

Schönheider Guss GmbH

**Konzeptionierung und Umsetzung eines Verfahrens zur
Verwertung von Gießerei-Altsanden als Sandkomponente
bei der farbigen Behälterglasproduktion**

Abschlussbericht über ein Projekt,
gefördert unter dem AZ. 35254/01 von der Deutschen Bundesstiftung Umwelt

von:

Frank Gleißner, Elke Radtke, Dr. Marc Lüpfer, Matthias Franke, Jorg Ulrich,
Jürgen Pallmer

Februar 2022



SCHÖNHEIDER GUSS GMBH
Gießerei für Eisenmetalle

Schönheider Guss GmbH

**Konzeptionierung und Umsetzung eines Verfahrens zur Verwertung von Gießerei-
Altsanden als Sandkomponente bei der farbigen Behälterglasproduktion**

Abschlussbericht über ein Projekt,
gefördert unter dem AZ. 35254/01 von der Deutschen Bundesstiftung Umwelt

von:

Frank Gleißner, Elke Radtke, Dr. Marc Lüpfer, Matthias Franke, Jorg Ulrich, Jürgen Pallmer

Schönheide, 28.02.2022



06/02

Projektkennblatt
der
Deutschen Bundesstiftung Umwelt



Az	35254	Referat	21/2	Fördersumme	503.452 €
-----------	--------------	----------------	-------------	--------------------	------------------

Antragstitel **Konzeptionierung und Umsetzung eines Verfahrens zur Verwertung von Gießerei-Altsanden als Sandkomponente bei der farbigen Behälterglasproduktion**

Stichworte Gießerei, Glasindustrie, Abfallverwertung

Laufzeit	Projektbeginn	Projektende	Projektphase(n)
27 Monate	21.11.2019	28.02.2022	01

Zwischenberichte: 25.08.2020,
20.01.2021

Bewilligungsempfänger	Schönheider Guss GmbH Alte Auerbacher Str. 26 08304 Schönheide	Tel	+49 3775/512-0
		Fax	+49 3775/512-39
		Projektleitung	Dipl.-Ing. Frank Gleißner
		Bearbeiter	Gleißner, Radtke, Ulrich, Dr. Lüpfer, Franke, Pallmer

Kooperationspartner Bundesverband der Deutschen Gießerei-Industrie e.V.

SiC Processing (Deutschland) GmbH
unter Mitwirkung des Ing.-Büro Lüpfer Process Engineering Service

Ulrich Anlagen- und Maschinenbau GmbH
unter Mitwirkung des Ing.-Büro Franke GTS

Assoziierter Partner: Verallia (Deutschland) AG

Zielsetzung und Anlass des Vorhabens

In den deutschen Gießereien werden jährlich ca. 20 Mio. Tonnen Sand als Formstoff eingesetzt. Nach dessen mehrfacher interner Aufbereitung und Nutzung im Produktionsprozess muss der thermisch/mechanisch verschlissene Anteil ausgeschleust werden.

Für diesen Gießereialtsand sind nachhaltige Verwertungsstrategien zu entwickeln. Steigende Deponie- und Transportkosten, knapper werdende Deponiekapazitäten, die Notwendigkeit zur Schonung der Neusandressourcen und die verstärkte Hinwendung zu einer Circular Economy erfordern ein Umdenken im Umgang mit Gießereialtsanden.

Die außerbetriebliche Verwertung in Drittindustrien, z.B. im Straßenbau oder in der Zement- und Ziegelindustrie, ist möglich, aber aus umweltrechtlichen oder technischen Gründen mengenmäßig beschränkt und in der Tendenz kaum zu steigern.

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

In einem Vorläuferprojekt (Az 34046/01) ist untersucht worden, inwieweit es durch Abreicherung der für die Glasherstellung schädlichen Komponenten aus dem Altsand und gleichzeitiger Korrektur des Gemenges in der Glashütte möglich ist, Glasqualitäten zu erzeugen, welche die erforderlichen Eigenschaften aufweisen. Dabei wurde festgestellt, dass der gereinigte Gießereialtsand bei beherrschbarer Rohstoffvorbereitung zur Herstellung farbigen Behälterglases grundsätzlich eingesetzt werden kann. Diese Erkenntnisgrundlage führte zur europäischen Anmeldung eines europäischen Patentes (EP 3 643 689 A1).

Das zugrundeliegende Konzept der Aufbereitung der Altsande und deren Einsatz als Sekundärrohstoff in der Glasherstellung war nun im industriellen Großversuch zu validieren.

Darstellung der Arbeitsschritte und der angewandten Methoden

Im Rahmen dieses Projektes war die technische Machbarkeit des Einsatzes von Gießereialtsanden für die Herstellung von farbigem Behälterglas zu überprüfen und eine Wirtschaftlichkeitsbetrachtung durchzuführen.

Dabei wurden folgende Arbeitspakete behandelt:

- Konzipierung der Technologieschritte und Anlagenkonfiguration für die Projektierung einer Aufbereitungsanlage für Altsande aus verschiedenen Gießereien
- Installation der Anlage zur Aufbereitung von Altsanden
- Planung und Abwicklung der Logistik für die Anlieferung der Altsande aus den Gießereien sowie der Transporte des aufbereiteten Altsandes zum Glaswerk
- Durchführung des Versuchsbetriebes der Anlage zur Aufbereitung von Altsanden
- Charakterisierung der Altsandeingangs- und -ausgangsqualitäten
- Auswertung der Versuchsergebnisse aus der Altsand-Aufbereitung
- Erstellung eines Anforderungskataloges für die erforderliche Gießerei-Altsandqualität zur Aufbereitung als Sandkomponente in der farbigen Behälterglaserzeugung
- Herstellung einer homogenen Sandmischung für die Lieferung an das Glaswerk
- Technisch-organisatorische Abstimmungen für den Versuchsbetrieb im Glaswerk
- Durchführung des Schmelzversuchs im großtechnischen Maßstab
- Auswertung der Versuchsergebnisse aus dem Schmelzversuch
- Wirtschaftlichkeitsbetrachtung

Ergebnisse und Diskussion

Aufbauend auf labor- und kleintechnischen Untersuchungen in Vorprojekten zur Aufbereitung von Gießerei-Altsanden und für dessen Einsatz in der Glasherstellung waren die Ziele des vorliegenden Projektes, die technische Machbarkeit der Aufbereitung im Pilotmaßstab sowie des Schmelzeinsatzes im industriellen Maßstab zu überprüfen sowie die Grundlagen für eine Wirtschaftlichkeitsbetrachtung zu erarbeiten.

Im ersten Schritt wurde eine Aufbereitungsanlage im Pilotmaßstab konzipiert bestehend aus den folgenden Prozessschritten:

- (1) Separation der Grobfraction mittels Siebung
- (2) Aufbrechen der Binderhüllen mittels Strahlreiniger
- (3) Abtrennen der Staubfracht mittels Fließbettsichter
- (4) Abtrennen der magnetischen Komponenten mittels Magnetabscheider

Wesentliche Bestandteile der Konzeption waren unter anderem

- die Identifizierung eines geeigneten Magnetabscheiders sowie kleintechnische Vorversuche dafür,
- die Identifizierung der Strahlreinigung als geeignete Technologie zum Aufbrechen der Binderhüllen mit anschließender Auslegung eines Strahlreinigers sowie kleintechnische Vorversuche dazu und
- die Konstruktion und der Bau einer an bestehende Standortvoraussetzungen angepassten Aufbereitungsanlage.

Nach der erfolgreichen Inbetriebnahme der Anlage erfolgten konstruktive Anpassungen sowie die Optimierung der Prozessparameter für sechs unterschiedliche Altsande.

Als Voraussetzung dieser Optimierungen aber auch für die Gewährleistung der glastechnologischen Produktanforderungen wurde eine geeignete Qualitätsprüftechnik etabliert. Dies beinhaltete hauptsächlich die Siebanalyse des Fertigsandes und der Feinfraktion, die Bestimmung von Glühverlust und Kohlenstoffgehalt des Fertigsandes sowie die Elementaranalyse mittels Röntgenfluoreszenz (RFA) des Fertigsandes.

Mit der Versuchsanlage wurden 1.004 t aufbereiteter Altsand (Fertigsand) als Produkt hergestellt sowie Grobfraction, Feinfraktion und magnetische Fraktion als Rückstände. Beim Versuch, die Feinfraktion durch einen zusätzlichen nachgeschalteten Aufbereitungsschritt in eine ebenfalls verwertbare Fraktion zu überführen, wurde festgestellt, dass der Sichtungsprozess in der Altsandaufbereitung bereits optimal eingestellt und sehr effektiv war. In der Feinfraktion war kaum noch (für die Glasindustrie) verwertbarer Sand enthalten.

Von der Gesamtmenge an hergestelltem Fertigsand wurden insgesamt 829 t an den Glashersteller geliefert. Nach Anpassungen in der Schüttgutverarbeitung aufgrund eines abweichenden Fließverhaltens des trockenen Altsandes gegenüber dem feuchten konventionellen Sand, wurde der Altsand über mehrere Wochen hinweg erfolgreich in einer Braunglas-Schmelzwanne eingesetzt. Die zudosierte Menge an aufbereitetem Altsand konnte bis zum Ende der Projektlaufzeit auf 18 % gesteigert werden.

Eine Abschätzung der Wirtschaftlichkeit für den Altsand-Aufbereitungsbetrieb beschreibt die wesentlichen Kostenpositionen nach dem Kostenniveau bis 31.12.2021. Sie zeigt, dass eine wirtschaftliche Umsetzung nicht nur wünschenswert und realisierbar, sondern auch rentabel sein kann.

Öffentlichkeitsarbeit und Präsentation

Der Bundesverband der Deutschen Gießerei-Industrie wird die Ergebnisse des Projektes in seinen eigenen Medien (z.B. in der Zeitschrift GIESSEREI) sowie im Rahmen geeigneter Veranstaltungen (z.B. beim zweijährlich stattfindenden Formstoffforum) kommunizieren.

Fazit

Mit diesem Projekt wird der grundsätzliche Nachweis der technischen Machbarkeit einer Verwertung von Gießerei-Altsand bei der Herstellung von farbigem Behälterglas erbracht. Altsand lässt sich mechanisch von einem großen Teil glastechnisch unerwünschter Verunreinigungen befreien und je nach Altsandcharakteristik nach dieser Aufbereitung in der Schmelze für braunes Behälterglas in nennenswerten Mengen einsetzen. Dort kann er den Einsatz der natürlichen Ressource Sand anteilig ersetzen und somit zur Ressourcenschonung beitragen.

Die Abschätzung der Wirtschaftlichkeit für den Altsand-Aufbereitungsbetrieb beschreibt die wesentlichen Kostenpositionen gemäß Kostenniveau bis 31.12.2021. Sie zeigt, dass eine wirtschaftliche Umsetzung nicht nur wünschenswert und realisierbar, sondern auch lohnend sein kann. Künftige Überlegungen zum Einsatz von Gießerei-Altsand im Glasschmelzprozess müssen sich an den dann geltenden, technischen und wirtschaftlichen Aussagen orientieren. Sie erfordern eine Aktualisierung der spezifischen Kosten sowie detaillierte Abstimmungen mit ausgewählten Partnern in der Behälterglasindustrie.

Nach Angaben des statistischen Bundesamtes wurden in Deutschland 2020 laut rund 1,7 Mio. Tonnen farbiges Behälterglas produziert, wovon etwa 2/3 auf Braunglas und 1/3 auf Grünglas entfallen. Für die Abschätzung eines potenziellen Altsandbedarfes in der Glasherstellung ist neben dem Neusand der Anteil eingesetzter Scherben entscheidend. Werden für die Produktion von Braunglas Scherbenanteile zwischen 70 und 80 % angenommen und ein Sandersatz durch Altsand von 18 bis 30 %, so ergibt sich ein potenzieller täglicher Altsandbedarf in der Behälterglasindustrie von 90 bis 210 t/d.

Für diesen Bedarf ist der Altsand einer einzelnen Gießerei nicht ausreichend. Vielmehr müssen geeignete und die glastechnologischen Anforderungen einhaltende Altsande aus mehreren Gießereien verarbeitet werden. Eine Lösungsmöglichkeit hierfür bietet die Entwicklung von Clustern mit geeigneten Gießereien und Glaswerken. Die Altsande der Gießereien sind nach ihrem Einsatzpotential (Charakteristik, Aufkommen, Aufbereitungsfähigkeit, Standort, Dringlichkeit eines neuen Entsorgungsweges) und die Glaswerke – insbesondere mit Schmelzwannen für Braunglas – nach ihrem Einsatzpotential (Sandtonnage, Potential für zusätzlichen Kohlenstoff, Standort, Standortbedingungen wie freie Silos) zu bewerten.

Für die Wirtschaftlichkeit der Aufbereitung ist es erforderlich, eine Anlage mit einem Durchsatz von mind. 200 t/d Altsand zu betreiben. Aufgrund der Transportkosten ist darauf zu achten, dass diese Gießereien nicht zu weit voneinander und von potenziellen Glaswerken entfernt liegen.

Parallel könnten die Voraussetzungen in den Gießereien zur Optimierung der Altsande hinsichtlich dieses Verwertungsweges überprüft werden. Möglicherweise lassen sich die Altsandqualitäten insbesondere hinsichtlich ihrer Organikgehalte optimieren, um als Sekundärrohstoff in der Glasindustrie eingesetzt werden zu können.

Deutsche Bundesstiftung Umwelt ☐ An der Bornau 2 ☐ 49090 Osnabrück ☐ Tel
0541/9633-0 ☐ Fax 0541/9633-190 ☐ <http://www.dbu.de>

I Inhaltsverzeichnis

Projektkennblatt	3
I Inhaltsverzeichnis	7
II Verzeichnis von Bildern und Tabellen	9
III Verzeichnis von Begriffen und Definitionen.....	11
1 Zusammenfassung.....	12
2 Einleitung.....	13
3 Hauptteil.....	14
3.1 Versuchsanlage.....	14
3.1.1 Planung, Konstruktion und Fertigung	14
3.1.2 Montage und Inbetriebsetzung.....	20
3.1.3 Untersuchung der Explosionsgefährdung	20
3.1.4 Verladung in Transport-LKW.....	20
3.2 Betrieb der Versuchsanlage	21
3.2.1 Justierung der Anlagenparameter	21
3.2.2 Herkunft und Art der Altsande	21
3.2.3 Produktionsmenge.....	21
3.2.4 Massebilanz	22
3.2.5 Qualitätsanforderungen des Glasherstellers	24
3.2.6 Altsandmischungen.....	27
3.3 Reststoffe aus der Aufbereitung der Altsande.....	28
3.3.1 Reststoffbewertung.....	28
3.3.2 Versuche zur weiterführenden Aufbereitung der Feinfraktion.....	28

3.4	Schmelzversuch	30
3.4.1	Eingesetzte Altsande	30
3.4.2	Glasqualität	30
3.5	Wirtschaftlichkeitsbetrachtung	31
3.5.1	Einleitung	31
3.5.2	Betriebskosten der Versuchsanlage	31
3.5.3	Wirtschaftlichkeitsbetrachtung einer großtechnischen Aufbereitungsanlage	32
4	Fazit	36
IV	Anhänge	37

II Verzeichnis von Bildern und Tabellen

Abbildung 1: Kreisschwingsieb	15
Abbildung 2: Elevator, Luftstrahlmühle, Fließbettsichter	16
Abbildung 3: Entstaubungsanlage mit Big-Bag Befüllung	17
Abbildung 4: Magnetabscheider	18
Abbildung 5: Big-Bag Befüllung (links: Fertigsand Befüllung; Mitte: Fertigsand leer; rechts: magnetische Fraktion Befüllung)	18
Abbildung 6: Big-Bag mit Fertigsand, beschriftet	19
Abbildung 7: Verladung Fertigsand; linkes Bild: Verladetrichter; rechtes Bild: Befüllung in LKW	20
Abbildung 8: Entwicklung der Produktionsmenge über die Zeit	22
Abbildung 9: Entwicklung der kumulierten Massebilanz über den Zeitraum der Versuchsproduktion.....	23
Abbildung 10: Mikroskopaufnahme (Auf- und Durchlicht, 30-fache Vergrößerung) von aufbereitetem Altsand von Altsand 2 (im unteren Teil des Bildes; mit schwarzen Stellen an den Quarzkörnern) neben konventionellem Sand des Glasproduzenten (im oberen Teil des Bildes; helle, durchscheinende Quarzkörner).....	26
Abbildung 11: Mikroskopaufnahme (Auf- und Durchlicht, 30-fache Vergrößerung) von aufbereitetem Altsand von Altsand 4	27
Abbildung 12: Mikroskopaufnahme (Auflicht, 100-fache Vergrößerung) von aufbereitetem Altsand von Altsand 1	27
Abbildung 13: Mikroskopaufnahme (Auflicht, 100-fache Vergrößerung) der Körnung 125-150 µm einer Feinfraktion (nach Siebung).....	28
Abbildung 14: Mikroskopaufnahme (Auf- und Durchlicht, 40-fache Vergrößerung) der Feinfraktion: links: Aufgabegut vor dem Sichten; rechts: Grobgut nach dem Sichten	29
Abbildung 15: Gewinn (+)/ Verlust (-) einer Produktionsanlage in Abhängigkeit von der Produktionskapazität gemäß Wirtschaftlichkeitsbetrachtung	35

Tabelle 1: Mengen an aufbereitetem Sand nach Herkunft und Art.....	22
Tabelle 2: Massebilanzen (durchschnittlich über gesamte Versuchsproduktion) nach Sandart	24
Tabelle 3: Glühverlust, Kohlenstoffgehalt und das Verhältnis daraus für die Sandarten aus zufälligen Probenahmen.....	25
Tabelle 4: Qualitätskriterien des Fertigsandes nach Sandart (durchschnittlich über gesamte Versuchsproduktion); Rot markierte Werte entsprechen nicht den Anforderungen des Glaswerkes	25
Tabelle 5: Reduzierung des Glühverlustes (GV) durch die Aufbereitung nach Sandart (durchschnittlich über gesamte Versuchsproduktion)	26
Tabelle 6: Betriebskosten der Versuchsanlage im Projekt	32
Tabelle 7: Annahmen für die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung.....	33
Tabelle 8: Annahmen zu den Energiekosten: Prozentsätze des tonnagebezogenen Energieverbrauchs im Vergleich zur Versuchsanlage.....	34
Tabelle 9: Übersicht der abgeschätzten Ausgaben und Einnahmen (in €/t Fertigsand) für drei Anlagengrößen und jeweils drei Szenarien.....	35

III Verzeichnis von Begriffen und Definitionen

Begriff, Abkürzung; Definition	Erläuterung
FGTS	Ing.-Büro Franke Glas Technologie-Service (auch Franke GTS)
IBL	Ing.-Büro Lüpfer Process Engineering Service
SiC	SiC Processing (Deutschland) GmbH
UAMG	Ulrich Anlagen- und Maschinenbau GmbH
Pos.	Position
LKW	Lastkraftwagen
PSA	Persönliche Schutzausrüstung
Fertigsand	Produkt der Altsandaufbereitung
Grobfraktion	Abfall der Altsandaufbereitung; Körnung > 720 µm
Feinfraktion	Abfall der Altsandaufbereitung; Körnung < 100 µm
Magnetische Fraktion	Abfall der Altsandaufbereitung; metallisches Eisen und weitere magnetische Stoffe
TOC	Total Organic Carbon (Gesamter organischer Kohlenstoff)
ROC	(auch EC) Elementarer Kohlenstoff
AOC	Abbaubarer organischer Kohlenstoff
MA	Mitarbeiter

1 Zusammenfassung

Aufbauend auf labor- und kleintechnischen Untersuchungen in Vorprojekten zur Aufbereitung von Gießerei-Altsanden und für dessen Einsatz in der Glasherstellung waren die Ziele des vorliegenden Projektes, die technische Machbarkeit der Aufbereitung im Pilotmaßstab sowie des Schmelzeinsatzes im industriellen Maßstab zu überprüfen sowie die Grundlagen für eine Wirtschaftlichkeitsbetrachtung zu erarbeiten.

Im ersten Schritt wurde eine Aufbereitungsanlage im Pilotmaßstab konzipiert bestehend aus den folgenden Prozessschritten:

- (1) Separation der Grobfraction mittels Siebung
- (2) Aufbrechen der Binderhüllen mittels Strahlreiniger
- (3) Abtrennen der Staubfracht mittels Fließbettsichter
- (4) Abtrennen der magnetischen Komponenten mittels Magnetabscheider

Wesentliche Bestandteile der Konzeption waren unter anderem

- die Identifizierung eines geeigneten Magnetabscheiders sowie kleintechnische Vorversuche dafür,
- die Identifizierung der Strahlreinigung als geeignete Technologie zum Aufbrechen der Binderhüllen mit anschließender Auslegung eines Strahlreinigers sowie kleintechnische Vorversuche dazu und
- die Konstruktion und der Bau einer an bestehende Standortvoraussetzungen angepassten Aufbereitungsanlage.

Nach der erfolgreichen Inbetriebnahme der Anlage erfolgten konstruktive Anpassungen sowie die Optimierung der Prozessparameter für sechs unterschiedliche Altsande.

