



EUROPÄISCHE KOMMISSION

*- Keine autorisierte Übersetzung -
(Übersetzung der Europäischen Kommission, vom Umweltbundesamt in Zusammenarbeit mit
dem Bundesverband der Glasindustrie und der Hüttentechnischen Vereinigung der Deutschen
Glasindustrie sprachlich überarbeitet)*

Integrierte Vermeidung und Verminderung der
Umweltverschmutzung (IPPC)

Referenzdokument über die
besten verfügbaren Techniken in der Glasindustrie

XXX 2001

ZUSAMMENFASSUNG

1) Einführung

Das vorliegende Referenzdokument über die besten verfügbaren Techniken in der Glasindustrie beruht auf einem Informationsaustausch nach Artikel 16 Absatz 2 der Richtlinie 96/61/EG des Rates. Das Dokument ist im Zusammenhang mit dem Vorwort zu sehen, das die Zielsetzungen des Dokuments beschreibt und Hinweise zu seiner Verwendung gibt.

Das vorliegende Dokument umfasst die in Anhang 1 Abschnitte 3.3 und 3.4 der Richtlinie 96/61/EG beschriebenen industriellen Aktivitäten, und zwar:

- 3.3 Anlagen für die Herstellung von Glas einschließlich Glasfasern mit einer Schmelzleistung von über 20 Tonnen pro Tag
- 3.4 Anlagen für das Schmelzen von mineralischen Stoffen einschließlich der Herstellung von Mineralfasern mit einer Schmelzleistung von über 20 Tonnen pro Tag.

Für die Zwecke dieses Dokumentes werden die von diesen Beschreibungen in der Richtlinie erfassten industriellen Aktivitäten als Glasindustrie bezeichnet, die in acht Sparten unterteilt wird. Diese Sparten werden nach den gefertigten Erzeugnissen festgelegt, wobei es allerdings zu gewissen Überschneidungen zwischen den Sparten kommt. Bei den acht Sparten handelt es sich um folgende: Behälterglas; Flachglas; Endlosglasfaser; Wirtschaftsglas; Spezialglas (einschließlich Wasserglas); Mineralwolle (mit den zwei Teilsparten Glaswolle und Steinwolle); Keramikfaser und Fritten.

Das Dokument umfasst sieben Kapitel sowie einige Anhänge mit ergänzenden Informationen. Die sieben Kapitel und vier Anhänge sind wie folgt überschrieben:

- 1. Allgemeine Informationen
- 2. Angewandte Prozesse und Techniken
- 3. Gegenwärtige Verbrauchs- und Emissionswerte
- 4. Bei der Festlegung der BVT zu berücksichtigende Techniken
- 5. Schlussfolgerungen zu den BVT
- 6. In der Entwicklung befindliche Techniken
- 7. Schlussfolgerungen und Empfehlungen
- 8. Anhang 1 - Beispiel von Anlagenemissionsdaten
- 9. Anhang 2 - Beispiel von Schwefelbilanzen
- 10. Anhang 3 - Überwachung
- 11. Anhang 4 - Rechtsvorschriften der Mitgliedsstaaten

Das Ziel der Zusammenfassung besteht in einer Übersicht der wesentlichen Ergebnisse des Dokuments. Der Charakter des Hauptdokuments lässt es nicht zu, sämtliche Gesichtspunkte und Einzelheiten in einer kurzen Zusammenfassung darzustellen. Deshalb wird auf den Haupttext verwiesen und nachdrücklich zum Ausdruck gebracht, dass nur das Hauptdokument als Ganzes als Bezugspunkt bei der Bestimmung der BVT für eine spezielle Anlage herangezogen werden sollte. Wenn derartige Festlegungen nur auf der Grundlage der Zusammenfassung getroffen werden, kann dies dazu führen, dass Informationen aus dem Zusammenhang gerissen werden und die Komplexität der Probleme verkannt wird.

2) Die Glasindustrie

Kapitel 1 enthält allgemeine Hintergrundinformationen zur Glasindustrie. Der Hauptzweck besteht dabei darin, ein besseres Verständnis der Industrie insgesamt zu ermöglichen und die Entscheidungsträger in die Lage zu versetzen, die an späterer Stelle im Dokument gegebenen

Informationen in den Gesamtzusammenhang der auf die Industrie einwirkenden Einflussfaktoren einzuordnen.

Die Glasindustrie innerhalb der Europäischen Union (EU) ist äußerst breit gefächert, und zwar sowohl in Bezug auf die hergestellten Erzeugnisse als auch auf die angewandten Herstellungsverfahren. Die Palette der Erzeugnisse reicht von komplizierten handgefertigten Bleikristallkelchen bis zu riesigen Mengen von Floatglas für die Bau- und Automobilindustrie. Bei den Fertigungsverfahren spannt sich der Bogen von kleinen elektrisch beheizten Öfen im Bereich der Keramikfaserherstellung bis zu Querbrennerwannen mit regenerativer Luftvorwärmung in der Flachglasproduktion mit einem Ausstoß von bis zu 700 Tonnen pro Tag. Die Glasindustrie im weiteren Sinne umfasst auch viele kleinere Anlagen mit einer Produktionsleistung unterhalb des in Anhang 1 der Richtlinie genannten Grenzwertes von 20 Tonnen pro Tag.

Die Glasindustrie ist im wesentlichen eine grundstoffproduzierende Industrie, obwohl auch zahlreiche Methoden der Wertschöpfung für Massenerzeugnisse entwickelt wurden, um die Konkurrenzfähigkeit dieses Industriezweiges zu gewährleisten. Mehr als 80 % der Erzeugnisse der Glasindustrie werden an andere Industriezweige verkauft, und die Glasindustrie insgesamt ist stark von der Bauwirtschaft sowie der Lebensmittel- und Getränkeindustrie abhängig. Einige Sparten der Kleinserienfertigung stellen jedoch auch hochwertige technische Erzeugnisse bzw. Konsumgüter her.

Die Gesamtproduktion der Glasindustrie innerhalb der EU wurde im Jahre 1996 auf 29 Millionen Tonnen (außer Keramikfasern und Fritten) geschätzt. Eine Untergliederung nach Sparten wird in nachstehender Tabelle vorgenommen.

Sparte	% der Gesamtproduktion EU (1996)
Behälterglas	60
Flachglas	22
Endlosglasfaser	1,8
Wirtschaftsglas	3,6
Spezialglas	5,8
Mineralwolle	6,8

Grobe Untergliederung der Gesamtproduktion der Glasindustrie nach Sparten (außer den Sparten Keramikfaser und Fritten)

Kapitel 1 enthält Informationen für jeden Bereich unter den folgenden Überschriften: Spartenüberblick, Erzeugnisse und Märkte, kommerzielle und finanzielle Aspekte und wesentliche Umweltgesichtspunkte. Aufgrund der Vielfältigkeit des Industriezweiges sind die für die einzelnen Sparten angegebenen Informationen sehr unterschiedlich. Als veranschaulichendes Beispiel werden die für die Sparte Behälterglas genannten Informationen im folgenden Abschnitt zusammengefasst. Vergleichbare Daten werden soweit verfügbar zu allen Sparten gegeben.

Die Behälterglasfertigung bildet mit etwa 60 % der Gesamtglasproduktion die größte Sparte der Glasindustrie der EU. Sie dient der Herstellung von Glasverpackungen, d.h. Flaschen und Konservengläser, zum Teil auch der Produktion von maschinell gefertigtem Wirtschaftsglas. Im Jahre 1997 verließen in dieser Sparte mehr als 17,3 Millionen Tonnen Glaserzeugnisse die 295 in der EU im Einsatz befindlichen Öfen. Es gibt etwa 70 Unternehmen mit 140 Standorten. Behälterglas wird in allen Mitgliedsstaaten mit Ausnahme von Luxemburg hergestellt. In der Getränkebranche werden etwa 75 % der gesamten Produktionsmenge an Glasverpackungsbehältern eingesetzt. Hauptkonkurrenten sind die alternativen Verpackungsmaterialien Stahl, Aluminium, Papierverbundstoffe und Kunststoffe. Eine Entwicklung von großer Tragweite innerhalb der Sparte ist der verstärkte Einsatz von Altglas. In der Sparte Behälterglas liegt die durchschnittliche Verwertungsquote EU-weit bei etwa 50 % (gemessen am Rohstoffeinsatz), wobei in einigen Anlagen bis zu 90 % erreicht werden.

3) Angewandte Prozesse

Kapitel 2 beschreibt die gemeinhin in der Glasindustrie angewandten Prozesse und Fertigungsmethoden. Die meisten Prozesse lassen sich in fünf Hauptstufen untergliedern: Anlieferung, Schmelzen, Formgebung, weitere Bearbeitung und Verpackung.

