

ENTWICKLUNG EINES VERFAHRENS ZUR GLASPULVERISIERUNG

INHALTSVERZEICHNIS

1. Aufgabenstellung
2. Voraussetzungen, unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde
3. Planung und Ablauf des Vorhabens
4. Wissenschaftlicher und technischer Stand zu Beginn der Entwicklungsarbeiten
 - 4.1 Allgemeines
 - 4.2 Angaben bekannter Konstruktionen, Verfahren und Schutzrechte, die für die Durchführung des Vorhabens benutzt wurden.
 - 4.3 Angaben der verwendeten Fachliteratur sowie der benutzten Informations- und Dokumentationsdienste
5. Zusammenarbeit mit anderen Stellen
6. Darstellung der erzielten Ergebnisse
 - 6.1 Physikalische Untersuchungen von Scherben und Pulver
 - 6.1.1 Ermittlung der Kenndaten
 - Feuchtigkeit
 - Korngrößenverteilung
 - Schüttdichte
 - Schüttwinkel
 - 6.1.2 Bestimmung der Verunreinigungen
 - 6.2 Brecher für die Pulverisierung von Scherben
 - 6.2.1 Verbesserung der Verschleißfestigkeit
 - 6.2.2 Einsatz einer Mengenstromregelung
 - 6.3 Scherbentrocknung
 - 6.4 Siebtechnik
 - 6.5 Kleintechnische Schmelzversuche
 - 6.5.1 Versuchsdurchführung
 - 6.5.2 Ergebnisse mit Weißglas

- 6.5.3 Ergebnisse mit Grünglas
- 6.5.4 Versuche zur Ermittlung der Auflösewilligkeit von Porzellan, Steingut und Glaskeramik
- 6.6 Untersuchungen zum Einfluß gemahlener Scherben auf die Redox-Verhältnisse bei Behälterglas
 - 6.6.1 Herstellung der Gläser
 - 6.6.2 Präparation der Proben und Durchführung der Messungen
 - 6.6.3 Darstellung der Ergebnisse
 - 6.6.4 Schlußfolgerungen
- 6.7 Großtechnische Schmelzversuche
 - 6.7.1 Grünglas
 - 6.7.2 Weißglas
 - 6.7.3 Braunglas
- 6.8 Konzeption einer Pulverisierungsanlage
- 7. Nutzen der Entwicklung, insbesondere der Verwertbarkeit der Ergebnisse
- 8. Der während der Durchführung des Vorhabens bekanntgewordene Fortschritt auf diesem Gebiet bei anderen Stellen
- 9. Geplante Veröffentlichungen der Ergebnisse

Vorhaben:	Entwicklung eines Verfahrens zur Glaspulverisierung
Ausführende Stelle:	EME Maschinenfabrik Clasen GmbH
Projektleiter:	Jens Rosenthal
Förderkennzeichen:	o1 ZV 9446/0

1. Aufgabenstellung

Ziel des Vorhabens ist es, ein Verfahren zur Glaspulverisierung zu entwickeln und im großtechnischen Maßstab als Pilotanlage vorzustellen. Dabei soll eine restlose Wiederverwendung von Glasscherben mit kleinen Korngrößen im Glasschmelzprozeß möglich sein.

Wesentlich dabei ist ein produktionsintegrierter Umweltschutz durch

- verstärkte Nutzung der Werkstoffe durch Vernetzung der Stoffströme im Produktionsprozeß und damit restlose Wiederverwertung der Glasscherben mit kleinsten Korngrößen im Schmelzprozeß für Produkte mit „hohem“ Niveau oder besonderem Anforderungsprofil in der gesamten Glasindustrie
- Aufbereitung der vielfältigen und stark schwankenden Zusammensetzung des wieder einsetzbaren Sekundärrohstoffes kleinerer Korngrößen
- ökologische und energetische Verbesserungen führen langfristig zu finanziellen und strategischen Wettbewerbsvorteilen.

Technisches Arbeitsziel des F u. E-Vorhabens ist es, an individuelle Glasschmelzprozesse angepaßte Anlagenkomponenten für die Glaspulverisierung zu entwickeln, mit denen die bisherigen Glasverluste in den Scherbenaufbereitungsbetrieben wesentlich reduziert werden.

Durch die verbesserte Nutzung des recycelten Glases soll eine Verringerung des Energieeinsatzes im Glasherstellungsprozeß erreicht werden, was wiederum zu einer Verringerung des Ausstoßes an Massenschadstoffen führt.

Mit dem produktionsintegrierten Einsatz von Pulverisierungsanlagen sollten folgende Werkstoffmengen gewonnen werden:

Behälterglas: 6 bis 10% aus ca. 2,6 Mio. t (1993) /1/ durch:

- Verringerung der bei der Scherbenaufbereitung anfallenden Glasverluste
- Einsatz von Scherben, die bisher aufgrund ihrer Korngröße nicht aufbereitet werden konnten.

Flachglas: 25 bis 30% aus ca. 1,5 Mio. Jato /2/ durch:

- Verbundglasaufbereitung

Hiermit stehen ca. 700.000 Jato für die Glaspulverisierung zur Verfügung.
Aus der Abfallbilanz ergeben sich folgende Kostenreduzierungen:

Verpackungsglas	2,6 Mio t/a (1993) /2/
davon 6% zur Deponie	0,156 Mio t/a
Deponiekosten	DM 250,-/t (durchschnittlich)
Gesamtkosten	DM 39 Mio/Jahr

Produktion Behälterglas	DM 2,9 Mrd. / a (1991) /3/
2% Ausfall durch KSP	
1% aus Scherben	
Gesamtkosten	DM 29 Mio / Jahr

Zur Minderung der wirtschaftlichen Risiken bei der Umsetzung der zu erwartenden Entwicklungsergebnisse im späteren kommerziellen Anlagenbetrieb ist es erforderlich, beispielsweise die Probleme in der Schmelzzone, wie Schaumbildung und Verstaubung in verschiedenen Anlagen, mit unterschiedlichen Prozeßparametern zu analysieren.

Im Zuge der verstärkten Wiederverwendung von Altglas in der Behälterglasindustrie geht es um die Verminderung des primären Rohstoffeinsatzes, die Schonung der natürlichen Bodenschätze, die Verringerung des Energieaufwandes und der daraus resultierenden Emissionen. Neben der direkten Schonung der Ressourcen, wie das beispielsweise bei der Einsparung von Sand und anderen natürlichen Rohstoffen der Fall ist, muß insbesondere bei der Einsparung des Rohstoffes Soda hervorgehoben werden, daß dies noch eine zusätzliche Energieersparnis und Reduzierung der Umweltbelastung bedeutet.

2. Voraussetzungen, unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde

Die Fa. EME Maschinenfabrik Clasen GmbH hat langjährige Erfahrungen auf dem Gebiet der Scherbenaufbereitung und der Herstellung von Gemengen für die Glasproduktion. Das Unternehmen verfügt über qualifiziertes Fachpersonal, die erforderlichen Sachmittel sowie die notwendigen Kapazitäten für die Entwicklung eines Verfahrens zur Glaspulverisierung.

Darüber hinaus wurde mit dem Institut für Silikattechnik der Bergakademie Freiberg, mit Fachfirmen der verschiedensten Gebiete der Anlagentechnik und glasherstellenden Betrieben zusammengearbeitet.

Der Einsatz von Scherben im Glasherstellungsprozeß hat in den letzten Jahrzehnten immer mehr an Bedeutung gewonnen. Die Scherben sind inzwischen zu einem der wichtigsten Ausgangsstoffe für die Glasproduktion geworden. Die Forderungen an die Qualität der Scherben stiegen deshalb ständig.

Das in Sammelcontainern erfaßte Altglas ist leider nicht direkt für die Glashütte verwendbar, da es eine Reihe von Verunreinigungen enthält, die die Qualität der erzeugten Glasprodukte sehr nachteilig beeinflusst. Dazu zählen vor allem Metalle, Keramik, Steingut und Porzellan. Diese Schadstoffe werden in den Scherbenaufbereitungsanlagen entfernt, wobei der Abscheidungsgrad mit geringer werdender Korngröße dieser Stoffe abnimmt.

Zu Beginn der Entwicklungsarbeiten bestand das aus den KSP-Abscheidern anfallende aussortierte Material zu ca. 80% aus Glas, da der technische Entwicklungsstand der Abscheider noch sehr zu wünschen übrig ließ.

Die Pulverisierung sollte deshalb die Korngröße < 15 mm, die nicht mehr zu reinigen waren und den KSP-Abfall mit seinem hohen Glasanteil wieder verwendbar machen.

3. Planung und Ablauf des Vorhabens

Das Vorhaben begann im Dezember 1994 und wurde am 30.04.1997 abgeschlossen. Die Gegenüberstellung des ursprünglich geplanten Ablaufes mit dem realisierten ist aus dem Diagramm 1 zu ersehen.

Die ursprüngliche Zielstellung, eine Versuchsanlage aufzubauen, konnte nicht erfüllt werden. Der Grund dafür liegt darin, daß erst relativ spät, d.h. nach der Durchführung von großtechnischen Schmelzversuchen, die Erkenntnisse über das Verhalten von Glaspulver im Schmelzprozeß vorlagen. Dies wiederum ist jedoch Voraussetzung, daß Glashütten bereit sind, Glaspulver einzusetzen.

Da der Einsatz von Glaspulver Vorteile für die Qualität der Erzeugnisse bringt, ist es sehr wahrscheinlich, daß sich diese Technologie bei der Glasherstellung durchsetzen wird. Damit wären dann auch die Voraussetzungen für den Aufbau einer Pulverisierungsanlage gegeben, da eine bestimmte Abnahmemenge für die Auslastung einer solchen Anlage notwendig ist.

4. Wissenschaftlicher und technischer Stand zu Beginn der Entwicklungsarbeiten

4.1 Allgemeines

Die Wiederverwendung von gesammeltem Altglas bei der Glasherstellung ist seit Jahrzehnten gängige Praxis. Die Scherben stellen einen wichtigen und gleichzeitig preiswerten Rohstoff dar. Ihr Einsatz bringt neben der Einsparung an Rohstoffkosten noch den Vorteil der Verringerung des Energieeinsatzes beim Glasschmelzen.

Da die zur Glasbildung aus Rohstoffen notwendigen chemischen Prozesse endotherme Vorgänge sind, ist der Energieverbrauch zwangsläufig höher als bei der Erwärmung und Verflüssigung der Scherben.

Der Einsatz von Recyclingglas hat deshalb ständig zugenommen. Verbesserungen der Konstruktionen der Schmelzaggregate und der Schmelztechnologie führten dazu, daß 1994 in Deutschland Weißglas zu 70%, Braunglas zu 80% und Grünglas zu 90% dem Glasherstellungsprozeß wieder zugeführt wurden /4/.

Da an die erzeugten Glasartikel immer höhere Qualitätsanforderungen gestellt werden, mußte auch die Qualität des wiederverwendeten Altglases ständig verbessert werden. Nach Angaben des Bundesverbandes Glas- und Mineralfaserindustrie wurden 1994 folgende Forderungen an die Glasscherbenqualität gestellt:

Terminplan FuE-Vorhaben „Glaspulverisierung“ Diagramm 1

Nr	Aktivitäten	Monate																												
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29
01	Laborschmelzversuche																													
02	Schmelzversuche unter Prod.-Bed.																													
03	Erstellen einer Expertise																													
04	Untersuchungen und Bilanzierung																													
05	Entwicklung Komponenten																													
06	Untersuchungen Brechersysteme																													
07	Entwicklung Mengenstromregelung																													
08	Feuchtigkeitsuntersuchungen																													
09	Auswahl Trocknungssystem																													
10	Modifizierung Altglas-aufbereitungstechnik																													
11	Auswahl Förderkonzepte																													
12	Erprobung Anlagenkomponenten																													
13	Physikalische Untersuchungen																													
14	Entwurf/Aufbau Versuchsanlage																													
15	Versuchs- und Meßphase																													
16	Optimierungsphase																													

= soll
 = ist

Verunreinigungen:

Keramik, Steine, Porzellan (KSP)	< 25 g/t
Aluminium	< 5 g/t
FE-Metalle	< 5 g/t
Blei	< 1 g/t
lose organische Stoffe	< 500 g/t
Feuchtigkeit	< 2 %

Fehlfarben:

	Fehlfarben in %		
	weiß	braun	grün
Weißglas	---	< 0,5	< 0,1
Braunglas	< 5,0	---	< 5,0
Grünglas	< 5,0	< 5,0	---

Um diese Forderungen einhalten zu können, wurden in den Scherbenaufbereitungsanlagen Geräte zur Eisen- und Allmetallausscheidung, KSP-Sortieranlagen und Farbtrennungseinrichtungen installiert.

Diese Anlagentechnik hatte 1994 einen Entwicklungsstand, der es gestattete in Körnungsbereichen > 15 mm mit recht hoher Zuverlässigkeit Verunreinigungen und Fehlfarben auszuschleiden. Im darunter liegenden Körnungsbereich nahm der Abscheidegrad jedoch rapide ab. Die Qualitätsanforderungen konnten deshalb besonders bei KSP-Anteilen und Fehlfarben in den wenigsten Fällen eingehalten werden.

Darüber hinaus wurde an den KSP-Abscheidern, die bekanntlich mit Druckluftdüsen arbeiten, ein hoher Anteil (ca. 70 - 80%) Glas mit ausgeworfen, der mit den anderen Schadstoffen deponiert werden mußte, da eine Verwendung für die Glasherstellung ausschied.

Um den Scherbenanteil mit einer Körnung < 15 mm qualitativ zu verbessern und den Glasanteil im KSP-Abfall noch nutzen zu können, mußte ein neues Verfahren entwickelt werden. Inzwischen wurden Informationen aus der Glasindustrie der USA und Kanadas bekannt, die besagten, daß die dem Glasschmelzprozeß zugesetzten Scherben pulverisiert werden.

In den USA und Kanada hat sich die Ausscheidung von Keramik, Steinen und Porzellan durch „optische KSP-Ausscheider“, wie sie in Europa üblich sind, nicht durchgesetzt. Die Gründe hierfür sind die hohen Anschaffungs- und Betriebskosten für diese Ausscheider, der hohe Glasverlust sowie die Tatsache, daß die in dieser Region stark verbreitete „Vision Ware“ (Borosilikatglas) durch eine optische Vorrichtung nicht erfaßt und aussortiert werden kann.

Die Scherben werden zu 100% pulverisiert, wobei gesagt werden muß, daß die Scherbenanteile niedriger als in Deutschland sind. Sie liegen bei Grünglas zum großen Teil unter 50% und bei braunem und weißem Glas zwischen 20 und 30%.

Diese Werte liegen in Deutschland und einigen anderen europäischen Ländern deutlich höher.

Durch Pulverisierung der Fremdscherben sollten die schwer schmelzenden Bestandteile auf eine Körnung gebracht werden, die eine vollständige Auflösung im Schmelzbad erlaubt. Erste Versuche mit Korngrößen um 12 MESH (1,4 mm) brachten wesentliche Verbesserungen. Inzwischen sind Korngrößen des Glaspulvers im Bereich von 140 - 12 MESH (0,1 - 1,4 mm) gängige Praxis. Eine typische Kornverteilung wurde für eine Hütte veröffentlicht, die Champagnerflaschen herstellt:

> 12 MESH (1,4 mm)	4,5%
12 - 140 MESH (1,4 - 0,1 mm)	82,0%
< 140 MESH (0,1 mm)	13,5%

Der Feinstanteil soll möglichst gering gehalten werden. Von der Pulverisierung werden die ferromagnetischen Metalle durch Magnete und die Leichtstoffe, wie Papier und Folien, durch Absaugen weitestgehend entfernt.

Die Anwendung der Pulverisierung für die Scherbenkörnung < 15 mm und für den KSP-Abfall versprach deshalb eine echte Möglichkeit für die Verbesserung der Scherbenqualität und Verringerung der zu deponierenden Abfallmengen zu sein. Es galt deshalb, ein Verfahren für die Pulverisierung zu entwickeln unter gleichzeitiger Beachtung der beim Einsatz in der Glasherstellung eventuell auftretenden technologischen Besonderheiten.

4.2 Angaben bekannter Konstruktionen, Verfahren und Schutzrechte, die für die Durchführung des Vorhabens benutzt wurden

Der Aufbau der Pulverisierungsanlage besteht im wesentlichen aus der Kombination bekannter Ausrüstungen wie Aufgabebunker, Dosiereinrichtungen, Vibrations- und Gurtförderer sowie Brecher, Sieb- und Trocknungsanlagen.

Der Brecher stellt eine spezielle Konstruktion dar, die bereits zur Zerkleinerung von anderen harten Materialien im Einsatz ist.

Im Laufe der Entwicklungsarbeiten wurde dieser Brecher in Bezug auf Verschleißfestigkeit und Regelung den Bedingungen der Glaspulverisierung angepaßt.