Als Voraussetzung dieser Optimierungen aber auch für die Gewährleistung der glastechnologischen Produktanforderungen wurde eine geeignete Qualitätsprüftechnik etabliert. Diese beinhaltete hauptsächlich die Siebanalyse des Fertigsandes und der Feinfraktion, die Bestimmung von Glühverlust und Kohlenstoffgehalt des Fertigsandes sowie die Elementanalyse mittels Röntgenfluoreszenz (RFA) des Fertigsandes.

Mit der Versuchsanlage wurden 1.004 t aufbereiteter Altsand (Fertigsand) als Produkt hergestellt sowie Grobfraction, Feinfraktion und magnetische Fraktion als Rückstände. Beim Versuch, die Feinfraktion durch einen zusätzlichen nachgeschalteten Aufbereitungsschritt in eine ebenfalls verwertbare Fraktion zu überführen, wurde festgestellt, dass der Sichtungsprozess in der Altsandaufbereitung bereits optimal eingestellt und sehr effektiv war. In der Feinfraktion war kaum noch (für die Glasindustrie) verwertbarer Sand enthalten.

Von der Gesamtmenge des hergestellten Fertigsandes wurden insgesamt 829 t an den Glashersteller geliefert. Nach Anpassungen in der Schüttgutverarbeitung aufgrund eines abweichenden Fließverhaltens des trockenen Altsandes gegenüber dem feuchten konventionellen Sand wurde der Altsand über mehrere Wochen hinweg erfolgreich in einer Braunglas-Schmelzwanne eingesetzt. Die zudosierte Menge an aufbereitetem Altsand konnte bis zum Ende der Projektlaufzeit auf 18 % gesteigert werden.

Eine Abschätzung der Wirtschaftlichkeit für den Altsand-Aufbereitungsbetrieb beschreibt die wesentlichen Kostenpositionen nach dem Kostenniveau bis 31.12.2021. Sie zeigt, dass eine wirtschaftliche Umsetzung nicht nur wünschenswert und realisierbar, sondern auch rentabel sein kann.

2 Einleitung

In Gießereien wird Sand eingesetzt, welcher den Hauptbestandteil des Formstoffes einer Gussform für die Herstellung von Gussteilen bildet. Zur Verfestigung der Gussformen werden Formstoff-Bindemittel zum Sand gemischt. Diese Bindemittel sind überwiegend organischer, teilweise auch anorganischer Natur. Nach dem Abgießen des Metalls wird der Formsand aufbereitet und mehrfach verwendet. Ein Teil muss aufgrund mechanischen und thermischen Verschleißes ausgeschleust und entsorgt werden. Dadurch fallen in Gießereien nicht unerhebliche Mengen Altsand an; das Aufkommen für große Gießereien kann mehrere Hundert Tonnen im Monat betragen. Bundesweit entstehen so jährlich ca. 2,2 Mio. Tonnen Altsand; mehr als die Hälfte dessen wird auf Deponien verbracht und dort größtenteils im Rahmen baulicher Maßnahmen verwertet. Der Deponieraum in Deutschland ist jedoch perspektivisch begrenzt. In der Folge steigen die Entsorgungskosten seit Jahren an und belasten zunehmend die Wettbewerbsfähigkeit der Gießereiunternehmen. Aber auch der schonende Umgang mit Ressourcen aufgrund des mit erheblichen negativen Umweltauswirkungen verbundenen Abbaus von Neusand spielt eine wichtige Rolle.

Nach Angaben des statistischen Bundesamtes wurden in Deutschland 2020 laut rund 1,7 Mio. Tonnen farbiges Behälterglas produziert, wovon etwa 2/3 auf Braunglas und 1/3 auf Grünglas entfallen. Für die Abschätzung eines potenziellen Altsandbedarfes in der Glasherstellung ist neben dem Neusand der Anteil eingesetzter Scherben entscheidend. Bei der Herstellung von Grünglas werden im Vergleich zu Braunglas üblicherweise etwas höhere Anteile Scherben eingesetzt (Annahme 90 %) – der Sandersatz würde aufgrund des oxidierenderen Schmelzprozesses somit geringer ausfallen (Annahme 10 %; bisher nicht getestet). Werden für die Produktion von Braunglas Scherbenanteile zwischen 70 und 80 % angenommen und ein Sandersatz durch Altsand von 18 bis 30 % – der Versuch war mit 18 % noch nicht an der technologischen Grenze; zusätzliches Potenzial besteht bei dunklem Braunglas – so ergibt sich ein potenzieller täglicher Altsandbedarf in der Behälterglasindustrie von 90 bis 210 t/d.

Im Rahmen des DBU-Projektes „Einsatz von Gießerei-Altsand bei der farbigen Behälterglasherstellung“ (gefördert unter dem AZ. 34046/01) wurden gemeinsam mit der TU Bergakademie Freiberg, dem Bundesverband der Deutschen Gießerei-Industrie, dem Ingenieurbüro Franke GTS und der Schönheider Guss GmbH sowie weiteren acht Gießereien grundlegende wissenschaftliche Untersuchungen zur stofflichen Verwertung von Gießerei-Altsand in der Glasherstellung durchgeführt. Das Ergebnis dieser Versuche zeigte nach schmelztechnischer Bewertung die grundsätzliche Machbarkeit des Einsatzes von Altsand für die Herstellung von Grün- und Braunglas. Mit diesem Vorläuferprojekt wurde eine Wissensbasis erarbeitet, deren Erkenntnisse Potenzial für die praktische Umsetzung der Verwertungsoption von Altsanden in der Behälterglasproduktion bieten. Zudem führte sie schließlich zu einer europäischen Patentanmeldung (EP 3 643 689 A1).

Eine Bewertung dieser Ergebnisse hinsichtlich der Wirtschaftlichkeit dieser Verwertungsoption war im Rahmen des vorgenannten Projektes nicht erfolgt. Die Wirtschaftlichkeit kann nur unter realen Produktionsbedingungen ermittelt werden, da sie mengenabhängig ist und realitätsnah weder im Labor noch im halbindustriellen Maßstab dargestellt werden kann. Hierfür ist vielmehr eine mehrwöchige Versuchsphase als Schmelzwannen-Versuch im industriellen Maßstab erforderlich. Dabei ist der wirtschaftliche Aufwand zur Aufbereitung der Altsand-Komponente und deren Einfluss auf die Glasqualität im Schmelzprozess zu ermitteln.

Der Schmelzversuch im industriellen Maßstab wurde mit einem großen Hersteller für Behälterglas durchgeführt. Im Vorfeld war eine ausreichende Menge Altsand von den Gießereien bereitzustellen, aufzubereiten und dem Glaswerk nach seinem technologischen Bedarf zur Verfügung zu stellen.

3 Hauptteil

3.1 Versuchsanlage

3.1.1 Planung, Konstruktion und Fertigung

Aufgabenstellung

Die Versuchsanlage dient der Aufbereitung von Gießerei-Altsand zu einem erneut industriell einsatzfähigen Sand mit dem Ziel der Verwendung als Gemengekomponente zum Erschmelzen von farbigem Behälterglas in der Glasindustrie.

Die Versuchsanlage hat zum Ziel, optimale Produktionsparameter zu ermitteln sowie die erforderliche Fertigsandqualität bei einer angemessenen Produktionsleistung zu erreichen.

In der Versuchsanlage werden folgende technologische Verfahrensschritte zur Aufbereitung des Gießerei-Altsandes durchgeführt:

- Einlagerung von Gießerei-Altsand (Silobefüllung)
- Aufgabe des Altsandes in die Anlage
- Absiebung der Grobfraktion > 720 µm
- Auftrennung und Abtrennung der Kornhüllen
- Absonderung des Feinkorns vom Grundkorn
- Separierung von magnetischem Material
- Lagerung und Konfektionierung von Fertigsand in Big-Bag
- Verladung des Fertigsandes in Schüttgut-LKW

Die Anlage war in einem geschlossenen Gebäude mit bereits vorhandener technologischer Infrastruktur aufzustellen. Die verfügbare Grundfläche war räumlich sehr begrenzt und von schmalen Zuschnitt. Eine technologische Verbindung zu den bereits bestehenden Anlagen besteht nicht. Trotz beengter Platzverhältnisse war Fläche für Transporte vorzusehen.

Ausführung

Die Planung, Konstruktion, Fertigung, Montage des Gerüsts und der Ausrüstungen erfolgte durch die Ulrich Anlagen- und Maschinenbau GmbH (UAMG). Ausrüstungen, welche nicht durch UAMG gefertigt werden konnten, wurden von UAMG hinzugekauft.

Die Versuchsanlage ist eine voll funktionsfähige Komplettanlage von der Materialaufgabe bis zur Abgabe aller getrennten Materialqualitäten. Die Anlage befindet sich in einem geschlossenen Gebäude. Die meisten Anlagenkomponenten sind auf einem Gerüst befestigt. Die Abfüllstellen in Big Bags befinden sich ebenerdig auf dem Hallenboden.

Siehe Anhänge 1 und 2.

Auslegungsdaten

Max. Umgebungstemperatur:	+ 40 °C
Fördergut:	Gießerei-Altsand
Konsistenz:	körnig bis staubig
Fließverhalten:	gut rieselfähig, leicht verdichtend
Förderleistung:	750 – 1.000 kg/h
Schüttdichte:	1,55 - 1,7 kg/dm ³
Feuchte:	trocken

Gefährlichkeit Altsand: kein gefährlicher Stoff im Sinne der Gefahrstoffverordnung,
enthält silikogene Bestandteile, Harze, Bentonit und in geringem Maße Metalle (z.B. metallisches Eisen).

Vorversuche zur Auslegung und Erprobung von Anlagenbestandteilen:

Für die Prozessschritte Strahlreinigung, Sichtung und Magnetabscheidung wurden Vorversuche mit kleintechnischen Simulationsaufbauten durchgeführt. Damit sollte die Wirksamkeit der konzeptionellen Technologien für diese Anwendung überprüft werden, bevor Investitionen in die Pilotanlage getätigt werden. Zudem sollten verfahrenstechnische Parameterfelder für den Betrieb identifiziert und eingegrenzt werden.

Im Ergebnis dieser kleintechnischen Vorversuche wurde die Pilotanlage für den Großversuch ausgelegt und installiert, wie im Folgenden beschrieben.

Hinweis: Die Positions-Nummern entsprechen denen der technischen Anlagendokumentation (siehe Anhang 3).

Die Entladung der angelieferten Altsande erfolgt auf zwei Wegen:

a) mittels Druckluft (Silo-LKW mit Kompressor) in ein stationäres Silo (Pos. 01)

oder

b) aus Big Bags in eine Big Bag-Entleervorrichtung.

Material aus dem Silo (Pos. 01) wird mit einem Dosier-Rohrschneckenförderer (Pos. 02) in ein Kreisschwingsieb (Pos. 03) gefördert. Material aus der Big Bag-Entleervorrichtung wird mit separatem Dosier-Rohrschneckenförderer in das gleiche Kreisschwingsieb gefördert. Es kann jeweils nur ein Förderweg betrieben werden.

Im Kreisschwingsieb (siehe Abbildung 1) wird Überkorn ($> 720 \mu\text{m}$) abgetrennt und in einem Auffangbehälter gesammelt. Dessen Füllstand ist durch den Bediener regelmäßig zu kontrollieren. Der Auffangbehälter wird bei Bedarf manuell in ein Big Bag für die „Grobfraktion“ entleert.



Abbildung 1: Kreisschwingsieb

Das verbleibende Material ($< 720 \mu\text{m}$) fällt in einen Senkrecht-Becherförderer (Elevator, Pos. 04) und wird in diesem in den Behälter der Luftstrahlmühle (Pos. 05) auf der obersten Gerüstebene überhoben (siehe Abbildung 2).



Abbildung 2: Elevator, Luftstrahlmühle, Fließbettsichter

Die Füllung des Behälters der Luftstrahlmühle wird mittels Wägezellen und Signalumformer kontrolliert. Bei Erreichen des einstellbaren Maximums (z.B. 80 kg) wird die zufördernde Transportstrecke automatisch verriegelt, bis der Wert wieder unterschritten ist.

In der Luftstrahlmühle (Pos. 05) wird die Oberfläche der Materialkörner mechanisch durch Reibung und Prallenergie belastet und damit ein gewisser Teil der Oberflächenhülle als Feinkorn vom Grundkorn abgetrennt. Hierzu wird mittels eines Seitenkanalverdichters (Pos. 06) und eines Fluidisierkonus ein Wirbelbett erzeugt. In dieses Wirbelbett wird über drei radial angeordnete Düsen Druckluft mit einem einstellbaren Druck bis 9 bar eingeblasen.

Die aus dem Wirbelbett austretende Luft wird im oberen Teil des Behälters über jet-abgereinigte Filterpatronen gereinigt und mit einem Ventilator (Pos. 07) abgesaugt.

Der Abtransport des Materialgemisches von Fein- und Grundkorn erfolgt mittels Rohrschneckenförderer (Pos. 09) in einen Fließbettsichter (Pos. 10).

Um eine gleichbleibende Füllung der Luftstrahlmühle sicherzustellen, erfolgt die Abförderung des Gutstromes durch eine automatische Regelung der Drehzahl über das ermittelte Gewicht der in der Mühle befindlichen Sandmenge. Die am Bedien-Tableau einstellbare Gewichtssollmenge dient gleichzeitig als Maß für die Verweildauer des Sandes im Apparat.

Im Fließbettsichter (Pos. 10) wird mit einem Ventilator ein Luftstrom erzeugt, welcher durch einen Lochboden das Material durchströmt. Dabei wird das in der Luftstrahlmühle erzeugte Feinkorn in Schwebelage gebracht und abgesaugt. Die Drehzahl des Ventilators ist über einen Frequenzumrichter am Bedientableau einstellbar.

Die Abluftmenge kann manuell (ungeregelt) durch Drosselklappen und Falschluffklappen eingestellt werden. Die Abluft wird in der zentralen Entstaubungsanlage (Pos. 11) gefiltert (siehe Abbildung 3).



Abbildung 3: Entstaubungsanlage mit Big-Bag Befüllung

Diese besteht aus einem Trichterbehälter mit 4 Aufsatzfiltern einer Austrags-Zellenradschleuse und einem gemeinsamen Abluftventilator. Über die zyklisch betriebene Zellenradschleuse fällt das Feinkorn (Feinfraktion) in eine darunter befindliche Big-Bag-Befüllstation. Die Füllhöhe ist durch den Bediener regelmäßig visuell zu kontrollieren. Der Wechsel des Big Bag kann in einer Zykluspause der Zellenradschleuse (5 min) erfolgen. Gegebenenfalls ist die gesamte Anlage über die Ausschalt routine durch den Bediener anzuhalten.

Das Grundkorn aus dem Fließbettsichter wird mittels Vibrationsrinne (Pos. 12) auf einen Band-Magnetabscheider (Pos. 13; siehe Abbildung 4) aufgegeben. Dieser separiert in 3 Stufen magnetisches Material aus dem Förderstrom. Die Geschwindigkeit der inneren Transportgurte zur Regulierung der Abscheideleistung ist am Bedientableau einstellbar.



Abbildung 4: Magnetabscheider

Das abgeschiedene magnetische Material (magnetische Fraktion) fällt durch ein Rohr direkt in einen Big Bag. Dessen Füllstand ist durch den Bediener regelmäßig zu kontrollieren. Sollte ein Wechsel des Big Bag „magnetische Fraktion“ während des Betriebes der Anlage notwendig sein, so ist die Anlage durch den Bediener über die Ausschalt routine anzuhalten.

Nach der Abscheidung von magnetischem Material im Band-Magnetabscheider fällt das Gutmaterial (Fertigsand) in eine Tandem-Big-Bag-Befüllstation (siehe Abbildung 5).



Abbildung 5: Big-Bag Befüllung (links: Fertigsand Befüllung; Mitte: Fertigsand leer; rechts: magnetische Fraktion Befüllung)

Die Füllhöhe des jeweils befüllten Big Bag ist durch den Bediener regelmäßig zu kontrollieren. Der andere Big Bag wird bei exakt betätigter Rohrweiche nicht befüllt. Muss der befüllte Big Bag für „Fertigsand“ gewechselt werden, so ist die Rohrweiche durch den Bediener umzustellen. Danach ist der Wechsel des Big Bags während des laufenden Betriebes der Anlage möglich.

Alle Aggregate sind geschlossen oder eingehaust. Alle Rohstoffübergabestellen sind gekapselt. An fördertechnisch geeigneten Stellen wird entstehender Staub abgesaugt und die Abluft über Rohrleitungen zu einem zentralen Abluftfilter (Pos. 11) geführt. Die Abluft vom Silo wird mittels Silo-Aufsatzfilter gereinigt. Die Filter werden zyklisch mittels Druckluftimpulsen abgereinigt.

Alle Aggregate haben Inspektions- und Wartungsöffnungen, bzw. -türen. Diese dürfen nur bei Stillstand der Anlage und in drucklosem Zustand geöffnet werden.

Bediener bzw. Wartungspersonal tragen PSA, insbesondere eine Staubschutzmaske.

Alle befüllten Big Bags wurden mit den entsprechenden Materialqualitäten beschriftet (siehe Abbildung 6):

- „Fertigsand + Name der Gießerei“
- „Feinfraktion“
- „magnetische Fraktion“
- „Grobfraktion“

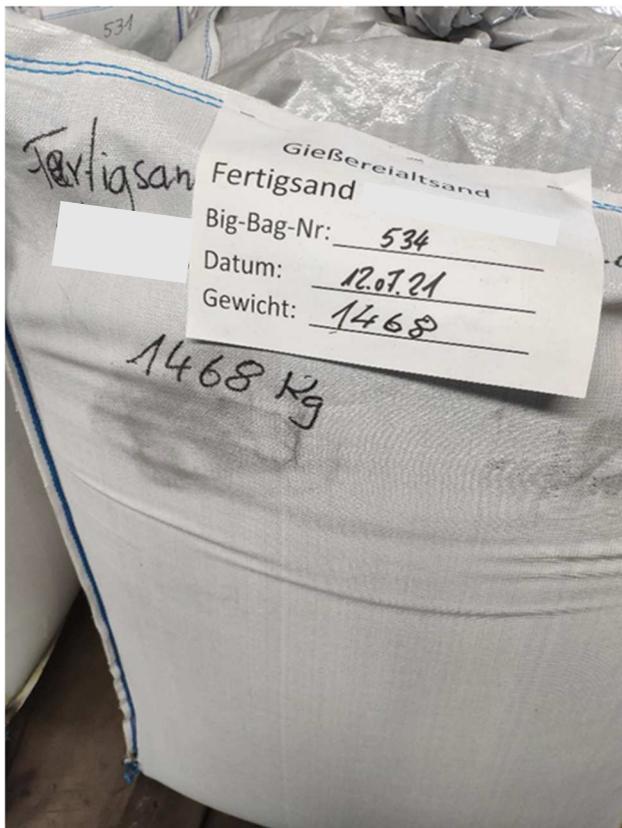


Abbildung 6: Big-Bag mit Fertigsand, beschriftet

Vor Verschließen des mit Fertigsand befüllten Big Bag ist eine Materialprobe zu entnehmen, in einem verschließbaren Behältnis zu verwahren und zu beschriften.

Jeder Big Bag mit Fertigsand ist extra zu nummerieren und zu kennzeichnen, insbesondere mit dem Namen der Gießerei, aus welcher der Altsand geliefert wurde.

3.1.2 Montage und Inbetriebsetzung

Die Montage erfolgte durch UAMG in einem Gebäude unter sehr beengten Platzverhältnissen. Bedingt dadurch wurden das Gerüst und die Ausrüstungen der Versuchsanlage entsprechend einer vorher festgelegten Aufbaureihenfolge montiert. Die Montage der Versorgungstechnik (Druckluft), Elektroenergieversorgung und Steuerung wurde durch UAMG koordiniert und überwacht.

Die Inbetriebnahme erfolgte durch Fachpersonal von UAMG.

Eine Technische Anlagendokumentation inkl. Betriebsanleitung wurde durch UAMG erstellt. Der Betreiber SiC wurde durch UAMG in den Anlagenbetrieb eingewiesen. Der Beginn des Betriebes der Versuchsanlage durch SiC wurde durch Personal von UAMG begleitet.

3.1.3 Untersuchung der Explosionsgefährdung

Zur Beurteilung der Explosionsgefährdung der Anlage wurde das Zwischenprodukt mit dem höchsten explosionsgefährdenden Potenzial – der Filterstaub aus den Filterkammern oberhalb des Strahlreinigers – untersucht. Hierfür wurde Filterstaub aus der Aufbereitung eines Altsandes mit hoher Kohlenstofflast betrachtet.

Gemäß des Prüfprotokolls der prüfenden Einrichtung (siehe Anhang 4) wurde die untersuchte Probe als „nicht explosionsfähig“ eingestuft.

3.1.4 Verladung in Transport-LKW

Big Bags mit Fertigsand werden mittels Gabelstapler auf einen Verladetrichter mit eingebautem Kreuzmesser aufgesetzt (siehe Abbildung 7). Durch das Kreuzmesser wird der Big Bag von unten aufgeschnitten und das Material fließt in den Trichter. Der Abzug aus dem Trichter erfolgt mittels Gurtbandförderer in einen Schüttgut-LKW. Der Volumenstrom wird durch einen Absperrschieber eingestellt.