Die Mannigfaltigkeit der Glasindustrie führt zur Verwendung einer breiten Palette von Rohstoffen. Die für den Materialtransport eingesetzten Techniken entsprechen den in vielen Industriezweigen genutzten Methoden und werden in Abschnitt 2.1 des Referenzdokuments beschrieben. Ein wesentlicher Gesichtspunkt ist dabei die Verhinderung des beim Transport des Feinmaterials entstehenden Staubes. Die Hauptrohstoffe für den Schmelzprozess sind Glasbildner (z.B. Quarzsand, Scherben), Flussmittel/Stabilisatoren (z.B. Soda, Kalkstein, Feldspat) und Färbungs- bzw. Entfärbungsmittel (z.B. Eisenchromit, Eisenoxid).

Der Schmelzprozess, bei dem die einzelnen Rohstoffe unter hoher Temperatur zu Glas geschmolzen werden, ist die zentrale Phase in der Glasherstellung. Der Schmelzprozess ist eine komplexe Kombination chemischer Reaktionen und physikalischer Vorgänge und kann in mehrere Stufen untergliedert werden: Aufheißungsvorgang, Rauschmelze, Blankschmelzen und Homogenisierung sowie Konditionierung.

Die Hauptschmelztechniken werden nachstehend zusammenfassend beschrieben. In den Sparten Steinwolle und Fritten werden andere Techniken eingesetzt, die im Hauptdokument ausführlich dargestellt werden. Die Glasherstellung ist ein sehr energieintensiver Vorgang, und die Wahl der Energiequelle, Heizmethode und Methode der Wärmerückgewinnung ist ausschlaggebend für die Konstruktion des Ofens. Die dazu gewählten Varianten zählen gleichzeitig auch zu den wichtigsten Faktoren, die das Umweltverhalten und den energetischen Wirkungsgrad des Schmelzvorgangs beeinflussen. Die drei Hauptenergieträger für die Glasherstellung sind Erdgas, Heizöl und Elektroenergie.

Regenerativöfen sind gekennzeichnet durch Einrichtungen zur regenerativen Wärmerückgewinnung. Die Brenner werden gewöhnlich in oder unter den Verbrennungsluft- bzw. Abgaskanälen angeordnet. Die in den Abgasen enthaltene Wärme dient zur Vorwärmung der Luft vor der Verbrennung, wobei die Abgase durch eine Kammer geführt werden, die zur Aufnahme der Wärme mit Feuerfestmaterial ausgestattet ist. Die Ofenfeuerung erfolgt immer nur auf einer Seite. Nach etwa zwanzig Minuten wird die Feuerung umgekehrt und die Verbrennungsluft durch die vorher von den Abgasen erwärmte Kammer geführt. Die Vorwärmtemperatur kann Werte bis zu 1400 °C erreichen, wodurch ein sehr hoher thermischer Wirkungsgrad gewährleistet ist. In Querbrennerwannen mit regenerativer Luftvorwärmung sind die Verbrennungskanäle und Brenner an den Längsseiten des Ofens angeordnet, und die Regenerativkammern befinden sich auf beiden Seiten des Ofens. In den U-Flammenwannen gelten die gleichen Betriebsgrundsätze, die beiden Regenerativkammern befinden sich jedoch an einem Ende des Ofens.

Rekuperativöfen werden mit Wärmeaustauschern (als Rekuperatoren bezeichnet) zur Wärmerückgewinnung betrieben, wobei eine ständige Vorwärmung der Verbrennungsluft durch die Abgase stattfindet. Die Luftvorwärmtemperaturen sind für Rekuperatoren in Metallausführung auf etwa 800 °C begrenzt. Die spezifische Schmelzleistung (pro Einheit der Schmelzwannenfläche) von Rekuperativöfen ist etwa 30 % geringer als die eines Regenerativofens. Die Brenner sind jeweils entlang der Seiten des Ofens quer zum Glasstrom angeordnet und feuern ständig von beiden Seiten. Diese Art von Ofen wird in der Hauptsache für Einsatzfälle benutzt, in denen es auf eine hohe Flexibilität des Betriebsablaufs bei geringstmöglichem Investitionsaufwand ankommt, insbesondere wenn der Produktionsumfang zu gering ist, um den Einsatz von Regeneratoren wirtschaftlich zu rechtfertigen. Er ist mehr für Anlagen mit kleiner Kapazität geeignet, obwohl Wannen mit höherer Leistung (bis zu 400 Tonnen pro Tag) nicht unüblich sind.

Bei der **Sauerstoff-Brennstoff-Beheizung** wird Sauerstoff (>90 % Reinheit) anstelle der Verbrennungsluft eingesetzt. Durch die Ausschaltung des größten Teiles des Stickstoffes aus der Verbrennungsumgebung wird das Abgasvolumen um etwa zwei Drittel verringert. Dadurch können Einsparungen im Energieverbrauch des Ofens erzielt werden, da der atmosphärische Stickstoff nicht mehr auf die Temperatur der Flammen aufgeheizt werden muss. Die Bildung von thermischen NO_x wird ebenfalls stark herabgesetzt. Sauerstoff-Brennstoff beheizte Öfen haben mit ihren seitlich angeordneten Brennern und einem einzigen Abgasabzugskanal im Allgemeinen den gleichen Grundaufbau wie die Unitmelter. Für einen Sauerstoffeinsatz ausgelegte Öfen sind jedoch nicht für die Nutzung von Einrichtungen zur Vorwärmung des Sauerstoffs vorgesehen.

Elektroöfen bestehen aus einem mit einem Stahlrahmen verstärkten Kasten aus Feuerfestmaterial, wobei Elektroden entweder durch die Seitenwand, die Decke oder – was üblicher ist – in den Boden des Ofens eingeführt werden. Die Wärme für den Schmelzprozess wird durch Widerstandsheizung beim Durchfluss des Stromes durch die Glasschmelze erzeugt. Diese Methode wird gemeinhin in kleinen Öfen, insbesondere zur Herstellung von Spezialglas angewandt. Die Rentabilität der Elektroöfen wird nach oben durch eine bestimmte Ofengröße begrenzt, die von den Stromkosten im Vergleich zu den Kosten für fossile Brennstoffe abhängt. Da zur Ofenbeheizung keine fossilen Brennstoffe eingesetzt werden, fallen auch keine Verbrennungsprodukte an.

Ein **Schmelzprozess mit kombinierter Beheizung durch fossile Brennstoffe und Elektroenergie** kann nach zwei Prinzipien erfolgen: unter vorwiegendem Einsatz von fossilem Brennstoff mit Zusatz von Elektroenergie; oder Beheizung unter vorwiegendem Einsatz von Elektroenergie mit Unterstützung durch fossilen Brennstoff. Die Elektrozusatzheizung ist ein Verfahren, bei dem ein Glasofen durch die Einspeisung von elektrischem Strom über im Boden der Wanne angeordnete Elektroden mit zusätzlicher Wärme versorgt wird. Die Methode des Einsatzes von Gas oder Öl als Stützbrennstoff für einen vorwiegend elektrisch beheizten Ofen ist weniger verbreitet.

Chargenschmelzöfen mit diskontinuierlicher Beschickung werden für Einsatzzwecke genutzt, in denen nur kleinere Glasmengen erforderlich sind, insbesondere wenn sich die Glasrezeptur ständig ändert. In diesen Einsatzfällen werden Hafenoöfen oder Tageswannen zum Schmelzen spezifischer Rohstoffchargen verwendet. Viele Glasherstellungsprozesse dieser Art unterliegen nicht der Kontrolle der IPPC, da ihre Schmelzleistung unter 20 Tonnen pro Tag liegt. Grundsätzlich besteht ein Hafenofen aus einem Unterteil zur Vorwärmung der Verbrennungsluft und einem Oberteil, in dem die Häfen untergebracht sind und der als Schmelzkammer dient. Tageswannen bilden eine Weiterentwicklung der Hafenoöfen und haben eine höhere Leistung im Bereich von 10 Tonnen pro Tag. In ihrem Aufbau gleichen sie mehr der Viereckform eines herkömmlichen Ofens, werden aber täglich neu beschickt.

Spezialausführungen von Schmelzöfen wurden mit dem Ziel entwickelt, den Wirkungsgrad und die Umweltverträglichkeit zu verbessern. Die bekanntesten Ausführungen dieser Art sind der LoNO_x- und der Flex-Schmelzofen.

In den folgenden Abschnitten werden charakteristische Merkmale der in diesem Industriezweig angewandten Hauptprozesse und -techniken für die einzelnen Sparten beschrieben.