Besondere Anforderungen werden an die Siebtechnik gestellt. Aber auch hier gelang es auf vorhandene technische Lösungen zurückzugreifen.

Schutzrechte wurden beider Entwicklung des Pulverisierungsverfahrens nicht berührt.

4.3 Angabe der verwendeten Fachliteratur sowie der benutzten Informations- und Dokumentationsdienste

- /1/ Deutsche Glastechnische Gesellschaft, Fachausschußberichte
Sprechsaal

- /2/ BV Glas- und Mineralfaserindustrie, Stat. Bundesamt, GLS Glasrecycling
Leeseringen

- /3/ Glastechnische Berichte 65 (1992) Nr. 11

- /4/ Beutinger, M.; Einsatz von Recyclingglas in der Hohlglasschmelze.
Glastechn. Ber. Glass Sci. Technol. 68 (1995) S. N51-N58

5. Zusammenarbeit mit anderen Stellen

Bei der Entwicklung des Verfahrens wurde mit verschiedenen Firmen und Instituten zusammengearbeitet. Die wichtigsten sollen nachfolgend genannt werden:

- TU Bergakademie Freiberg
Institut für Silikattechnik
Durchführung von physikalischen Untersuchungen an Scherben und Glaspulver sowie kleintechnische Schmelzversuche (Redox-Verhalten)

- Fa. Sorg, Lohr
Durchführung kleintechnischer Schmelzversuche

- Fa. Bock und Schulte, Hamburg
Pulverisierung von Glasscherben mit dem DAVID-Brecher, Optimierung des Brechers

- Fa. Mozer, Göppingen
Trocknungsversuche

- Fa. HAM, Hamburg
Trocknung von Glasscherben
- TÜV Stuttgart
Untersuchungen von Emissionen beim Trocknen von Scherben
- Glaswerk Budenheim
Durchführung von Schmelzversuchen

- Nienburger Glaswerke
Vorbereitung von Schmelzversuchen

- Fa. Stölzle Oberglas AG, Köflach (A)
Durchführung von Schmelzversuchen

- Fa. DNL Behälterglas, Drebkau
Durchführung von Schmelzversuchen

6. Darstellung der erzielten Ergebnisse

6.1 Physikalische Untersuchungen von Scherben und Pulver

Das Ausgangsmaterial für die Herstellung des Glaspulvers sind Glasscherben. Zu Beginn der Entwicklungsarbeiten wurde davon ausgegangen, daß zum einen Scherben, die die Aufbereitungsanlagen durchlaufen haben und damit weitestgehend frei von KSP- und Metallverunreinigungen sind und zum anderen der an den KSP-Abscheidern ausgesonderte Abfall, der einen bis zu 80%-igen Scherbenanteil besitzt, als Ausgangsstoffe verwendet werden. Zu einem späteren Zeitpunkt mußte diese Auffassung geändert werden, da die Glashütten nicht bereit waren, Pulver, das aus KSP-Abfall hergestellt worden war, für großtechnische Versuche zum Einsatz bringen zu lassen.

6.1.1 Ermittlung der Kenndaten

- **Feuchtigkeit**
- **Korngrößenverteilung**
- **Schüttdichte**
- **Schüttwinkel**

Die zu untersuchenden Proben wurden im Anlieferungszustand gewogen, sodann nach dem Viertelkreisverfahren geteilt und den weiteren Untersuchungen zugeführt. Zur Feuchtebestimmung wurden je Probe 3 x 500 g entnommen, gewogen und nach 24-stündiger Trocknung bei 110 °C erneut gewogen. Aus diesen Massedifferenzen wurde die Feuchte ermittelt.

Das gesamte restliche Material wurde bei 110 °C getrocknet und stand dann für die Siebanalyse zur Verfügung. Die Siebanalyse erfolgte durch Trennen in 10 Fraktionen. Das Sieben erfolgte entsprechend der in folgender Tabelle aufgeführten Korngrößen (Siebmaschenweite in mm):

Für Scherben:	25; 10; 6,3; 5; 4; 3,15; 2,5; 1,6; 1,0
Für Glasmehl:	5; 3,15; 2; 1,6; 1,0; 0,8; 0,4; 0,25; 0,1

Die Glasscherben wurden je dreimal gesiebt. In den Tabellen 1 - 2 sind Mittelwerte und Standardabweichungen der Siebanalysen enthalten. Die Aufgabemenge für jeden Siebvorgang auf Laborsieben betrug 250 g, die Siebdauer 15 Minuten. Abweichend davon erfolgte die Ermittlung der Anteile > 25 mm und > 10 mm bei den Scherbenproben derart, daß hier jeweils die gesamte vorhandene Scherbenmenge auf einem Maschinensieb (ca. 0,5 m² Siebfläche) gesiebt wurde. Damit wurde eine mögliche Fehlvergrößerung bei diesen groben und heterogenen Materialien vermieden.

Das Sieben erfolgte beim Glasmehl je zweimal auf einer Laborsiebreihe, in den Tabellen 3 und 4 sind Mittelwerte und Standardabweichungen der Siebanalysen enthalten.

Die Zusammenstellung der Siebanalysen zeigt Diagramm 2.

Die Schüttdichte der Glasmehlproben wurde bestimmt, indem 500 ml der Fraktion der Materialien in ein 500 ml Meßgefäß lose eingeschüttet und abgestrichen wurde. Danach erfolgte aus Masse und Volumen die Berechnung der Schüttdichte. Dieser Vorgang wurde für jede Probe dreimal wiederholt, die Ergebnisse enthalten die Tabellen 3 und 4.

Der Schüttwinkel wurde in der Weise bestimmt, daß je 500 ml der entsprechenden Probe durch einen Trichter mit 15 mm Auslauföffnung aus 130 mm Höhe auf eine ebene Unterlage gegeben wurde. Der sich dabei einstellende Schüttwinkel wurde an mehreren Stellen mit Hilfe eines beweglichen Winkels (Schenkellänge 390 mm) gemessen und ermittelt. Dieser Vorgang wurde für jede Probe sechsfach ausgeführt, die Ergebnisse enthalten die Tabellen 3 und 4.

Sämtliche Meßwerte für Schüttdichte und Schüttwinkel sind im Diagramm 3 zusammengefaßt.

Einschätzungen der Teilergebnisse:

- Die Feuchtigkeitsgehalte der Scherben grün und weiß mit Verunreinigungen liegen bei $> 2\%$, während an den Scherben ohne Verunreinigungen nur minimale Feuchtegehalte von $< 0,03\%$ gemessen wurden. Die Feuchtegehalte der untersuchten Glasmehle bewegen sich unsystematisch im Bereich $< 0,1$ bis $> 2\%$.
- Die Siebanalysen zeigen für alle Scherbenproben ähnliche Korngrößensammensetzungen mit einer max. Scherbengröße bei 25 mm und geringen Anteilen < 1 mm. Der d-Wert liegt für alle Proben ohne große Abweichungen bei ca. 6,5 bis 7,5 mm (siehe auch Diagramm 2). Die Siebanalysen der Glasmehle brachten ein nahezu einheitliches Ergebnis mit einer oberen Korngröße bei 5 mm, einem d-Wert bei ca. 9,4 mm und Feinmehlanteilen $< 0,1$ mm von 15 - 17%. Eine Ausnahme bildet hier das Glasmehl grün mit Verunreinigungen mit einer max. Korngröße bei 5 mm, einem d-Wert von ca. 1,5 mm und Feinanteilen $< 0,1$ mm von nur 3%.
- Bei den Glasmehlen der Fraktion 0,1 - 0,8 mm korrelieren Schüttdichte und Schüttwinkel in dem Sinne, daß mit steigender Schüttdichte auch der Schüttwinkel ansteigt. Bei den Glasmehlen der Fraktion 1,0 - 1,6 mm ist eine derartige Korrelation nicht festzustellen. Wie zu erwarten, erreichen alle Glasmehle der Fraktionen 1,0 - 1,6 mm höhere Schüttdichten als die der vergleichbaren Fraktionen 0,1 - 0,8 mm (siehe Diagramm 3).

Tabelle 1

Probenbezeichnung Probenmenge	Scherben grün mit Verunreinigungen 19,5 kg			Scherben grün ohne Verunreinigungen 5,1 kg		
Siebanalyse Mittelwert aus 3 Messungen	Anteile [%]	Stabw [%]	Summe [%]	Anteile [%]	Stabw [%]	Summe [%]
0 - 1	3,38	0,48	3,38	0,81	0,16	0,81
1 - 1,6	1,17	0,49	4,55	0,23	0,32	1,04
1,6 - 2,5	1,98	0,23	6,53	0,75	0,42	1,80
2,5 - 3,15	1,97	0,29	8,50	1,45	0,70	3,25
3,15 - 4	3,67	0,83	12,17	3,27	1,79	6,51
4 - 5	8,73	0,41	20,90	10,57	1,15	17,08
5 - 6,3	2,94	2,40	23,84	3,25	2,34	20,33
6,3 - 10	15,06	0,00	38,89	24,48	0,00	44,81
10 - 25	59,38		98,27	52,39		97,20
> 25	1,73		100,00	2,80		100,00
Feuchte Mittelwert aus 3 Messungen	Mittelwert [%]	Stabw [%]		Mittelwert [%]	Stabw [%]	
	2,47	0,25		0,03	0,01	

Tabelle 2

Probenbezeichnung Probenmenge	Scherben weiß mit Verunreinigungen 18,3 kg			Scherben weiß ohne Verunreinigungen 5,3 kg		
Siebanalyse Mittelwert aus 3 Messungen	Anteile [%]	Stabw [%]	Summe [%]	Anteile [%]	Stabw [%]	Summe [%]
0 - 1	3,66	0,15	3,66	0,99	0,04	0,99
1 - 1,6	1,54	0,20	5,19	0,23	0,07	1,21
1,6 - 2,5	2,42	0,25	7,62	0,44	0,17	1,65
2,5 - 3,15	2,12	0,16	9,74	0,50	0,21	2,15
3,15 - 4	3,25	0,89	12,99	1,27	0,71	3,42
4 - 5	8,46	0,54	21,44	5,40	0,02	8,82
5 - 6,3	1,33	1,07	22,77	1,30	0,86	10,12
6,3 - 10	11,19	0,00	33,96	18,34	0,00	28,46
10 - 25	64,71		98,67	65,96		94,42
> 25	1,33		100,00	5,58		100,00
Feuchte Mittelwert aus 3 Messungen	Mittelwert [%]	Stabw [%]		Mittelwert [%]	Stabw [%]	
	2,44	0,27		0,02	0,00	

Tabelle 3

Probenbezeichnung Probenmenge	Glasmehl grün mit Verunreinigungen 20,8 kg			Glasmehl grün ohne Verunreinigungen 11,8 kg		
Siebanalyse Mittelwert aus 3 Messungen	Anteile [%]	Stabw [%]	Summe [%]	Anteile [%]	Stabw [%]	Summe [%]
0 - 0,1	3,00	1,40	3,00	17,62	0,41	17,62
0,1 - 1,25	5,23	2,38	8,22	18,17	0,65	35,79
0,25 - 0,4	4,47	1,46	12,69	11,54	0,49	47,33
0,4 - 0,8	14,84	2,34	27,53	19,19	0,28	66,52
0,8 - 1	7,57	0,73	35,09	6,50	0,76	73,02
1 - 1,6	19,26	1,41	54,35	13,10	0,53	86,13
1,6 - 2	12,74	1,13	67,09	7,35	0,22	93,47
2 - 3,15	9,83	2,02	76,92	4,90	0,73	98,37
3,15 - 5	15,04	2,31	91,95	1,56	0,42	99,93
5 > 5	8,05	3,91	100,00	0,07	0,06	100,00
Feuchte Mittelwert aus 3 Messungen	Mittelwert [%]	Stabw [%]		Mittelwert [%]	Stabw [%]	
	0,09	0,03		1,05	0,01	
Schüttdichte Mittelwert aus 3 Messungen	Mittelwert [g/ccm]	Stabw [g/ccm]		Mittelwert [g/ccm]	Stabw [g/ccm]	
Fraktion 0,1 - 0,8 mm	1,39	0,04		1,24	0,03	
Fraktion 1,0 - 1,6 mm	1,50	0,02		1,35	0,04	
Schüttwinkel Mittelwert aus 3 Messungen	Mittelwert [grad]	Stabw [grad]		Mittelwert [grad]	Stabw [grad]	
Fraktion 0,1 - 0,8 mm	35,25	1,06		33,58	2,13	
Fraktion 1,0 - 1,6 mm	32,25	2,02		32,86	2,21	

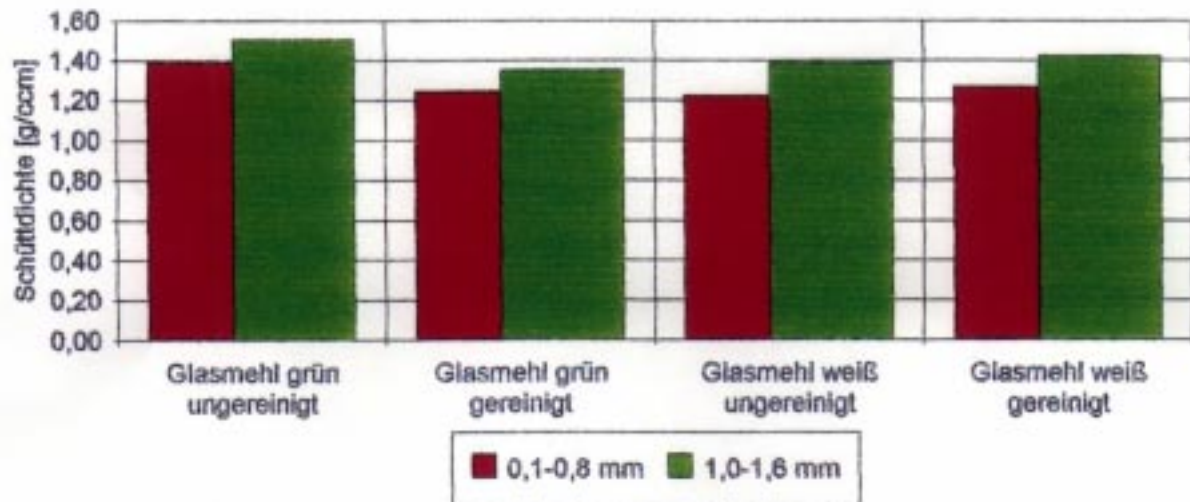
Tabelle 4

Probenbezeichnung Probenmenge	Glasmehl weiß mit Verunreinigungen 9,9 kg			Glasmehl weiß ohne Verunreinigungen 11,5 kg		
Siebanalyse Mittelwert aus 3 Messungen	Anteile [%]	Stabw [%]	Summe [%]	Anteile [%]	Stabw [%]	Summe [%]
0 - 0,1	15,25	0,34	15,25	16,99	0,67	16,99
0,1 - 1,25	17,39	0,13	32,64	18,26	0,45	35,24
0,25 - 0,4	10,55	0,19	43,19	10,52	0,26	45,77
0,4 - 0,8	21,31	0,29	64,50	21,56	0,34	67,32
0,8 - 1	6,33	0,01	70,82	6,39	0,08	73,72
1 - 1,6	13,83	0,09	84,66	13,58	0,27	87,30
1,6 - 2	7,95	0,25	92,61	7,07	0,57	94,37
2 - 3,15	5,35	0,06	97,96	4,34	0,49	98,71
3,15 - 5	1,94	0,16	99,89	1,29	0,20	100,00
5 > 5	0,11	0,12	100,00	0,00	0,00	100,00
Feuchte Mittelwert aus 3 Messungen	Mittelwert [%]	Stabw [%]		Mittelwert [%]	Stabw [%]	
	2,51	0,44		2,25	0,01	
Schüttdichte Mittelwert aus 3 Messungen	Mittelwert [g/ccm]	Stabw [g/ccm]		Mittelwert [g/ccm]	Stabw [g/ccm]	
Fraktion 0,1 - 0,8 mm	1,22	0,02		1,27	0,00	
Fraktion 1,0 - 1,6 mm	1,39	0,04		1,42	0,04	
Schüttwinkel Mittelwert aus 3 Messungen	Mittelwert [grad]	Stabw [grad]		Mittelwert [grad]	Stabw [grad]	
Fraktion 0,1 - 0,8 mm	33,42	2,87		34,67	0,58	
Fraktion 1,0 - 1,6 mm	32,50	0,71		34,25	1,50	

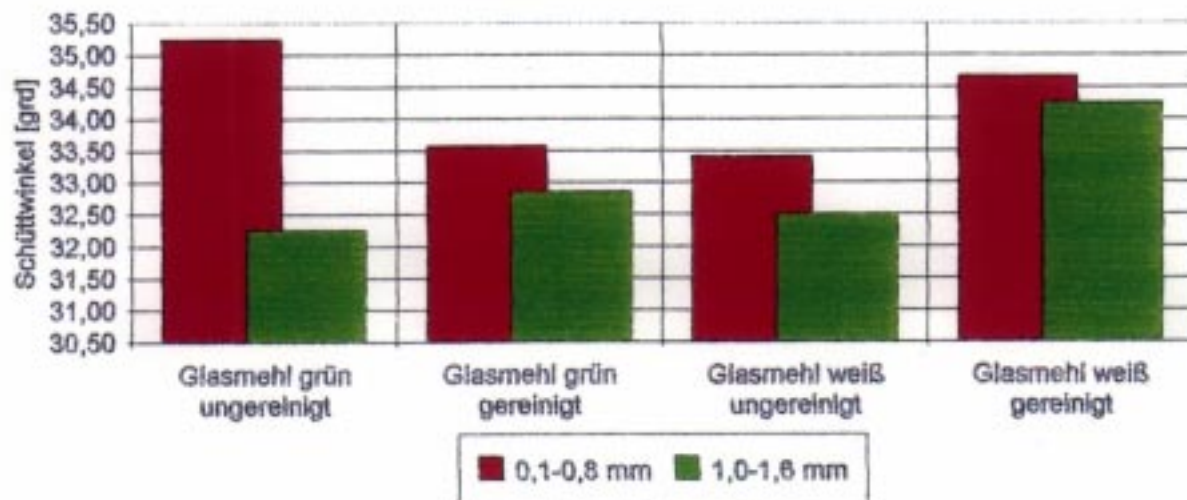
D i a g r a m m 3

17

Schüttdichte (Mittelwert aus 3 Messungen, Menge 500 ml bei 110°C getrocknet)



Schüttwinkel (Mittelwert aus 6 Messungen, Menge 500 ml bei 110°C getrocknet, Auslauföffnung 15 mm, Auslaufhöhe 130 mm)



6.1.2 Bestimmung der Verunreinigungen

Die Bestimmung der Verunreinigungen Keramik, Steine, Papier, Plastik und NE-Metalle erfolgte durch Aussortieren unter dem Stereomikroskop, nachdem sich in Vorversuchen andere Sortierverfahren als unbrauchbar erwiesen hatten. Der Anteil an Eisen wurde magnetisch abgeschieden.