Die aufbereiteten Fertigsande der verschiedenen beteiligten Gießereien werden in einer festgelegten Reihenfolge nacheinander auf diesem Weg in den Schüttgut-LKW geladen. Damit wird eine Mischung der Materialqualitäten erreicht.



Abbildung 7: Verladung Fertigsand; linkes Bild: Verladetrichter; rechtes Bild: Befüllung in LKW

3.2 Betrieb der Versuchsanlage

3.2.1 Justierung der Anlagenparameter

Nach der durch UAMG erfolgten Montage und Inbetriebnahme der für die Aufbereitung erforderlichen Prozesstechnik wurde im Januar 2021 mit der Aufbereitung angelieferter Gießereialtsande begonnen.

Mit Blick sowohl auf die Qualität des aufbereiteten Sandes als auch auf die Betriebskosten wurden die folgenden Prozessparameter sukzessive angepasst und damit der Betrieb optimiert:

- Geschwindigkeit der Dosierschnecken aus Silo und aus Big-Bag-Entladung
- Sandmenge im Strahlreiniger
- Strahldruck im Luftstrahlreiniger
- Ventilator Drehzahl vor Fließbettsichter
- Stellung der Drosselklappen nach Fließbettsichter
- Geschwindigkeit der Fördergurte im Magnetabscheider
- Dicke der Fördergurte im Magnetabscheider (beeinflusst die Magnetfeldstärke)

Daneben wurden bauliche Optimierungen an der Anlage vorgenommen. Beispiele hierfür sind:

- Einbindung von Siebhilfen in die Grobsiebung
- neues Lochblech im Fließbettsichter mit veränderter Lochgeometrie
- Einhausung des Magnetabscheiders
- Anbringung von Leitblechen zur Strömungsführung
- Austausch von Motoren

3.2.2 Herkunft und Art der Altsande

Im Rahmen des Projektes wurde die Aufbereitung der folgenden sechs Altsande unterschiedlicher Gießereien untersucht:

- Altsand 1: Eisenguss, Kernsand (Cold Box)
- Altsand 2: NE-, Eisen-, Stahlguss, Form-/Kernsand (Croning, Kaltharz)
- Altsand 3: Eisenguss, Form-/Kernsand (Bentonit, Kaltharz, Cold Box)
- Altsand 4: Eisenguss, Form-/Kernsand (Bentonit, Cold Box)
- Altsand 5: Eisenguss, Form-/Kernsand (Kaltharz)
- Altsand 6: Eisenguss, Formsand (Kaltharz)

3.2.3 Produktionsmenge

Von den beteiligten Gießereien wurden insgesamt 1.341 t Altsand angeliefert. Aus dieser Menge wurde durch die Aufbereitung im Zeitraum Januar – September 2021 1.004 t aufbereiteter Sand (Fertigsand) gewonnen (siehe Abbildung 8).

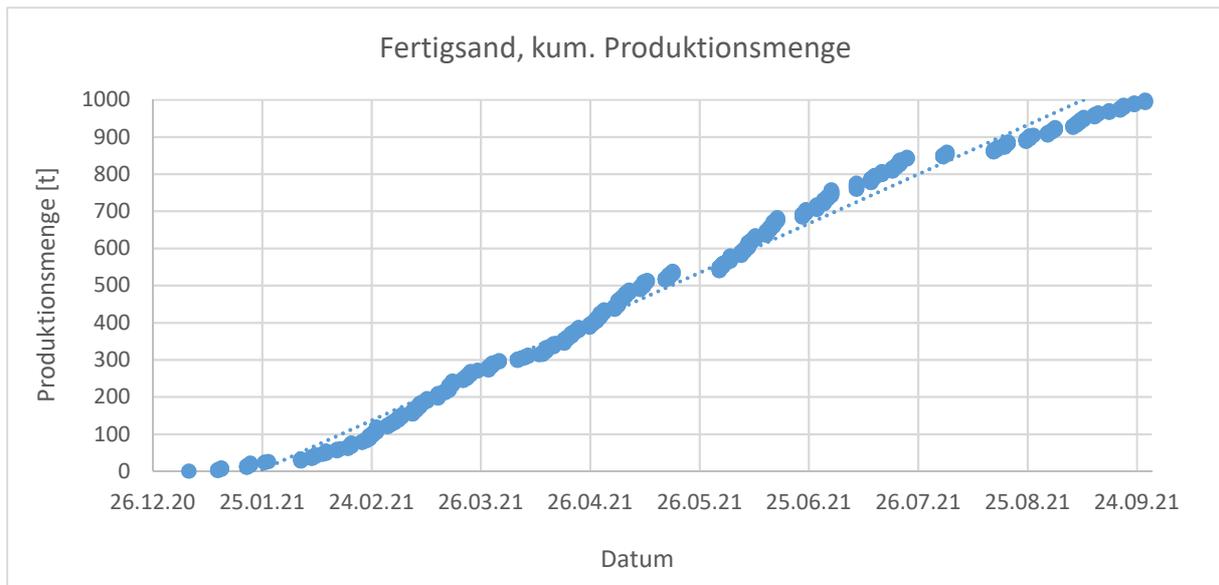


Abbildung 8: Entwicklung der Produktionsmenge über die Zeit

Um die für einen aussagekräftigen Schmelzversuch benötigte Menge an aufbereitetem Sand bereitstellen zu können, wurde der Fokus auf den am besten geeigneten Altsand 1 gelegt. Dieser wies nach der Aufbereitung eine bessere Charakteristik auf als vom Glaswerk gefordert und bot somit den erforderlichen Spielraum zur Beimischung weiterer Altsande. Vom Altsand 2 wurde entsprechend seiner Qualität die zweitgrößte Menge aufbereitet, gefolgt von Altsand 3. Bei Altsand 6 wurde in einem frühen Stadium festgestellt, dass er die anspruchsvollen Anforderungen des Glasherstellers für den Schmelzversuch nach dem einmaligen Durchlaufen der Aufbereitung nicht erreichen kann. Deshalb wurde von dieser Sorte eine Menge aufbereitet, die eine qualifizierte Aussage zur erreichbaren Qualität zulässt.

In Tabelle 1 sind die aufbereiteten Mengen der beteiligten Gießereien zusammengefasst.

Tabelle 1: Mengen an aufbereitetem Sand nach Herkunft und Art

Altsand 1	Altsand 2	Altsand 3	Altsand 4	Altsand 5	Altsand 6	Summe
728 t	130 t	58 t	33 t	52 t	4 t	1.004 t

3.2.4 Massebilanz

Im Laufe der Produktion konnte aufgrund der durchgeführten Prozessoptimierung die Ausbeute, also der Anteil des Fertigsandes am gesamten Sandstrom, kontinuierlich gesteigert werden (siehe Abbildung 9). Lag diese zu Beginn der Produktion noch bei 65 %, wurden über das gesamte Projekt hinweg 76 % des Altsandes zu Fertigsand für den industriellen Schmelzversuch aufbereitet. Entsprechend sanken die Anteile der Reststoffströme Grobfraction, Feinfraction und magnetische Fraction.

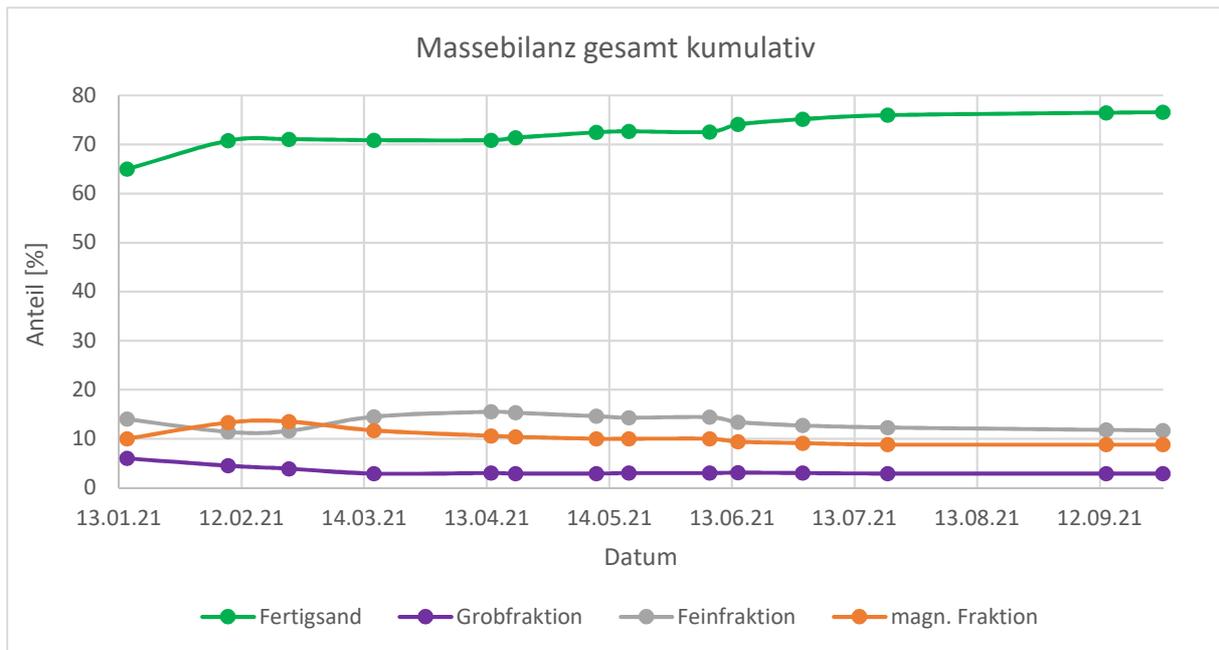


Abbildung 9: Entwicklung der kumulierten Massebilanz über den Zeitraum der Versuchsproduktion

Beim differenzierten Blick auf die Massebilanzen, die mit den verschiedenen Sandarten erreicht wurden, sind deutliche Unterschiede in der Ausbeute zu erkennen (siehe Tabelle 2). Die relativ geringe Ausbeute bei Altsand 3 und 4 (beide 61 %) geht mit einem erheblichen Anteil an Feinfraktion einher, der mit 30 % respektive 26 % beim 3- bis 5-fachen liegt im Vergleich zur Feinfraktion bei den anderen Sandarten. Die Feinfraktion besteht hauptsächlich aus dem Staub, der beim Aufbrechen und Abtrennen der Binderhüllen im Strahlreiniger entsteht. Aus den hohen Anteilen dieser Fraktion bei Altsand 3 und 4 kann eine starke Reinigungswirkung gefolgert werden.

Die höchste Ausbeute war mit 83 % bei Altsand 2 zu verzeichnen. Der Grund hierfür ist in der geringen Belastung des Altsandes mit Bentonit und metallischem Eisen zu sehen, was sich u.a. in einem geringen Anteil magnetischer Fraktion widerspiegelt.

Von einer vergleichenden Massenbilanzierung für Altsand 6 wurde aufgrund der geringen aufbereiteten Menge abgesehen.

Da beim Wechsel der aufzubereitenden Altsande nicht jedes Mal die Big Bags für die Reststofffraktionen gewechselt und gewogen wurden, ergeben sich bei den Summen insbes. bei den Altsanden 4 und 5 durch Überschneidungen Abweichungen von 100%.

Tabelle 2: Massebilanzen (durchschnittlich über gesamte Versuchsproduktion) nach Sandart

	Fertigsand	Grobfraction	Feinfraktion	Magn. Fraktion	Summe
Altsand 1	77 %	3 %	10 %	10 %	100 %
Altsand 2	83 %	3 %	8 %	6 %	100 %
Altsand 3	61 %	2 %	26 %	10 %	99 %
Altsand 4	61 %	5 %	30 %	9 %	105 %
Altsand 5	79 %	4 %	6 %	5 %	94 %
Gesamt	76 %	3 %	11 %	9 %	99 %

3.2.5 Qualitätsanforderungen des Glasherstellers

Die Qualitätsanforderungen des Partners aus der Glasindustrie an den aufbereiteten Sand wurden zu Projektbeginn wie folgt definiert:

Feuchte: max. 4 %

Metallisches Eisen: frei von metallischem Eisen

Kohlenstoffgehalt: max. 0,35 %

Fe₂O₃-Gehalt: max. 0,4 %

Cr₂O₃-Gehalt: max. 0,01 %

Korngröße: 0,09 mm – 0,8 mm

Der Altsand wurde von den Gießereien trocken (Feuchte <1 %) zu SiC Processing angeliefert, im Silo oder in Big Bags überdacht gelagert und kam auch bei der Aufbereitung nicht mit Wasser in Kontakt. Die Qualitätsanforderung an die Feuchte wurde somit jederzeit eingehalten.

Mit Hilfe der dreistufigen Magnetabscheidung wurde metallisches Eisen aus dem Altsand entfernt. Die Magnetabscheidung war dabei so intensiv, dass auch statisch aufgeladener Chromerzsand und Bentonit teilweise separiert wurden, was mit Hilfe von Elementanalysen nachgewiesen werden konnte. Eine regelmäßige Überprüfung der Fertigsand-Qualität erfolgte trotzdem mit einem Magnetstab. Dabei konnten im Fertigsand kaum magnetische Rückstände gefunden werden.

Anstelle des Kohlenstoffgehalt wurde als praktikable Alternative für regelmäßige Analysen der Glühverlust bei 500 °C bestimmt. Bei dieser Temperatur ist der enthaltene Kohlenstoff fast vollständig oxidiert und verflüchtigt. Der häufig ebenfalls enthaltene Bentonit hat dabei jedoch noch kein Kristallwasser abgespalten und beeinflusst das Ergebnis nicht.

Aus einem Vergleich von Glühverlust (GV) und Kohlenstoffgehalt kann näherungsweise ein Umrechnungsfaktor (Verhältnis TC/GV) bestimmt werden (siehe Tabelle 3).

Tabelle 3: Glühverlust, Kohlenstoffgehalt und das Verhältnis daraus für die Sandarten aus zufälligen Probenahmen

	Glühverlust (%)	Kohlenstoffgehalt TC (%)	Verhältnis TC/GV [-]
Altsand 1	0,44	0,43	1,0
Altsand 2	0,96	1,16	1,2
Altsand 3	1,30	1,30	1,0
Altsand 4	1,47	1,28	0,9
Altsand 5	2,92	2,14	0,7
Altsand 6	3,04	2,13	0,7

Für die Bewertung der Sandqualität und zur Überwachung der Produktion wurde der Fokus der Analysen des Fertigsandes auf den Anteil < 100 µm, den Glühverlust sowie die Anteile an Al₂O₃, Cr₂O₃ und Fe₂O₃ gelegt.

In Tabelle 4 sind die durchschnittlich ermittelten Werte der Qualitätskriterien für die verschiedenen Sandarten zusammengefasst. Rot markierte Werte entsprechen nicht den technologischen Anforderungen des Glaswerkes.

Tabelle 4: Qualitätskriterien des Fertigsandes nach Sandart (durchschnittlich über gesamte Versuchsproduktion); Rot markierte Werte entsprechen nicht den Anforderungen des Glaswerkes

	Anteil < 100 µm (%)	Glühverlust (%)	Anteil Al ₂ O ₃ (%)	Anteil Cr ₂ O ₃ (%)	Anteil Fe ₂ O ₃ (%)
Altsand 1	0,29	0,29	1,10	< 0,01	0,18
Altsand 2	1,31	0,76	0,74	< 0,01	0,07
Altsand 3	0,64	1,35	4,72	< 0,01	0,56
Altsand 4	0,93	1,42	8,02	< 0,01	0,66
Altsand 5	0,13	2,63	0,39	0,02	0,07
Altsand 6	0,34	3,03	0,68	< 0,01	0,07

Aus dieser Übersicht wird ersichtlich, dass der Kohlenstoffgehalt (Glühverlust) der kritischste Parameter für die Eignung im Glaswerk war und dass nur der Fertigsand von Altsand 1 in allen Qualitätskriterien den Anforderungen des Glaswerkes entsprach.

Beim genaueren Blick auf den durch die angewandte Strahlreinigung zum Teil erheblich reduzierten Organikgehalt sind ebenfalls deutliche Unterschiede zwischen den Sandarten festzustellen (siehe Tabelle 5).

Tabelle 5: Reduzierung des Glühverlustes (GV) durch die Aufbereitung nach Sandart (durchschnittlich über gesamte Versuchsproduktion)

	Reduzierung des GV um
Altsand 1	58 %
Altsand 2	34 %
Altsand 3	51 %
Altsand 4	55 %
Altsand 5	13 %
Altsand 6	24 %

Während bei den Altsanden 1, 3 und 4 mehr als die Hälfte der organischen Verunreinigungen entfernt wurden, konnten bei Altsand 5 und 6 lediglich 13 % bzw. 24 % abgetrennt werden. Ein höherer Düsenvordruck und eine längere Verweildauer würden sehr wahrscheinlich die Effektivität der Abreinigungsleistung erhöhen, in gleichem Maße aber auch die Aufbereitungskosten.

Die beschriebenen Unterschiede in der Fertigsand-Qualität konnten durch mikroskopische Untersuchungen bestätigt werden. Während ein großer Teil der Sandkörner des Fertigsandes von Altsand 2 bei der Durchlichtmikroskopie durchschienen (siehe Abbildung 10), waren bei den anderen Sandsorten optisch dichte Binderhüllen teilweise oder vollständig noch erhalten (siehe Beispiele in Abbildung 11 und Abbildung 12).

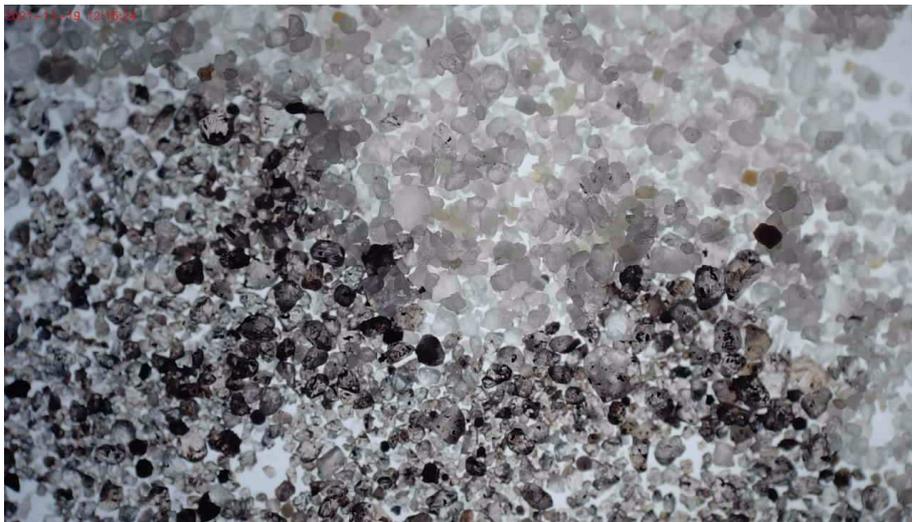


Abbildung 10: Mikroskopaufnahme (Auf- und Durchlicht, 30-fache Vergrößerung) von aufbereitetem Altsand von Altsand 2 (im unteren Teil des Bildes; mit schwarzen Stellen an den Quarzkörnern) neben konventionellem Sand des Glasproduzenten (im oberen Teil des Bildes; helle, durchscheinende Quarzkörner)

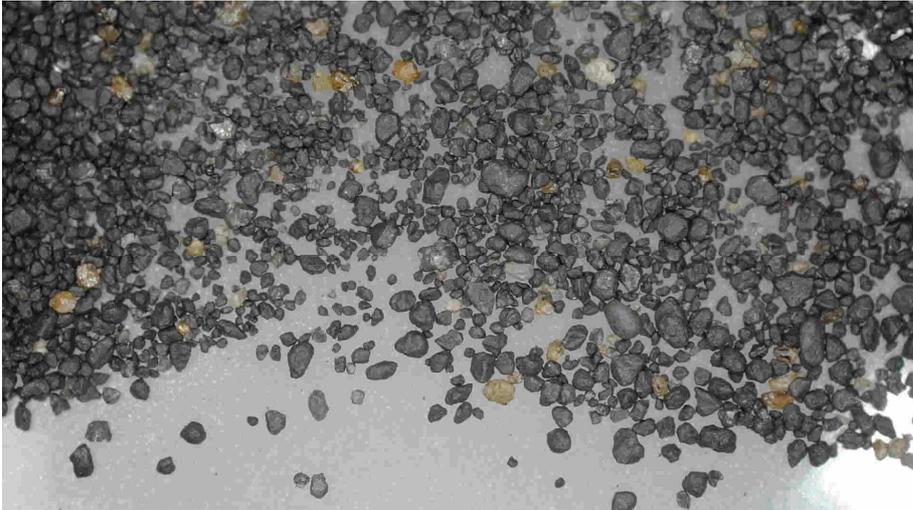


Abbildung 11: Mikroskopaufnahme (Auf- und Durchlicht, 30-fache Vergrößerung) von aufbereitetem Altsand von Altsand 4



Abbildung 12: Mikroskopaufnahme (Auflicht, 100-fache Vergrößerung) von aufbereitetem Altsand von Altsand 1

3.2.6 Altsandmischungen

Aus Tabelle 4 wird ersichtlich, dass die Fertigsande aus unterschiedlichen Altsanden hinsichtlich der Qualitätsparameter Vor- und Nachteile aufzeigen. Daher sollte durch eine Mischung mehrerer Fertigsande Nachteile ausgeglichen werden und die qualitative Schwankungsbreite reduziert werden. Ein dafür entwickeltes Excel-Tool ermöglichte die Optimierung der Mischsandzusammensetzung.