Behälterglas ist sehr mannigfaltig, so dass zu seiner Herstellung nahezu alle oben beschriebenen Schmelztechniken eingesetzt werden. Das Formgebungsverfahren erfolgt in zwei Stufen, d.h. Vorformung des Glastropfens entweder durch Pressen mit Hilfe eines Stempels oder durch Blasen mit Druckluft und Fertigformung durch Blasen zur Herstellung der fertigen Hohlform. Diese beiden Verfahren werden demzufolge jeweils als "Press-Blas"- bzw. "Blas-Blas"-Verfahren bezeichnet. Die Herstellung von Behältern erfolgt fast ausschließlich mit Hilfe von IS-Maschinen (Individual Section).

Flachglas wird fast ausschließlich mit Hilfe von Querbrennerwannen mit regenerativer Luftvorwärmung erzeugt. Das Grundprinzip des Float-Verfahrens besteht darin, dass das geschmolzene Glas auf ein Bad von geschmolzenem Zinn aufgegossen und ein Band geformt wird, wobei die obere und untere Fläche unter dem Einfluss der Schwerkraft und der Oberflächenspannung planparallel werden. Hinter dem Floatbad wird das Glasband durch den Kühllofen geführt, in dem das Glas zur Verminderung der Restspannungen allmählich abgekühlt wird. Zur Verbesserung der Produkteigenschaften kann während des Fertigungsprozesses eine Online-Beschichtung vorgenommen werden (z.B. Wärmeschutzglas).

Endlosglasfasern werden mit Hilfe von Rekuperativöfen oder Öfen mit Sauerstoff-Brennstoff-Beheizung hergestellt. Das Glas strömt vom Ofen zu den Vorherden, in denen es durch Düsen am Boden fließt. Das Glas wird durch die Düsen Spitzen gedrückt, wodurch die Endlosfasern gebildet werden. Die Fasern werden zusammengeführt und laufen über eine Walze bzw. einen Gurt, wobei die einzelnen Fasern mit einem wässrigen Überzug beschichtet werden. Die beschichteten Fasern werden zur weiteren Verarbeitung in Bündeln (Litzen) zusammengefasst.

Wirtschaftsglas bildet eine breit gefächerte Sparte, in der eine breite Palette von Erzeugnissen und Verfahren anzutreffen ist. Das Spektrum reicht von kompliziertem handgefertigten Bleikristall bis zu mechanisierten Großserienverfahren zur Herstellung von Massenartikeln. Fast alle der oben beschriebenen Schmelztechniken kommen in dieser Sparte zur Anwendung, d.h. von Hafenoöfen bis hin zu großen Regenerativwannen. Die eingesetzten Formgebungsverfahren sind Handfertigung, halbautomatische oder automatische Fertigung, und nach dem Herstellungsprozess können die Ausgangsartikel einer Kaltnachbearbeitung unterzogen werden (z.B. wird Bleikristall häufig geschnitten und poliert).

Spezialglas umfasst gleichfalls eine Vielzahl von Erzeugnissen, die in ihrer Zusammensetzung, Fertigungsmethode und Anwendung sehr unterschiedlich sein können. Zu den gängigsten Schmelztechniken zählen Rekuperativöfen, Sauerstoff-Gas-Öfen, Regenerativöfen, Elektroschmelzöfen und Tageswannen. Durch die breite Palette von Erzeugnissen kommt es zur Anwendung zahlreicher Formgebungsverfahren in dieser Sparte. Zu den bedeutendsten Verfahren zählen Press-Blas-Fertigung, Walzen, Pressen, Bandfertigung, Rohrstrangpressen, Ziehen und Lösen (Wasserglas).

Glaswolle wird entweder in Elektroschmelzöfen, in gasgefeuerten Rekuperativöfen oder in Sauerstoff-Brennstoff beheizten Öfen hergestellt. Das geschmolzene Glas strömt durch einen Vorherd und weiter durch Düsen mit einer einzelnen Öffnung in eine Fliehkraftdrehschleudermaschine. Die Faserherstellung erfolgt durch Fliehkraftwirkung, wobei dieser Prozess durch die heißen Gase einer Flamme verstärkt wird. Eine wässrige Phenolharzlösung wird auf die Fasern aufgesprüht. Die harzbeschichtete Faser wird durch Saugwirkung auf ein laufendes Förderband gezogen und durchläuft dann einen Ofen zur Trocknung und Aushärtung des Erzeugnisses.

Steinwolle wird gewöhnlich mit koksgefeuerten Windkupolöfen hergestellt. Das geschmolzene Material sammelt sich am Boden des Ofens und strömt über eine kurze Rinne aus dem Ofen heraus in die Schleudermaschine. Mit Hilfe von Luft werden die Fasern ausgezogen und zu den Sammelbändern hingeführt. Eine wässrige Phenolharzlösung wird mit Hilfe einer Reihe von Sprühdüsen auf die Fasern aufgesprüht. Der weitere Ablauf des Verfahrens entspricht im Wesentlichen dem bei der Herstellung von Glaswolle angewandten Prozess.

Keramikfasern werden ausschließlich mit Hilfe von Elektroöfen erzeugt. Die Faserherstellung aus der Schmelze erfolgt entweder durch Hochgeschwindigkeitsscheiben oder einen Hochdruckluftstrahl, wonach die Fasern auf ein Sammelband geführt werden. Das Erzeugnis kann an dieser Stelle in Ballen verpackt oder zu Matten weiterverarbeitet werden, die als Erzeugnis zur Ballenverpackung oder als Nadelfilz vorgesehen sind. Möglich ist aber auch eine weitere Verarbeitung.

Die **Frittenherstellung** erfolgt sowohl mit Durchlauföfen als auch mit Chargenöfen. Es ist allgemein üblich, dass kleine Chargen für die Herstellung eines breiten Spektrums von Rezepturen eingesetzt werden. Frittenöfen werden im Allgemeinen mit Erdgas oder Heizöl gefeuert, und viele Frittenanlagen sind mit Sauerstoff-Brennstoff- Beheizung ausgestattet. Durchlauföfen können als Querflammenöfen oder als U-Flammenöfen mit nur einem Brenner ausgeführt werden. Chargenöfen haben eine kastenförmige Konstruktion oder eine zylindrische Form mit Feuerfestauskleidung (Drehrohröfen) und sind so montiert, dass eine gewisse Drehung möglich ist. Die Schmelze kann direkt in einem Wasserbad abgeschreckt werden oder zwischen wassergekühlten Walzen zur Herstellung eines flockenförmigen Produktes abgekühlt werden.

4) Verbrauchs- und Emissionswerte

Kapitel 3 enthält Informationen zu den Verbrauchs- und Emissionswertebereichen, wie sie in der Glasindustrie bei den in Kapitel 2 beschriebenen Prozessen und Techniken angetroffen werden. Die zugeführten und ausgetragenen Stoffe werden für die Industrie als Ganzes erörtert. Danach erfolgt eine spezifische Betrachtung der einzelnen Sparten. In diesem Kapitel wird auf Hauptemissionen, Emissionsquellen und Energiefragen eingegangen. Diese Informationen sollen es ermöglichen, die Emissions- und Verbrauchswerte einer bestimmten zur Genehmigung vorgesehenen Anlage dadurch richtig einzuordnen, dass sie den Werten anderer Prozesse in der gleichen Sparte oder in der Glasindustrie als Ganzes gegenübergestellt werden.

Die wesentlichsten dem Prozess zugeführten Stoffe können in vier Hauptkategorien unterteilt werden: Rohstoffe (Bestandteile des Produktes), Energie (Brennstoffe und Elektroenergie), Wasser und Hilfsstoffe (Verarbeitungshilfsstoffe, Reinigungsmittel, Chemikalien zur Wasserbehandlung usw.). Die Rohstoffe der Glasindustrie sind im Wesentlichen feste anorganische Verbindungen, und zwar entweder in der Natur vorkommende Mineralien oder künstlich hergestellte Erzeugnisse. Die Palette der Rohstoffe reicht von sehr groben Stoffen bis zu fein verteilten Pulvern. Auch Flüssigkeiten und Gase finden breite Anwendung und können als Hilfsstoffe sowie auch als Brennstoffe eingesetzt werden.

Das Hauptdokument enthält in Tabelle 3.1 eine Aufstellung der gebräuchlichsten zur Glasherstellung verwendeten Rohstoffe. Die zur Formgebung und in anderen nachgeschalteten Arbeitsgängen eingesetzten Rohstoffe (z.B. Beschichtungen und Bindemittel) sind spezifischer und werden in späteren Abschnitten behandelt. Die Glasindustrie als Ganzes verbraucht keine großen Wassermengen. Die Haupteinsatzgebiete von Wasser sind Kühlung, Reinigung und Befeuchtung des Gemenges. Die Glasherstellung ist ein energieintensiver Prozess. Brennstoffe bilden daher einen wesentlichen Einsatzstoff. Die Hauptenergiequellen in der Glasindustrie sind Heizöl, Erdgas und Elektroenergie. Die Fragen der Energie und Brennstoffe werden in Abschnitt 3.2.3 und in den Abschnitten zu den einzelnen Sparten behandelt.