Für die Bestimmung der organischen Verunreinigungen wurde nach dem Verfahren zur Bestimmung des chemischen Sauerstoffbedarfs durch Oxidation mit Kalziumdichromat in saurer Lösung, wie es für Glasrohstoffe üblich ist, gearbeitet. Dabei wurden alle damit oxidierenden Bestandteile erfaßt und als Kohlenstoff berechnet. Für die Bestimmung der Verunreinigungen in den Scherben wurde aus der Gesamtmenge mit Hilfe eines Probenteilers jeweils 1 kg Material gewonnen und sortiert. Zur Bestimmung der organischen Bestandteile wurde 1 kg Material mit der Scheibenschwingmühle < 1 mm zerkleinert und dann die Probe weiter geteilt, da für die Bestimmung nur 2 g benötigt werden. Bei den gemahlten Scherben wurde die gesamte Menge getrocknet und die Fraktionen 0,1 bis 0,8 mm und 1,0 bis 1,6 mm abgeseibt. Durch Probeteilung wurden jeweils 100 g für die Sortierung abgetrennt und bewertet.

Da das Papier teilweise an den Scherben haftet, wurde es in Wasser von den Scherben abgelöst, aussortiert und nach dem Trocknen bei 100 °C gewogen. Da die Plastikteile, Aluminiumteile und teilweise auch Keramikstücke und Steine relativ groß in den Scherben vorliegen, ist der Anteil sehr ungleichmäßig verteilt, so daß die Ergebnisse stark von der Probenahme abhängen. Die Ergebnisse der Bestimmungen der Verunreinigungen sind in den Tabellen 5 und 6 enthalten.

Einschätzung dieser Teilergebnisse:

- Die Rohscherben „verunreinigt“ sind besonders mit folgenden Stoffen (Rangfolge belastet):
 - Keramik
 - Steine
 - NE-Metalle
 - Papier
 - organ. Verunreinigungen

- Hauptverunreinigungen in den „gereinigten“ Scherben stellt der Anteil an Papier dar; Keramik, Steine und organische Verunreinigungen sind besonders in den grünen Scherben enthalten.

- Bei den Glaspulvern „verunreinigt“ wurden besonders folgende Stoffe gefunden (Rangfolge):
 - Keramik, Steine
 - Papier (allerdings nur in Weißglaspulver)
 - organische Bestandteile

Besonders in grünem Glasmehl der Fraktion 1- 1,6 mm sind erhebliche Anteile Keramik und Steine nachweisbar.

Bestandteile an Fremdstoffen (alle Angaben in ppm)

Rohscherben

Tabelle 5

weiß			grün			KSP-Absch.
mit Verunreinigung	ohne Verunreinigung	Verunreinigung	mit Verunreinigung	Verunreinigung	ohne Verunreinigung	
Fe-Met.	5	3	60	3	n.b.	
Ne-Met.	1160	--	--	--	n.b.	
Plastik	400	--	200	--	n.b.	
Papier	940	1700	270	2610	323	
Keramik	1050	--	7300	80	n.b.	
Steine	--	--	2170	20	n.b.	
red. Bestandt. ppm C ¹⁾	210	250	210	300	--	

Glaspulver

Tabelle 6

	weiß				grün			
	mit Verunreinigung		ohne Verunreinigung		mit Verunreinigung		ohne Verunreinigung	
	0,1 - 0,8 mm	1,0 - 1,6 mm	0,1 - 0,8 mm	1,0 - 1,6 mm	0,1 - 0,8 mm	1,0 - 1,6 mm	0,1 - 0,8 mm	1,0 - 1,6 mm
Fe-Met.)	nichts	gefunden	nichts	gefunden	nichts	gefunden	nichts	gefunden
Ne-Met.)								
Plastik)								
Papier	3660	6100	2900	3522	---	116	---	160
Keramik)	2268	2970	--	166	516	7336	--	100
Steine)		2240	--	102	1910	8598		
red. Bestandt. ppm C ¹⁾	856	764	210	830	76	141	109	120

1) Bei der Bestimmung der reduzierenden Bestandteile sind Papier, metallische Verunreinigungen und organische Bestandteile gemeinsam erfaßt und als ppm C angegeben.

In den untersuchten Fraktionen der Glaspulver konnten Metall- und Plastikanteile nicht nachgewiesen werden. In allen diesen Fraktionen wurden aber beträchtliche Anteile an organischen Bestandteilen, hier wesentlich höher als in den Rohscherben (besonders bei Glaspulver weiß) ermittelt.

6.2 Brecher für die Pulverisierung von Scherben

Der für das Herstellen von Glaspulver geeignete Brecher zeichnet sich dadurch aus, daß das zu zerkleinernde Material (Scherben) auf einen rotierenden Teller, der sich in der Mitte des Rotors befindet, fällt und durch die auftretenden Fliehkräfte durch definierte Öffnungen im Rotor nach außen geschleudert wird. Die Öffnungen sind durch Schleuderkanten und Pralleisten begrenzt.

Im Außenmantel des Brechers befinden sich Taschen, in denen sich das bereits zerkleinerte Material ansammelt. Auf dieses trifft das aus dem Rotor herausgeschleuderte Material und zerkleinert sich und das in den Taschen befindliche Glas. Dieses Prinzip der Zerkleinerung des zu brechenden Materials durch sich selbst, stellt die beste Methode zum verschleißarmen Brechen harter Materialien dar. Der Horizontalbrecher hat deshalb die besten Voraussetzungen zur Erzeugung von Glaspulver.

Hinter dem Brecher befindet sich eine Siebanlage, die die gewünschten Fraktionen von dem noch zu groben Korn trennt. Letzteres wird dem Brecher wieder zugeführt und in weiteren Brecherdurchläufen zerkleinert. Die brauchbare Körnung beträgt ca. 40 - 50% des aus dem Brecher austretenden Materials.

Wichtig für ein normales Arbeiten des Brechers ist die Korngröße des Eingangsmaterials. Versuche ergaben, daß Keramik- und Scherbenstücke > 30 mm und Stücke > 20 mm bei einer Dicke > 10 mm nicht zerkleinert sondern nur abgerundet werden. Ein wesentlicher Vorteil des Horizontalbrechers ist, daß metallische und elastische Verunreinigungen auch nach mehrmaligem Brecherdurchlauf nicht zerkleinert, sondern nur deformiert werden.

Der für die Pulverisierung benutzte Brecher hat folgende technische Daten:

Durchsatzleistung (Fertiggut)	2 - 10 t/h
Motorleistung	55 kW
Drehzahl	1330 - 2200 m ⁻¹

Im Rahmen der Entwicklungsarbeiten galt es, diesen Brecher den Bedingungen der Glaspulverherstellung weiter anzupassen. Dabei ging es um eine Verbesserung der Verschleißfestigkeit und eine Optimierung des Kornspektrums des Glaspulvers.

6.2.1 Verbesserung der Verschleißfestigkeit

Zu Beginn der Glaspulvererzeugung war der Brecher mit handelsüblichen Verschleißteilen ausgestattet.

Der Verschleiß konnte nur an den Schleuderkanten und den Pralleisten ermittelt werden, da die anderen Verschleißteile schon vor der Glaspulverherstellung zum Zerkleinern anderer Materialien eingesetzt waren.

Es konnte folgendes festgestellt werden:

Hergestellte Glaspulvermenge	340 t/h
Ausgangsgewicht der 3 Pralleisten	2.385 g/Leiste
Gewicht der Pralleisten nach dem Pulverisieren	Ø 2.180 g/Leiste
Verschleiß	Ø 205 g/Leiste = 8,6%
Ausgangsgewicht der 3 Schleuderkanten	2.210 g/Kante
Gewicht der Schleuderkanten nach dem Pulverisieren	Ø 1.958 g/Kante
Verschleiß	Ø 252 g/Kante = 11,4%

Um diesen hohen Verschleiß bei der Glaspulverisierung zu minimieren, wurden Verschleißteile aus 3 unterschiedlichen Materialien eingesetzt. Da außer dem Verteilerkegel alle Teile dreifach im Brecher vorhanden sind, konnte jedes Teil aus einem anderen Material eingebaut werden. Das Ergebnis ist deshalb auch besonders repräsentativ, da für alle Teile die gleichen Verschleißbedingungen zuträfen.

Die Verschleißteile wurden aus folgenden Materialien hergestellt:

1. St. 52 Grundkörper plus Auftragsschweißung mit einem Spezialstahl (Material A)
2. St. 52 Grundkörper plus Auftragsschweißung mit einem Spezialstahl (Material B)
3. Spezialguß

Das Verschleißverhalten der drei Materialien ist in Tabelle 7 zusammengefaßt. Grundsätzlich sind alle 3 gewählten Varianten wesentlich günstiger als das Material, das für die Normalausführung der Verschleißteile eingesetzt wurde. Den höchsten Verschleiß weist der Verteilerkegel auf.

Während für alle anderen Verschleißteile der Spezialguß die besten Eigenschaften aufweist, ist die Standzeit des Verteilerkegels mit einer Auftragsschweißung die bessere.

In Tabelle 8 sind die Relationen der 4 verschiedenen Verschleißteilausführungen gegenüber gestellt. Auch hier geht eindeutig hervor, daß der Spezialguß die günstigste Variante darstellt.

6.2.2 Einsatz einer Mengenstromregelung

Das Kornspektrum des erzeugten Materials ist abhängig von der Geschwindigkeit mit der die Glaspartikel aufeinandertreffen und wie oft ein Zusammenprall stattfindet. Die Geschwindigkeit wird durch die Rotorgeschwindigkeit bestimmt und die Anzahl der Zusammenstöße ist abhängig vom Befüllungsgrad des Brechers. Bei der Kornverteilung des Glaspulvers kommt es besonders darauf an, den Feinanteil $< 0,1$ mm niedrig zu halten, da dieser beim Schmelzprozeß die Verstaubung erhöht.

Es galt deshalb eine Regelung zu finden, die dieser Aufgabenstellung gerecht wird. Eine reine Drehzahlregelung hält zwar die Drehzahl des Rotors konstant, aber die dem Brecher zugeführte Scherbenmenge ist variabel. Es wurde deshalb eine Mengenstromregelung als vorteilhaft angesehen.

Voraussetzung ist die Ermittlung einer optimalen Geschwindigkeit. Dies geschieht durch den Einsatz verschiedener Keilriemenscheiben. Danach gilt es, die dem Brecher zugeführte Scherbenmenge konstant zu halten.

Bei der Mengenstromregelung wird die Frequenz der unter dem Vorratsbunker befindlichen Vibrationsrinne und die Motordrehzahl des Zuführungsbandes zum Brecher in Abhängigkeit von der Stromaufnahme des Brechermotors geregelt. Durch Vorgabe der Stromaufnahme des Brechermotors können unterschiedliche Aufgabemengen eingestellt und konstant gehalten werden. Da der Motorstrom konstant bleibt, verändert sich auch die eingestellte Rotorgeschwindigkeit nicht, so daß insgesamt optimale Verhältnisse erreicht werden.

Tabelle 7

Verschleißteile

Durchsatz 350 t		Auftrags- schweißung Material A	Auftrags- schweißung Material B	Spezialguß
Pralleiste	Gew. vor Einsatz /g/	2775	2765	2390
	Gew. nach Einsatz /g/	2725	2705	2375
	Verschleiß in /%/	1,8	2,2	0,6
Schleuderkante	Gew. vor Einsatz /g/	2170	2065	1940
	Gew. nach Einsatz /g/	2085	2005	1920
	Verschleiß /5/	3,9	2,9	1,0
Rotorschulter	Gew. vor Einsatz /g/	2540	2505	2160
	Gew. nach Einsatz /g/	25040	2505	2160
	Verschleiß /%/	0	0	0
Schachtplatte	Gew. vor Einsatz /g/	7335	7245	6000
	Gew. nach Einsatz /g/	7220	7140	5950
	Verschleiß /%/	1,6	1,4	0,8
Endplatte	Gew. vor Einsatz /g/	1570	1510	1330
	Gew. nach Einsatz /g/	1545	1500	1320
	Verschleiß /%/	1,6	0,7	0,7
Verteilerkegel*	Gew. vor Einsatz /g/	12220	11950	10650
	Gew. nach Einsatz /g/	11750		9050
	Verschleiß /%/	3,8		15

* Der Verteilerkegel wurde nach einer hergestellten Pulvermenge von 200 t gewechselt.

Tabelle 8**Kostenvergleich der Verschleißteilausführungen**

Verschleißteil	Normal /%/	Auftragsschweißung Material A /%/	Auftragsschweißung Material B /%/	Spezialguß /%/
Pralleiste	100	306	283	140
Schleuderkante	100	65	61	31
Rotorschulter	100	181	166	98
Schachtplatte	100	60	56	68
Endplatte	100	65	61	36
Verteilerkegel	100	133	115	64

6.3 Scherbentrocknung

Fast die gesamte Zeit der Entwicklung des Pulverisierungsverfahrens machte sich immer wieder ein Problem bemerkbar, die Feuchtigkeit der Scherben.

Bereits bei den ersten Pulverisierungsversuchen mußte festgestellt werden, daß bei einer Feuchtigkeit der Scherben von mehr als 2% eine vernünftige Absiebung nicht mehr erfolgte. Im Grunde genommen war es jedoch nicht die Feuchtigkeit, die zu einem Verstopfen der Siebe führte, sondern die in den Scherben enthaltenen Anteile an Papier und Zellstoff.

Diese Stoffe in Verbindung mit Wasser und den Resten an sonstigen organischen Verbindungen ergeben eine Masse, die sich fest an den Geweben der Siebe ablagert und diese verschleißt.

Die Anteile von Zellstoff und Papier in den Scherben liegen zwischen 0,2 und 0,8 Gewichtsprozenten.

Um mit der Pulverisierung überhaupt weiterzukommen, mußte deshalb das Ausgangsmaterial, die Scherben, getrocknet werden. Es gibt noch eine andere Möglichkeit, die jedoch eine lange Zeit und große Lagermöglichkeiten voraussetzt, die Kompostierung. In großen Halten von Glasscherben werden die organischen Stoffe durch Kompostierung abgebaut. Die dabei in den Scherbenhaufen entstehende höhere Temperatur ist ein Maß für den Fortgang und Abschluß des Abbaues der organischen Substanzen.

Da in den wenigsten Recyclingbetrieben die Möglichkeit der langen Lagerung von Scherben nicht gegeben ist, mußte der Trocknung der Vorzug eingeräumt werden. Die Trockenversuche wurden an einer dafür geeigneten Versuchsanlage durchgeführt. Es handelt sich um eine Trockentrommel mit folgenden technischen Daten:

Zweizügiger Trommeltrockner	
Außendurchmesser:	0,96 m
Länge der Trommel	4,00
ausgerüstet mit starren Standard-Einbauten	
Wandstärke der Trommel:	8 mm
Variable Drehzahl	
Flüssiggas-Brenner mit einer maximalen Leistung von	335 kW

Zur Trocknung gelangten Scherben mit einem Feuchtigkeitsgehalt von 3,5% und einem Papier- und Zellstoffanteil von 0,33%.