Als kritischer Faktor für diese Überlegungen erwies sich im gesamten Projekt der Kohlenstoffgehalt der Altsande. Nur Altsand 1 erfüllte bezüglich dieses Parameters die Anforderung des Glasherstellers. Dennoch ließ auch dieser nur einen geringen Spielraum für das Zumischen anderer Fertigsande. Die Mischsandzusammensetzung, die schließlich an den Glashersteller geliefert wurde, beinhaltete neben Altsand 1 maximal 18 % andere Altsande, wovon der Anteil an Altsand 2 maximal 12 % und an Altsand 3 maximal 6 % betrug.

3.3 Reststoffe aus der Aufbereitung der Altsande

3.3.1 Reststoffbewertung

Die Reststoffmischung wurde vom Entsorger nach LAGA Boden als Einbauklasse Z2 deklariert. Einer Eingruppierung in die Klasse Z1 standen ein pH-Wert > 9 sowie ein (nicht nachvollziehbarer) Arsen-Gehalt im Eluat von knapp über 40 µg/L entgegen.

Bei der Analyse der einzelnen Reststoffe aus der Aufbereitung von Altsand 1 wurden geringere Werte gemessen. Die Feinfraktion erwies sich aufgrund der großen Oberfläche ihrer Partikel hinsichtlich des Organikparameters TOC (ROC + AOC = 4,3 %) sowie Arsen im Eluat (37 µg/L) als der am stärksten belastete Reststoffstrom.

Daneben wurden auch Deklarationsanalysen nach Deponieverordnung der mengenmäßig relevanten Reststoffe „Feinfraktion“ und „magnetische Fraktion“ durchgeführt. Während die magnetische Fraktion mit DK 0 bewertet wurde, wurde die Feinfraktion in DK II eingruppiert. Der TOC der Feinfraktion war mit 4,8 % auch hier relativ hoch, konnte aber in nur 1,5 % elementaren bzw. abbaubaren Kohlenstoff (AOC) und 3,3 % Restkohlenstoff (ROC) getrennt nachgewiesen werden. Für die Deponierung ist der umweltrelevante AOC entscheidend.

3.3.2 Versuche zur weiterführenden Aufbereitung der Feinfraktion

Da in der Feinfraktion Sandkörner >63 µm enthalten waren, wurde geprüft, ob diese durch einen zusätzlichen nachgeschalteten Aufbereitungsschritt ebenfalls separierbar und verwertbar wären. Hierfür wurde versucht, den Feinstanteil (<63 µm) mit dem höchsten Kohlenstoffgehalt mittels Siebung oder Sichtung abzutrennen.

Um den kohlenstoffhaltigen Staub von den potenziell verwertbaren, anorganischen Partikeln zu separieren, muss Energie ins Haufwerk eingebracht werden, um eine desagglomerierende Wirkung zu erzielen.

Mittels Schwingsieb konnte jedoch keine hinreichende Trennung erreicht werden. Im Grobgut haftete noch sehr viel Staub an den Sandkörnern (siehe Abbildung 13).



Abbildung 13: Mikroskopaufnahme (Auflicht, 100-fache Vergrößerung) der Körnung 125-150 µm einer Feinfraktion (nach Siebung)

Mittels Feinstsichter kann diese Trennung jedoch erreicht werden. Das Grobgut wies einen Glühverlust von 0,79 % gegenüber 5,76 % im Ausgangsmaterial Feinfraktion auf (vergleiche visuell in Abbildung 14). Die Ausbeute >63 µm war mit 2,3 % allerdings so gering, dass der Aufbereitungsaufwand den Nutzen einer weiteren Aufbereitungsstufe nicht rechtfertigt.

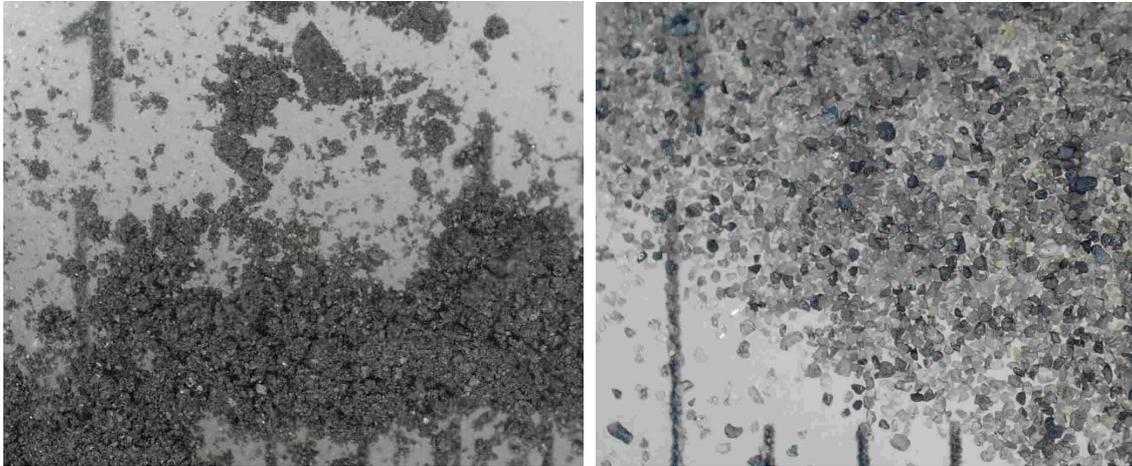


Abbildung 14: Mikroskopaufnahme (Auf- und Durchlicht, 40-fache Vergrößerung) der Feinfraktion: links: Aufgabegut vor dem Sichten; rechts: Grogut nach dem Sichten

Die Ergebnisse zeigten außerdem, dass der Sichtungsprozess in der Altsandaufbereitung optimal eingestellt und sehr effektiv war. Im Reststoff „Feinfraktion“ war kaum noch (für die Glasindustrie) verwertbarer Sand enthalten.

3.4 Schmelzversuch

3.4.1 Eingesetzte Altsande

Nach Auswertung der Qualitätsanalysen des Fertigsandes wurde entschieden, dem Glaswerk für den zeitlich begrenzten Schmelzversuch nur Fertigsand aus den Altsanden 1, 2 und 3 zur Verfügung zu stellen. Von der Gesamtmenge an Fertigsand wurden dafür 829 t an den Glashersteller geliefert. Da der zeitliche Rahmen des Projektes eine weitere Befassung mit den weiteren Mengen Fertigsand nicht zuließ, wurden sie gemeinsam mit den Reststoffen entsorgt.

Für die Anlieferung und Lagerung des Fertigsandes stand beim Glashersteller ein Silo mit einer Kapazität von 500 t zur Verfügung. Dieses wurde aus Muldenkippern befüllt. Darüber hinaus wurde Fertigsand in Big Bags angeliefert und unter Dach gelagert.

Noch vor Beginn des Einlegens des Fertigsandes in die Schmelzwanne ergab sich eine Herausforderung bei der Handhabung. Die Fließfähigkeit des Fertigsandes war deutlich höher als die des konventionellen Sandes, was zu Problemen bei der Kontrolle des Sandflusses führte. Hauptursächlich hierfür war die geringe Feuchte des Fertigsandes – ca. 0,1 % gegenüber ca. 2 % Feuchte des konventionellen Sandes. Dies wurde durch Anfeuchtung des Fertigsandes bei der Verladung auf etwa 1,5 % Feuchtegehalt gelöst.

Für den Schmelzversuch wurde eine Braunglas-Schmelzwanne mit einer Schmelzleistung von etwa 325 t Glas pro Tag ausgewählt. Der Altsandeinsatz in der Schmelzwanne wurde mit 600 kg/Tag begonnen, was einem Ersatz des konventionellen Sandes von rund 2 % entspricht. In den folgenden Wochen konnte der Altsandeinsatz schrittweise auf vorerst 18 % gesteigert werden. Aufgrund des höheren Kohlenstoffgehalts des Altsandes im Vergleich zum konventionellen Sand musste gleichzeitig die Zugabe von Kohle in der Gemengerezeptur gesenkt werden bis zum vollständigen Verzicht darauf.

Der laufende Schmelzversuch musste nach 13 Wochen unterbrochen werden, weil eine langfristig geplante Reparatur der Schmelzanlage stattfand. Nach Wiederinbetriebnahme ist die Fortsetzung des Schmelzversuches geplant.

Darüber hinaus steht nach ursprünglicher Aussage des Glaswerkes aus Oktober 2021 noch ein weiterer Versuch an einer Grünglas-Schmelzanlage aus.

Der Altsandvorrat im Glaswerk betrug zum Zeitpunkt der Verfassung des vorliegenden Berichtes noch ca. 500 t.

3.4.2 Glasqualität

Nach Angaben des Glasherstellers waren bei der Abschmelze keine negativen Effekte wie z.B. eine überhöhte Schaumbildung festzustellen. Es konnten bei den eingesetzten Mengen keine Einschlüsse entdeckt werden, die auf den Einsatz des aufbereiteten Altsandes zurückzuführen waren. Durch die kontinuierlichen Kontrollen und Berechnung der Gemengesätze ist die Glaschemie insgesamt stabil geblieben.

Siehe dazu Anhang 5: Stellungnahme der Verallia (Deutschland) AG

3.5 Wirtschaftlichkeitsbetrachtung

3.5.1 Einleitung

Zur Bewertung der Wirtschaftlichkeit des Verfahrens wurden die Betriebskosten der Versuchsanlage ermittelt und abgeschätzt, sowie anschließend auf eine industrielle Produktionsanlage skaliert. Alle Kosten sind dafür auf die Menge verwertbaren Fertigsand bezogen (€/t Fertigsand).

3.5.2 Betriebskosten der Versuchsanlage

Energiekosten:

Die Energieverbräuche unterlagen während der Produktion keinen großen Schwankungen. Der Hauptenergieverbrauch wurde durch die Luftstrahlmühle verursacht. Diese wurde mit einem separaten Kompressor betrieben, um nicht das gesamte Druckluftnetz am Standort mit den benötigten 9 bar Überdruck zu belasten.

Der Stromverbrauch des für die Luftstrahlmühle eingesetzten Kompressors wurde separat erfasst. Der Energieverbrauch der restlichen Anlage wurde durch die Differenz des Gesamtenergieverbrauches und den Untermessstellen ermittelt, wobei hier auch die sonst übliche Differenz bei Nichtproduktion berücksichtigt wurde.

Über den Produktionszeitraum hinweg wurden stichprobenartig an fünf Tagen die Stromverbräuche des Kompressors und der restlichen Anlage aufgenommen und dokumentiert. Daraus wurde eine elektrische Leistung von durchschnittlich 81 kW beim Kompressor und 18 kW bei den weiteren Anlagenkomponenten ermittelt.

Bei einer Produktion von etwa 675 kg Fertigsand pro Stunde (gerechnet für die Aufbereitung von Altsand 1) und einem Strompreis von rund 0,30 €/kWh ergeben sich Energiekosten von 44,00 €/t Fertigsand.

Personalkosten:

Im Projekt wurden während der Aufbereitung für Produktion und Logistik 2,5 Mitarbeiter (MA) und für Projektleitung und Verwaltung 1,5 MA für eine Dauer von rund 1.490 h (1.004 t Fertigsand mit 0,675 t/h) benötigt. Zur Qualitätssicherung wurde 1 MA für eine Dauer von ca. 200 h eingesetzt. In Summe ergeben sich hieraus 6.160 MAh, für die Personalkosten in Höhe von durchschnittlich 45 €/h anfielen. Bezogen auf den hergestellten Fertigsand (1.004 t) beliefen sich diese Kosten auf 276,10 €/t Fertigsand.

Verpackungsmaterial:

Für die Verpackung und Lagerung sowohl des Fertigsandes als auch der Reststoffe wurden 1.000 Big Bags zu einem Stückpreis von 6,50 €/Stk. benötigt. Die auf den Fertigsand bezogenen Kosten betragen somit 6,50 €/t Fertigsand.

Wartung:

Für die Wartung der Anlage werden 60 h (2 % der Gesamtstunden) an Personalkosten in Höhe von 45 €/h geschätzt. Auf den Fertigsand bezogen beliefen sich somit die Wartungskosten auf 2,70 €/t Fertigsand.

Entsorgungskosten:

Die Entsorgungskosten für die angefallenen Reststoffe betragen 30 €/t für das Material sowie 9,50 €/t für den Transport. Bei einem Stoffstromverhältnis von 24 % zu entsorgendem

Reststoff zu 76 % verwertbarem Fertigsand betragen die Entsorgungskosten rund 12,47 €/t Fertigsand.

In Tabelle 6 sind die im Projekt angefallenen Betriebskosten der Versuchsanlage zusammengefasst. Sie belaufen sich auf rund 342 €/t Fertigsand.

Tabelle 6: Betriebskosten der Versuchsanlage im Projekt

Kostenart	Kostenhöhe (€/t Fertigsand)
Energiekosten	44,00
Personalkosten	276,10
Verpackung	6,50
Wartung	2,70
Entsorgungskosten	12,47
Summe	341,77

3.5.3 Wirtschaftlichkeitsbetrachtung einer großtechnischen Aufbereitungsanlage

Annahmen:

Die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung erfolgte für drei Anlagengrößen (100 t/d, 150 t/d, 200 t/d Altsandeingang) und jeweils drei Szenarien (worst case, average case, best case). Hierfür wurden die folgenden Annahmen zugrunde gelegt (vergleiche Übersicht in Tabelle 7):

Die Anzahl der Arbeitskräfte, die permanent mit der Altsandaufbereitung beschäftigt sind, wird im average case mit 1,5 MA angenommen, wovon sich eine Person ständig an der Anlage befindet. Weitere 0,5 MA sind mit der Überprüfung der Qualität betraut. Als Richtmaß für diese Annahme dienten Informationen von einer bestehenden Anlage zur Altsandaufbereitung mit einer Kapazität von ca. 200 t/d. Im besten Fall läuft die Anlage weitgehend automatisiert, so dass nicht jederzeit ein Mitarbeiter in der Anlage beschäftigt ist.

Zur Abschätzung der Lohnkosten wurde ein gewichtetes Mittel eines technischen MA (1,0 MA, 3.000 € Arbeitnehmerbrutto pro Monat) und anteilig (0,5 MA) eines MA übergeordneter Ebene (5.000 € Arbeitnehmerbrutto pro Monat) berechnet. Anschließend wurden 20 % Arbeitgeberanteil zur Sozialversicherung hinzugerechnet und auf durchschnittlich 135 h/Monat (unter Berücksichtigung von Feiertagen, Urlaub und Krankheit) aufgeteilt.

Die Ausbeute an Fertigsand belief sich bei dem im Projekt hauptsächlich zum Einsatz gekommenen Altsand 1 zum Projektende hin auf ca. 80 %. Dies diene als Maßgabe für den average case. Weitere Optimierungen sowie eine Mischung mit einem Sand der Qualität von Altsand 2 könnten eine etwas höhere Ausbeute ermöglichen. Andererseits würde die Zumischung eines Sandes der Qualität von Altsand 3 die Gesamtausbeute reduzieren.

Zur Abschätzung der durchschnittlichen täglichen Produktionsdauer wurde im mittleren Szenario von einer 6-Tage-Woche ausgegangen und davon, dass neben Sonn- und Feiertagen noch weitere 30 Tage im Jahr die Anlage stillsteht (Wartung, Betriebsruhe etc.). Im

best case würde nur an Sonn- und Feiertagen nicht produziert. Der worst case entspricht einer 5-Tage-Woche mit zusätzlichen 10 Stillstand-Tagen.

Für die Abschätzung des Strompreises wurden zwei Industriepartner befragt. Beide gaben rund 0,20 €/kWh (inklusive aller Preiskomponenten der Netznutzung, Steuern, Abgaben und Umlagen) für das Jahr 2021 an. Zum Zeitpunkt der Erstellung der vorliegenden Wirtschaftlichkeitsbetrachtung (Januar/Februar 2022) belief sich der Strompreis aufgrund von Verwerfungen auf dem Energiemarkt jedoch bei ca. 0,35 €/kWh. Da von einer Normalisierung in einigen Monaten ausgegangen wird, wurde dieser Preis für das worst-case-Szenario zugrunde gelegt und für das mittlere Szenario ein Strompreis von 0,25 €/kWh verwendet. Im best-case-Szenario wurde von einem vollständigen Rückgang des Strompreises auf das Niveau vor den Verwerfungen ausgegangen. Weitere Einsparmöglichkeiten beispielsweise durch eine Stromeigenproduktion wurden in der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung nicht berücksichtigt, sollen jedoch nicht unerwähnt bleiben.

Die Investitionskosten für eine Anlage der Aufbereitungskapazität von 200 t/d wurden vom Projektpartner UAMG abgeschätzt. Für kleinere Anlagen ergeben sich geringere Investitionskosten, die sich jedoch nicht in einem direkten Verhältnis zur Kapazität befinden. Die Anlage wird in der vorliegenden Betrachtung über 10 Jahre abgeschrieben.

Die Entsorgungskosten für Altsand wurden von zwei befragten Gießereien mit 40 €/t angegeben, wobei zukünftig mit einer jährlichen Steigerung von 5 – 10 % gerechnet wird.

Zu möglichen Fertigsand-Preisen, die Glashersteller zahlen würden, wurde mit einem Glaswerk gesprochen. Als möglicher Erlös wurde daraufhin mit 5 €/t gerechnet, wobei dies nur eine Größenordnung darstellt. Im konkreten Fall ist dies zwischen Aufbereiter und Glashersteller zu verhandeln.

Tabelle 7: Annahmen für die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung

	worst case	average case	best case
permanente Arbeitskräfte	2,0	1,5	1,0
Lohnkosten (€/h)	38	33	28
Ausbeute Fertigsand (%)	75	80	83
tgl. Produktionsdauer (h/d)	16	18	20
Stromkosten (€/kWh)	0,35	0,25	0,20
Invest.-kosten Anlage 200 t/d (€)	2,0 Mio.		
Invest.-kosten Anlage 150 t/d (€)	1,8 Mio.		
Invest.-kosten Anlage 100 t/d (€)	1,5 Mio.		
Abschreibung (Jahre)	10		
Entsorgungskosten Altsand (€/t)	40		
Erlös Fertigsand durch Glaswerk (€/t), voraussichtlich	5		

Des Weiteren wird davon ausgegangen, dass die Energieeffizienz einer vollständig für diese Anwendung geplanten Produktionsanlage deutlich höher liegt als die der Versuchsanlage. Insbesondere das Druckluftsystem (Kompressor, Druckluftkessel, Leitungen) der Versuchsanlage bestand bereits vor dem Projekt und war nicht primär für diese Anwendung ausgelegt. Aus diesem Grund wurden für die tonnagebezogenen Energiekosten die in Tabelle 8 aufgeführten Prozentsätze im Vergleich zur Versuchsanlage verwendet.

Tabelle 8: Annahmen zu den Energiekosten: Prozentsätze des tonnagebezogenen Energieverbrauchs im Vergleich zur Versuchsanlage

Produktionskapazität	100 t/d			150 t/d			200 t/d			
	case	worst	average	best	worst	average	best	worst	average	best
Kompressor		80 %	75 %	70 %	75 %	70 %	65 %	70 %	65 %	60 %
restliche Anlage		100 %	95 %	90 %	95 %	90 %	85 %	90 %	85 %	80 %

Gewinn/Verlust:

In Tabelle 9 sind die angenommenen Ausgaben und Einnahmen eines Aufbereitungsunternehmens im Zusammenhang mit der Altsandverwertung für die drei Anlagengrößen und jeweils drei Szenarien zusammengefasst.

Die Betriebskosten generieren sich aus den Energiekosten für den Betrieb des Kompressors (Druckluftsystem für Strahlreiniger) und den weiteren Anlagenkomponenten, den Personalkosten und den Wartungskosten (10 % der Personalkosten). Die Betriebskosten verringern sich mit steigender Anlagengröße und günstigeren Bedingungen (siehe Annahmen für Szenarien in Tabelle 7).

Neben den Betriebskosten werden Entsorgungskosten für den nicht verwertbaren Abfall (beachte: in €/t Fertigsand, nicht €/t Abfall), abweichende Transportkosten, Kapitalkosten sowie Lizenzgebühren berücksichtigt. Die abweichenden Transportkosten führen im worst case zu Mehrkosten von 5 €/t in dem Fall, dass die Aufbereitungsanlage weiter von der Gießerei und dem Glaswerk entfernt ist als die Deponie und die Sandgrube für den Neusand. Idealerweise sollten Gießerei, Aufbereitungsanlage und Glaswerk nahe beieinanderliegen, sodass hier in Summe möglicherweise sogar kürzere Strecken zu kalkulieren sind. An dieser Stelle wurde jedoch davon abgesehen, ein entsprechendes Einsparpotential einzubeziehen (0,0 €/t auch im best case).