Die wesentlichsten Ergebnisse des Prozesses können in fünf Hauptkategorien unterteilt werden: Produkt, Emissionen in die Luft, Abwässer, feste Reststoffe und Energie.

In allen Sparten der Glasindustrie kommen pulver-, granulat- oder staubförmige Rohstoffe zum Einsatz. Die Lagerung und der Transport dieser Stoffe stellen ein wesentliches Potential für Staubemissionen dar.

Die Hauptumweltprobleme der Glasindustrie sind Emissionen in die Luft und der Energieverbrauch. Die Glasherstellung ist ein energieintensiver Prozess, der unter hohen Temperaturen abläuft. Er führt zur Emission von Verbrennungsprodukten und zur Hochtemperaturoxidation von atmosphärischem Stickstoff, d.h. zur Bildung von Schwefeldioxid, Kohlendioxid und Stickstoffoxiden. Weiterhin sind in den Emissionen der Öfen Staub und kleinere Mengen an Metallen enthalten. Nach Schätzungen setzten sich die Emissionen der Glasindustrie im Jahre 1997 wie folgt zusammen: 9 000 Tonnen Staub, 103 500 Tonnen NO_x, 91 500 Tonnen SO_x und 22 Millionen Tonnen CO₂ (einschließlich Elektroenergieerzeugung). Diese Werte machen etwa 0,7 % der Emissionen dieser Stoffe im

gesamten EU-Gebiet aus. Der Gesamtenergieverbrauch der Glasindustrie betrug etwa 265 PJ. Die von den Schmelzprozessen der Glasindustrie ausgehenden Hauptemissionen werden in der folgenden Tabelle zusammengefasst.

Emission	Quelle / Bemerkungen
Partikelförmige Emissionen	Kondensation flüchtiger Gemengebestandteile. Miterissene Feinstoffe aus dem Gemenge. Verbrennungsprodukte einiger fossiler Brennstoffe.
Stickstoffoxide	Thermisches NO _x infolge hoher Schmelzofentemperaturen. Zersetzung von Stickstoffverbindungen im Gemenge. Oxidation von in Brennstoffen enthaltenem Stickstoff.
Schwefeloxide	Schwefel im Brennstoff. Zersetzung von Schwefelverbindungen aus dem Gemenge. Oxidation von Wasserstoffsulfid im Betrieb von Heißwindkupolöfen.
Chloride/HCl	Vorhanden als Verunreinigung in einigen Rohstoffen, insbesondere in synthetischem Natriumkarbonat. NaCl als Rohstoff für einige Spezialgläser.
Fluoride/HF	Vorhanden als geringfügige Verunreinigung in einigen Rohstoffen. Zugabe als Rohstoff in der Herstellung von Emaillefritte zur Erzielung bestimmter Eigenschaften im Produkt. Zugabe als Rohstoff in der Endlosglasfaserherstellung sowie bei einigen Glasarten zur Verbesserung des Schmelzvorgangs oder zur Erzielung bestimmter Eigenschaften im Glas, z.B. Opaleszenz. Wenn Fluoride dem Gemenge zugegeben werden (in der Regel als Flussspat) kann eine sehr starke unkontrollierte Freisetzung auftreten.
Schwermetalle (z.B. V, Ni, Cr, Se, Pb, Co, Sb, As, Cd)	Vorhanden als geringfügige Verunreinigungen in einigen Rohstoffen, Altglasscherben und Brennstoffen. Verwendung in Flussmitteln und Färbungsmitteln in der Frittenindustrie (vorwiegend Blei und Cadmium). Verwendung in einigen Spezialglasrezepturen (z.B. Bleikristall und einige Farbglasarten). Selen wird als Färbungsmittel (Bronzeglas) oder als Entfärbungsmittel in einigen Klarglasarten verwendet.
Kohlendioxid	Verbrennungsprodukt. Ausstoß nach der Zersetzung von Karbonaten im Gemenge (z.B. Soda-, Kalkstein).
Kohlenmonoxid	Produkt bei unvollständiger Verbrennung, insbesondere bei Heißwindkupolöfen.
Wasserstoffsulfid	Entsteht aus dem im Rohstoff oder Brennstoff enthaltenen Schwefel in Heißwindkupolöfen infolge der in Teilen des Ofens herrschenden Reduktionsbedingungen.

Zusammenfassung der im Schmelzbetrieb entstehenden Emissionen in die Luft

Die in nachgeschalteten Betriebsabläufen entstehenden Emissionen können in den verschiedenen Sparten sehr unterschiedlich sein und werden in den jeweiligen Abschnitten erörtert. Obwohl es Ähnlichkeiten in den in vielen Sparten angewandten Schmelztechniken gibt, sind die nachgeschalteten Betriebsabläufe eher spezifisch. Atmosphärische Emissionen können in folgenden Betriebsvorgängen entstehen: Aufbringung und/oder Trocknung von Beschichtungen, Sekundärverarbeitung (z.B. Schneiden, Polieren usw.) sowie einige Produktformgebungsvorgänge (z.B. Mineralwolle und Keramikfaser).

Emissionen in das Wasser sind im Allgemeinen verhältnismäßig gering, und es gibt wenige größere Probleme, die speziell in der Glasindustrie auftreten. In einigen Sparten finden allerdings bestimmte Betriebsvorgänge statt, die einer näheren Betrachtung bedürfen und in den Abschnitten zu den Sparten behandelt werden, und zwar insbesondere in den Bereichen Wirtschaftsglas, Spezialglas und Endlosglasfasern.

Ein spezifisches Merkmal der meisten Sparten besteht darin, dass der größte Teil der intern anfallenden Glasreststoffe zum Ofen zurückgeführt wird. Die Hauptausnahmen sind hierbei die Endlosfasersparte, die Keramikfasersparte sowie die Hersteller von sehr qualitätsempfindlichen Erzeugnissen in den Sparten Spezialglas und Wirtschaftsglas. In den Sparten Mineralwolle und

Fritten ist eine starke Schwankung der dem Schmelzprozess wieder zurückgeführten Reststoffmenge zu verzeichnen, d.h. von null bis zu 100 % bei einigen Steinwolleanlagen.

5) Bei der Festlegung der BVT zu berücksichtigende Techniken

In vielen Sparten der Glasindustrie werden große kontinuierlich betriebene Öfen mit einer Lebensdauer (Wannenreisezeit) von bis zu zwölf Jahren eingesetzt. Diese Öfen bedingen einen beträchtlichen Kapitaleaufwand, und der kontinuierliche Betrieb des Ofens sowie die periodische Erneuerung bilden einen natürlichen Investitionszyklus. Größere Veränderungen der Schmelztechnologie können am wirtschaftlichsten realisiert werden, wenn sie mit der Erneuerung des Ofens verknüpft werden. Dies kann gleichermaßen für komplexe sekundäre Maßnahmen der Emissionsminderung gelten. Viele Verbesserungen der Betriebsweise des Ofens einschließlich der Einführung von Sekundärverfahren können allerdings auch während des Betriebseinsatzes realisiert werden.

Die folgende Zusammenfassung beschreibt kurz die Hauptmethoden zur Minderung der Emissionen, die bei den Schmelzverfahren und einigen der nachgeschalteten Betriebsabläufe auftreten. Das Hauptaugenmerk liegt dabei auf Emissionen in die Luft, da diese im Allgemeinen bei der Glasherstellung am stärksten ins Gewicht fallen. In Kapitel 4 werden die einzelnen Techniken ausführlich beschrieben, ebenso die erreichten Emissionswerte, die Anwendbarkeit der Technik, die finanziellen Aspekte sowie andere damit im Zusammenhang stehende Gesichtspunkte.

Partikelförmige Emissionen (Staub)

Die Methoden zur Reduzierung von partikelförmigen Emissionen umfassen Sekundärmaßnahmen, d.h. im Allgemeinen elektrostatische Abscheider und Schlauchfilter, sowie Primärmaßnahmen.