In mehreren Versuchsschritten wurde die Temperatur der Trockentrommel erhöht, bis die Scherbenfeuchtigkeit auf 0% zurückgegangen war. Die Temperatur der getrockneten Scherben lag dabei zwischen 75 und 120 °C.

Hinter der Trockentrommel befand sich eine Filteranlage mit einer Filterfläche von 32 m². Die Filterschläuche bestanden aus Polyester-Nadelfilz. Die Ergebnisse sind nachstehend zusammengefaßt.

Versuchsabschnitt 1: mit Brennkammer

Heißgastemperatur:	400 °C (± 75 °C)
Ablufttemperatur:	70 °C - 80 °C
Abluftmenge:	ca. 700 Bm ³ /h
Trommeldrehzahl:	5,5 U/min
Material-Aufgabemenge:	ca. 1000 kg/h
Anfangsfeuchte:	ca. 3,5%

Meßwerte 1:

- Endfeuchte:	ca. 0,2%
- Trockengut-Temp.:	ca. 75 °C
- Gasverbrauch im Meßzeitraum:	3,1 Nm ³

Beobachtung:

- Die im Material enthaltenen Papierschnitzel waren noch sehr feucht; thermische Zersetzung konnte, ebenso wie Anbackerscheinungen an der Trockentrommel, nicht beobachtet werden.

Folgerung:

- Die Heißgastemperatur konnte deutlich erhöht werden; zur sicheren Vermeidung von thermischen Zersetzungserscheinungen im vorderen Trommelbereich wurde die Drehzahl erhöht. (Vorsichtsmaßnahme).

Versuchsabschnitt 2: mit Brennkammer

Heißgastemperatur:	600 °C (± 50 °C)
Ablufttemperatur:	85 °C - 95 °C
Abluftmenge:	ca. 650 Bm ³ /h
Trommeldrehzahl:	7 U/min
Material-Aufgabemenge:	ca. 1000 kg/h
Anfangsfeuchte:	ca. 3,5%

Meßwerte 2:

- Endfeuchte:	ca. 0,1%
- Trockengut-Temp.:	ca. 75 °C
- Gasverbrauch im Meßzeitraum:	1,4 Nm ³

Beobachtung:

- Die Papierschnitzel waren immer noch zu feucht (trotz nunmehr sehr geringer, mittlerer Endfeuchte).
- Trotz höherer Heißgastemperatur stieg die Trockengut-Temperatur nicht an; dies war auf die verminderte Materialverweilzeit bei erhöhter Trommel-Drehzahl zurückzuführen.

Folgerung:

- Da signifikante Zersetzungserscheinungen auch bei 600 °C Heißgastemperatur ausbleiben, wurde die Temperatur weiter gesteigert.

Versuchsabschnitt 3

mit Brennkammer

Heißgastemperatur:	800 °C (± 50 °C)
Ablufttemperatur:	120 °C
Abluftmenge:	ca. 600 Bm ³ /h
Trommeldrehzahl:	7 U/min
Material-Aufgabemenge:	ca. 1000 kg/h
Anfangsfeuchte:	ca. 3,5%

Meßwerte 3:

- | | |
|--------------------------------|---------------------|
| - Endfeuchte: | 0 bis 0,1% |
| - Trockengut-Temp.: | ca. 95 °C |
| - Gasverbrauch im Meßzeitraum: | 5,8 Nm ³ |

Beobachtung:

- Papierschnitzel waren subjektiv trockner als bei Versuchsabschnitt 1 und 2, jedoch immer noch zu feucht.
- Keine thermischen Zersetzungserscheinungen beobachtbar.

Folgerung:

- Der bisherige Verlauf der Versuche zeigte, daß auch eine Trocknung ohne Brennkammer möglich sein müßte.
- Um eine noch weitergehende Trocknung der Papierschnitzel zu ermöglichen, wurde die Trommeldrehzahl deutlich abgesenkt und somit die Materialverweilzeit in der Trommel deutlich erhöht. Eine deutliche Erhöhung der Trockentemperatur war hierbei zu erwarten und wurde in Kauf genommen.

Versuchsabschnitt 4 ohne Brennkammer

mittlere Heißgastemperatur am Trocknereintritt:	800 °C
Ablufttemperatur:	120 °C
Abluftmenge:	ca. 1000 Bm ³ /h
Trommeldrehzahl:	3,5 U/min
Material-Aufgabemenge:	ca. 2000 kg/h
Anfangsfeuchte:	ca. 3,5%

Meßwerte 4:

- Endfeuchte: 0 % bis 0,05 %
- Trockengut-Temp.: 120 °C
- Gasverbrauch im Meßzeitraum: 6,7 Nm³

Beobachtung:

- Trockengut-Temperatur hat sich der Ablufttemperatur angeglichen
- Papierschnitzel waren wesentlich trockner als bei den vorhergegangenen Meßreihen
- thermische Zersetzungserscheinungen fanden (entsprechend rein optischer Begutachtung des Trockengutes) auch beim Betrieb ohne Brennkammer nicht statt.

Gesamter Staubanfall während der gesamten Meßzeit:

ca. 10 kg (Staub aus Filteranlage und aus Rohrleitungen).

Bei einer Gesamt-Aufgabemenge von ca. 6 t Naßgut während der Versuchsreihen entsprach dies einer Staubaustragsrate von lediglich 0,2%.

Aufgrund relativ geringer Abluftgeschwindigkeiten in der Rohrleitung und geringer Heißgasgeschwindigkeiten während der Versuche auf Labor-Trocknungsanlage, ist diese Staubaustragsrate nicht auf eine tatsächliche Produktionsanlage übertragbar. Der zu erwartende Wert wird um ein Vielfaches über den erwähnten 0,2% liegen.

Die Trocknungsversuche wurden durch Abgasuntersuchungen des TÜV Umwelt Meßtechnik GmbH, Niederlassung Stuttgart, begleitet. Die folgenden Ergebnisse sind dem Versuchsbericht des TÜV entnommen:

Meßergebnisse Versuchsabschnitt 1:

Die ermittelten Emissionen sind bezogen auf die trockene Abgasmenge im Normzustand (273K, 1013 mbar) und einem Sauerstoffgehalt von 17 Vol. %

Messung Nr.		1
Uhrzeit	von bis	09.40 10.10
Sauerstoffgehalt	Vol.%	19,3
Kohlendioxidgehalt	Vol.%	1,1
Abgastemperatur	°C	75
Volumenstrom		
i. N. trocken	m ³ /h	850
i. N. feucht	m ³ /h	910
im Betriebszustand	m ³ /h	1220
Kohlenmonoxidgehalt	mg/m ³	21
Massenstrom	kg/h	0,008
Stickstoffoxidgehalt	mg/m ³	51
Massenstrom	kg/h	0,018
Gesamt-C Gehalt	mg/m ³	13
Massenstrom	kg/h	0,005
Staubgehalt	mg/m ³	---
Massenstrom	kg/h	---
Ergebnis der Geruchsmessung		
Messung Nr.:	Einheit	1
Uhrzeit		10.40
Geruchswert	GE/m ³	431
untere Grenze	GE/m ³	834
obere Grenze	GE/m ³	222

Meßergebnisse Versuchsabschnitt 2:

Die ermittelten Emissionen sind bezogen auf die trockene Abgasmenge im Normzustand (273K, 1013 mbar) und einem Sauerstoffgehalt von 17 Vol. %

Messung Nr.		3
Uhrzeit	von	11.00
	bis	11.30
Sauerstoffgehalt	Vol.%	18,6
Kohlendioxidgehalt	Vol.%	1,2
Abgastemperatur	°C	90
Volumenstrom		
i. N. trocken	m ³ /h	640
i. N. feucht	m ³ /h	700
im Betriebszustand	m ³ /h	980
Kohlenmonoxidgehalt	mg/m ³	18
Massenstrom	kg/h	0,010
Stickstoffoxidgehalt	mg/m ³	52
Massenstrom	kg/h	0,03
Gesamt-C Gehalt	mg/m ³	8
Massenstrom	kg/h	0,004
Staubgehalt	mg/m ³	188
Massenstrom	kg/h	0,110

Ergebnis der Geruchsmessung

Messung Nr.:	Einheit	2	3
Uhrzeit		11.13	11.35
Geruchswert	GE/m ³	2048	10027
untere Grenze	GE/m ³	2463	12623
obere Grenze	GE/m ³	1703	7965

Meßergebnisse Versuchsabschnitt 3:

Die ermittelten Emissionen sind bezogen auf die trockene Abgasmenge im Normzustand (273K, 1013 mbar) und einem Sauerstoffgehalt von 17 Vol. %

Messung Nr.		4	5	6
Uhrzeit	von	12.00	12.30	13.00
	bis	12.30	13.00	13.30
Sauerstoffgehalt	Vol.%	18,0	17,3	17,3
Kohlendioxidgehalt	Vol.%	2,0	2,4	2,4
Abgastemperatur	°C	120	120	120
Volumenstrom				
i. N. trocken	m ³ /h	590	490	490
i. N. feucht	m ³ /h	650	550	550
im Betriebszustand	m ³ /h	980	830	830
Kohlenmonoxidgehalt	mg/m ³	35	37	43
Massenstrom	kg/h	0,026	0,028	0,033
Stickstoffoxidgehalt	mg/m ³	38	36	29
Massenstrom	kg/h	0,028	0,027	0,022
Gesamt-C Gehalt	mg/m ³	12	11	12
Massenstrom	kg/h	0,009	0,008	0,009
Staubgehalt	mg/m ³	164	138	--
Massenstrom	kg/h	0,120	0,106	--

Ergebnis der Geruchsmessung

Messung Nr.:	Einheit	4
Uhrzeit		13.05
Geruchswert	GE/m ³	5628
untere Grenze	GE/m ³	6670
obere Grenze	GE/m ³	4685

Bei diesem Versuchsabschnitt wurde das Abgas auf Amine untersucht. Desweiteren wurde eine Übersichtsanalyse auf organische Verbindungen durchgeführt. Bei beiden Untersuchungen konnten keine Einzelstoffe nachgewiesen werden. Bestimmungsgrenzen Amine: < 2 mg/m³, org. Verb. < 0,05 mg/m³

Meßergebnisse Versuchsabschnitt 4:

Die ermittelten Emissionen sind bezogen auf die trockene Abgasmenge im Normzustand (273 K, 1013 mbar) und einen Sauerstoffgehalt von 17 Vol.-%

Messung Nr.		7	8	9¹⁾
Uhrzeit	von	15.30	16.00	16.40
	bis	16.00	16.30	17.00
Sauerstoffgehalt	Vol.-%	16,7	16,3	18,1
Kohlendioxidgehalt	Vol.-%	2,8	3,1	1,9
Abgastemperatur	°C	120	120	120
Volumenstrom				
i. N. trocken	m ³ /h	610	550	
i. N. feucht	m ³ /h	720	660	
im Betriebszustand	m ³ /h	1090	1000	
Kohlenmonoxidgehalt	mg/m ³	292	271	304
Massenstrom	kg/h	0,342	0,319	
Stickstoffoxidgehalt	mg/m ³	12	15	21
Massenstrom	kg/h	0,014	0,018	
Gesamt-C Gehalt	mg/m ³	40	32	39
Massenstrom	kg/h	0,047	0,038	
Staubgehalt ²⁾	mg/m ³	111	49	--
Massenstrom	kg/h	0,121	0,049	--

¹⁾ = Messung ohne Materialaufgabe

²⁾ = Die Staubwerte wurden nicht mehr auf 17 Vol.-% Sauerstoff bezogen. (TA-Luft Ziff. 3.12., letzter Absatz: Werden zur Emissionsminderung Abgasreinigungseinrichtungen eingesetzt, darf die Umrechnung nur für die Zeiten erfolgen, in denen der gemessene Sauerstoffgehalt über dem Bezugssauerstoffgehalt liegt.)

Ergebnisse der Geruchsmessung

Messung Nr.	Einheit	5	6	7
Uhrzeit		15.45	16.05	16.25
Geruchswert	GE/m ³	5793	4340	4732
untere Grenze	GE/m ³	8091	5667	6793
obere Grenze	GE/m ³	4147	3323	3297

Bei diesem Versuchsabschnitt wurde das Abgas auf Mine untersucht. Desweiteren wurde eine Übersichtsanalyse auf organische Verbindungen durchgeführt. Bei beiden Untersuchungen konnten keine Einzelstoffe nachgewiesen werden. Bestimmungsgrenzen Amine: < 2 mg/m³, org. Verb. < 0,05 mg/m³.

Bei diesem Versuchsabschnitt wurde festgestellt, daß bei direkt angeflanschem Brenner auch ohne Materialaufgabe hohe Emissionen an Gesamt-C und Kohlenmonoxid im Abgas vorhanden waren. Dies ist auf einen schlecht eingestellten Brenner zurückzuführen.

Um die vom Trocknungsvorgang ausgehenden Emissionen zu ermitteln, wurde eine Messung durchgeführt ohne Materialaufgabe. Die Differenz dieser Messungen ergibt die vom Trocknungsvorgang ausgehenden Emissionen.

Für diese Betrachtungsweise muß allerdings auf die nicht bezogenen Werte zurückgegriffen werden.

Demnach ergäben sich folgende Differenzen für die Komponenten Kohlenmonoxid und Gesamt-C (bei den Stickstoffoxiden wurde keine wesentliche Änderung im Emissionsverhalten festgestellt).

Kohlenmonoxid:

Mit Materialaufgabe:	317 mg/m ³
Ohne Materialaufgabe:	221 mg/m ³
Differenz:	96 mg/m ³

Gesamt-C:

Mit Materialaufgabe:	41 mg/m ³
Ohne Materialaufgabe:	28 mg/m ³
Differenz:	13 mg/m ³

Beurteilung

Die Emissionsuntersuchungen an der Trockneranlage bei den Versuchsabschnitten 1 bis 3 (Betrieb mit Brennkammer) ergaben für die gasförmigen Komponenten, daß von der Trockneranlage keine hohen Emissionen ausgehen.

Die hohen Staubwerte weisen auf einen Defekt im angeschlossenen Filtersystem hin. Bei einem funktionierenden Filtersystem können nach unserer Erfahrung durchaus Werte erreicht werden, die den heutigen gesetzlichen Anforderungen entsprechen.

Da bei der Übersichtsanalyse auf organische Stoffe keine Einzelstoffe nachgewiesen werden konnten, ist anzunehmen, daß die ermittelten Gesamt-C Emissionen auf nicht verbranntes Propangas zurückzuführen sind.

Bei Versuch 4 (mit direkt angeflanschem Brenner) wurden höhere Kohlenmonoxid- und Gesamt-C-Konzentrationen ermittelt, als bei den Versuchen mit Brennkammer. Da allerdings auch bei Betrieb ohne Materialaufgabe hohe Kohlenmonoxid- und Gesamt-C-Konzentrationen auftraten, ist dieser Umstand auf einen schlecht eingestellten Brenner zurückzuführen.

Die Differenz aus diesen Messungen ist die beim Trocknen entstehenden Emissionen an Kohlenmonoxid und Gesamt-C. Auch hier gilt für die Staubwerte und die organischen Einzelstoffe dasselbe wie bei den Versuchsabschnitten 1 bis 3.

Die Ergebnisse der Geruchsemissionen zeigen, daß bei der Realisierung der Anlage hohe Geruchsquellenstärken auftreten werden. Diese Geruchsemissionen können in Abhängigkeit von den Ausbreitungsbedingungen u.a. bestimmt durch meteorologische und topographische Bedingungen und bestimmt durch die Wohnbebauung in Einfluszbereichen des Emittenten zu Wahrnehmungshäufigkeiten führen, die die Grenzen der Zumutbarkeit für die Bevölkerung überschreiten.

Es ist angezeigt, vor der Realisierung einer Anlage für den betreffenden Standort eine Geruchsausbreitungsrechnung bezüglich der Wahrnehmungshäufigkeiten von Geruchsemissionen durchzuführen, um durch bauliche Maßnahmen, z.B. Kaminerrhöhung, sicherzustellen, daß keine unzulässig hohen Wahrnehmungshäufigkeiten auftreten.

6.4 Siebtechnik

Neben dem Brecher ist die Siebanlage die wichtigste Komponente in der Anlagentechnik einer Pulverisierungsanlage. Ihre Aufgabe besteht darin, das aus dem Brecher kommende Material so zu trennen, daß die benötigte Körnung (0,1 - 1,0 mm) mit möglichst hohem Abscheidegrad selektiert wird, d.h. in dem dem Brecher wieder zurückgeführten Material soll möglichst wenig von dem verwendbaren Kornbereich des Glaspulvers enthalten sein. Diese Zielstellung wird von den meisten Siebkonstruktionen in ausreichendem Maße erfüllt.