Als Kapitalkosten wurden nur Abschreibungen einbezogen. Bei einer Finanzierung aus Fremdkapital wären zusätzlich Zinsen zu berücksichtigen. Diese lägen in ähnlicher Größenordnung wie die Abschreibungen.

Lizenzgebühren wird ein Aufbereitungsunternehmen entrichten müssen zur Nutzung des europäischen Patentes (EP 3 643 689 A1), falls dieses erteilt wird. Im anderen Fall sind die für die Entwicklung angelaufenen und nicht gedeckten Investitionskosten in Form einer Art Know-How-Gebühr zu entrichten.

Auf der Seite der Einnahmen stehen der Erlös aus dem Verkauf des Fertigsandes an die Glaswerke sowie die Entsorgungskosten der Gießereien, die nun an das Aufbereitungsunternehmen fließen anstatt an die Deponien.

Aus der Differenz von Einnahmen und Ausgaben wird der Gewinn oder der Verlust (negatives Vorzeichen) berechnet. Aus Tabelle 9 und Abbildung 15 ist zunächst abzuleiten, dass eine Anlage zur Aufbereitung von Gießereisand grundsätzlich eine rentable Investition darstellen kann. Der best case liegt bei allen drei betrachteten Anlagengrößen im Gewinn. Ein potenzieller Investor muss jedoch genau auf die vorliegenden Rahmenbedingungen, insbesondere den Strompreis und den Standort der Anlage, achten. Im average case kann nur die größte Anlage mit einer Produktionskapazität von 200 t/d einen Gewinn erwirtschaften.

Es erscheint somit sinnvoll, die Altsande mehrerer Gießereien zentral in einer großen Anlage aufzubereiten. Darüber hinaus sollten die Altsand liefernden Gießereien nicht zu weit voneinander und von potenziellen Glaswerken entfernt liegen. Andernfalls würde der Größenvorteil der Aufbereitungsanlage von steigenden Transportkosten aufgehoben.

Tabelle 9: Übersicht der abgeschätzten Ausgaben und Einnahmen (in €/t Fertigsand) für drei Anlagengrößen und jeweils drei Szenarien

		Produktion (in €/t)								
		100 t/d			150 t/d			200 t/d		
		worst-case	average-case	best-case	worst-case	average-case	best-case	worst-case	average-case	best-case
Energiekosten	Kompressor	33,6	22,5	16,8	31,5	21,0	15,6	29,4	19,5	14,4
	restliche Anlage	9,3	6,3	4,8	8,9	6,0	4,5	8,4	5,7	4,3
Personalkosten		16,2	11,1	6,7	10,8	7,4	4,5	8,1	5,6	3,4
Wartung		1,6	1,1	0,7	1,1	0,7	0,4	0,8	0,6	0,3
Summe Betriebskosten		60,8	41,1	29,0	52,3	35,2	25,1	46,7	31,3	22,4
<u>sonstige Kosten</u>										
Entsorgungskosten		18,0	12,5	10,0	18,0	12,5	10,0	18,0	12,5	10,0
abweichender Transport (€/t)		5,0	0,0	0,0	5,0	0,0	0,0	5,0	0,0	0,0
Kapitalkosten (Abschreibungen)		0,08	0,08	0,07	0,06	0,06	0,06	0,05	0,05	0,05
Lizenzgebühren		0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50
Summe Ausgaben		84,3	54,2	39,6	75,8	48,2	35,6	70,3	44,3	32,9
<u>Einnahmen</u>										
Abnahme Altsand von Gießerei (€/t)		30,0	40,0	50,0	30,0	40,0	50,0	30,0	40,0	50,0
Erlös Verkauf Fertigsand (€/t)		5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0
Summe Einnahmen		35,0	45,0	55,0	35,0	45,0	55,0	35,0	45,0	55,0
Gewinn/ Verlust		-49,3	-9,2	15,4	-40,8	-3,2	19,4	-35,3	0,7	22,1

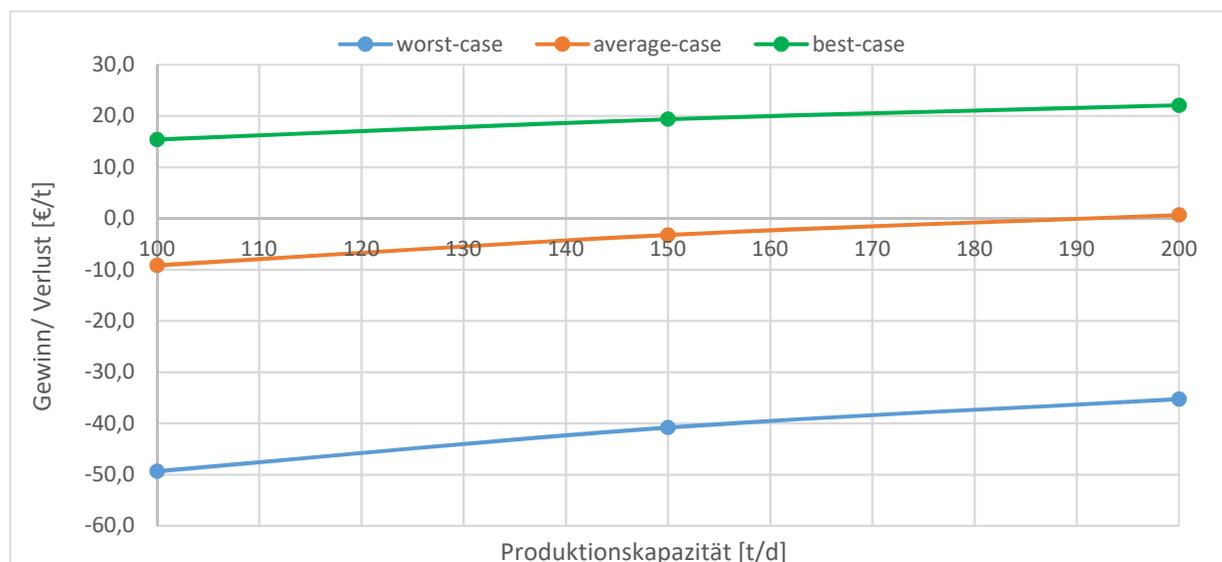


Abbildung 15: Gewinn (+)/ Verlust (-) einer Produktionsanlage in Abhängigkeit von der Produktionskapazität gemäß Wirtschaftlichkeitsbetrachtung

4 Fazit

Mit diesem Projekt wird der Nachweis der grundsätzlichen technischen Machbarkeit einer Verwertung von Gießerei-Altsand bei der farbigen Behälterglasproduktion erbracht. Altsand lässt sich mechanisch von einem großen Teil glastechnisch unerwünschter Verunreinigungen befreien und je nach Altsandcharakteristik nach einer Aufbereitung in der Schmelze für braunes Behälterglas in nennenswerten Mengen einsetzen. Dort kann der Altsand den Einsatz der natürlichen Ressource Sand anteilig ersetzen und somit zur Ressourcenschonung beitragen. Nach den vorliegenden Erkenntnissen ist dieser neue Verwertungsweg insbesondere für Altsande mit relativ geringer organischer Belastung geeignet.

Die Abschätzung der Wirtschaftlichkeit für den Altsand-Aufbereitungsbetrieb beschreibt die wesentlichen Kostenpositionen gemäß Kostenniveau bis 31.12.2021. Sie zeigt, dass eine wirtschaftliche Umsetzung nicht nur wünschenswert und realisierbar sondern auch rentabel sein kann. Künftige Überlegungen zum Einsatz von Gießerei-Altsand für den Glasschmelzprozess müssen sich an den dann geltenden, technischen und wirtschaftlichen Aussagen orientieren. Sie erfordern zum gegebenen Zeitpunkt eine Aktualisierung der spezifischen Kosten sowie detaillierte Abstimmungen mit ausgewählten Partnern in der Behälterglasindustrie.

Nach Angaben des statistischen Bundesamtes wurden in Deutschland 2020 laut rund 1,7 Mio. Tonnen farbiges Behälterglas produziert, wovon etwa 2/3 auf Braunglas und 1/3 auf Grünglas entfallen. Für die Abschätzung eines potenziellen Altsandbedarfes in der Glasherstellung ist neben dem Neusand der Anteil eingesetzter Scherben entscheidend. Werden für die Produktion von Braunglas Scherbenanteile zwischen 70 und 80 % angenommen und ein Sandersatz durch Altsand von 18 bis 30 % – der Versuch hat mit 18 % Altsandeinsatz die technologisch vertretbare Grenze noch nicht erreicht; zusätzliches Potenzial besteht bei dunklem Braunglas – ergibt sich ein potenzieller täglicher Altsandbedarf in der Behälterglasindustrie von 90 bis 210 t/d.

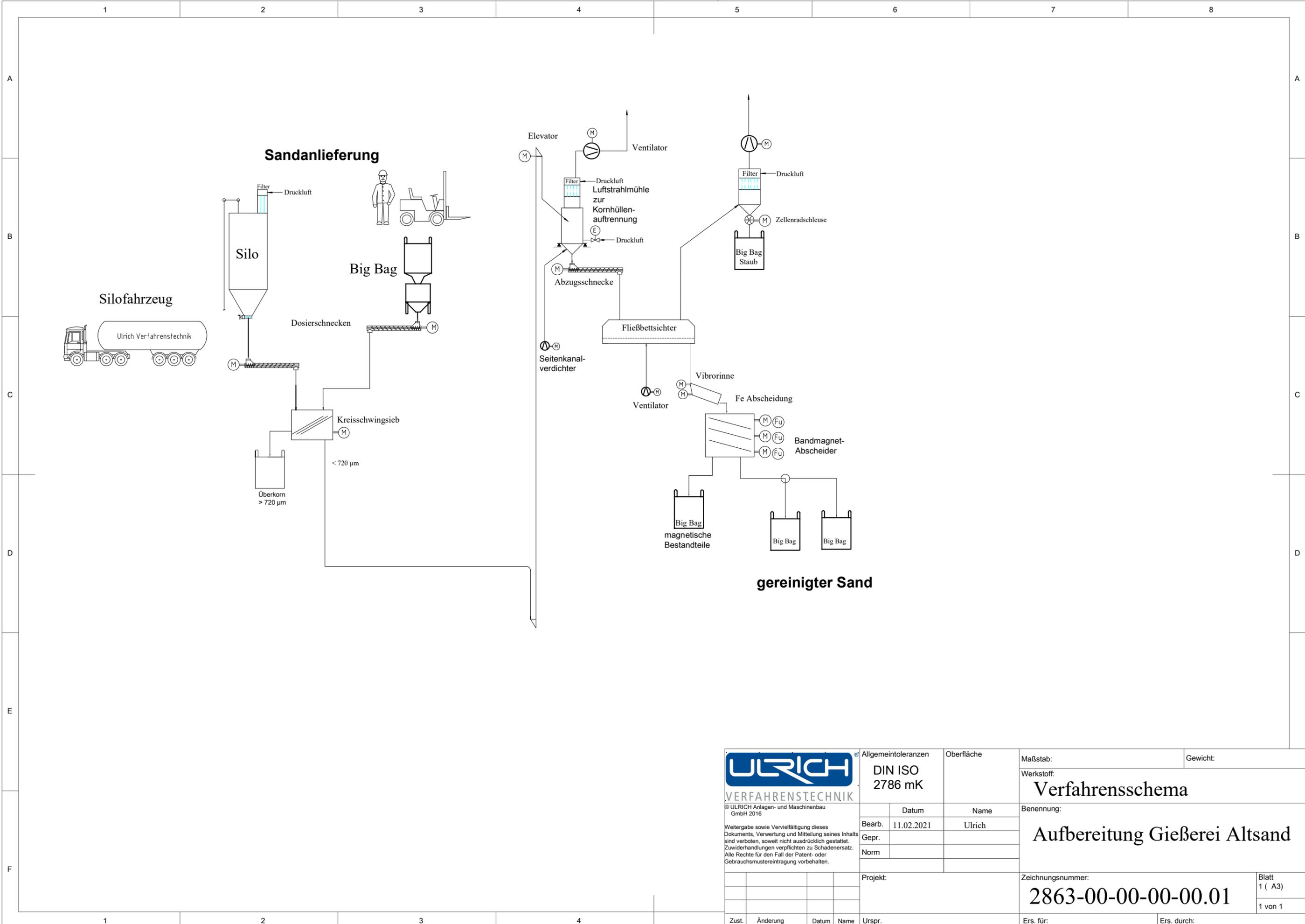
Für diesen Bedarf ist der Altsand einer einzelnen Gießerei nicht ausreichend. Vielmehr müssen geeignete und die glastechnologischen Anforderungen einhaltende Altsande aus mehreren Gießereien verarbeitet werden. Eine Lösungsmöglichkeit hierfür bietet die Entwicklung von Clustern mit geeigneten Gießereien und Glaswerken. Die Altsande der Gießereien sind nach ihrem Einsatzpotential (Charakteristik, Aufkommen, Aufbereitungsfähigkeit, Standort, Dringlichkeit eines neuen Entsorgungsweges) und die Glaswerke – insbesondere mit Schmelzwannen für Braunglas – nach ihrem Einsatzpotential (Sandtonnage, Potential für zusätzlichen Kohlenstoff, Standort, Standortbedingungen wie freie Silos) zu bewerten.

Für die Wirtschaftlichkeit der Aufbereitung ist es erforderlich, eine Anlage mit einem Durchsatz von mind. 200 t/d Altsand zu betreiben. Aufgrund der Transportkosten ist darauf zu achten, dass diese Gießereien nicht zu weit voneinander und von potenziellen Glaswerken entfernt liegen.

Parallel könnten die Voraussetzungen in den Gießereien zur Optimierung der Altsande hinsichtlich dieses Verwertungsweges überprüft werden. Möglicherweise lassen sich die Altsandqualitäten insbesondere hinsichtlich ihrer Organikgehalte optimieren, um als Sekundärrohstoff in der Glasindustrie eingesetzt werden zu können.

IV Anhänge

- Anhang 1: Verfahrensschema (2863-00-00-00-00.01)
- Anhang 2: Ansichten der Anlage (2863-00-00-00.00)
- Anhang 3: Technische Anlagendokumentation
- Anhang 4: Explosionsuntersuchungen an Staubprobe (IBExU)
- Anhang 5: Stellungnahme der Verallia (Deutschland) AG



Sandanlieferung

gereinigter Sand



VERFAHRENSTECHNIK

© ULRICH Anlagen- und Maschinenbau GmbH 2016

Wettermenge sowie Vervielfältigung dieses Dokuments, Verwertung und Mitteilung seines Inhalts sind verboten, soweit nicht ausdrücklich gestattet. Zuwiderhandlungen verpflichten zu Schadenersatz. Alle Rechte für den Fall der Patent- oder Gebrauchsmustereintragung vorbehalten.

Allgemeintoleranzen
DIN ISO 2786 mK

Oberfläche

Maßstab:

Gewicht:

Werkstoff:
Verfahrensschema

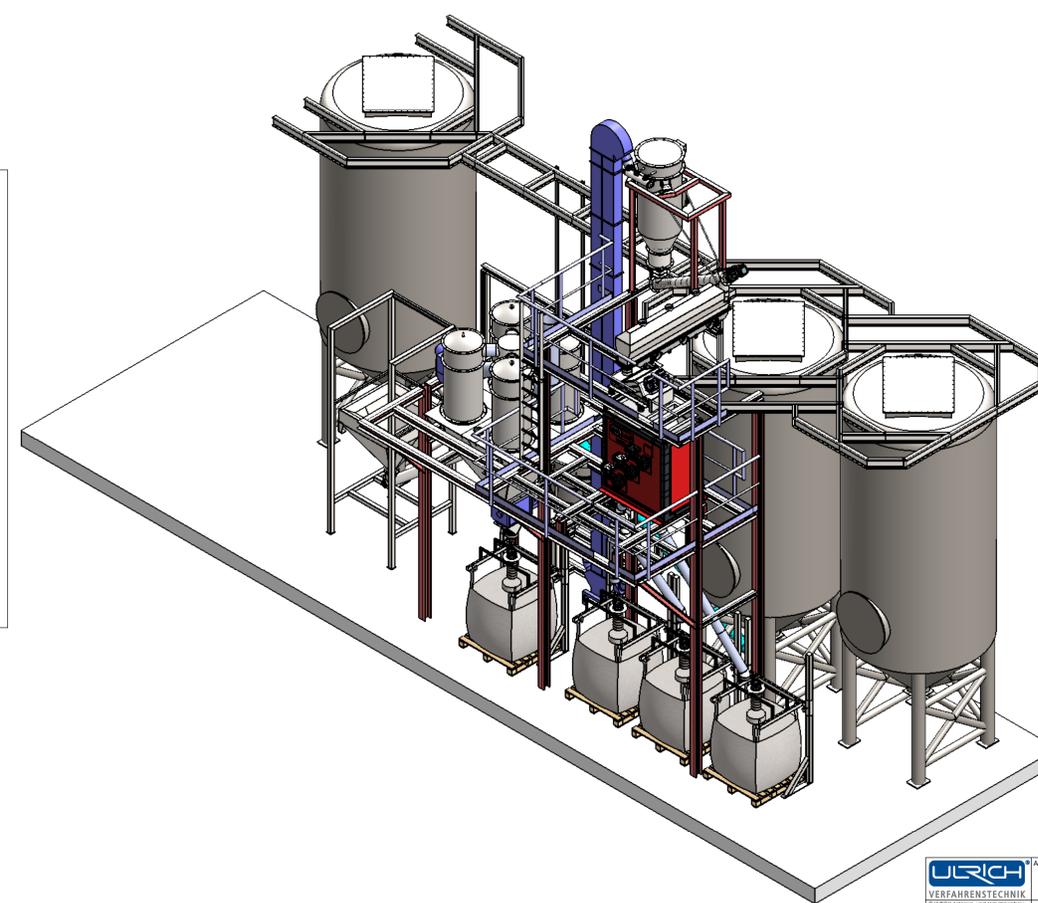
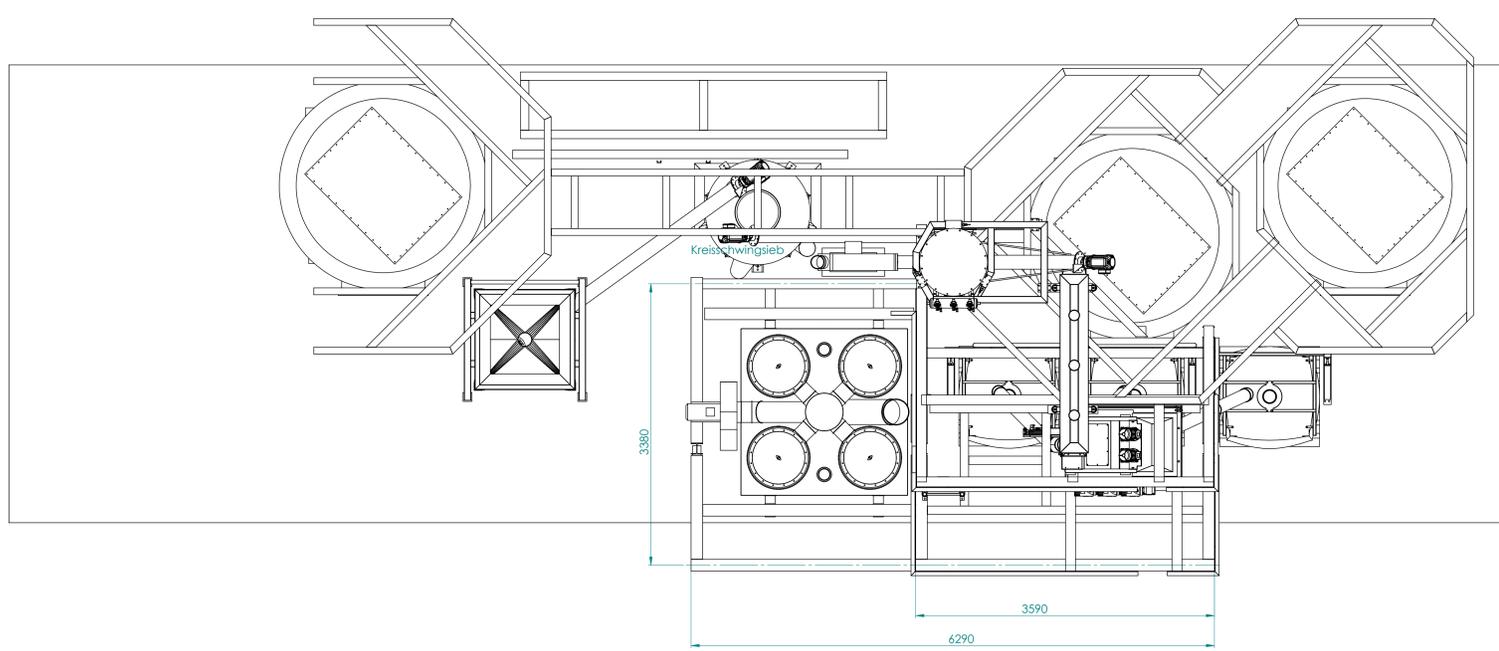
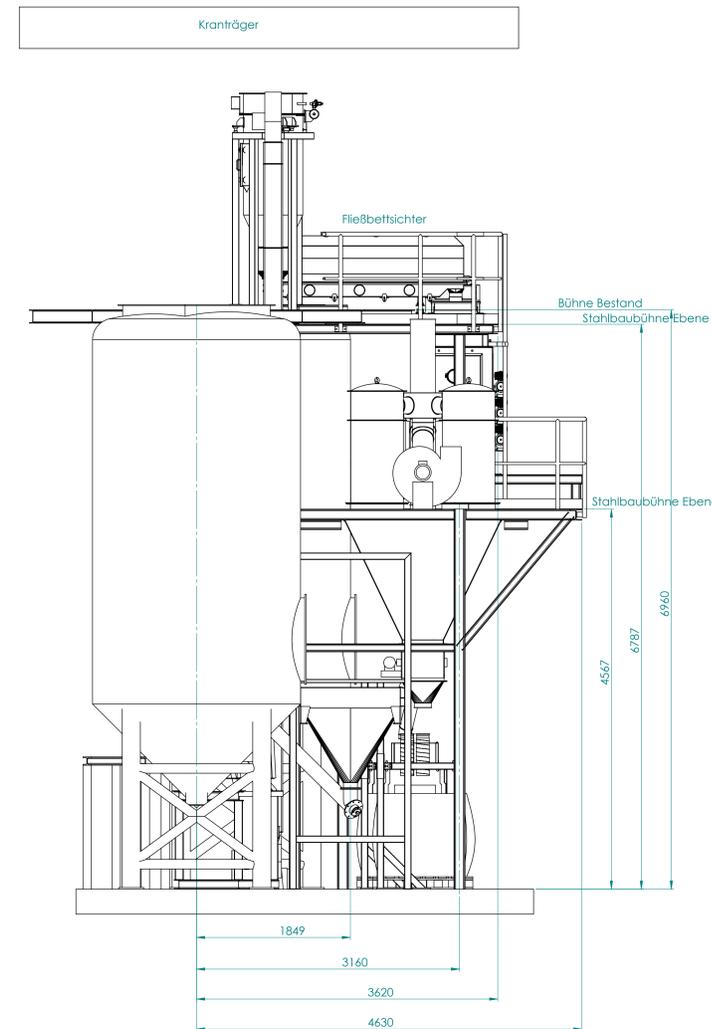
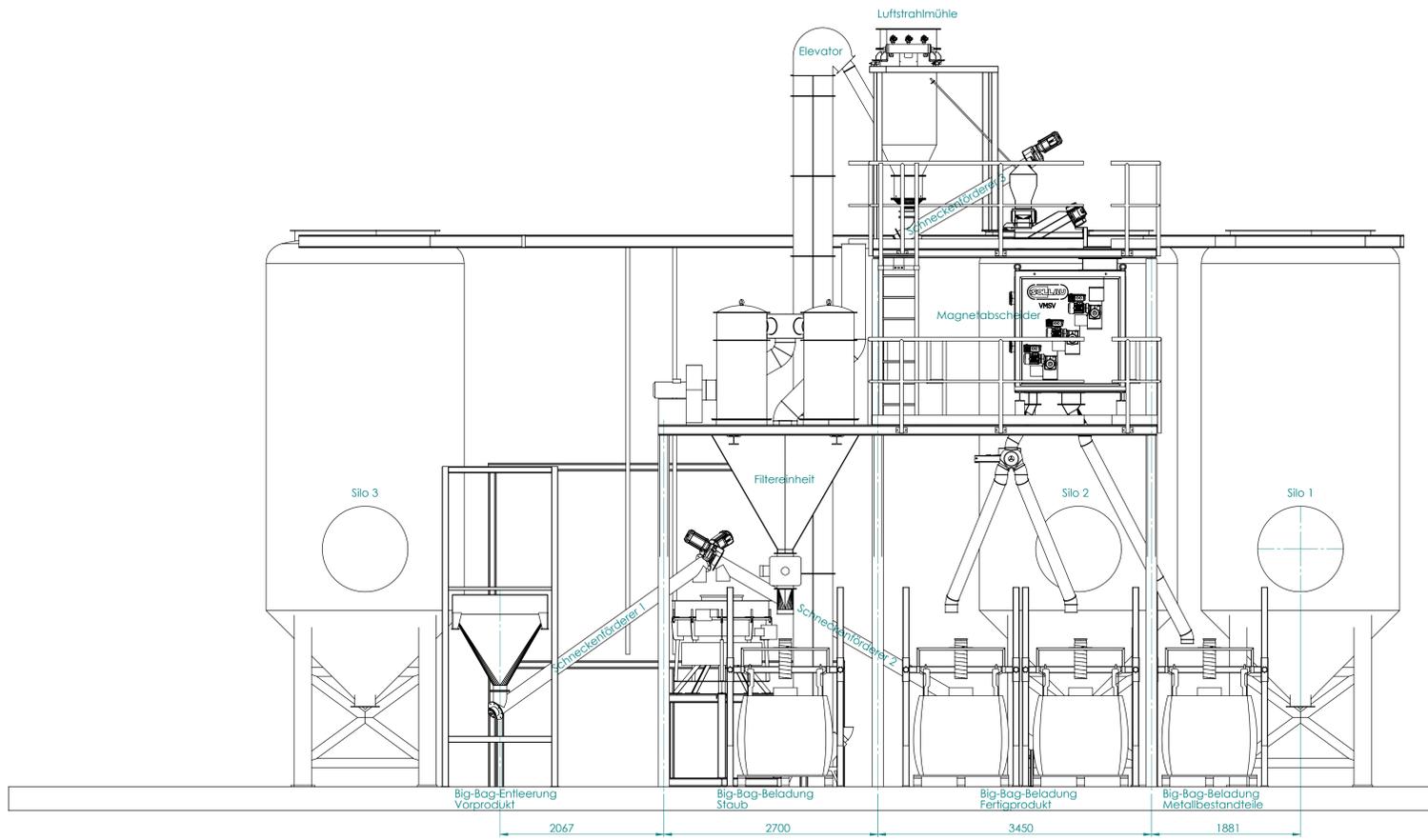
Benennung:
Aufbereitung Gießerei Altsand