Der elektrostatische Abscheider besteht aus einer Reihe von Hochspannungsentladeelektroden und entsprechenden Kollektorelektroden. Die Partikel laden sich auf und werden unter der Einwirkung des elektrischen Feldes aus dem Gasstrom abgeschieden. Elektrostatische Abscheider können sehr wirkungsvoll für die Erfassung von Staub in der Größenordnung von 0,1 µm bis 10 µm eingesetzt werden, und der Gesamtabscheidewirkungsgrad kann zwischen 95 und 99 % liegen. Die tatsächliche Leistung schwankt in der Hauptsache in Abhängigkeit von den Kenndaten des Abgases und der Konstruktion des Abscheiders. Grundsätzlich kann diese Technik bei allen neuen und bestehenden Anlagen in allen Sparten eingesetzt werden (mit Ausnahme von Steinwollekuppelöfen wegen der Explosionsgefahr). Bei bestehenden Anlagen kann von höheren Kosten ausgegangen werden, insbesondere bei begrenzt verfügbarem Platz.

In den meisten Einsatzfällen kann man von einem modernen und gut konstruierten zwei- oder dreistufigen elektrostatischen Abscheider einen Reingasstaubgehalt von 20 mg/m³ erwarten. Beim Einsatz von Hochleistungsvarianten oder bei Vorliegen günstiger Bedingungen sind häufig niedrigere Emissionswerte möglich. Die Kosten schwanken stark, was wesentlich von der erforderlichen Leistungsfähigkeit und dem Abgasanfall abhängig ist. Die Investitionskosten (einschließlich der Abscheidung saurer Abgasbestandteile) liegen in der Regel zwischen 0,5 und 2,75 Millionen Euro, wobei die Betriebskosten 0,03 bis 0,2 Millionen Euro pro Jahr betragen.

Schlauchfiltersysteme bestehen aus einer Gewebemembran, die gasdurchlässig ist, aber den Staub auffängt. Der Staub wird auf der Oberfläche und im Inneren des Gewebes abgelagert, und der Aufbau einer Oberflächenschicht führt zur Bildung des Hauptfiltermediums. Der Gasstrom kann entweder aus dem Innenraum des Schlauches nach außen oder von außen nach innen gerichtet sein. Gewebefilter sind sehr wirksam, wobei ein Abscheidewirkungsgrad von 95 bis 99 % erwartet werden kann. Die erreichbaren Reingasstaubgehalte liegen zwischen 0,1 mg/m³ und 5 mg/m³, wobei ständig unter 10 mg/m³ liegende Werte für die meisten Anwendungsfälle erwartet werden können. Die Erreichbarkeit derartig niedriger Werte kann in den Fällen von

Bedeutung sein, in denen wesentliche Mengen an Metallen in den Stäuben enthalten sind und niedrige Metallemissionen gewährleistet werden müssen.

Grundsätzlich sind Schlauchfilter für alle neuen und bestehenden Anlagen sämtlicher Sparten einsetzbar. Da sie unter bestimmten Umständen leicht verstopfen, gelten sie nicht durchweg als bevorzugte Variante. In den meisten Fällen gibt es technische Lösungen für diese Schwierigkeiten, wofür allerdings Kosten entstehen können. Die Investitions- und Betriebskosten sind etwa mit denen für elektrostatische Abscheider vergleichbar.

Primärtechniken zur Emissionsminderung werden in der Hauptsache durch Änderungen der Rohstoffe sowie der Öfen/Feuerungen erreicht. In den meisten Einsatzfällen erreichen die Primärmethoden keine mit den Schlauchfiltern und elektrostatischen Abscheidern vergleichbaren Emissionswerte.

Stickstoffoxide (NO_x)

Zu den geeignetsten Methoden zur Minderung von NO_x-Emissionen zählen im Allgemeinen die Primärmaßnahmen, die Sauerstoff-Brennstoff-Technologie, die chemische Reduktion durch Brennstoff, die selektive katalytische Reduktion und die selektive nichtkatalytische Reduktion.

Die Primärmaßnahmen können in zwei Hauptarten unterschieden werden, und zwar "konventionelle" Änderungen der Verbrennungsbedingungen und entsprechende spezielle Ofenausführungen oder optimierte Systemlösungen für die Auslegung des Verbrennungsvorgangs. Die Sauerstoffbeheizung ist ebenfalls eine Primärmaßnahme, die jedoch aufgrund ihres spezifischen Charakters getrennt behandelt wird. Konventionelle Änderungen des Verbrennungsvorgangs werden gewöhnlich durch folgende Maßnahmen realisiert: Verringerung des Luft-Brennstoff-Verhältnisses, geringere Vorwärmtemperatur, mehrstufige Verbrennung und NO_x-arme Brenner oder eine Kombination dieser Techniken. Die Investitionskosten sind im Allgemeinen relativ niedrig, und die Betriebskosten werden häufig durch den verminderten Brennstoffeinsatz und den verbesserten Verbrennungsprozess gesenkt. In diesem Bereich sind erhebliche Fortschritte zu verzeichnen, aber die erreichbare Verringerung der Emissionen hängt eindeutig von der Ausgangssituation ab. Verringerungen des NO_x-Ausstoßes von 40 bis 60 % sind nicht unüblich, und in manchen Fällen sind Emissionswerte von weniger als 650 bis 1100 mg/Nm³ erreicht worden.

Es wurden spezielle Ofenausführungen zur Verringerung der NO_x-Emissionen entwickelt, z.B. die LoNO_x-Schmelzwanne. Diese Ausführungen haben sehr gute Ergebnisse erzielt, aber es gibt gewisse Prozessbeschränkungen, die ihrer Anwendbarkeit Grenzen setzen. Der Prozess FENIX ist ein auf Primärmaßnahmen beruhendes Optimierungskonzept für den Verbrennungsvorgang, das auf einen spezifischen Ofen zugeschnitten wurde. Die Ergebnisse wurden mit 510 mg/Nm³ und etwa 1,1 kg/Tonne Schmelze angegeben, aber zum Zeitpunkt der Abfassung dieses Berichtes liegt nur eine geringe Anzahl von Beispielen vor.

Bei der Sauerstoff-Brennstoff-Beheizung wird anstelle der Verbrennungsluft Sauerstoff eingesetzt. Durch die weitgehende Eliminierung des Stickstoffs aus der Verbrennungsgasatmosphäre wird das Abgasvolumen um etwa zwei Drittel verringert. Damit sind Energieeinsparungen möglich, da eine Erwärmung des atmosphärischen Stickstoffs auf die Temperatur der Flammen nicht mehr erforderlich ist. Die Bildung von thermischem NO_x wird beträchtlich gesenkt, da nur der restliche Stickstoff im Sauerstoff/Brennstoff, der Stickstoff aus der Nitratersetzung (soweit im Gemenge vorhanden) und der Stickstoff aus Falschluff allein als Stickstoff in der Verbrennungsgasatmosphäre vorhanden ist.

Das Prinzip der Sauerstoff-Brennstoff-Beheizung ist ein bewährtes Verfahren und gilt grundsätzlich als branchenweit einsetzbar. Allerdings wird es von einigen Sparten (insbesondere Flachglas- und Wirtschaftsglasherstellung) als eine noch in der Entwicklung befindliche Technologie mit einem potentiell hohen finanziellen Risiko angesehen. Es werden Entwicklungsarbeiten in beträchtlichem Umfang durchgeführt, und diese Technik wird sich mit der steigenden Anzahl von Anlagen stärker etablieren.. Die Probleme im Umfeld dieser Technik

sind sehr vielschichtiger Natur und werden in Kapitel 4 näher erörtert. Die wirtschaftliche Konkurrenzfähigkeit der Technik hängt in starkem Maße von der Höhe der Energieeinsparungen (und der Kosten alternativer Methoden der Emissionsminderung) im Vergleich zu den Kosten des Sauerstoffes ab. Sowohl die technische als auch die wirtschaftliche Durchführbarkeit der Technik ist stark von standortspezifischen Aspekten abhängig.

Die chemische Reduktion durch Brennstoff bezieht sich auf die Techniken, in denen Brennstoff in den Abgasstrom eingespeist wird, um über eine Reihe von Reaktionen eine chemische Reduktion von NO_x zu N_2 zu erreichen. Der Brennstoff brennt nicht, sondern pyrolysiert zu Radikalen, die mit den Bestandteilen des Abgases reagieren. Die beiden für die Anwendung in der Glasindustrie entwickelten Haupttechniken sind der 3R-Prozess und der sogenannte Reburning- Prozess. Beide Verfahren sind gegenwärtig nur in Regenerativöfen anwendbar. Der 3R-Prozess ist ein ausgereiftes Verfahren zur Anwendung in der Glasindustrie, und der Reburning- Prozess wurde im großtechnischen Anlagenmaßstab erprobt und zeigte vielversprechende Ergebnisse. Mit dem 3R-Prozess können Emissionswerte von weniger als 500 mg/Nm^3 erreicht werden, jedoch verbunden mit einer Erhöhung des Brennstoffverbrauchs von 6 bis 10 %. Vom Reburning- Prozess werden nach seiner vollen Entwicklung vergleichbare Emissionswerte erwartet. Der erhöhte Energiebedarf für beide Techniken kann durch Energierückgewinnungsanlagen sowie durch eine Kombination der Techniken mit Primärmaßnahmen beträchtlich verringert werden.