Die Schwierigkeiten bei der Absiebung von pulverisierten Scherben liegen, wie bereits unter Punkt 6.3 beschrieben, darin, daß in dem Glaspulver Anteile von Papier und anderen organischen Stoffen enthalten sind, die bei Überschreiten eines bestimmten Feuchtigkeitsgehaltes zum Zusetzen der Siebe und damit zum Stillstand der Anlage führen.

Das Trocknen des Ausgangsmaterials ist eine Möglichkeit, diese Schwierigkeiten zu beseitigen. Der große Nachteil der Trocknung besteht in dem hohen anlagentechnischen Aufwand und den Energiekosten.

Da Scherben ein preiswerter Rohstoff sind, ist auch die Verwendung von Glaspulver in den Glashütten nur erfolversprechend, wenn die dafür aufzuwendenden Kosten im Bereich der Kosten für die Scherben verbleiben. Bei Einsatz einer Trocknungsanlage ist dies jedoch nur schwer möglich.

Die für die Pulverisierungsversuche zur Verfügung stehende Siebanlage war ein Kreisschwingsieb mit mehreren Siebdecks. Zu Beginn der Versuche zur Glaspulverisierung wurden stark verunreinigte Scherben (KSP-Abfall) vermahlen. Für das obere Sieb wurde eine Maschenweite von 10 mm² gewählt. Auf diesem Sieb wurden die nicht zermahlenen Verunreinigungen wie Korke, Kronenkorke, Metallfolie u.ä. abgesiebt. Darunter befand sich ein Sieb mit einer Maschenweite von 5 mm², das einen Schutz des untersten Sieben, das eine Maschenweite von 1,25 mm² besaß, vor Überschüttung darstellte. Das auf diesen beiden Sieben verbleibende Material gelangte in den Rücklauf, um weiter zerkleinert zu werden.

In der Folgezeit wurden dann nur noch die zwei unteren Siebe verwendet, da nur Scherben, die bereits die Sortieranlagen in den Recyclebetrieben durchlaufen hatten, vermahlen wurden.

Der Papier- und Zellstoffanteil der zur Vermahlung verwendeten Scherben schwankte zwischen 0,2 und 0,8%. Beim Sieben traten keine Probleme auf, solange wie die Feuchtigkeit der Scherben unter 1% blieb. Eine gewisse Feuchtigkeit (ca. 0,5%) erwies sich für das Vermahlen sogar günstig, da die Verstaubung dadurch fast vermieden werden konnte. Sobald die Feuchtigkeit jedoch die 1%-Marke überschritt, nahm die Siebleistung und die Zeit bis zur vollständigen Verstopfung der Siebe ständig ab.

Der Einsatz eines Kreisschwingsiebes für die Absiebung des zerkleinerten Materials ist für eine Pulverisierungsanlage ungeeignet, da in der Praxis immer wieder Feuchtigkeitswerte der Scherben > 1,0% auftreten.

Im weiteren Verlauf der Entwicklungsarbeiten galt es, andere Siebkonstruktionen auf ihre Einsetzbarkeit bei feuchtem Material zu testen, um die Trocknung von Scherben

zu vermeiden. Es wurden 2 Siebtypen gefunden, die im Test wesentlich bessere Ergebnisse brachten. Die Feuchtigkeit des Materials lag dabei bei ca. 3,5% und der Papieranteil bei ca. 0,4%.

6.5 Kleintechnische Schmelzversuche

Im Rahmen von Laborschmelzen sollte getestet werden, wie sich der Einsatz von Glaspulver auf das Einschmelzverhalten und die Glasqualität auswirken könnte.

6.5.1 Versuchsdurchführung

Die Versuchsschmelzen wurden in einem Mittelfrequenz-Induktionsofen durchgeführt, bei dem ein Tiegel aus PtRh als Schmelzgefäß diente. Die Erwärmung des Gemenges erfolgte dabei durch den Tiegel, der wiederum durch Wirbelströme, die im Tiegel induziert werden, erwärmt wurde. Bei allen Versuchen im Induktionsofen wurden 250 g Glas geschmolzen. Für den Versuch wurden die Gemengerohstoffe, das Glasmehl sowie die Scherben nach den dargestellten Versätzen eingewogen und gemischt.

Der Tiegel wurde zu 2/3 mit dem Einlegegut gefüllt und mit 20 K/min. bis auf 1250 °C erwärmt. Danach wurde das restliche Gemenge in mehreren Portionen nachgelegt, bis die gesamte Menge in dem Tiegel eingeschmolzen war. Danach wurde die Temperatur mit 20 K/min. bis auf 1450 °C erhöht und 3 Stunden gehalten. Anschließend wurde die Schmelze auf 1400 °C abgekühlt und der Tiegelinhalt in eine Stahlform zu einem Block gegossen (Höhe 20 mm, Breite 50 mm, Länge 90 mm), in einen Muffelofen (600 °C) überführt und spannungsfrei getempert.

Die Bewertung der Qualität der Schmelzen erfolgte zunächst durch Begutachtung, um die weitere Versuchsdurchführung festzulegen. Anschließend wurden aus den gegossenen Blöcken zwei Scheiben von ca. 5 mm Dicke über die gesamte Breite herausgeschnitten, gewogen, in Immersionsflüssigkeit gelegt, die Blasen und das Ungeschmolzene ausgezählt sowie die Schlierigkeit subjektiv eingeschätzt.

Da die Erwärmung des Gemenges im Induktionsofen von unten her erfolgt, in brennstoffbeheizten Anlagen aber auch von oben, wurden zum Vergleich des Schäumverhaltens jeweils 3 Schmelzen mit Weißglas und Grünglas im Kanthalofen durchgeführt. Dabei wurde ein Sinterkorundtiegel mit 100 g Gemenge gefüllt, auf 800 °C vorgewärmt und in den auf 1450 °C vorgeheizten Ofen eingebracht. Danach wurde das Schäumverhalten beobachtet. Nach einer Haltezeit von 3 Stunden erfolgte das Ausgießen in eine Stahlform und das Tempern der Proben.

6.5.2 Ergebnisse mit Weißglas

Die Tabellen 9 und 10 zeigen den Gemengesatz, die Rohstoffe sowie die Ergebnisse der Schmelzversuche. Es konnte festgestellt werden, daß beim Weißglas mit steigendem Einsatz gemahlener Scherben die Schaumbildung zunimmt. Das nachlegen des Gemenges erfolgte deshalb in kleineren Portionen.

Steinchen wurden nur bei den Schmelzen (Nr. 14, 15, 16) festgestellt, bei denen Glaspulver mit Verunreinigungen der Fraktion 1,0 bis 1,6 mm eingesetzt wurde. Die Zahl der Steinchen nahm mit steigendem Gehalt an Glaspulver (verunreinigt) erwartungsgemäß zu.

Bezüglich der Blasigkeit konnten zwischen den Schmelzen mit und ohne Glaspulver keine signifikanten Unterschiede festgestellt werden, in allen Schmelzen waren nur vereinzelt und unregelmäßig Blasen in der Größe von 0,3 bis 0,5 mm sowie sehr wenige im Bereich von 0,5 bis 1 mm vorhanden. Bei den Schmelzen (Nr. 11 bis 16) mit verunreinigtem Glasmehl wurden jedoch schlierenartige Bereiche mit einer hohen Zahl feiner Gispfen festgestellt. Die Gispigkeit der Schmelzen, die im Kanthalofen durchgeführt wurden, sind auf das Schmelzregime zurückzuführen. Unterschiede waren aber auch hier zwischen Schmelzen mit und ohne Glaspulver nicht festzustellen.

Tabelle 9: Gemengesatz und Glaszusammensetzung Weißglas

Gemengesatz für 100 g Glas		Glaszusammensetzung	
Sand	63,0 g	SiO ₂	71,3
Soda	23,8 g	Al ₂ O ₃	1,6
Kalkstein	17,2 g	CaO	11,7
Dolomit	6,5 g	MgO	1,5
Feldspat	10,0 g	Na ₂ O	0,9
Na-Sulfat	0,5 g	Fe ₂ O ₃	0,1
Glaspulver ohne Verunreinigung		a 0,1 bis 0,8 mm Korngröße b 1,0 bis 1,6 mm Korngröße	
Glaspulver mit Verunreinigung		a 0,1 bis 0,8 mm Korngröße b 1,0 bis 1,6 mm Korngröße	
Glasscherben		5 bis 25 mm Korngröße	

Tabelle 10: Weißglas (Gemengeanteil 40%)

a) 0,1 - 0,8 mm

b) 1,0 - 1,6 mm

Nr.	Glaspulver / Scherben	Einschmelzzeit min	Blasen n/g Glas	Steine	Schlierigkeit
Glaspulver ohne Verunreinigungen					
1	a 10/50	40	0,29	0	++
2	a 30/30	25	0,15	0	+++
3	a 50/10	30	0,07	0	++
4	a 60/0	25	0,18	0	+++
5	a 0/60	25	0,1	0	+++
6	b 10/50	35	0,25	0	++
7	b 30/30	30	0,1	0	+
8	b 50/10	35	0,2	0	+++
9	b 60/0	30	0,18	0	+
10	b 0/60	30	0,08	0	++
Glaspulver mit Verunreinigungen (Abg. KSP Absch.)					
11	a 10/50	40	0,20	0	++
12	a 20/40	35	0,09	0	++
13	a 30/30	35	0,17	0	++
14	b 10/50	35	0,73	+	++
15	b 20/40	35	0,72	++	++
16	b 30/30	35	0,79	+++	++
Schmelzen im Kanthalofen					
17	a 60/0	kein Schäumen	sehr gispig	0	+
18	b 60/0	kein Schäumen	sehr gispig	0	+
19	0/60	kein Schäumen	sehr gispig	0	+

Die Schlierigkeit der Schmelzen ist bei allen Proben relativ gering. Die Einschätzung (die Anzahl der + Zeichen ist ein Maß für die Schlierigkeit) ergab, daß keine deutliche Abhängigkeit von der Zugabe an Glaspulver gegeben ist. Es kann nur gesagt werden, daß die Schlierigkeit bei den Proben, die mit dem gröberen Pulver geschmolzen wurden, etwas geringer ist, hier sind die Schattenbilder etwas weniger scharf. Das Glaspulver mit Verunreinigungen verursacht eine etwas größere Schlierigkeit.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, daß der Einsatz von Glaspulver, bei Zugaben bis 60%, den Verlauf und die Qualität der Glasschmelzen nicht negativ beeinflußt. Es konnten keine signifikanten Unterschiede zwischen den Schmelzen mit und ohne Glaspulver beobachtet werden.

Glaspulver mit einem hohen Anteil an Verunreinigungen in Form von Papier, Keramik und Steinen führen jedoch zu einer Verschlechterung der Glasqualität, vor allem werden Steine, die mit einer Korngröße von 1,0 bis 1,6 mm im Gemenge vorhanden waren, nicht vollständig aufgelöst.

6.5.3 Ergebnisse Grünglas

Tabelle 11: Gemengesatz und Glaszusammensetzung

Gemengesatz für 100 g Glas		Glaszusammensetzung	
Sand	63,0 g	SiO ₂	71,7
Soda	23,0 g	Al ₂ O ₃	1,9
Kalkstein	13,0 g	CaO	10,1
Dolomit	11,1g	MgO	2,5
Feldspat	10,8 g	Na ₂ O	12,5
Fe ₂ O ₃	0,35 g	K ₂ O	0,9
Na-Sulfat	0,5 g	Fe ₂ O ₃	0,36
Glaspulver ohne Verunreinigung		a 0,1 bis 0,8 b 1,0 bis 1,6	
Glaspulver mit Verunreinigung		a 0,1 bis 0,8 b 1,0 bis 1,6	
Glasscherben		5 bis 25 mm	

Die Ergebnisse der Schmelzversuche zeigt Tabelle 12. Die Beobachtungen des Einschmelzverhaltens erbrachten ebenso wie bei Weißglas keine Besonderheiten, lediglich bei den Schmelzen Nr. 32 bis 37, die mit stark verunreinigtem Glaspulver hergestellt waren, bildete sich eine Gemengekruste, die sich aber nicht auf eine Verlängerung der Einschmelzzeit auswirkte. Die Blasigkeit aller Schmelzen ist noch geringer als bei Weißglas. Es liegen nur ungleich verteilt einzelne Blasen in der Größe von 0,3 bis 0,5 mm vor. Bei den Schmelzen mit den Verunreinigungen wurden außerdem noch Bläschen in der Nähe von Steinchen festgestellt. Die Gispigkeit der Proben, die im Kanthalofen geschmolzen wurden, ist auch hier auf das Schmelzregime zurückzuführen. Steinchen wurden nur bei den Schmelzen mit dem stark verunreinigten Glaspulver festgestellt. Bei dem groben Pulver nimmt die Zahl der Steinchen mit der Zugabe zu. Auch bei der Schmelze 34, mit 30% feinem Pulver, sind noch sehr kleine Steinchen feststellbar. Der Unterschied zum Weißglas, bei dem bei feinem Pulver keine Steinchen auftraten, könnte darin begründet sein, daß bei der Grünglasschmelze der Gemengeanteil mit 10% weit niedriger ist als bei Weißglas mit 40%.

Die Schlierigkeit der Grünglasproben war gering. Es konnte keine Abhängigkeit vom Glaspulveranteil und von der Korngröße festgestellt werden.

Zusammenfassend kann eingeschätzt werden, daß unter den angegebenen Bedingungen keine deutlichen Unterschiede im Schmelzverhalten zwischen den Proben mit und ohne Glaspulver nachgewiesen werden konnten. Die etwas härtere

Gemengekruste, die bei den Schmelzen mit Glaspulver, vor allem beim Einsatz verunreinigter Pulver, beobachtet wurde, wirkte sich bei diesen Versuchen nicht negativ auf die Einschmelzzeit aus.

Wegen des geringeren Gemengeanteils bei den Grünglasschmelzen lösen sich hier Keramikverunreinigungen möglicherweise langsamer auf als in den Weißglas-schmelzen.

Tabelle 10: Grünglas (Gemengeanteil 10%)
c) Fraktion 0,1 - 0,8 mm
d) Fraktion 1,0 - 1,6 mm

Nr.	Glaspulver / Scherben	Einschmelzzeit min	Blasen n/g Glas	Steine	Schlierigkeit
Glaspulver ohne Verunreinigungen					
20	c /30/60	45	0	0	+
21	c 40/50	45	0	0	++
22	c 50/40	40	0,18	0	+
23	c 70/20	35	0	0	+
24	c 90/0	30	0,55	0	++
25	c 0/90	30	0,13	0	+
26	d 30/60	40	0	0	+
27	d 40/50	35	0	0	+
28	d 50/40	30	0,17	0	+
29	d 70/20	30	0,22	0	+
30	d 90/0	30	0,34	0	+
31	0/90	30	0,19	0	+
Glaspulver mit Verunreinigungen					
32	c 10/80	35	0	0	+
33	c 20/70	35	0,18	0	+
34	c 30/60	35	0,18	+	+
35	d 10/80	35	0,20	+	+
36	d 20/70	35	0	++	+
37	d 30/60	35	0,1	+++	+
Schmelzen im Kanthalofen					
38	c 90/0	kein Schaum	gispig	0	+
39	d 90/0	kein Schaum	gispig	0	+
40	0/90	kein Schaum	gispig	0	+

6.5.4 Versuche zur Ermittlung der Auflösewilligkeit von Porzellan, Steingut und Glaskeramik

Als Probenmaterial wurde Geschirrporzellan, Steingutgeschirr und Glaskeramik (Arcopal aus Frankreich) ausgewählt. Die Herstellung der Körnungen erfolgte durch Absieben in die Fraktionen 4 - 6 mm, 2,5 - 4 mm, 2 - 2,5 mm und 1 - 1,25 mm sowie dem Auslesen gleichmäßig geformter Körner. Die Schmelzen wurden im Kanthalofen in Korundtiegel durchgeföhrt, mit Weißglas, 40% Gemenge und 60% Scherben. Die Auflösung von Steingut und Glaskeramik erfolgt auch bei der größten Kornfraktion vollständig. Beim Porzellan zeigte sich bei allen Fraktionen, daß die Auflösung nicht vollständig ist. Auch bei der kleinsten Fraktion sind noch einige Körner nachweisbar. Dabei wurde beobachtet, daß diese Körner sich in der Nähe der Tiegelwand befinden. Damit nehmen sie nur eingeschränkt an der Strömung teil und die Auflösung dauert länger. Deshalb wurde mit dieser Fraktion noch ein Schmelzversuch im Induktionsofen durchgeföhrt. Auch hier zeigte sich, daß die Körner aufschwimmen und sich an der Tiegelwand anreichern. Die Strömung ist jedoch intensiver und man konnte nach ca. 2 Stunden keine Stücke mehr beobachten. Aus diesen Versuchen und den Schmelzen Nr. 11 bis 16 und 32 bis 37 mit stark verunreinigten Glaspulvern kann abgeleitet werden, daß sich Porzellankörner bei den gewählten Schmelzbedingungen auflösen, wenn sie < 1,25 mm sind. Steingut und Glaskeramik lösen sich auch bei 5 mm Korngröße vollständig auf. Es ist zu erwarten, daß sich mit sinkendem Gemengeanteil im Einlegegut die Kornauflösung verzögert. Eine Verlängerung der Verweilzeit bei hohen Temperaturen dagegen verschiebt die Grenzkorngröße, die gerade noch aufgelöst wird, zu größeren Werten.