Zeichnungsnummer:
2863-00-00-00-00.01

Blatt
1 (A3)
1 von 1

Zust.	Änderung	Datum	Name	Urspr.

Projekt:
Ers. für: Ers. durch:

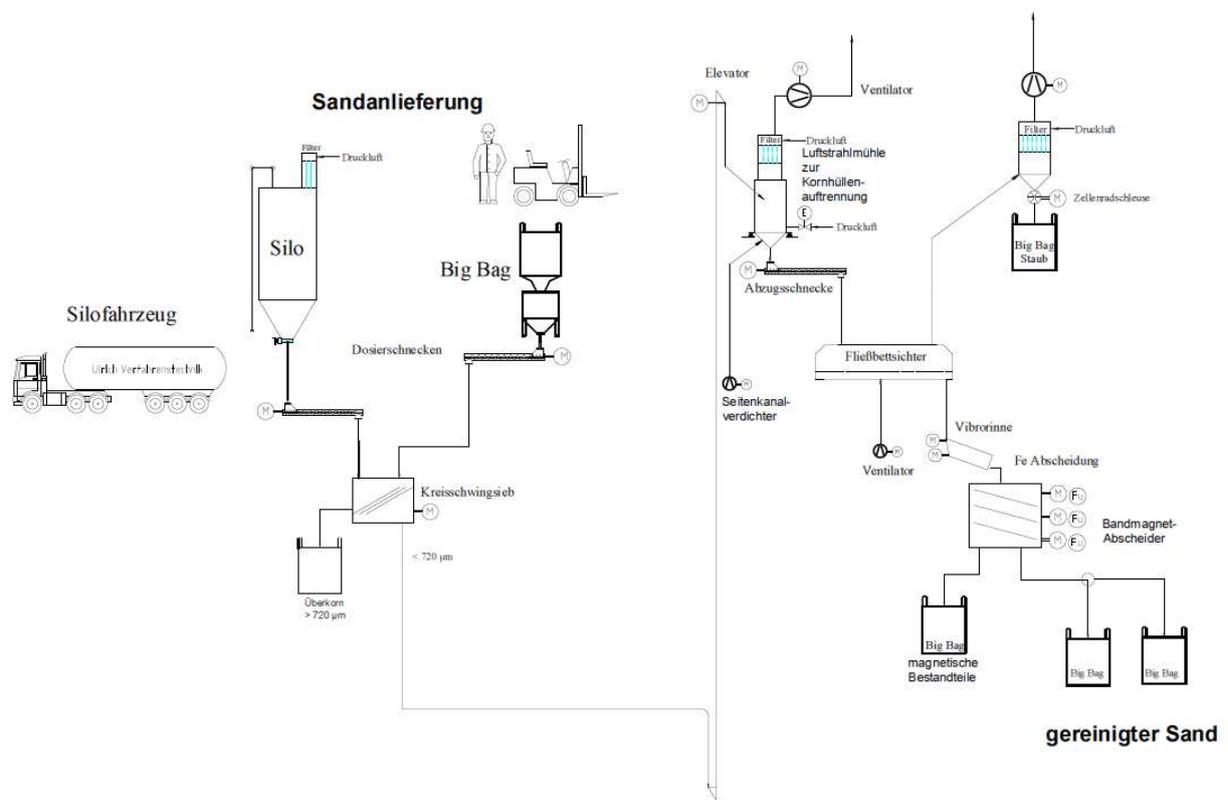


 VERFAHRENSTECHNIK <small>© URICH Anlagen und Antriebsbau Gertel 814</small>	Allgemeine Normen DIN ISO 2768 mK	Oberfläche Werkstoff:	Maßstab: 1:100 Gewicht: 0.00 kg
	Bearb.: 19.08.2020 Name: J. Mirkwitz Benennung: Verwertung Gießerei Altsand	Zeichnungsnummer: 2863-00-00-00.00	Blatt 1 (A0) 1 von 1
Zust.: _____ Änderng.: _____ Datum: _____ Name: _____ Umriss: _____	2863	Übersichts- Zeichnungsnummer: 2863-00-00-00.00	Etc. für: _____ Etc. durch: _____

Versuchsanlage für die Aufbereitung von Gießerei-Altsand

DBU-Forschungsprojekt Konzeptionierung und Umsetzung eines Verfahrens zur Verwertung von Gießereialtsanden als Sandkomponente bei der farbigen Behälterglasproduktion

Technische Anlagendokumentation



Stand: 18.02.2021

Änderungen im Sinne der technischen Weiterentwicklung vorbehalten.

Inhaltsverzeichnis

1. Sicherheit.....	3
2. Hinweise zur Gewährleistung.....	4
3. Allgemeines	4
4. Aufbau und Funktionsweise	5
5. Technische Daten.....	7
5.1 Ausführung.....	7
5.2 Auslegungsdaten	7
5.3 Bestimmungsgemäße Verwendung.....	8
6. Montagehinweis.....	8
7. Elektrischer Anschluss.....	8
8. Inbetriebnahme.....	8
9. Bedienung der Versuchsanlage	9
9.1 Allgemein	9
9.2 Bedien-Tablet.....	10
9.3 Automatikbetrieb	11
9.3.1 Einschalten	11
9.3.2 Ausschalten.....	12
9.4 Silobefüllung durch LKW	12
9.5 Reparaturbetrieb	12
9.6 Einstellwerte.....	13
9.7 Störungsmeldungen	15
10. Wartung.....	15
11. Erklärung	Fehler! Textmarke nicht definiert.
12. Anlagen	17

1. Sicherheit

Die folgenden Hinweise für den Einsatz der Versuchsanlage müssen zur Gewährleistung einer einwandfreien Funktion und Ihrer eigenen Sicherheit *unbedingt* beachtet werden.



Die Versuchsanlage wurde nach dem aktuellen Stand der Technik konstruiert und gebaut und ist damit betriebssicher. Trotzdem können von diesem Erzeugnis Gefahren ausgehen, wenn eine Bedienung durch unausgebildetes Personal oder durch nicht bestimmungsgemäßen Gebrauch erfolgt.

Jede Person, die die Versuchsanlage in Betrieb nimmt, bedient oder instand hält (Inspektion, Wartung, Instandsetzung), muss die komplette technische Dokumentation *gelesen* und *verstanden* haben.

Die Versuchsanlage entspricht den einschlägigen EG-Maschinenrichtlinien.

Die Versuchsanlage dient der mechanischen Behandlung und dem Weitertransport von Schüttgütern. Es ist ständig auf äußerliche Sauberkeit zu achten ebenso wie auf Materialablagerungen im Inneren der Anlage. Jeder darüber hinaus gehende Gebrauch gilt als nicht bestimmungsgemäß. Für hieraus resultierende Schäden haftet der Hersteller nicht! Das Risiko hierfür trägt allein der Anwender.

Die gesamte Anlage mit Steuerung ist nach dem Stand von Wissenschaft und Technik gebaut und betriebssicher. Von der gesamten Anlage können aber Gefahren ausgehen, wenn sie von unausgebildeten Personen unsachgemäß oder zu nicht bestimmungsgemäßem Gebrauch eingesetzt wird.

- Jede Person, die sich mit der Bedienung und Instandsetzung der Versuchsanlage befasst, muss auch die komplette Betriebsanleitung für die Steuerung der Anlage und besonders den Abschnitt 1, „Sicherheit“ gelesen und verstanden haben. Dem Anwender ist zu empfehlen, sich dies jeweils schriftlich bestätigen zu lassen.
- Zur bestimmungsgemäßen Verwendung der Versuchsanlage gehört das Einhalten der vom Hersteller vorgeschriebenen Montage-, Inbetriebnahme-, Betriebs- und Instandhaltungsbedingungen.
- Die Versuchsanlage darf nur von eingewiesenem Personal bedient und von eingewiesenem und ausgebildetem Personal gewartet und instandgesetzt werden.
- Bei allen Arbeiten an und mit der Versuchsanlage, die die Montage, die Inbetriebnahme, den Betrieb und die Instandhaltung betreffen, sind die in der Betriebsanleitung angegebenen Ein- und Ausschaltprozeduren zu beachten.
- Der Bediener ist verpflichtet, eintretende Veränderungen an der Versuchsanlage, die die Sicherheit der gesamten Anlage beeinträchtigen, sofort zu melden.
- Es ist Aufgabe des Anwenders, dafür zu sorgen, dass die Versuchsanlage nur im einwandfreien Zustand betrieben wird.
- Eigenmächtige Umbauten und Veränderungen, die die Funktion der Versuchsanlage und damit die Sicherheit der Anlage beeinträchtigen, sind nicht gestattet.
- Sämtliche Arbeiten die die Montage und die Instandhaltung an der Versuchsanlage betreffen sind nur bei Stillstand der Antriebe auszuführen. Die Antriebe sind vor Beginn der Arbeiten gegen unbeabsichtigtes Anlaufen zu sichern (z.B. durch Ausschalten des Hauptschalters und Sicherung desselben gegen unbefugtes Wiedereinschalten).

- Reparaturen und Wartungsarbeiten an der Versuchsanlage sind bei freigeschalteter Anlage durchzuführen. Insbesondere sind das Entfernen von berührungssicheren Abdeckungen und damit zusammenhängende weitere Arbeiten erst nach dem Freischalten der gesamten Anlage zulässig. Freigeschaltete Anlagen oder Anlagenteile sind bis zum Abschluss der Arbeiten gegen Wiedereinschalten zu sichern.
- Vor dem Wiedereinschalten nach Instandsetzungen an der Versuchsanlage sind berührungssichere Abdeckungen wieder anzubringen und Schaltschranktüren zu schließen.
- Vor dem Ingangsetzen nach einer Wartung oder Instandsetzung der Anlage ist zu prüfen, dass alle Schutzvorrichtungen angebracht und betriebsbereit sind.
- Nach der Elektromontage und entsprechenden Instandsetzungen sind die eingesetzten Schutzmaßnahmen zu prüfen (Messen der Isolation und des Erdungswiderstandes).
- Für den Betrieb der Versuchsanlage gelten in jedem Falle die örtlichen und betriebsinternen Sicherheits- und Unfallverhütungsvorschriften.
- Neben den in dieser Betriebsanleitung gegebenen Hinweisen müssen die allgemeinen Sicherheits- und Unfallverhütungsvorschriften eingehalten werden.

2. Hinweise zur Gewährleistung

Für die Versuchsanlage wird Gewährleistung nur für die Aufrechterhaltung der Arbeitsschutz- und Umweltschutzparameter übernommen. Eine Gewährleistung auf verfahrenstechnische Parameter oder die dauerhafte Verfügbarkeit der Anlage übernimmt der Hersteller aufgrund des Charakters als Versuchsanlage nicht.

Der Gewährleistungsanspruch beträgt 6 Monate ab Inbetriebnahme und erlischt, wenn im Gewährleistungszeitraum

- an der Versuchsanlage unerlaubt Veränderungen vorgenommen wurden,
- die Versuchsanlage nicht seinem Zweck entsprechend eingesetzt wurde,
- die Festlegungen der Dokumentation nicht beachtet und eingehalten werden,
- Schäden an der Versuchsanlage ohne unsere Genehmigung beseitigt wurden.

3. Allgemeines

Die Versuchsanlage dient zur Aufbereitung von Gießerei-Altsand zu einem wieder industriell einsatzfähigen Sand mit dem Ziel der Verwendung als Komponente zum Erschmelzen von farbigem Glas in der Glasindustrie.

Die Funktion als Versuchsanlage hat zum Ziel optimale Produktionsparameter zu ermitteln, mit dem Ziel einer sehr guten Fertigsandqualität bei einer guten Produktionsleistung.

Getestet werden sollen 6 Sorten unterschiedlicher Altsande. Dabei werden sortenbezogen voraussichtlich differenzierte Einstellparameter sich als optimal erweisen. Diese Parameter sind zu dokumentieren.

Diese technische Dokumentation soll Ihnen helfen, diese Anlage besser kennenzulernen und die gegebenen Einsatzmöglichkeiten optimal auszunutzen. Außerdem enthält die Dokumentation wichtige Hinweise zum gefahrlosen und sicheren Umgang mit dieser Versuchsanlage.

Deshalb ist diese technische Dokumentation unbedingt von den Personen zu lesen, die mit der Versuchsanlage arbeiten.

Die Ihnen ausgehändigte Unterlage stellen wir nur dem Abnehmer unserer Erzeugnisse zur Verfügung. Sie darf auch auszugsweise nicht vervielfältigt, verbreitet und dritten Personen mitgeteilt oder zugänglich gemacht werden.

Forderungen gegenüber unserem Erzeugnis, die über den Rahmen dieser Dokumentation hinausgehen, müssen gesondert mit uns vereinbart werden. Ansprüche bezüglich des Lieferumfanges können aus der Dokumentation nicht hergeleitet werden.

4. Aufbau und Funktionsweise

Die Versuchsanlage wurde von der UAMG aufgrund des Kooperationsvertrages **Konzeptionierung und Umsetzung eines Verfahrens zur Verwertung von Gießereialtsanden als Sandkomponente bei der farbigen Behälterglasproduktion** geliefert.

Die angelieferten Altsande können auf zwei Wegen angeliefert werden:

- a) per Silo-LKW und pneumatischer Förderung in ein Stahlsilo
oder
- b) per BIG-BAG und Entleerung in einer BIG-BAG-Entleervorrichtung.

Material aus dem Silo (Pos. 01) wird mittels Dosier-Rohrschneckenförderer (Pos. 02) in ein Kreisschwingsieb (Pos. 03) gefördert.

Material aus der BIG-BAG-Entleervorrichtung wird mit separatem Dosier-Rohrschneckenförderer in das gleiche Kreiselschwingsieb gefördert.

Es kann jeweils nur ein Förderweg betrieben werden.

Im Kreisschwingsieb wird Überkorn ($> 720 \mu\text{m}$) ausgesondert und fällt in einen Auffangbehälter. Die Füllhöhe ist durch den Bediener regelmäßig zu kontrollieren.

Dieser wird bei Bedarf manuell in ein BIG-BAG „Grobfraktion“ entleert.

Das verbleibende Material ($< 720 \mu\text{m}$) fällt in einen Senkrecht-Becherförderer (Elevator, Pos. 04) und wird durch diesen in den Behälter der Luftstrahlmühle (Pos. 05) auf der obersten Gerüstebene überhoben.

Die Füllung des Behälters der Luftstrahlmühle wird mittels Wägezellen und Signalumformer kontrolliert. Bei Erreichen des einstellbaren Maximum von (z. B. 80 kg) wird die zufördernde Transportstrecke automatisch verriegelt, bis der Wert wieder unterschritten wurde.

In der Luftstrahlmühle (Pos. 05) wird die Oberfläche der Materialkörner mechanisch durch Reibung und Prallenergie belastet und damit ein gewisser Teil der Oberflächenhülle als Feinkorn vom Grundkorn abgetrennt. Hierzu wird mittels einem Seitenkanalverdichter (Pos. 06) und einem Fluidisierkonus ein Wirbelbetts erzeugt. In dieses Wirbelbett wird über drei radial angeordnete Düsen Druckluft mit einem einstellbaren Druck bis 9 bar eingeblasen.