Bei der selektiven katalytischen Reduktion kommt es zu einer Reaktion von NO_x mit Ammoniak in einem Katalysator (z.B. Wabenkatalysator) bei einer Temperatur von etwa 400°C . In den meisten Anwendungsfällen der Glasindustrie wird dazu eine dreistufige Anlage einschließlich Entstaubung und Abscheidung saurer Abgasbestandteile benötigt. Die Anlagen sind konstruktiv normalerweise für eine Reduktion von 75 bis 95 % ausgelegt, und im Normalfall können Emissionswerte unter 500 mg/Nm^3 erzielt werden. Die Kosten für die selektive katalytische Reduktion sind in hohem Maße vom Abgasvolumen und der angestrebten NO_x -Reduktion abhängig. In der Regel liegen die Investitionskosten (einschließlich des elektrostatischen Abscheiders und der trockenen oder quasitrockenen Abscheidung von sauren Abgasbestandteilen) im Bereich von 1 bis 4,5 Millionen Euro bei jährlichen Betriebskosten zwischen 0,075 und 0,5 Millionen Euro. Grundsätzlich kommt die selektive katalytische Reduktion für die meisten Prozesse in der Glasindustrie und sowohl für neue als auch bestehende Prozesse in Betracht. Es gibt jedoch einige Aspekte, durch die die Anwendbarkeit der Technik in einigen Fällen begrenzt werden kann. Zum Beispiel ist die Technik noch nicht bei Glasöfen mit Schwerölfeuerung sowie im Bereich der Glaswolle- oder Endlosglasfaserherstellung zum Einsatz gekommen.

Die selektive nichtkatalytische Reduktion beruht auf dem gleichen Verfahren wie die selektive katalytische Reaktion, wobei die Reaktionen jedoch bei einer höheren Temperatur (800 bis 1100°C) erfolgen und kein Katalysator erforderlich ist. Die selektive nichtkatalytische Reduktion erfordert keine Entstaubung oder Abscheidung saurer Abgasbestandteile. Im Allgemeinen sind Reduktionswirkungsgrade zwischen 30 und 70 % erreichbar, wobei der kritische Faktor in der Verfügbarkeit von ausreichend Ammoniak im richtigen Temperaturbereich besteht. Die Investitionskosten liegen im Bereich von 0,2 bis 1,35 Millionen Euro und die jährlichen Betriebskosten je nach Ofengröße bei 23 000 bis 225 000 Euro. Grundsätzlich ist die Technik in allen Glasprozessen und sowohl in neuen als auch in bestehenden Anlagen einsetzbar. Die wesentliche Voraussetzung für die Anwendbarkeit der selektiven nichtkatalytischen Reduktion besteht darin, dass das Reagenz an einer Stelle des Abgassystems zugeführt werden kann, an der die richtige Temperatur für eine ausreichende Reaktionszeit aufrechterhalten werden kann. Das ist in bestehenden Anlagen und für Regenerativöfen von besonderer Wichtigkeit.

Schwefeloxide (SO_x)

Die maßgeblichen Techniken für die Minderung von SO_x - Emissionen sind Brennstoffauswahl, Gemengerezeptur und Abgasreinigung mit vorgeschalteter Sorptionsstufe..

Bei ölbeheizten Schmelzöfen besteht die Hauptemissionsquelle für SO_x in der Oxidation von Schwefel im Brennstoff. Der aus dem Gemenge stammende Anteil an SO_x hängt von der Glasart ab, aber normalerweise ist in allen ölbeheizten Schmelzwannen die Menge der aus dem Brennstoff stammenden SO_x -Emissionen größer als die aus dem Gemenge. Als naheliegendste Methode zur Minderung der SO_x -Emissionen bietet sich die Reduzierung des Schwefelgehaltes des Brennstoffes an. Heizöl ist mit unterschiedlichen Schwefelgehalten erhältlich (<1 %, <2 %, <3 % und >3 %), und Erdgas ist im Wesentlichen schwefelfrei. Die Umstellung auf einen Brennstoff mit niedrigerem Schwefelgehalt führt mit Ausnahme des höheren Brennstoffpreises im Allgemeinen nicht zu einer Erhöhung der Kosten. Die Umstellung auf Gasfeuerung erfordert den Austausch der Brenner sowie eine Reihe weiterer Änderungen. Die Preise der verschiedenen Brennstoffe schwanken beträchtlich im Zeitverlauf und zwischen den Mitgliedsstaaten, aber in der Regel haben Brennstoffe mit einem geringeren Schwefelgehalt einen höheren Preis. Wie in Kapitel 5 erläutert wurde, sind die mit der Preisgestaltung und Verfügbarkeit der Brennstoffe zusammenhängenden finanziellen und politischen Fragen so gelagert, dass die Wahl des Brennstoffes nicht im Rahmen dieses Dokuments behandelt werden kann. Allerdings ist in Anlagen mit Erdgasfeuerung gewöhnlich ein geringerer Ausstoß an SO_x -Emissionen zu verzeichnen, und in ölgefeuerten Systemen gilt ein Schwefelwert von 1 % oder darunter als BVT. Die Verbrennung von Brennstoffen mit höheren Schwefelgehalten kann ebenfalls als BVT angesehen werden, wenn Gegenmaßnahmen zur Erreichung gleicher Emissionswerte vorgesehen werden.

In der konventionellen Glasherstellung stellen Sulfate aus dem Gemenge die Hauptquelle von SO_x -Emissionen dar. Sulfate sind die am meisten verbreiteten Läutermittel und ebenfalls wichtige Oxidationsmittel. In den meisten modernen Glasöfen sind die Gehalte an Sulfaten im Gemenge auf die erforderlichen Mindestwerte abgesenkt worden, wobei diese je nach Glasart unterschiedlich sind. Die mit der Verringerung der Sulfatgehalte im Gemenge zusammenhängenden Probleme werden in Abschnitt 4.4.1.1 und die mit der Rückführung des Staubes aus den Filtern/elektrostatischen Abscheidern in Verbindung stehenden Fragen in Abschnitt 4.4.3.3 erörtert.

Die wichtigste Quelle von SO_2 -Emissionen in der Steinwolleherstellung besteht (neben Koks) im Einsatz von Hochofenschlacke und bindemittelgebundenen Briketts in der Charge. Die Verfügbarkeit von Koks und Schlacke mit niedrigem Schwefelgehalt wird durch das sehr geringe Angebot innerhalb wirtschaftlich vertretbarer Entfernungen begrenzt. Im Normalfall ist es möglich, die Schlacke aus den meisten Chargen zu entfernen, mit Ausnahme der Herstellung von begrenzten Mengen von Weißfaser für bestimmte Anwendungsgebiete. Die Nutzung von bindemittelgebundenen Abfallbriketts führt zu einem Ausgleich zwischen der weitestgehenden Verminderung von Abfallstoffen und der Verringerung der SO_x -Emissionen, was häufig von spezifischen Prioritäten abhängig ist und im Zusammenhang mit dem Einsatz einer Abgasreinigung mit vorgeschalteter Sorptionsstufe betrachtet werden muss. Dieses Thema wird in Kapitel 4 und 5 des Hauptdokuments ausführlich erörtert.

Die Trockensorption und die Quasi-Trockensorption arbeitet nach dem gleichen Prinzip. Das reaktionsfähige Material (Absorptionsmittel) wird dem Abgasstrom zugeführt und in diesem dispergiert. Dieses Material reagiert mit den Schwefeloxiden zu einem Feststoff, der mit einem elektrostatischen Abscheider- oder Schlauchfiltersystem aus dem Abgasstrom entfernt werden muss. Die zur Bindung der Schwefeloxide gewählten Absorptionsmittel sind auch für die Minderung anderer saurer Gase geeignet. Bei der Trockensorption wird ein trockenes Pulver als Absorptionsmittel eingesetzt (gewöhnlich $\text{Ca}(\text{OH})_2$, NaHCO_3 , oder $\text{Na}_2(\text{CO}_3)$).

Bei dem Quasi-Trockensorptionsprozess wird das Absorptionsmittel (gewöhnlich Na_2CO_3 , CaO oder $\text{Ca}(\text{OH})_2$) als Suspension oder Lösung zugegeben, wobei durch die Verdampfung des Wassers eine Abkühlung des Abgasstromes erfolgt. Die mit den Techniken erzielten Verringerungen hängen von mehreren Faktoren ab. Dazu zählen die Abgastemperatur, die Menge und Art des zugegebenen Absorptionsmittels (bzw. genauer das molare Verhältnis zwischen Reaktionspartner und Schadstoffen) und die Dispersion des Absorptionsmittels. In

Abschnitt 4.4.3.3 werden die mit den verschiedenen Absorptionsmitteln und Verfahren erreichten Wirkungsgrade dargestellt.