6.6 Untersuchungen zum Einfluß gemahlener Scherben auf die Redoxverhältnisse bei Behälterglas

Beim Einsatz von Scherben, die eine ähnliche Korngröße wie die anderen Glasrohstoffe besitzen, ist zu erwarten, daß intensivere Wechselwirkungen sowohl mit den Gemengerohstoffen, als auch mit der Reaktionsatmosphäre stattfinden, als beim Einsatz großer Scherben. Das könnte sich vor allem auf die Redoxverhältnisse in den Gläsern, die z.B. Einfluß auf die Glasfarbe besitzen, auswirken. Um andere Einflüsse möglichst auszuschließen, wurden die Versuche mit Scherben und Glasmehl gleicher Zusammensetzung durchgeföhrt. Die Gemengezusammensetzung wurde an die der Glashersteller angepaßt, d.h. das Einlegegut entspricht etwa dem, das im industriellen Prozeß für die Herstellung dieser Gläser eingesetzt wurde.

6.6.1 Herstellung der Gläser

Die aus der Glasindustrie bezogenen Scherben (Eigenscherben) wurden im Walzenbrecher zerkleinert, über den Magnetscheider gegeben und die Fraktion 6 bis 25 mm abgetrennt. Die Fraktion < 6 mm wurde in einer Kugelmühle mit Porzellanmahlkörpern ca. 2 Stunden gemahlen und die Fraktion 0,1 bis 0,8 mm trocken abgeseibt und als Glasmehl eingesetzt.

Die Zusammensetzung der Gemenge für die Versuchsschmelzen zeigen die Tabellen 13 - 15. Es wurde jeweils 1 kg Glas in einen Platin-Rhodiumtiegel im Induktionsofen geschmolzen. Das Schmelzregime war bei allen Schmelzen gleich.

1. Einlegen von 600 g Gemenge in den kalten Tiegel
2. Aufheizen mit 20 K/min bis 1250 °C
3. Halten bei 1250 °C und Nachlegen der Restgemenge bis die gesamte Menge eingeschmolzen war
4. Aufheizen mit 20 K/min bis 1450 °C
5. Halten bis 1450 °C, 4 Stunden
6. Abkühlen auf 1380 °C und Ausgießen in eine Stahlform
7. 7. Abtempern des Glaskörpers

Tabelle 13: Weißglas

Gemenge für 100 g Glas

Sand	71,6 g
Soda	25,0 g
Kalk	19,6 g
Feldspat	4,0 g
Na ₂ SO ₄	0,5 g

Schmelzproben

W1	30% Gemenge	70% Scherben	0% Mehl
W2	30% Gemenge	50% Scherben	20% Mehl
W3	30% Gemenge	20% Scherben	50% Mehl
W4	30% Gemenge		70% Mehl

Tabelle 14: Grünglas

Gemenge für 100 g Glas

Sand	63,0 g
Soda	23,0 g
Kalk	13,0 g
Dolomit	11,1 g
Feldspat	10,8 g
Fe ₂ O ₃	0,25 g
Na ₂ SO ₄	0,5 g

Schmelzproben

G1	10% Gemenge	90% Scherben	0% Mehl
G2	10% Gemenge	60% Scherben	30% Mehl
G3	10% Gemenge	30% Scherben	60% Mehl
G4	10% Gemenge		90% Mehl

Tabelle 15: Braunglas

Gemenge für 100 g Glas

Sand	69,5 g
Soda	25,2 g
Kalk	24,0 g
Al(OH) ₃	1,0 g
Steinkohle	0,6 g

Schmelzproben

B1	30% Gemenge	70% Scherben	0% Mehl
B2	30% Gemenge	50% Scherben	20% Mehl
B3	30% Gemenge	20% Scherben	50% Mehl
B4	30% Gemenge		70% Mehl

6.6.2 Präparation der Proben und Durchführung der Messungen

Aus den getemperten Glasplatten wurden an zwei unterschiedlichen Stellen Glasplättchen der Abmessungen 20 x 35 mm², Dicke 2 mm, mit der Diamantsäge herausgeschnitten, geschliffen und poliert. Anschließend wurde jede Glasplatte im UV-VIS-NIR-Spektrometer im Spektralbereich von 280 bis 1250 nm von beiden Seiten, also zweimal, gemessen. Somit erhält man für jede Schmelze 4 Meßkurven. Die Transmissionswerte wurden in Reintransmissionswerte und auf eine einheitliche Dicke von 2 mm umgerechnet und eine mittlere Reintransmissionskurve berechnet. Für die Umrechnung wurde der Brechungsindex der Gläser mit 1,52 eingesetzt.

Die Bestimmung der Gehalte und Wertigkeiten von Eisen und Schwefel erfolgte mit naßchemischen Methoden.

6.6.3 Darstellung der Ergebnisse

Grün Glas

Der Eisengehalt (Tab. 16) ist erwartungsgemäß konstant und sowohl aus den SO_3 - als auch aus den Fe^{2+} - Gehalten läßt sich keine Änderung der Redoxverhältnisse erkennen.

Tabelle 16: Grün Glas-Meßergebnisse

Probe Scherben/Mehl	Reintransmission in %, Dicke 2 mm			Zusammensetzung in %		
	1040 nm	550 nm	380 nm	SO_2	Fe	Fe^{2+}
G1 90/0	63,5	84,1	77,8	0,12	0,28	0,07
G2 60/30	65,9	84,9	79,1	0,08	0,28	0,07
G3 30/60	64,8	85,0	79,2	0,07	0,28	0,08
G4 0/90	64,4	85,0	79,1	0,1	0,29	0,08

Weiß Glas

Die Tabelle 17 zeigt die Ergebnisse für ausgewählte Wellenlängen

Tabelle 17: Weiß Glas - Meßergebnisse

Probe Scherben/Mehl	Reintransmission in %, Dicke 2 mm			Zusammensetzung in %
	1040 nm	550 nm	380 nm	SO_3
W1 70/0	93,6	98,5	94,2	0,21
W2 50/20	93,9	98,7	93,9	0,21
W3 20/50	92,3	98,4	93,3	0,20
W4 0/70	92,4	98,6	93,9	0,21

Die Meßwerte aller Proben sind im Rahmen der Reproduzierbarkeit nahezu gleich. Beim Schmelzen der Proben wurde beobachtet, daß mit steigender Zugabe von Glasmehl die Neigung zur Schaumbildung im Temperaturbereich von 1250 °C und darüber erheblich ansteigt. Betrachtet man jedoch den SO_3 - Gehalt der Gläser, so ist keine veränderte SO_3 -Freisetzung erkennbar. Diese Schaumbildung hängt offenbar damit zusammen, daß sich mit dem Mehl eine größere Menge an „Gemengeglasschmelze“ bildet. Die Schwefelverluste bleiben aber gleich.

Braunglas

Sieht man von der Probe B2 ab, so könnte eine leichte Tendenz zur Aufhellung der Farbe mit steigendem Mehlezusatz festgestellt werden, was mit einem erhöhten Kohleabbrand im größer gewordenen Gemengevolumen erklärt werden könnte. Die Änderung ist aber relativ gering. Außerdem reagiert das Braunglas sehr empfindlich auf eine große Zahl von Einflußfaktoren. Die Ergebnisse der chemischen Analysen, sowohl der Sulfidgehalt als auch das stabile Fe^{2+} / Fe-Verhältnis, deuten nicht auf Änderung im Kohleausbrand hin. Es zeigt sich, daß dann, wenn das Gemenge so eingestellt ist, wie es zum Schmelzen der Scherben im Betrieb über längere Zeit benutzt wurde, unabhängig davon ob Mehl oder Scherben eingesetzt werden, gleiche Eigenschaften erzielt werden.

Tabelle 18: Braunglas - Meßergebnisse

Probe Scherben/Mehl	Reintransmission in %, Dicke 2 mm			Zusammensetzung in %			
	1040 nm	600 nm	351 nm	SO_3	S^2	Fe	Fe^2
B2 70/0	44,4	58,3	3,2	0,08	0,01	0,18	0,13
B2 50/20	43,7	55,7	1,7	0,09	0,01	0,18	0,13
B3 20/50	45,9	60,7	4,2	0,11	0,01	0,18	0,13
B4 0/70	44,4	61,7	4,3	0,08	0,01	0,17	0,13

nach Zugabe von 0,5 g Na_2SO_4 /100 g Glas

B1 + S	44,5	37,3	0,0
B4 + S	35,9	29,2	0,0

Um festzustellen, wie sich größere Änderungen im Gemenge auswirken, wurden zwei Zusatzversuche durchgeführt. Dabei wurden dem Gemenge 0,5 g Na_2SO_4 je 100 g Glas zugegeben. Damit wurde eine deutliche Farbvertiefung erreicht. Bei der Schmelze B1 + S wurden 70% Scherben der Fraktion 10 bis 25 mm, bei der Schmelze B4 + S 70% Glasmehl zugesetzt. Die Transmissionsmessungen dieser Gläser ergaben eine deutliche Farbvertiefung und gleichzeitig, daß die Glasschmelze mit Mehl dunkler ist als mit Schmelze mit Scherben. Hier wird deutlich, daß beim Einsatz von Mehl in der Korngröße der Rohstoffe intensivere Reaktionen mit den Rohstoffen ablaufen und die Schmelze besser in der Lage ist, z.B. Sulfat aufzunehmen. Außerdem zeigte sich eine erhöhte Neigung zur Schaumbildung beim Einschmelzen.

6.4.4 Schlußfolgerungen

- Bei allen Gläsern zeigte sich, daß der Glaspulvereinsatz allein, d.h. wenn die Gemengezusammensetzung so gestaltet ist, daß sie die Scherbeneigenschaften reproduziert und Mehl und Scherben gleiche Eigenschaften besitzen, keinen signifikanten Einfluß auf die Redoxverhältnisse ausübt. Offenbar ist die an die größere Oberfläche gebundene Gas- und Wassermenge zu gering, um Veränderungen hervorzurufen.
- Bei Weißglas und bei dem Braunglas, dem Na_2SO_4 zugesetzt wurde, war mit steigendem Mehlanteil eine Intensivierung und Schaumbildung zu beobachten. Eine verstärkte Sulfateinbindung in das Glas wurde bei Weißglas nicht festgestellt. Bei Braunglas läßt aber die deutliche Farbvertiefung auf eine Sulfataufnahme schließen.
- Aus der deutliche stärkeren Färbung der Braungläser, denen Na_2SO_4 zum Gemenge zugesetzt worden war, ist erkennbar, daß es bei Schmelzen mit Mehl leichter ist, die Eigenschaften zu beeinflussen als bei Schmelzen mit Scherben üblicher Korngröße. Das würde aber auch bedeuten, daß z.B. organische Verunreinigungen gleicher Menge im Gemenge mit Mehl sich deutlicher auswirken könnten, als in Gemenge mit Scherben.
- Der Anteil an reduzierend wirkenden Bestandteilen im Glasmehl sollte ähnlich wie bei den anderen Rohstoffen durch die Ermittlung des chemischen Sauerstoffbedarfes (COD-Wert) bzw. Der Redoxzahl (carbon number) charakterisiert und bei der Gemengezusammensetzung berücksichtigt werden. Die Bestimmung ist für Glasmehl einfacher als für Scherben.

6.7 Großtechnische Schmelzversuche

Das Versuchsprogramm mußte von der Anzahl der Schmelzversuche etwas eingeschränkt werden, da nicht alle Glaswerke, bei denen Glaspulver zum Einsatz kommen sollte, zur Durchführung von Schmelzversuchen bereit waren. Man befürchtete Qualitätsverschlechterungen und nahm deshalb vom Glaspulvereinsatz Abstand.

Daß diese Haltung unbegründet war, zeigte sich an den durchgeführten Versuchen. Der Glaspulvereinsatz erfolgte an je einer Weißglas-, Grünglas- und Braunglaswanne.

6.7.1 Grünglas

Bei dem Einsatz von Glaspulver an einer Grünglaswanne handelte es sich um den ersten Versuch in einem Glaswerk. Entsprechend vorsichtig wurde deshalb vorgegangen. Der Anteil des Glaspulvers an der Schmelzleistung sollte maximal 5% betragen.

Als Ausgangsmaterial wurde aus Scherben, die die Aufbereitungsanlage durchlaufen hatten, die Körnung < 5 mm abgesiebt und vermahlen.

Die Versuche wurden an einer Schmelzwanne mit ca. 150 m² und einer Leistung von ca. 470 t/d durchgeführt. Der Versuchszeitraum betrug 23 Tage. Das Glaspulver wurde in Silofahrzeugen angeliefert und pneumatisch in einen Rohstoffbunker gefördert. Das Pulver wurde wie die anderen Rohstoffe dosiert, gewogen und gemischt. Die als Pulver eingesetzte Menge wurde von den Scherben abgesetzt, so daß das Verhältnis Rohstoffmenge zu Scherben konstant blieb. Insgesamt wurden ca. 250 t Glaspulver eingeschmolzen. Im Verlaufe des Versuches blieb der Ausfall, der auf Steinchen zurückzuführen war, nahezu konstant.

Da die Schmelzleistung aufgrund unterschiedlicher Sortimente zwischen 380 t/d und 450 t/d schwankte und der Prozentsatz des zugesetzten Pulvers ebenfalls nicht konstant gehalten werden konnte (er lag meistens unter 5%) war eine eindeutige Aussage zum Ausfall in Abhängigkeit vom Pulvereinsatz nicht möglich. Gleiches galt auch für den spezifischen Energieverbrauch, der sich ohnehin in Abhängigkeit von der Schmelzleistung veränderte.

Um zu konkreten Ergebnissen zu kommen, war es deshalb notwendig, mit höheren Glaspulverzusätzen bei möglichst konstanten Schmelzleistungen zu arbeiten. Dies war beim Schmelzversuch an einer Weißglaswanne möglich.

6.7.2 Weißglas

Das Versuchsprogramm sah vor, den Glaspulveranteil bezogen auf die Schmelzleistung in 3 Etappen von 5% über 10% auf 15% zu steigern.

Der Versuch wurde an einer Weißglaswanne mit 100 m² Schmelzfläche und ca. 320 t/d Maximalleistung gefahren. Das Glaspulver wurde aus Scherben mit einem Durchmesser < 15 mm hergestellt.

Um eindeutige Ergebnisse bezüglich der im Fertigprodukt auftretenden Steinchen zu bekommen, wurden für die Dauer der Versuche nur Fremdscherben mit einem Durchmesser > 15 mm eingesetzt. Es handelte sich dabei um die Scherben, die beim Absieben der Fraktion < 15 mm entstanden waren. Die angelieferten Scherben wurden nach KSP-Anteil und Fehlfarben beurteilt. Die Ergebnisse sind in Tabelle 19 dargestellt:

Tabelle 19

Lieferung	KSP max. 25 g/t	braun < 0,5%	grün < 0,1%
1	0	0,30	0,21
2	0	0,31	0,24
3	0	0,20	0,21
4	0	0,22	0,33
5	0	0,29	0,25
6	0	0,61	0,19
7	0	0,27	0,13
8	0	0,36	0,30
9	0	0,23	0,14
10	0	0,21	0,23
11	0	0,24	0,21
12	0	0,26	0,18
13	0	0,21	0,22
14	0	0,41	0,24
15	0	0,29	0,08
16	0	0,35	0,19
17	0	0,33	0,13
18	0	0,48	0,09
19	0	0,32	0,17
20	0	0,31	0,15
21	0	0,34	0,21
22	0	0,62	0,12
23	0	0,29	0,18
24	0	0,34	0,19
25	0	0,06	0,02
26	0	0,25	0,06
27	0	0,23	0,05
28	0	0,20	0,12
29	0	0,24	0,14
30	0	0,25	0,04
31	30,22	0,35	0,12
32	0	0,22	0,07
33	0	0,19	0,11
34	0	0,36	0,09
35	32,9	0,47	0,16
36	0	0,38	0,22
37	41,2	0,33	0,18
38	16,4	0,28	0,11
39	0	0,56	0,12
40	21,6	0,46	0,25
41	0	0,44	0,10

Bis auf wenige Ausnahmen waren die Scherben bezüglich KSP-Anteilen in Ordnung. Es ist jedoch festzustellen, daß der Anteil an grünem Glas fast durchweg zu hoch lag.