Die aus dem Wirbelbett austretende Luft wird im oberen Teil des Behälters über jet-abgereinigte Filterpatronen gefiltert und mit einem Ventilator (Pos. 07) abgesaugt.

Der Abtransport des Materialgemisches von Fein- und Grundkorn erfolgt mittels Rohrschneckenförderer (Pos. 09) in einen Fließbettsichter (Pos. 10). Um eine gleichbleibende Füllung der Luftstrahlmühle zu gewähren, erfolgt die Abförderung durch eine automatische Regelung der Drehzahl über das ermittelte Gewicht der in der Mühle befindlichen Sandmenge. Die am Bedien-Tableau einstellbare Gewichts-Sollmenge dient gleichzeitig als Maß für die Verweildauer des Sandes im Apparat.

Mit einem Ventilator wird ein Luftstrom erzeugt, welcher im Fließbettsichter (Pos. 10) durch einen Lochboden das Material durchströmt. Dabei wird das in der Luftstrahlmühle erzeugte Feinkorn in Schwebelage gebracht und abgesaugt.

Die Drehzahl des Ventilators ist über einen Frequenzumrichter einstellbar. Die Frequenz wird am Industrie-Bedien-Tableau eingestellt.

Die Abluftmenge kann manuell (ungeregelt) durch Drosselklappen und Falschluffklappen eingestellt werden. Die Abluft wird in der zentralen Entstaubungsanlage (Pos. 11) gefiltert. Diese besteht aus einem Trichterbehälter mit 4 Aufsatzfiltern einer Austrags-Zellenradschleuse und einem gemeinsamen Abluftventilator.

Über die zyklisch betriebene Zellenradschleuse fällt das Feinkorn (Feinfraktion) in eine darunter befindliche Big-Bag-Befüllstation.

Die Füllhöhe ist durch den Bediener regelmäßig visuell zu kontrollieren.

Der Wechsel des BIG-BAG kann in eine Zykluspause der Zellenradschleuse (5 min) erfolgen. Ggf. ist die gesamte Anlage über die Ausschalt routine durch den Bediener anzuhalten.

Das Grundkorn aus dem Fließbettsichter wird mittels Vibrationsrinne (Pos. 12) in einen Band-Magnetabscheider (Pos. 13) aufgegeben.

Dieser separiert in 3 Stufen magnetisches Material aus dem Förderstrom heraus.

Die Geschwindigkeit der inneren Transportgurte ist am Beientableau einstellbar.

Das ausgesonderte magnetische Material (magnetische Fraktion) wird in

Die Füllhöhe ist durch den Bediener regelmäßig zu kontrollieren.

Sollte ein Wechsel des BIG-BAG „magnetische Fraktion“ während des Betriebes der Anlage notwendig sein, so ist die Anlage durch den Bediener über die Ausschalt routine anzuhalten.

Nach der Abscheidung von magnetischem Material im Band-Magnetabscheider fällt das Gutmaterial (Fertigsand) in eine Tandem-Big-Bag-Befüllstation. Die Füllhöhe des jeweils befüllten BIG-BAG ist durch den Bediener regelmäßig zu kontrollieren. Der andere BIG-BAG wird bei exakt betätigter Rohrweiche nicht befüllt. Muss der befüllte BIG-BAG „Fertigsand“ gewechselt werden, so ist die Rohrweiche durch den Bediener umzustellen.

Danach ist der Wechsel des BIG-BAG während des laufenden Betriebes der Anlage möglich.

Alle Aggregate sind geschlossen oder befinden sich in geschlossenen Gehäusen.

Alle Rohstoffübergabestellen sind gekapselt.

An förder technisch geeigneten Stellen wird entstehender Staub abgesaugt und die Abluft mittels Rohrleitungen zum zentralen Abluftfilter (Pos. 11) geführt.

Die Abluft vom Silo wird während der Befüllung mit Tankfahrzeugen mittels Silo-Aufsatzfilter gereinigt.

Die Filter werden zyklisch mittels Druckluftimpulsen abgereinigt.

Alle Aggregate haben Inspektions- und Wartungsöffnungen, bzw. -türen.

Diese dürfen nur bei Stillstand der Anlage und in drucklosem Zustand geöffnet werden.

Der Bediener bzw. Wartungspersonal hat PSA zu tragen, insbesondere eine Staubschutzmaske.

Alle befüllten BIG-BAG müssen mit den Materialqualitäten beschriftet sein:

- Fertigsand + Name der Gießerei
- Feinfraktion
- magnetische Fraktion
- Grobfraktion

Vor Verschließen des BIG-BAG mit Fertigsand ist eine Materialprobe zu entnehmen, in einem verschließbaren Behältnis zu verwahren und zu beschriften.

Jeder BIG-BAG Fertigsand ist extra zu nummerieren und zu kennzeichnen, insbesondere mit dem Namen der Gießerei.

5. Technische Daten

5.1 Ausführung

Voll funktionsfähige Komplettanlage von der Materialaufgabe bis zur Abgabe aller getrennten Materialqualitäten.

Die Anlage befindet sich in einem geschlossenen Gebäude.

Die meisten Anlagenkomponenten sind auf einem Gerüst befestigt.

Die Abfüllstellen in BIG-BAG befinden sich ebenerdig auf dem Hallenfußboden.

Zeichnungs-Nr.:	2863-00-00-00.01	Verfahrensschema
	2863-00-00-00.00	Gesamtübersicht
		Zugehörige Detailzeichnungen

5.2 Auslegungsdaten

Max. Umgebungstemperatur:	+ 40 °C
Fördergut:	Gießerei-Altsand
Konsistenz:	staubig bis körnig
Fließverhalten:	gut rieselfähig,
Anlagenleistung:	750 – 1.000 kg/h
Schüttdichte:	1,55 - 1,7 kg/dm ³
Feuchte:	trocken
Gefährlichkeit:	Kein gefährlicher Stoff im Sinne der Gefahrstoffverordnung Enthält silikogene Stoffe, Harze, Bentonit und geringfügig Metalle

5.3 Bestimmungsgemäße Verwendung

Die Versuchsanlage wurde unter der UAMG Auftrags-Nr. 20-2863 geliefert.

Die gelieferte Versuchsanlage wurde zur Aufbereitung von ausgewählten Sorten von Gießerei-Altsand entwickelt mit dem Ziel, industriell einsatzfähigen Sand für die Glasindustrie zu erzeugen.

Darüber hinausgehende Verwendungen gelten als nicht bestimmungsgemäß.

6. Montagehinweis

Die Versuchsanlage darf nur durch geeignetes und geschultes Montagepersonal des Lieferanten oder durch ausgebildetes Fachpersonal des Anlagenbetreibers montiert werden.

7. Elektrischer Anschluss

Der elektrische Anschluss der Versuchsanlage darf nur durch vom Lieferanten autorisiertes Fachpersonal erfolgen.

8. Inbetriebnahme

Vor Inbetriebnahme der Versuchsanlage ist die korrekte Montage zu prüfen. Dabei sind folgende Schritte abzuarbeiten:

- visuelle Prüfung auf fachgerechte und vollständige Montage;
- Dichtheit und fester Sitz von Manschetten;
- fester Sitz von Vibrationsantrieben und der Schwingelementen;
- Deckbleche/ Revisionsöffnungen aufgesetzt und fest verschraubt.

Es ist die Drehrichtung der Antriebe zu überprüfen. Die korrekten Drehrichtungen sind im eingebauten Zustand auf den Motoren markiert.

Unmittelbar nach dem Drehrichtungstest sind bei abgeschalteter Anlage evtl. geöffnete Schutzabdeckungen wieder zu montieren.

9. Bedienung der Versuchsanlage

9.1 Allgemein

Die Versuchsanlage wird durch Bedientaster mit Leuchtfunktion auf einem Schaltkasten ein- und ausgeschaltet.

Lage: Hallenebene neben der Abfüllstelle Feinfraktion an einer Gerüststütze



Bild 1: Bedientaster

Es sind folgende **Betriebsarten** installiert:

- Automatikbetrieb
- unverriegelter Betrieb (für Einricht- und Reparaturbetrieb)
- Silobefüllung durch LKW

Eingeschaltete Aggregate werden durch Aufleuchten der Bedientaster angezeigt.

Parallel werden die Betriebszustände (Ein, Aus) der einzelnen Aggregate, sowie Einstellwerte (s. Pkt. 9.5) und Anzeigen von Sensoren, auf einem mobilen elektronischen Industrie-Bedien-Tablet angezeigt.

Ein zentraler Schalt- und Steuerschrank befindet sich auf der obersten Gerüstebene.
Die Kommunikation mit dem mobilen elektronischen Industrie-Bedien-Tablet erfolgt drahtlos.

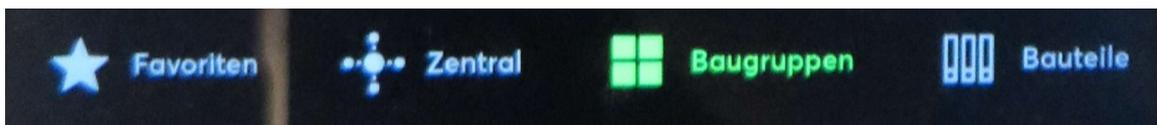
Not-Aus-Taster befinden sich an folgenden Stellen:

- untere Ebene: Bedienkasten
- mittlere Ebene: Stütze neben den Filtern
- obere Ebene: Schalt- und Steuerschrank

Der **Hauptschalter** Stromversorgung befindet sich ???

9.2 Bedien-Tablet

Das mobile Industrie-Bedien-Tablet hat folgende Hauptmenüs:



- Baugruppen

Anzeige der mit Positionsnummer versehenen Ausrüstungen:

Pos. 01	Silo
Pos. 02	Dosierschnecken
Pos. 03	Kreisschwingsieb
Pos. 04	Elevator
Pos. 05	Luftstrahlmühle
Pos. 06	Seitenkanalverdichter
Pos. 07	Absaugung Mühle
Pos. 08	Unbelegt
Pos. 09	Schnecke Mühle
Pos. 10	Fließbettsichter
Pos. 11	Zentrale Entstaubung
Pos. 12	Vibrationsrinne
Pos. 13	Magnetabscheider

s. Anlage (Pkt.12), Bilder 3 und 4

- Bauteile

Anzeige von:

- Bedienelemente

Anzeige von Betriebszustand der Anlage gesamt
Betriebszustände der Einzelausrüstungen
s. Anlage (Pkt.12), Bilder 5 und 6

- Info

Anzeige der Betriebsbereitschaft der Einzelausrüstungen und deren Funktionselemente
(keine Störung)
s. Anlage (Pkt.12), Bilder 7 und 8

- Sensor

Anzeige der Betriebswerte von Sensoren
s. Anlage (Pkt.12), Bild 9

- Sollwert

Anzeige eingestellter Sollwerte
s. Anlage (Pkt.12), Bild 9

9.3 Automatikbetrieb

9.3.1 Einschalten

Die Bedientaster sind in folgender Reihenfolge nacheinander zu betätigen:

a) Materialentnahme aus Silo

- Anlage EIN

Lampe „Betrieb“ leuchtet auf

- Magnetbandabscheider

- Vibrationsrinne

- Staubfilter

- Fließbettsichter

- Dosierschnecke

- Absaugung

- Seitenkanalverdichter

- MV Druckluft

- Elevator

- Kreisschwingsieb

- **Schnecke Silo**

b) Materialentnahme aus BIG-BAG

- Anlage EIN
Lampe „Betrieb“ leuchtet auf

- Magnetbandabscheider
- Vibrationsrinne
- Staubfilter
- Fließbettsichter
- Dosierschnecke
- Absaugung
- Seitenkanalverdichter
- MV Druckluft
- Elevator
- Kreisschwingsieb
- **Schnecke BIG-BAG**

9.3.2 Ausschalten

Gilt jeweils für Förderstrecke a) und b):

- Anlage AUS

9.4 Silobefüllung durch LKW

- Anlage EIN
Lampe „Betrieb“ leuchtet auf

Es ist der Drehschalter

- Filter Silo
zu betätigen.

Nach Abschluß der pneumatischen Befüllung ist dieser Drehschalter zurückzusetzen.
Die Silobefüllung kann auch während der Betriebsarten Automatik und Reparaturbetrieb durchgeführt werden.

9.5 Unverriegelter Handbetrieb / Einricht- und Reparaturbetrieb

Über das mobile elektronische Industrie-Bedien-Tablet können nach Aktivierung des unverriegelten Betriebsmodus die Einzelantriebe freigeschalten und einzeln betätigt werden.



Inspektions- und Wartungsöffnungen, bzw. -türen dürfen nur bei Stillstand der Anlage und in drucklosem Zustand geöffnet werden.
Der Bediener bzw. Wartungspersonal hat PSA zu tragen, insbesondere eine Staubschutzmaske.

Im unverriegelten Betrieb findet keine Überwachung der Einschaltzustände der Antriebe statt, sodass es bei unsachgemäßem Betrieb zu unvorhersehbaren Zuständen in der Anlage kommen kann – bis hin zur Beschädigung einzelner Aggregate aufgrund von Materialstau! Daher ist dieser Betriebsmodus nur gesondert eingewiesenem Bedienpersonal oder Wartungspersonal gestattet.

9.6 Einstellwerte

Einstellwerte können auf einem mobilen elektronischen Industrie-Bedien-Tablet verändert werden:

Einstellwerte der Luftstrahlmühle:

- FU-Sollwert (Ventilator)
- Maxwert Einwaage
- Reglerparameter K_i
- Reglerparameter K_p
- Sollwert Einwaage

Einstellwerte Magnetabscheider:

- Drehzahl der Motoren

Einstellwerte der Dosierschnecken (Big Bag / Silo):

- Drehzahl der Motoren

Eingestellte Einstellwerte, u.a. abhängig von den verschiedenen Altsandsorten, sind zu dokumentieren.

Bei empirischen Veränderungen dieser Einstellwerte sind deren Auswirkungen ebenfalls zu dokumentieren.

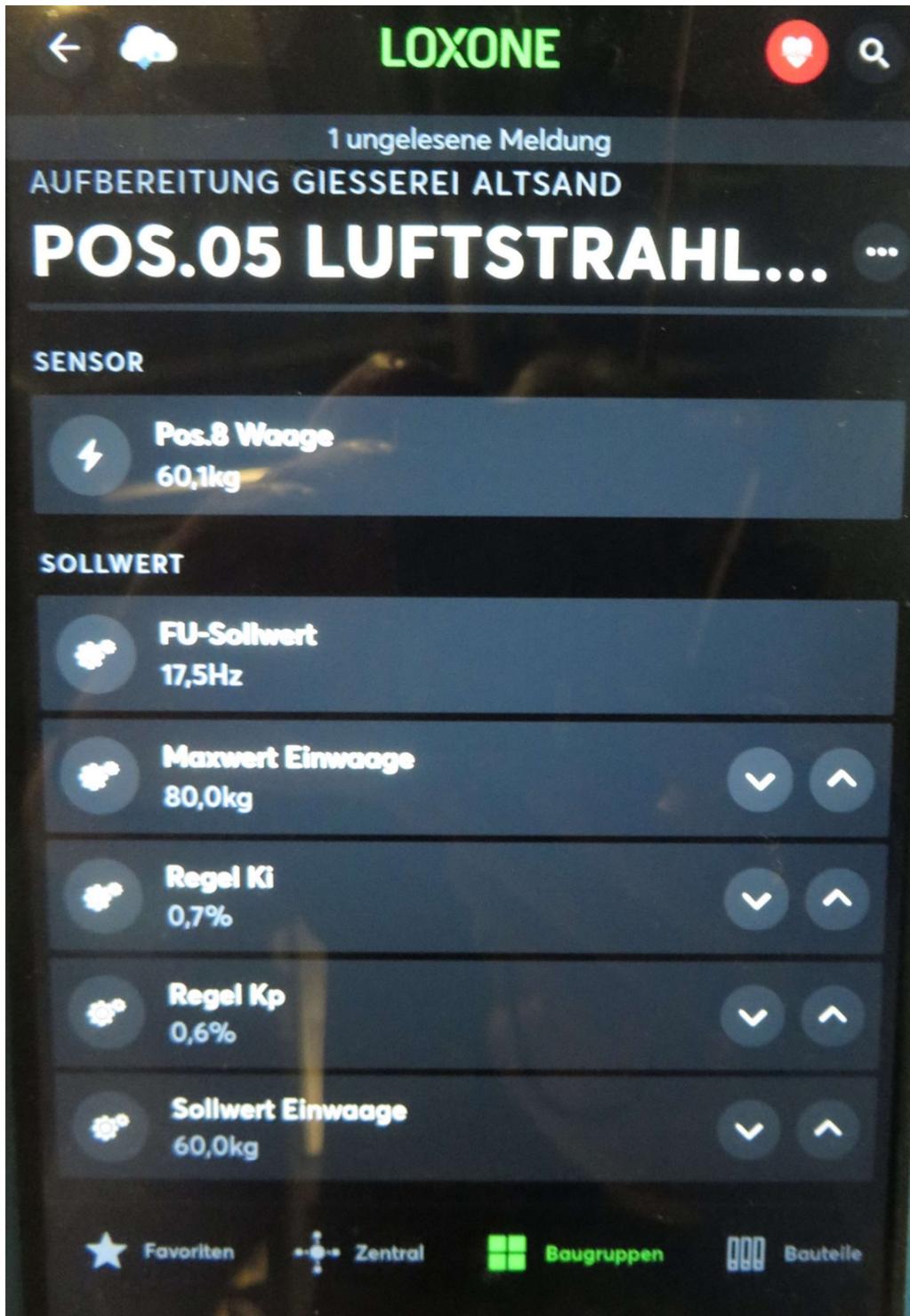


Bild 2: Einstellwerte (vorläufig) für die Luftstrahlmühle, Sorte „Fritz Winter“

9.7 Störungsmeldungen

Störungen werden als Sammelstörung auf dem Schaltkasten mit roter Leuchte angezeigt. Eine zentrale Warnleuchte/ Hupe in der Anlage signalisiert dies ebenfalls. Zur Quittierung ist der Taster „Störung Reset – Hupe aus“ zu betätigen.

Störungen der einzelnen Ausrüstungen werden auf dem mobilen elektronischen Industrie-Bedien-Tablet angezeigt und können dort lokalisiert werden.

10. Wartung

Die Einzelmaschinen sind entsprechend der jeweiligen Dokumentation des Herstellers zu warten.

Die Anlage ist jeweils nach Schichtende zu inspizieren.
Auffälligkeiten sind extra zu dokumentieren.
Die Einstellparameter der Maschinen sind zu dokumentieren.

Zu Schichtbeginn ist die Anlage zu inspizieren.
Auffälligkeiten sind extra zu dokumentieren.
Die Einstellparameter der Maschinen sind von der vorhergehenden Schicht zu übernehmen, falls kein Sortenwechsel vorgenommen wird.



Inspektions- und Wartungsöffnungen, bzw. -türen dürfen nur bei Stillstand der Anlage und in drucklosem Zustand geöffnet werden.
Der Bediener bzw. Wartungspersonal hat PSA zu tragen, insbesondere eine Staubschutzmaske.

EG-Konformitätserklärung

im Sinne der EG - Richtlinie Maschinen 2006/42/EG

Hiermit bescheinigt das Unternehmen

Ulrich Anlagen- und Maschinenbau GmbH
Hugo-Küttner-Strasse 3 b
D – 01796 Pirna

dass das Produkt

Produktname: **Versuchsanlage für die Aufbereitung von Gießerei-Altsand**
Typ:
Seriennr.:
Baujahr: **2020**
Auftrag: **20-2863**

folgenden einschlägigen Bestimmungen entspricht:

EG-Richtlinie Maschinen 2006/42/EG: *Anhang I, Artikel 1.1.2, 1.1.3, 1.1.5, 1.3.2, 1.3.4, 1.3.7, 1.5.1, 1.6.1*

EG-Richtlinie EMV 2004/108/EG

Folgende harmonisierte Normen wurden angewandt:

DIN EN ISO 12100-1:	Sicherheit von Maschinen- Grundbegriffe, allgemeine Gestaltungsleitsätze, Teil1: Grundsätzliche Terminologie, Methodologie (ISO 12100-1:2003)
DIN EN ISO 12100-2:	Sicherheit von Maschinen – Grundbegriffe, allgemeine Gestaltungsleitsätze, Teil2: Technische Leitsätze (ISO 12100-2:2003)
DIN EN ISO 13857	Sicherheit von Maschinen – gegen das Erreichen von Gefährdungsbereichen mit den oberen und unteren Gliedmaßen (ISO 13857:2008)
EN 349:1993+A1:2008	Sicherheit von Maschinen - Mindestabstände zur Vermeidung des Quetschens von Körperteilen
EN 953:1997+A1:2009:	Sicherheit von Maschinen trennende Schutzeinrichtungen – Allgemeine Anforderungen an Gestaltung und Bau von feststehenden und beweglichen trennenden Schutzeinrichtungen
DIN EN 61000-6-4	Elektromagnetische Verträglichkeit, Fachgrundnorm Störaussendung für Industriebereich
DIN EN 61000-6-2	Elektromagnetische Verträglichkeit, Fachgrundnormen Störfestigkeit für Industriebereich
DIN EN 1090	Ausführung von Stahl- u. Aluminiumtragwerken
DIN EN 1990 (2010-12)	Grundlagen der Tragwerksplanung
DIN EN 1993	Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten

Darüber hinaus erklären wir, dass die Inbetriebnahme diese Anlage solange untersagt ist, bis festgestellt wurde, dass sämtliche vor- und / oder nach geschalteten Baugruppen der Anlage, sowie deren elektrischen Anlagensteuerung in die diese Anlage integriert wurde, den Bestimmungen der Maschinenrichtlinie 2006/42/EG entspricht.