Die vollständige Rückführung des Filterstaubes einschließlich der absorbierten Schwefelverbindungen gilt bei technischer Durchführbarkeit häufig aus der Sicht des Umweltschutzes und der Wirtschaftlichkeit als sinnvolle Variante. Die Gesamtreduzierung der SO_x-Emissionen wird (bei Beachtung von Aspekten der Massenbilanz) dadurch begrenzt, dass eine Verringerung von vornherein schon durch den Einsatz von Filterstaub anstelle des Sulfats in den Rohstoffen erfolgt. (Dabei handelt es sich natürlich um eine zusätzliche Maßnahme zu anderen geeigneten Primärmaßnahmen zur Reduzierung der Gesamtschwefelzufuhr.) Deshalb wird man zur Verringerung der sauren Abgaskomponenten die Realisierung eines externen Entsorgungsweges für einen Teil des anfallenden (Filterstaub) in Betracht ziehen müssen. Welche Maßnahme dem Umweltschutz insgesamt am besten dient, muss häufig standortspezifisch festgelegt werden und kann durchaus dazu führen, dass die sich möglicherweise widersprechenden Prioritäten der weitestgehenden Minderung von Abfallstoffen und der SO_x-Emissionen gegeneinander abgewogen werden müssen. In Anlagen, in denen dies der Fall ist, erfordert die Festlegung von BVT-gerechten Emissionswerten unbedingt eine Prozessschwefelbilanz.

Bei vollständiger Filterstaubrückführung liegen die gegenwärtig beobachteten SO_x-Emissionswerte im Allgemeinen im Bereich 200 bis 800 mg/Nm³ bei Erdgasbeheizung und 800 bis 1600 mg/Nm³ bei Einsatz von Heizöl mit einem Schwefelgehalt von 1 %. Die meisten der installierten SO_x- Sorptionsanlagen arbeiten nach dem Trockensorptions- Verfahren auf Kalkbasis bei einer Temperatur von etwa 400 °C, die der Abgastemperatur eines Regenerativofens mit hohem Wirkungsgrad entspricht. Bei diesen Temperaturen kann eine Verringerung der SO_x-Emissionen um etwa 50 % erreicht werden. Die Senkung der SO_x-Emissionen kann bei Temperaturen um 200 °C und bei Anwendung einer feuchten Atmosphäre weiter verbessert werden, aber dazu sind weitere Betrachtungen erforderlich.

Die SO_x- Abscheidung ist ein äußerst komplexes Gebiet, das innerhalb der technischen Arbeitsgruppe sehr intensiv erörtert wurde. Es ist daher unerlässlich, die in Kapitel 4 und 5 dargestellten Meinungen und Erklärungen im Ganzen zu betrachten.

Fluoride (HF) und Chloride (HCl)

HF- und HCl- Emissionen entstehen im Allgemeinen aus der Verflüchtigung der im Gemenge enthaltenen Fluoride und Chloride, die entweder als Verunreinigungen vorkommen oder absichtlich zur Erzeugung spezifischer Produkt- oder Verarbeitungseigenschaften des Glases zugegeben werden. Die Haupttechniken zur Verringerung dieser Emissionen sind die Änderung der Gemengerezeptur oder die Abgasreinigung. Wenn Halogenide als Verunreinigungen vorliegen, können Emissionen in der Regel durch die Auswahl der Rohstoffe gesenkt werden. Eine Abgasreinigung wird häufig dann eingesetzt, wenn die Rohstoffauswahl nicht ausreicht oder die Abgasreinigung zur Verringerung anderer Substanzen genutzt wird. *Werden Halogenide zur Erzeugung spezifischer Eigenschaften eingesetzt, gibt es zwei Hauptlösungswege, d.h. die Abgasreinigung oder die Änderung der Gemengerezeptur, um die gleichen Eigenschaften durch andere Maßnahmen zu erreichen.* Besonders erfolgreich erwies sich die Rezepturänderung bei der Herstellung der Endlosglasfaser.

(Anmerkung zum Text: Der kursiv gesetzte Satz entspricht dem englischen Text. Er ist aber inhaltlich überflüssig, da die gleiche Aussage bereits im vorangegangenen Text enthalten ist.)

Emissionen aus Betriebsvorgängen außerhalb des Schmelzofens

Die Emissionen aus nachgeschalteten Verarbeitungsvorgängen sind je nach Sparte unterschiedlich und werden im Abschnitt 4.5 des Hauptdokuments näher beschrieben. Mit Ausnahme der Mineralwolleherstellung sind die Emissionen in diesen Bereichen im Normalfall geringer als die der Schmelzprozesse. Die Methoden der Verringerung beruhen im Allgemeinen

auf den Prinzipien der herkömmlichen Staubabscheidung und Nasswäsche mit einem Anteil an thermischer Oxidation.

In Mineralwolleprozessen kann es zu beträchtlichen Emissionen durch die Aufbringung und Aushärtung von Bindemittelsystemen auf der Basis organischer Harze kommen. Die Techniken zur Verhinderung dieser Emissionen werden in Abschnitt 4.5.6 des Hauptdokuments ausführlich erörtert.

Emissionen in das Wasser

Normalerweise sind die Emissionen in Gewässer relativ gering, und es gibt kaum größere Probleme, die speziell in der Glasindustrie auftreten. Wasser wird in der Hauptsache für die Reinigung und Kühlung eingesetzt und kann problemlos zurückgeführt oder mit Standardtechniken behandelt werden. Spezifische Probleme der organischen Verschmutzung können sich aus den Prozessen zur Mineralwolle- und Endlosglasfaserherstellung ergeben. Probleme mit Schwermetallen (insbesondere Blei) können im Zusammenhang mit Spezialglas-, Fritten- und Wirtschaftsglasprozessen entstehen. In der folgenden Tabelle werden die wichtigsten möglichen Techniken zur Minderung von Emissionen in das Wasser genannt.

<u>Physikalische/chemische Behandlung</u>	
<ul style="list-style-type: none">• Sieben• Abschöpfen (Skimmen)• Ausfällen• Zentrifugieren• Filtration	<ul style="list-style-type: none">• Neutralisation• Belüftung• Abscheidung• Koagulation und Flockung
<u>Biologische Behandlung</u>	
<ul style="list-style-type: none">• Belebtschlamm• Biofiltration	

Liste möglicher Abwasserbehandlungstechniken zur Anwendung in der Glasindustrie

Feste Abfälle/Reststoffe

Ein charakteristisches Merkmal der Glasindustrie besteht darin, dass in den meisten Betriebsvorgängen/Prozessen keine wesentlichen, beziehungsweise nur geringe Mengen an festen Abfällen anfallen. Die meisten Prozesse verlaufen ohne wesentliche Nebenproduktströme. Die wichtigsten Prozessrückstände sind ungenutzte Rohstoffe, nicht verarbeitete Glasreste aus der Produktion und sonstige Abfälle/Reststoffe. Zu den sonstigen festen Abfällen/Reststoffen gehören Altfeuerfestmaterial und der in Reinigungsanlagen oder Abzugskanälen erfasste Staub.

Mit Ausnahme von faserförmigen Abfällen werden im Allgemeinen Reststoffe sofort in den Prozess zurückgeführt. Techniken zur Rückführung auch anderer Reststoffe sind in der Entwicklung. Der Anteil der Reststoffrückführung nimmt mit dem Maß der finanziellen Anreize zu, insbesondere durch höhere Entsorgungskosten. Die in der Glasindustrie anfallenden Prozessrückstände und die zu deren Verhinderung eingesetzten Techniken werden in Abschnitt 4.7 des Hauptdokuments erörtert.

(Anmerkung zur Übersetzung: Der originale englische Text ist mit Rücksicht auf die in Deutschland per Abfallgesetz gebräuchliche Terminologie kaum verständlich zu übersetzen. Der Begriff „Abfall“ wird nur dann gebraucht, wenn ein Reststoff aus der Produktion oder z.B. Filterstaub außerhalb der Produktionsstätte entsorgt oder einer Verwertung zugeführt wird. Stoffe die innerbetrieblich in den Prozess zurückgeführt werden, sind keine Abfälle im Sinne des Abfallgesetzes. Die Ergänzung des Wortes „Reststoff“ ist daher notwendig. Ferner ist der Begriff Non-fibrous waste „Nichtfaserige Abfälle“ irreführend wenn er an den Satzanfang

gestellt wird. Man könnte annehmen in den vorangegangenen Sätzen sei von faserförmigen Abfällen gesprochen worden.)