Das Glaspulver wurde mit Silofahrzeugen angeliefert und pneumatisch in 2 Vorrats-silos gefördert. Die Integrierung des Glaspulvers in den Dosier-, Wiege- und Misch-prozeß der Gemengeherstellung ist Voraussetzung für eine gleichmäßige Verteilung im Gemenge.

Fremd- und Eigenscherben wurden entsprechend des Versuchsprogramms dem fertigen Gemenge zugegeben.

1. **Etappe** - 4 Tage

Der Zusatz von Glaspulver erfolgte in einer Größe von 5%, bezogen auf die Schmelzleistung. Über den gesamten Versuchszeitraum wurde eine Schmelzleistung von 320,88 t/d gefahren. Zum Einsatz kam Pulver mit einem Kornspektrum, in dem die Anteile > 1,0 mm ca. 45% betragen. Mit diesem Material sollte getestet werden, welchen Einfluß eine grobere Körnung auf die Steinchenbildung im Glas besitzt. Es wurde zusammen mit Soda und Kalk in eine Waage dosiert. Von diesem Material wurden 51,82 t eingeschmolzen. Danach wurden die Schmelzversuche unterbrochen, da eine Weiterführung mit dieser Pulverqualität nicht mehr vertreten werden konnte.

Tag	Glaspulver		Schmelzleistung t/d
	t/d	%	
1	12,6	4,0	319
2	15,8	4,9	321
3	13,1	4,1	321
4	10,3	3,2	321

2. **Etappe** - 4 Tage

Zum Einsatz kam Glaspulver, das in seinen Qualitätsmerkmalen den eigentlichen Anforderungen entsprach. Der zugesetzte Anteil betrug 10%, bezogen auf die Schmelzleistung. Das Glaspulver befand sich hier in zwei Silos. Es wurde zum einen mit Soda und Kalk in eine Waage und zum anderen mit Dolomit und Nephelin eine zweite Waage dosiert.

Um Qualitätsverschlechterungen vorzubeugen, wurde die Bodentemperatur vor dem Wall erhöht.

Tag	Glaspulver		Schmelzleistung t/d
	t/d	%	
1	25,5	9,1	292
2	31,2	10,4	300
3	32,2	10,7	300
4	30,2	10,1	300

3. Etappe - 5 Tage

Es wurde der Glaspulveranteil von 10% auf 15% bezogen auf die Schmelzleistung erhöht. Die Dosierung erfolgte ebenfalls in 2 Waagen, mit den gleichen Komponenten wie in der 2. Etappe.

Tag	Glaspulver		Schmelzleistung t/d
	t/d	%	
1	43,9	15,2	289
2	45,3	16,1	289
3	46,4	16,1	289
4	28,7	9,9	289
5	2,7	0,9	289

Versuchsergebnisse

Glasqualität

Zur Beurteilung der Glasqualität wurden die Erzeugnisse, die an einer Linie produziert wurden, herangezogen. Die Beurteilung auf Steinchen erfolgte visuell anhand von Stichproben, die über 24 Stunden verteilt durchgeführt wurden. Die Ergebnisse sind in Tabelle 20 und 21 zusammengefaßt:

Tabelle 20

1. Etappe

Gaspulvereinsatz %	Steinchen %
0	1,5
0	1,63
5	2,20
5	3,60
5	3,36
5	3,10
0	2,70
0	2,80
0	2,0
0	1,6

Tabelle 21

2. und 3. Etappe

Gaspulvereinsatz %	Steinchen %
0	0,74
0	0,98
10	0,92
10	1,1
10	0,93
10	0,4
15	0,61
15	0,85
15	0,66
15	0,74
5	0,83
0	0,68
0	0,75
0	0,76

Bei der Beurteilung muß beachtet werden, daß durch die Verweilzeit des Glases in der Wanne von ca. 24 - 36 Stunden eine Auswirkung des Pulvereinsatzes erst nach dieser Zeit erkennbar wird.

Aus den Ergebnissen ist ersichtlich, daß das Glaspulver mit einem hohen Anteil an Körnung > 1,0 mm (1. Etappe) zu einer wesentlichen Verschlechterung der Glasqualität führte. Dies ist dadurch erklärbar, daß die in den Scherben < 15 mm enthaltenen Bestandteile aus Keramik und Porzellan nicht bis in die Korngrößen, die ein vollständiges Aufschmelzen ermöglichen, zerkleinert wurden. Das wurde noch dadurch verstärkt, daß die Zahl der Keramik- und Porzellanstückchen durch das Zerkleinern erhöht wurde, so daß sich die Steinchenzahl vervielfachte.

Beim Einsatz von Pulver mit einer überwiegenden Körnung < 1,0 mm tritt auch bei einer Erhöhung des prozentualen Anteils keine Verschlechterung der Glasqualität auf. Die erzielten Ergebnisse in der 2. und 3. Etappe des Versuchs können als sehr zufriedenstellend bewertet werden.

Einschmelzverhalten und Energieverbrauch

Das Einschmelzverhalten des Gemenges änderte sich mit zunehmendem Pulvergehalt nicht. Es konnte auch keine verstärkte Schaumbildung festgestellt werden.

Der Energieverbrauch hat sich durch den Einsatz von Glaspulver nicht negativ verändert. Im Gegenteil, bei 15%-igem Zusatz von Glaspulver war der Energieverbrauch bei gleicher Leistung eher etwas geringer als bei Schmelzen ohne Pulver. Die Werte sind aus Tabelle 22 ersichtlich.

Der am Tag 1 gemessene spezifische Energieverbrauch wurde mit 100% bewertet.

Tabelle 22

Tag	Schmelzleistung t/d	EV kWh/kg /%/	Pulver %
1	315	100	0
2	319	99	4,0
3	321	100	4,9
4	321	99	4,1
5	321	99	3,2
6	321	100	0
7	281	105	0
8	280	106	0
9	292	104	9,1
10	300	104	10,4
11	300	103	10,7
12	300	102	10,1
13	289	104	15,2
14	289	103	16,1
15	289	104	16,1
16	289	104	9,9
17	289	105	0,9
18	289	106	0
19	289	106	0

Die Glasfarbe veränderte sich im Laufe der Versuchsschmelzen nicht.

Zusammenfassung

Der Einsatz von Glaspulver bis zu 15% bezogen auf die Schmelzleistung an einer Weißglaswanne ist völlig unproblematisch. Bezüglich des Einschmelzverhaltens und des spezifischen Energieverbrauches gibt es keinerlei negative Abweichungen.

Die erreichten Ausfallzahlen sind sehr gut, wurden aber auch schon ohne Pulvereinsatz erreicht. Es läßt sich jedoch vermuten, daß durch den Einsatz von Glaspulver über einen längeren Zeitraum niedrige Ausfallwerte erreicht werden, da die schwankende Qualität der Scherben < 15 mm ausgeschlossen wird.

Die Versuche haben aber auch klar gezeigt, daß, wenn Pulver mit zu grober Körnung zum Einsatz kommt, eine deutliche Erhöhung der Steinchen im Glas zu verzeichnen ist.

6.7.3. Braunglas

An einer 32,5 m² großen Schmelzwanne für Braunglas wurden die eingesetzten Scherben schrittweise durch Glaspulver ersetzt. Das Versuchsprogramm ist aus Tabelle 23 ersichtlich.

Tabelle 23

Tag	Scherbenanteil /%/	Pulveranteil /%/	gesamt /%/
1	31,43	0	31,43
2	25,71	5,71	31,42
3	25,71	5,71	31,42
4	20,0	11,43	31,43
5	20,0	11,43	31,43
6	14,29	17,14	31,43
7	14,29	17,14	31,43
8	14,29	17,14	31,43
9	8,98	22,45	31,43
10	8,98	22,45	31,43
11	8,98	22,45	31,43
12	4,57	26,86	31,43
13	4,57	26,86	31,43
14	4,57	26,86	31,43
15	4,57	26,86	31,43
16	0	31,43	31,43
17	0	31,43	31,43
18	0	31,43	31,43
19	0	36,51	36,51
20	0	36,51	36,51
21	0	36,51	36,51
22	0	36,51	36,51
23	35,1	0	35,1

Versuchsdurchführung

Gemäß dem in Tabelle 23 aufgeführten Versuchsprogramm wurden die Glasscherben schrittweise durch Glaspulver ersetzt. Im gesamten Versuchszeitraum wurden nur Eigenscherben verwendet, um Verfälschungen der Ergebnisse durch Fremdscherben zu vermeiden.

Die Scherben wurden dem fertigen Gemenge nach dem Mischer zudosiert. Das Pulver wurde mit Soda, Kalk und Dolomit über eine gemeinsame Waage eingewogen und mit den anderen Rohstoffen gemischt.

Die Erhöhung des Pulveranteils im Gemenge erfolgte entsprechend dem Versuchsprogramm, wobei stets die Beurteilung des Schmelzverhaltens und der Glasqualität eine entscheidende Rolle spielten.

Das Schmelzverhalten des Gemenges wurde anhand der Lage der Gemengehaufen in der Schmelzwanne und der Veränderung der Gewölbe- und Bodentemperaturen beurteilt. Die Qualität des Glases wurde an einem über den gesamten Versuchszeit-

raum gleichbleibenden Sortiment beurteilt. Dafür wurden die Ausfallzahlen an dem Sortierautomaten, der Blasen und Steine erfaßte, zugrunde gelegt.

Da die Verweilzeit des Glases in der Wanne ca. 1 Tag betrug, konnte die Qualitätsbeurteilung erst nach ca. 48 Stunden, gerechnet von der Veränderung des Pulveranteils, vorgenommen werden. Der terminliche Ablauf der Versuchsschmelze konnte wie geplant durchgeführt werden, da sich die genannten Faktoren zu keiner Zeit der Versuchsdurchführung negativ veränderten.

Nachdem beim völligen Ersatz der Scherben durch Glaspulver keine Verschlechterung bezüglich Glasqualität und Schmelzverhalten festgestellt werden konnte, wurde der Pulveranteil auf 36,5% erhöht. Bis zum Verbrauch des Pulvers wurde dieser Anteil konstant gehalten.

Auch bei der Umstellung auf Scherben, nachdem das Pulver verbraucht war, traten keine negativen Erscheinungen auf.

Versuchsergebnisse

Glasqualität

Wie bereits beschrieben, wurde die Glasqualität nach dem Anteil an Blasen und Steinen und der Farbe beurteilt. Da der Sortierautomat neben Blasen und Steinen auch Fehler durch Formschmiere und gestauchte Tropfen erfaßte, kann nur eine Aussage zur Tendenz der Fehlerentwicklung gemacht werden, die im vorliegenden Fall aber völlig ausreicht, da es über den gesamten Versuchszeitraum betrachtet zu keiner Erhöhung des Ausfalls kam.

Anhand von Stichproben wurden ständig die Hauptfehler bewertet. Zu keiner Zeit traten danach Steine auf.

Generell kann gesagt werden, daß mit steigendem Glaspulvereinsatz keine Verschlechterung der Glasqualität bezüglich Steine und Blasen eingetreten ist.

Bei der Beurteilung der Braunfärbung wurden 2 Aspekte beachtet. Zum einen der Farbton und zum anderen die Farbintensität. Grundlage dafür bildeten Transmissionsmessungen. Im Bereich 340 - 360 nm (UV-Bereich) liegt ein Maximum, das für die Beurteilung der UV-Durchlässigkeit von Braunglas, speziell bei Pharmazieverpackungen, wichtig ist.

Eine Verschiebung dieses Maximums in Richtung höherer oder niedrigerer Wellenlänge würde bedeuten, daß der Farbton sich ändert. Über den gesamten Versuchszeitraum war dies jedoch nicht der Fall.

Zur Beurteilung der Farbintensität dient der Transmissionsgrad. Da die Messungen jeweils auf die Dicke des Probematerials bezogen waren, mußte eine Umrechnung der prozentualen Durchlässigkeit auf eine Einheitsdicke vorgenommen werden, um vergleichbare Werte zu bekommen. Die gemessenen und errechneten Transmissionsgrade sind in Tabelle 24 zusammengefaßt.

Tabelle 24

Transmission in % bei der Wellenlänge 351,2 nm gemessen und auf eine Einheitsdicke von 1 mm berechnet.

Tag	Probendicke mm	Transmission gemessen	Transmission berechnet
1	1,39	7,735	15,86
9	1,44	6,092	14,32
10	1,32	4,478	9,5
11	1,19	6,699	10,31
12	1,26	5,587	10,13
13	1,55	3,213	10,88
16	1,31	6,618	12,58
18	1,62	4,069	13,85
19	1,86	2,563	13,94
23	1,92	1,882	12,62
26	1,78	1,878	10,71

Die Werte zeigen eine Tendenz zu verringerter UV-Durchlässigkeit des Glases, d.h. die Farbintensität hatte zugenommen. Zurückzuführen war das auf eine verstärkte Reduktionswirkung während der Glasschmelze. Da die Ofenatmosphäre trotz geringer Schwankungen des O₂-Gehaltes im Abgas als konstant angesehen werden kann und auch der Zusatz von Eisenoxid und Koks prozentual nicht verändert wurde, kann davon ausgegangen werden, daß die verstärkte Reduktionswirkung auf den Glaspulverzusatz zurückzuführen ist, die sich mit zunehmendem Pulveranteil verstärkt.

Erklärbar ist das damit, daß durch die Vermischung des Glaspulvers mit den Rohstoffen, besonders mit dem Kohlenstoff, eine intensivere chemische Reaktion mit dem „fertigen“ Glas (Pulver) erfolgt, als es beim Einsatz von groben Scherben der Fall ist. Die Zunahme der Farbintensität wurde bereits bei der täglichen visuellen Beurteilung der Erzeugnisse festgestellt. Da für die hergestellten Artikel eine höhere Farbintensität eher besser als schlechter ist, wurde deshalb keine Veränderung in der Gemengezusammensetzung und bei der Ofenführung vorgenommen.

In diesen Schmelzversuchen bestätigten sich die bei der Untersuchung zum Redox-Verhalten erzielten Ergebnisse sehr deutlich.

Energieaufwand

Die Beurteilung des spezifischen Energieverbrauches beim Einsatz von Glaspulver ließ sich nicht exakt durchführen. Zum einen mußte die Schmelzleistung aufgrund unterschiedlicher Sortimente mehrfach geändert werden und zum anderen wurde vor Versuchsbeginn festgelegt, daß die Bodentemperaturen leicht erhöht zu fahren sind, um Qualitätsverschlechterungen aus energetischen Gründen auf jeden Fall zu vermeiden.

Auch der Vergleich der Werte von den Tagen, an denen etwa gleiche Schmelzleistungen bei unterschiedlichen Pulveranteilen gefahren wurden, läßt keine eindeutige Aussage darüber zu, ob mit steigendem Pulveranteil ein höherer Energieverbrauch einhergeht.

Möglicherweise ist auch der maximal gefahrene Pulveranteil von 36,5% noch nicht groß genug, um Veränderungen sichtbar werden zu lassen. Eine definitive Aussage

ist deshalb nur möglich, wenn über den gesamten Versuchszeitraum eine konstante Schmelzleistung gefahren werden kann.