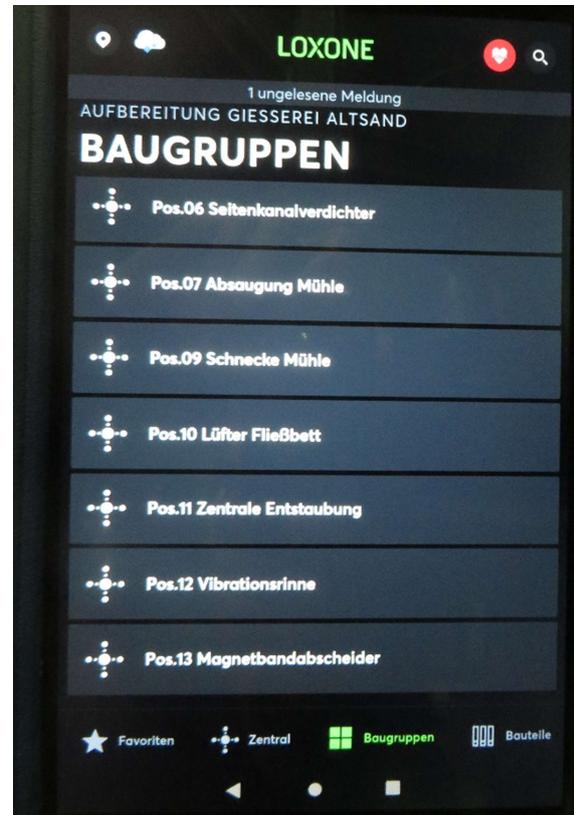
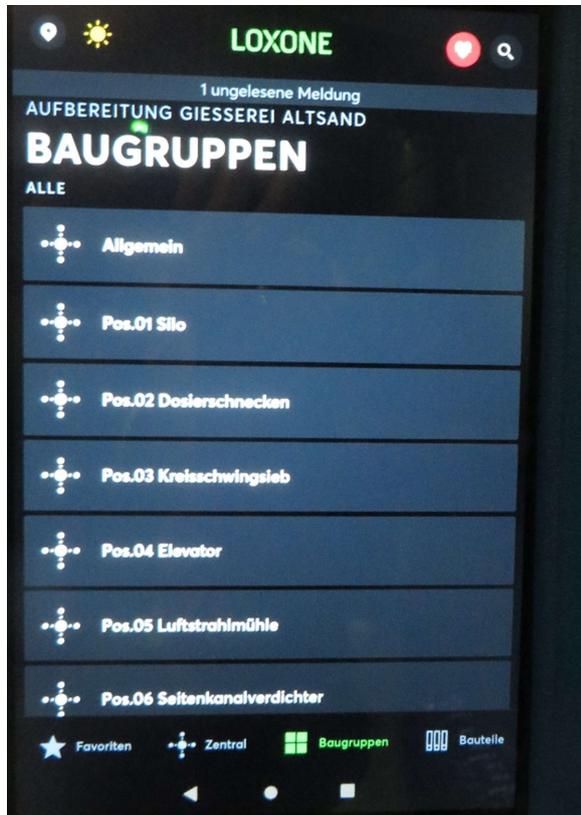
Pirna, den 30.01.2021

Dipl. Ing. (FH) Jorg Ulrich

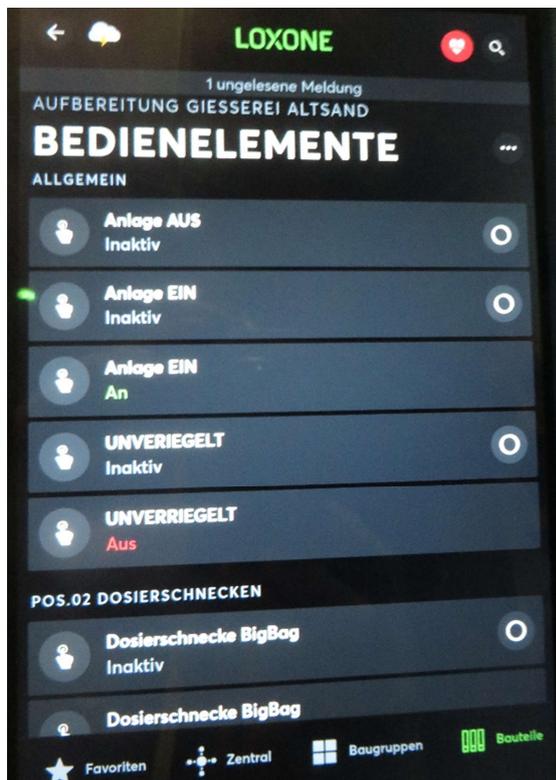
Bei einer nicht mit der Firma Ulrich Anlagen- und Maschinenbau GmbH abgestimmten Änderung der oben beschriebenen Geräte/ Anlage, verliert diese Erklärung ihre Gültigkeit.

12. Anlagen

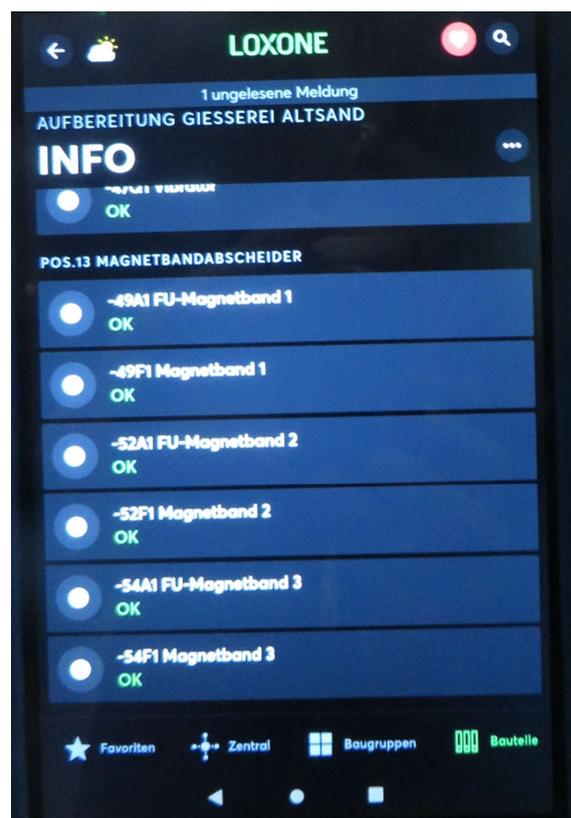
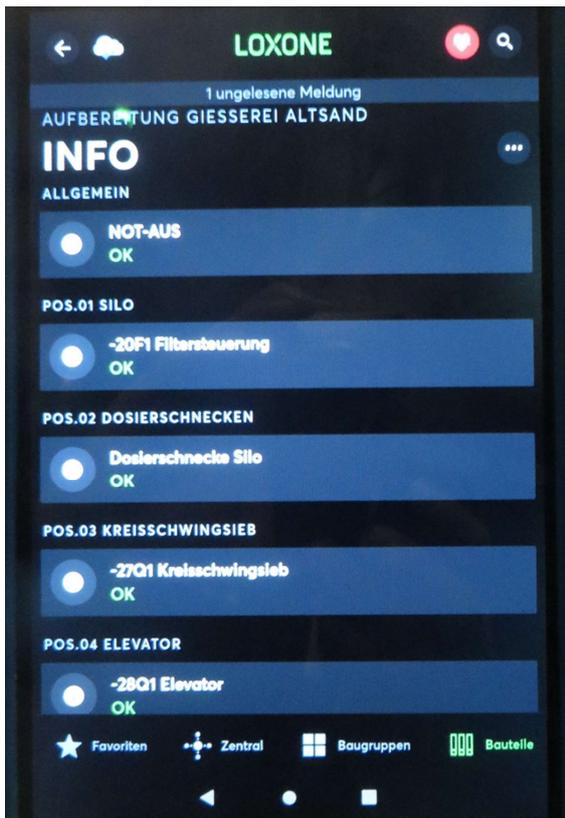
Visualisierungsbilder mobiles Industrie-Bedien-Tablet



Bilder 3 und 4: Anzeige Baugruppen



Bilder 5 und 6: Anzeige Bedienelemente (Auswahl)



Bilder 7 und 8: Anzeige Info (Auswahl)



Bild 9: Anzeige Sensor und Sollwert

B E R I C H T**IB-21-5-0091****über die Explosionsfähigkeitsprüfung von einer Staubprobe****1 Auftrag**

- 1.1 Auftraggeber: Ing.-Büro Lüpfer Process Engineering Service
- 1.2 Bestellung: E-Mail „Re: Angebot Staubkenngrößenmittlung“ vom
20.04.2021
Angebot AN2190082 vom 29.01.2021
- 1.3 Auftragnehmer: IBExU Institut für Sicherheitstechnik GmbH, Freiberg
- 1.4 Probenanlieferung: 22.04.2021

2 Angaben zur Probe

- 2.1 Probenbezeichnung: Filterstaub Sandanlage
- 2.2 IBExU-Proben-Nr.: IS 7993
- 2.3 Physikalische Eigenschaft: schwarzer, feiner Staub
- 2.4 Chemische und physikalische Daten

Anlieferungszustand

Die folgenden Daten wurden durch die o.g. E-Mail vom Auftraggeber geliefert.

2.4.1 Trockenverlust bei 105 °C: 2,6 %

2.4.2 Glühverlust (ohne Produktfeuchte): bei 500 °C: 6,2 %
bei 1000 °C: 20,2 %

2.4.3 Korngrößenverteilung (umgerechnet aus mitgelieferten Daten / Berechnung des Medianwertes)

Fraktion in μm	Kornanteil in Masse-%
< 40	7,6
< 63	10,7
< 90	14,8
< 100	39,8
< 125	56,5
< 150	82,0
Mittlere Korngröße als Medianwert im RRSB-Netz	115 μm

3 Versuchsdurchführung

Die Bestimmung der sicherheitstechnischen Staub-Kenngröße erfolgte entsprechend „VDI-Richtlinie 2263, Blatt 1“ [1] und [2].

Umgebungsbedingungen: Raumtemperatur und Atmosphärendruck

In der Anlage 1 ist die Versuchsdurchführung zur Bestimmung der Explosionskenngrößen in der 20-l-Kugel beschrieben. Diese Apparatur wird auch zur Prüfung auf Explosionsfähigkeit („Ja“/„Nein“-Aussage) aufgewirbelter Stäube benutzt.

Die Probe wurde im Anlieferungszustand untersucht.

4 Ergebnis der Prüfung auf Explosionsfähigkeit

in der 20-l-Kugel (Zündinitial: pyrotechnische Zünder; Zündenergie: 2 x 1 kJ):
keine Zündung des Staub/Luft-Gemisches

5 Sicherheitstechnische Einstufung

Aufgrund des im Abschnitt 4 genannten Versuchsergebnisses wird die untersuchte Probe mit der Bezeichnung „Filterstaub Sandanlage“ nach [1] und [2] als „*nicht explosionsfähig*“ eingestuft.

Literatur:

- [1] VDI-Richtlinie 2263, Blatt 1: „Staubbrände und Staubexplosionen, Gefahren – Beurteilung - Schutzmaßnahmen; Untersuchungsmethoden zur Ermittlung von sicherheitstechnischen Kenngrößen von Stäuben“, Mai 1990, Ausgabe in Deutsch/Englisch
- [2] DIN EN ISO/IEC 80079-20-2: Explosionsfähige Atmosphären - Teil 20-2: Werkstoffeigenschaften - Prüfverfahren für brennbare Stäube (ISO/IEC 80079-20-2:2016/Berichtigung 1:2017)

Die hier vorgelegten Ergebnisse beziehen sich nur auf das Produkt, das der zur Untersuchung eingesandten Probe entspricht, Abweichungen von der untersuchten Probe können ggf. zu einer schärferen - aber auch zu einer weniger scharfen - Beurteilung führen.

IBExU lehnt sämtliche Gewährleistungsansprüche ab, falls vom Auftraggeber fehlerhafte Probenahme, falsche Probendecklaration o. ä. erfolgte.

Staubexplosionsfähigkeit, maximaler Explosionsdruck, maximaler zeitlicher Druckanstieg bzw. K_{St} -Wert und untere Explosionsgrenze

Staubexplosionsfähigkeit ist dann gegeben, wenn in einem Staub/Luft-Gemisch nach Zündung eine Flammenausbreitung auftritt, die im geschlossenen Behälter mit einer Drucksteigerung verbunden ist.

Der maximale Explosionsdruck und der maximale zeitliche Druckanstieg bzw. der K_{St} -Wert geben Auskunft über die Explosionsheftigkeit eines Staubes und quantifizieren die maximal zu erwartenden Wirkungen einer Staubexplosion. Sie dienen u.a. zur Auswahl und Dimensionierung geeigneter konstruktiver Explosionsschutzmaßnahmen.

Die Untere Explosionsgrenze (UEG) gibt an, oberhalb welcher Staubkonzentration Staub/Luft-Gemische explosionsfähig sind.

Die Ermittlung dieser Kenngrößen wird nach folgenden Normen durchgeführt:

- EN 14034-1: Bestimmung der Explosionskenngrößen von Staub/Luft-Gemischen – Teil 1: Bestimmung des maximalen Explosionsdruckes p_{max} von Staub/Luft-Gemischen
- EN 14034-2: Bestimmung der Explosionskenngrößen von Staub/Luft-Gemischen - Teil 2: Bestimmung des maximalen zeitlichen Druckanstiegs $(dp/dt)_{max}$ von Staub/Luft-Gemischen
- EN 14034-3: Bestimmung der Explosionskenngrößen von Staub/Luft-Gemischen - Teil 3: Bestimmung der unteren Explosionsgrenze UEG von Staub/Luft-Gemischen

Zusätzlich relevant bei der Explosionskenngrößenbestimmung sind die VDI-Richtlinie 2263, Blatt 1: „Staubbrände und Staubexplosionen, Gefahren - Beurteilung - Schutzmaßnahmen; Untersuchungsmethoden zur Ermittlung von sicherheitstechnischen Kenngrößen von Stäuben“ und die DIN EN ISO/IEC 80079-20-2: Explosionsfähige Atmosphären - Teil 20-2: Werkstoffeigenschaften - Prüfverfahren für brennbare Stäube (ISO/IEC 80079-20-2:2016).

Die experimentellen Untersuchungen erfolgen in einer geschlossenen 20-l-Explosionskugel. Der Staub wird aus einem Staubvorratsbehälter mittels getrockneter Druckluft von 20 bar_ü über eine Staubverteilungsvorrichtung (Pralldüse) in die Kugel geblasen. Die Explosionskugel wird - unter Berücksichtigung des aktuellen Luftdruckes - vor Versuchsbeginn soweit evakuiert, dass nach dem Einblasen des Staub/Luft-Gemisches in der Kugel Normaldruck (1013 mbar) herrscht.

Als Zündinitiale dienen genormte pyrotechnische Zünder (Hersteller: Fa. Sobbe GmbH, Fabrik elektrischer Zünder), die elektrisch gezündet werden. Bei jedem Explosionsversuch werden 2 Zünder mit einer Gesamtenergie von 2 kJ (Bestimmung der Staubexplosionsfähigkeit und der UEG) bzw. 10 kJ (Bestimmung p_{max} und $(dp/dt)_{max}$) eingesetzt.

Die Staubkonzentration wird über einen breiten Konzentrationsbereich schrittweise variiert.

Ein Überdruck von $\geq 0,3$ bar über dem durch das Zündinitial erzeugten Druck wird als Explosion gewertet und die untersuchte Probe folglich als explosionsfähig eingestuft.

Zur Ermittlung des maximalen Explosionsdruckes und des maximalen zeitlichen Druckanstieges werden die Untersuchungen in 3 Serien über den entsprechenden Konzentrationsbereich vorgenommen, in dem eindeutig die Höchstwerte für den Druck und den Druckanstieg liegen. Der maximale Explosionsdruck (\ddot{U}) und der maximale zeitliche Druckanstieg ergeben sich dann durch Mittelwertbildung aus den jeweils 3 Maximalwerten.

Der maximale zeitliche Druckanstieg $(dp/dt)_{\max}$ ist volumenabhängig und nimmt mit steigendem Volumen ab. Über das "Kubische Gesetz" lässt sich aus ihm der K_{St} -Wert, eine staub- und prüfverfahrensspezifische, von der Behältergröße V unabhängige Kenngröße ermitteln:

$$K_{St} = (dp/dt)_{\max} \cdot V^{\frac{1}{3}}$$

Den K_{St} -Werten werden folgende Staubexplosionsklassen zugeordnet:

K_{St} -Wert in $\text{bar} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$	Staubexplosionsklasse
> 0 bis 200	St 1
> 200 bis 300	St 2
> 300	St 3

Zur Ermittlung der UEG wird die Staubkonzentration schrittweise (Halbierung der Staubkonzentration bzw. oberhalb von 500 g/m^3 : Schritte von 250 g/m^3) solange vermindert, bis bei 3 aufeinanderfolgenden Versuchen bei gleicher Staubkonzentration das Staub/Luft-Gemisch nicht mehr entzündet werden kann. Diese Konzentration wird als die *Untere Explosionsgrenze (UEG)* angegeben.

Konzentrationsschritte: ...; 1000; 750; 500; 250; 125; 60; 30; ... g/m^3

Einschätzung Verallia

Material:

Der Gießereisand wurde in der Versuchsaufbereitungsanlage von SiC Processing nach unseren Spezifikationsvorgaben aufbereitet.



Unsere Analysen im Chemischen Labor bestätigen die Einhaltung dieser Spezifikation. Bei der Siebung konnte Material im Unterkorn bis 0,5% festgestellt werden. Dies führte bei der Entladung zu einer sehr starken Staubentwicklung. Überkorn gab es keines.

Anlieferung:

Das Material wurde in Rücksprache mit dem Werk wie besprochen angeliefert. Durch das abgerundete Korn war ein komplett anderes Fließverhalten als von dem bisher verwendeten Sand festgestellt worden.

Die Entladung war somit viel zu schnell und das Material ist über die Rinnen hinaus geschossen. Durch Anpassungen der Rinnenleistung und Anfeuchten des Sandes vor der Anlieferung konnte die Entladung in den Griff bekommen werden. Vor einem Dauereinsatz müsste aber dringend in eine Umgestaltung des Bunkers investiert werden.

Dosierung Gemengetransport:

Die Gemengesteuerung musste angepasst werden, um das Silo mit dem Gießereisand einzeln ansteuern zu können.

Die Dosierung funktionierte wie erhofft.

Der Gießereisand wurde im Austausch zum normalerweise verwendeten Quarzsand in langsamen Schritten bis auf max. 18% eingesetzt.

Bei der Mischung und bei dem Transport zum Gemengesilo wurden keine negativen Effekte bemerkt.

Schmelze:

Bei der Abschmelze wurden keine negativen Effekte bemerkt wie überhöhte Schaumbildung.

Farbwirkung:

Der Gießereisand bringt eine deutlich höhere reduzierend wirkende Menge als der herkömmliche Quarzsand mit in die Schmelze. Um dies auszugleichen wurde die Kohlemenge reduziert.

Bei den hohen Einsätzen (18%) war die Steuerungsmenge für die Farbe (Kohle) sehr klein geworden, was eine deutliche Verschiebung des normalen Arbeitsbereiches bedeutet und den Spielraum für zusätzliche Störungen (Organik in den Scherben) sehr klein macht.

Einschlüsse:

Es konnten bei den eingesetzten Mengen keine Einschlüsse mit dem Ursprung Gießereisand entdeckt werden.

Gispen:

Es konnten durch den Gießereisand keine negativen Wirkungen bzgl. Gispenaufkommen entdeckt werden.

Glaschemie

Durch die kontinuierlichen Kontrollen und Berechnung der Gemengesätze ist die Glaschemie stabil geblieben.

Fazit:

Das Material ist unter den heutigen Gesichtspunkten deutlich weniger einzusetzen, als zu Versuchsdefinition erhofft.

Durch den doch sehr großen reduzierenden Einfluss in der Glasschmelze wurde der Versuch auf Braunglas beschränkt und nicht auch in oxidiertes Grünglas mit eingegeben.

Aus Nachhaltigkeitssicht ist der Einsatz des aufbereiteten Gießereisandes eine tolle Möglichkeit Ressourcen zu schonen und Deponieplatz zu sparen.

Bei Verallia wird Braunglas in 2 Werken produziert. Ein Einsatz dieses Materiales in Zukunft würde nur Sinn machen, wenn die Wege von der Gießerei zur Aufbereitung und dann weiter zum Glaswerk nah sind, sonst wird der positive Effekt für die Natur durch Transportwege zunichtegemacht.