Bd. 3, S. 110-116.