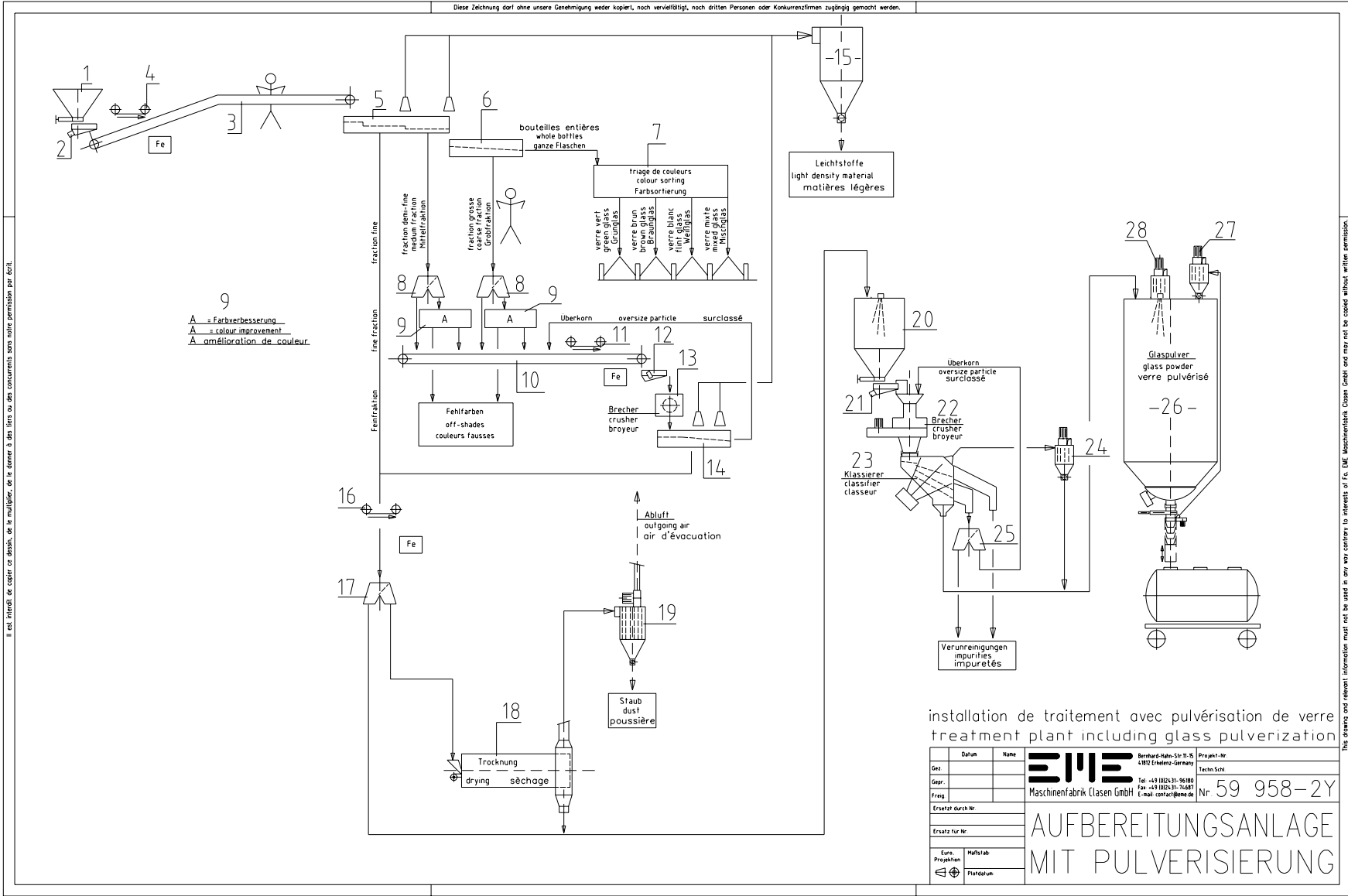
Zusammenfassung

Der Einsatz von Glaspulver bei der Braunglassschmelze ist bezüglich Glasqualität und Energieverbrauch bei den im Versuch gefahrenen 36,5% völlig unproblematisch. Für die Glasqualität sogar eher positiv als negativ zu bewerten.

6.8 Konzeption einer Pulverisierungsanlage

Eine Pulverisierungsanlage kann in eine Scherbenaufbereitungsanlage integriert oder als separate Anlage errichtet werden. Beide Möglichkeiten sind als Fließbilder dargestellt. Flow-sheet Nr. 59 958-2Y zeigt eine Aufbereitungsanlage mit Pulverisierung und flow-sheet Nr. 59 959-3Y eine eigenständige Pulverisierungsanlage. Die einzelnen Ausrüstungsteile sind in den Legenden aufgeführt.

Diese Zeichnung darf ohne unsere Genehmigung weder kopiert, noch vervielfältigt, noch dritten Personen oder Konkurrenzfirmen zugänglich gemacht werden.



Il est interdit de copier ce dessin, de le multiplier, de le donner à des tiers ou des concurrents sans notre permission par écrit.

This drawing and relevant information must not be used in any way contrary to interests of F. EME Maschinenfabrik Casen GmbH and may not be copied without written permission.

9
 A = Farbverbesserung
 A = colour improvement
 A = amélioration de couleur

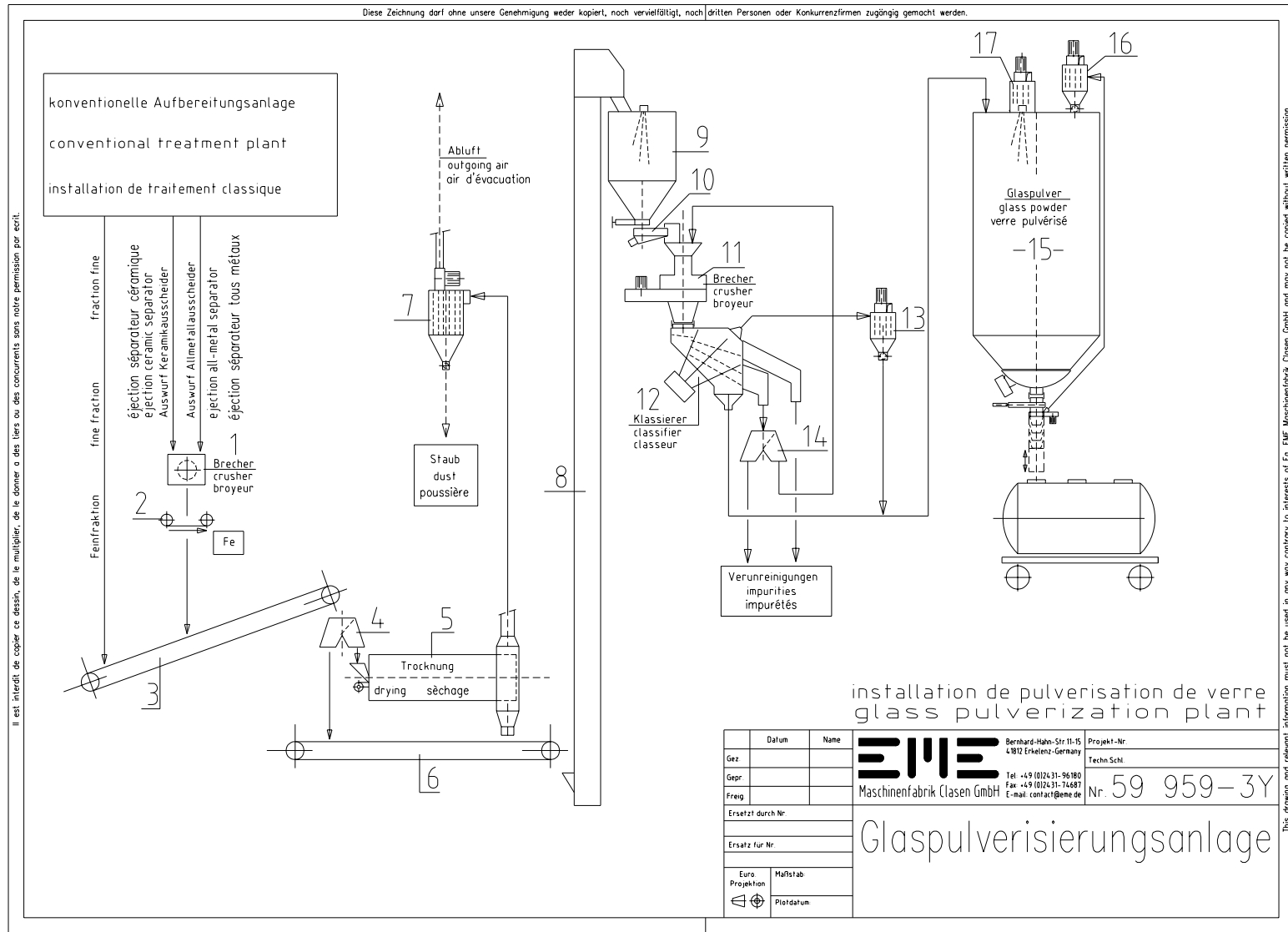
installation de traitement avec pulvérisation de verre
 treatment plant including glass pulverization

Datum	Name	Betriebs-Nr.: 511/11-15 4102 E-Meisey-Germany Maschinenfabrik Casen GmbH Tel: +49 (0)5231-36100 Fax: +49 (0)5231-36487 E-mail: contact@eme.de	Projekt-Nr.
Gez.			Techn. Sch.
Gepr.			Nr. 59 958-2Y
Freg.			
Ersatz durch Nr.		AUFBEREITUNGSANLAGE MIT PULVERISIERUNG	
Ersatz für Nr.			
Euro. Projektion	Mäßig ab		
Plattdatum			

AUFBEREITUNGSANLAGE MIT GLASBRUCHPULVERISIERUNG NACH FLOW-SHEET NR. 59 958-2Y

LEGENDE

Pos. 1	1 Stck.	Aufgabetrichter
Pos. 2	1 Stck.	Vibrationsförderrinne mit Magnetantrieb
Pos. 3	1 Stck.	Lese-Gurtförderer
Pos. 4	1 Stck.	Überbandmagnetscheider
Pos. 5	1 Stck.	Klassiersieb
Pos. 6	1 Stck.	Ganzflaschenseparierung
Pos. 7	1 Stck.	Farbsortierung
Pos. 8	2 Stck.	Verteilerweichen
Pos. 9	2 Stck.	Farbverbesserung
Pos. 10	1 Stck.	Gurtförderer
Pos. 11	1 Stck.	Überbandmagnetscheider
Pos. 12	1 Stck.	Vibrationsförderrinne mit Unwuchtantrieb
Pos. 13	1 Stck.	Hammerprallbrecher
Pos. 14	1 Stck.	Sieb
Pos. 15	1 Stck.	Absauganlage
Pos. 16	1 Stck.	Überbandmagnetscheider
Pos. 17	1 Stck.	Verteilerweiche
Pos. 18	1 Stck.	Trockentrommel
Pos. 19	1 Stck.	Filter
Pos. 20	1 Stck.	Puffersilo
Pos. 21	1 Stck.	Vibrationsförderrinne mit Magnetantrieb
Pos. 22	1 Stck.	Brecher Typ DAVID
Pos. 23	1 Stck.	Klassiersieb
Pos. 24	1 Stck.	Filter
Pos. 25	1 Stck.	Verteilerweiche
Pos. 26	1 Stck.	Fertiggutsilo
Pos. 27	1 Stck.	Filter
Pos. 28	1 Stck.	Füllstandsmesser



**GLASPULVERISIERUNGSANLAGE FÜR PROBLEMKORN
NACH FLOW-SHEET NR. 59 959-3Y**

LEGENDE

Pos. 1	1 Stck.	Hammerprallbrecher
Pos. 2	1 Stck.	Überbandmagnetscheider
Pos. 3	1 Stck.	Gurtförderer
Pos. 4	1 Stck.	Verteilerweiche
Pos. 5	1 Stck.	Trockentrommel
Pos. 6	1 Stck.	Gurtförderer
Pos. 7	1 Stck.	Filter
Pos. 8	1 Stck.	Gurtbecherwerk
Pos. 9	1 Stck.	Puffersilo
Pos. 10	1 Stck.	Vibrationsförderrinne mit Magnetantrieb
Pos. 11	1 Stck.	Brecher Typ DAVID
Pos. 12	1 Stck.	Klassiersieb
Pos. 13	1 Stck.	Filter
Pos. 14	1 Stck.	Verteilerweiche
Pos. 15	1 Stck.	Fertiggutsilo
Pos. 16	1 Stck.	Filter
Pos. 17	1 Stck.	Füllstandsmesser

7. Nutzen der Entwicklung, insbesondere die Verwertbarkeit der Ergebnisse

Ein wichtiger Ausgangspunkt für die Entwicklung des Pulverisierungsverfahrens war es, die bei den Recyclebetrieben im KSP-Abfall enthaltenen Scherben einer Wiederverwendung zuzuführen. Der KSP-Abfall enthält bis zu 80% Glas und ist deshalb als Rohstoff für die Glasherstellung durchaus denkbar.

Ein zweiter Punkt bei der Entwicklungsarbeit bestand in der Verbesserung der Glasqualität durch gezielten Glaspulvereinsatz. Grund dafür ist die Tatsache, daß die Sortieranlagen in den Scherbenaufbereitungsbetrieben unterhalb einer bestimmten Korngröße nicht mehr effektiv arbeiten und damit die Schadstoffe Keramik, Steine und Porzellan in den Scherben verbleiben.

Waren es zu Beginn der Entwicklungsarbeiten Korngrößen < 10 mm, die den Sortiermaschinen Grenzen setzten, so sind es heute infolge der Weiterentwicklung der Sortierautomaten Korngrößen < 6 mm. Der Anteil an Glas im aussortierten Abfall liegt trotzdem bei 70 - 80%. Die Abfallmengen konnten jedoch reduziert werden.

Die in der Körnung < 6 mm enthaltenen Schadstoffe stellen aber nach wie vor einen Risikofaktor bei der Glasherstellung dar, da sie zu festen Einschlüssen in den Glaserzeugnissen führen können und damit einen bestimmten Produktionsausfall bedingen. Es besteht sogar die Gefahr, daß solche Einschlüsse von den Kontrollmaschinen nicht erkannt werden, da sie sich an schlecht zu kontrollierenden Stellen der Erzeugnisse befinden. Das bedeutet, daß es speziell bei Gläsern für die Verpackung CO_2 -haltiger Getränke, wie Sekt, Bier, Mineralwasser u.ä., in den Abfüllbetrieben oder beim Verbraucher zum Zerplatzen der Glasgefäße kommen kann. Die sich daraus für den Glashersteller ergebenden Konsequenzen können erhebliche finanzielle Auswirkungen haben. Trotzdem wird der Einsatz von Glaspulver für die Glasherstellung von den meisten Glasherstellern noch skeptisch beurteilt. Dafür gibt es zwei Gründe. Zum einen befürchtet man durch den Glaspulvereinsatz eine eventuelle Verschlechterung der Glasqualität, zum anderen sind es jedoch die Kosten für das erzeugte Glaspulver.

Das Glaspulver ist zwangsläufig durch den Investaufwand und die Betriebskosten für die Pulverisierungsanlage teurer als die Scherben. Man kann in etwa mit einem doppelt so hohen Preis rechnen.

Bei dem z.Zt. herrschenden enormen Preisdruck auf die Glashersteller ist der Einsatz von Glaspulver nicht rentabel zu gestalten, wenn man nur die Qualitätsverbesserung in Rechnung stellt. Bei Folgeschäden, die zu erheblichen Reklamationen führen, könnte dies jedoch ganz anders aussehen.

Der erstgenannte Grund für eine zögerliche Haltung beim Einsatz von Glaspulver, die eventuelle Qualitätsverschlechterung, konnte durch die Schmelzversuche widerlegt werden. Allerdings wurde der Einsatz von Glaspulver, das aus KSP-Abfall hergestellt worden war, abgelehnt.

Obwohl bei den kleintechnischen Versuchen auch dieses Material keine schmelztechnischen Probleme erkennen ließ, konnte der Einsatz für Schmelzversuche in Glasschmelzwannen nicht erreicht werden. Das Risiko, eventuell Qualitätseinbrüche und damit Schwierigkeiten bei ihren Kunden zu bekommen, hielt die Glaswerke von solchen Versuchen ab.

Abschließend kann man sagen, daß durch die durchgeführten Arbeiten eine Anlagenkonzeption für eine in der Praxis einsetzbare Pulverisierungsanlage geschaffen wurde. Es wurde ferner der Nachweis erbracht, daß der Glaspulvereinsatz bis zu einer gewissen Höhe mit einer Qualitätsverbesserung bei gleichbleibenden bzw. Gering verbessertem Energieeinsatz möglich ist. Die ständig steigenden Forderungen an die Glasqualität werden sicherlich in absehbarer Zeit zum Einsatz von Glaspulver führen, wenn es gelingt, die Kosten dafür in Grenzen zu halten. Ein Weg dazu wäre sicherlich der Aufbau von Pulverisierungsanlagen in den Recyclebetrieben, da dort die größten Mengen hergestellt und damit die Preise pro Tonne niedrig gehalten werden könnten.

8. Der während der Durchführung des Vorhabens bekanntgewordene Fortschritt auf diesem Gebiet bei anderen Stellen

Im Verlaufe der Entwicklungsarbeiten wurde bekannt, daß die Fa. Heye, Obernkirchen, Glaspulver in ihren Schmelzanlagen einsetzt. Die Herstellung erfolgte in einer eigenen Anlage nach einem ähnlichen Verfahren. Die Voraussetzungen waren jedoch anders als in den meisten anderen Glashütten.

Die Fa. Heye produziert spezielle leichtgewichtige Artikel und ging deshalb zu einer 100%-igen Vermahlung der Scherben über. Vom Grundsatz stellt der von dieser Firma gegangene Weg jedoch eine Bestätigung für den Glaspulvereinsatz bei der Glasherstellung dar.

9. Geplante Veröffentlichungen

Die Fa. EME Maschinenfabrik Clasen GmbH geht davon aus, daß die im Rahmen des Entwicklungsthemas gewonnenen Erkenntnisse einem interessierten Personenkreis zugänglich gemacht werden. Dies soll im Rahmen von Fachvorträgen und durch Veröffentlichungen in Fachzeitschriften erfolgen.