Energie

Die Glasherstellung ist ein sehr energieintensiver Prozess. Deshalb sind Auswahl der Energiequelle, Heiztechnik und Methode der Wärmerückgewinnung ausschlaggebend für die Konstruktion des Ofens und die wirtschaftliche Leistungsfähigkeit des Prozesses. Die dafür gewählten Varianten gehören auch zu den wichtigsten Faktoren, die sich auf die Umweltverträglichkeit und den energetischen Wirkungsgrad des Schmelzprozesses auswirken. In der Regel macht der für das Einschmelzen des Glases benötigte Energieanteil mehr als 75 % des Gesamtenergiebedarfs der Glasherstellung aus. Die Energiekosten für den Schmelzvorgang bilden einen der größten Posten innerhalb der Betriebskosten von Glasproduktionsanlagen. Dabei besteht ein wesentlicher Anreiz für den Betreiber, den Energieverbrauch zu senken. Die Haupttechniken für die Verringerung des Energieeinsatzes werden im Folgenden aufgeführt und im Hauptdokument ausführlich erörtert:

- Schmelztechnik und Ofenkonstruktion (z.B. Regeneratoren, Rekuperatoren, Elektroschmelzen, Sauerstoff-Brennstoff-Beheizung und Elektrozusatzheizung)
- Verbrennungsregelung und Brennstoffauswahl (z.B. NO_x-arme Brenner, stöchiometrische Verbrennung, Öl-/Gasfeuerung)
- Einsatz von Scherben
- Abhitzekeessel
- Scherben-/Gemenge-vorwärmung

6) Zusammenfassung der BVT-Schlussfolgerungen

Kapitel 5 enthält die Schlussfolgerungen zu den besten verfügbaren Techniken für die Realisierung der integrierten Vermeidung und Minderung von Umweltverschmutzung in der Glasindustrie. Das Kapitel umfasst eine Einführung, einen allgemeinen Abschnitt und danach Schlussfolgerungen zu den einzelnen Sparten. Der Zweck besteht darin, die "allgemeine BVT" in Kapitel 5 zur Bewertung der aktuellen Ausführung einer bestehenden Anlage bzw. zur Bewertung einer geplanten neuen Anlage zu nutzen und dadurch die Ermittlung der zweckmäßigsten "BVT"-gerechten Bedingungen für diese Anlage zu unterstützen. Die genannten Zahlen sind **keine** Emissionsgrenzwerte und sollten nicht als solche verstanden werden. Die zugehörigen Emissionsgrenzwerte für jeden spezifischen Fall werden unter Beachtung der IPPC-Richtlinie und der am Standort geltenden Aspekte ermittelt werden müssen.

Kapitel 5 wurde nach langer Erörterung und mehrfacher Überarbeitung in der Technischen Arbeitsgruppe abgefasst. Die Zusammenhänge und die Differenziertheit der Schlussfolgerungen sind von großer Wichtigkeit, und es ist schwierig, eine zusammenfassende Darstellung des Kapitels zu geben und dabei dieser Problematik und dem Arbeits- und Diskussionsaufwand, wie er zur Erreichung des gegenwärtigen Standes erforderlich war, voll gerecht zu werden. Diese Zusammenfassung beschreibt die hauptsächlichen Schlussfolgerungen des Kapitels 5, aber zum vollen Verständnis ist es unerlässlich, das gesamte Dokument und insbesondere den vollständigen Text des Kapitels 5 heranzuziehen.

Die Zusammenfassung behandelt einige den gesamten Industriezweig betreffende Fragen und gibt dann einen Überblick über die wichtigsten allgemeinen Schlussfolgerungen, wobei in der Hauptsache von einem stoffbezogenen Ansatz ausgegangen wird. Eine bedeutende Schlussfolgerung aus dieser Tätigkeit bestand darin, dass es häufig aufgrund der Vielfältigkeit der Glasindustrie gar nicht zweckmäßig ist, bestimmte Techniken festzulegen. Der in Kapitel 5 gewählte allgemeine Ansatz besteht darin, Kennziffern festzulegen, die ein Beispiel für beste verfügbare Techniken sind, aber gleichzeitig einzuräumen, dass die beste Methode zur Erreichung dieser Kennziffern von Prozess zu Prozess unterschiedlich sein kann.

Allgemeines

Ein wesentliches Merkmal vieler Anlagen in der Glasindustrie besteht in der periodischen Erneuerung der Öfen, wobei der Reparaturumfang allerdings schwanken kann. Es kann technisch und ökonomisch von Vorteil sein, die Realisierung bestimmter Techniken mit dem Zeitpunkt einer Erneuerung zu koordinieren, aber das muss nicht in jedem Fall zutreffen. Der Erneuerungszyklus bedeutet auch, dass das Alter eines Ofens bei der Festlegung des Vorgehens im Hinblick auf die Gesamt-BVT eine Rolle spielt.

Die Referenzbedingungen für das Kapitel 5 sind wie folgt:

- Für die Verbrennungsgase: trocken, Temperatur 0 °C (273K), Druck 101,3 kPa, 8 Vol.-% Sauerstoff (Schmelzöfen mit kontinuierlicher Beschickung), 13 Vol.-% Sauerstoff (Schmelzöfen mit diskontinuierlicher Beschickung). Für Anlagen mit Sauerstoff-Brennstoff-Beheizung ist die Darstellung der auf 8 % Sauerstoff korrigierten Emissionen nur von geringem Wert, und die Emissionen derartiger Anlagen sollten massebezogen ausgedrückt werden.
- Für andere Gase (einschließlich Emissionen aus Härte- und Trockenöfen ohne Abgasverbrennung): Temperatur 0 °C (273 K), Druck 101,3 kPa ohne Korrektur für Sauerstoff- oder Wasserdampfkonzentration.

Im Hauptdokument werden die mit der BVT realisierten Emissionswerte als Bereiche sowohl für die Emissionskonzentration (mg/m^3) als auch für die massenbezogenen Emissionen (kg/Tonne geschmolzenes Glas) dargestellt, um so einen Vergleich zwischen den Ofentechniken zu ermöglichen und einen Gradmesser für die relative Umweltverträglichkeit zu erhalten. Für Öfen, die mit fossilem Brennstoff beheizt werden, hängt das Verhältnis zwischen Masse und Konzentration in der Hauptsache von dem spezifischen Energieverbrauch für den Schmelzprozess ab, wobei dieser allerdings in Abhängigkeit von einer breiten Palette von Faktoren einschließlich Schmelztechnik, Ofengröße und Glasart beträchtlichen Schwankungen unterliegt. Für einen derartig breit gefächerten Industriezweig ist es sehr schwierig, Konzentrationen und massenbezogene Emissionswerte direkt miteinander in Beziehung zu bringen, ohne so breite Bereiche zu schaffen, dass der Wert numerischer Schlussfolgerungen geschmälert wird. Deshalb besteht der gewählte Ansatz hier darin, Konzentrationswerte als Grundlage der BVT anzugeben und geeignete Umrechnungsfaktoren auf der Grundlage von Öfen mit hohem energetischen Wirkungsgrad für die Ermittlung von massebezogenen Emissionswerten zu nutzen, die diesen Konzentrationswerten "im Allgemeinen gleichzusetzen sind".

Für die Zwecke dieser Zusammenfassung werden die mit der BVT realisierten Emissionswerte nur als Konzentration angegeben. Eine Ausnahme hierzu bildet die Erörterung von Techniken wie z.B. die Sauerstoffbeheizung, bei denen die massenbezogenen Emissionen die sinnvollste Beschreibung des Leistungsniveaus darstellt. Für die Masse pro Tonne geschmolzenen Glases wird auf die Darstellung der Umrechnungsfaktoren in Abschnitt 5.2 und auf die den einzelnen Sparten gewidmeten Abschnitte in Kapitel 5 verwiesen.

Partikelförmige Emissionen/Staub

Die Schlussfolgerung zu den Staubemissionen war für alle Sparten weitgehend vergleichbar und wird im folgenden Absatz zusammenfassend behandelt. Es gibt zwei geringfügige Ausnahmen zu dieser Schlussfolgerung. Für die Keramikfaserherstellung wurde der mit der BVT erreichte Emissionswert aufgrund des Charakters des Feinstaubes mit weniger als $10 \text{ mg}/\text{Nm}^3$ angegeben. Für Fritteprozesse lautete die allgemeine Schlussfolgerung wie nachstehend angegeben, doch wurde eingeräumt, dass bei einigen Anlagen zur Erreichung dieser Werte noch ein gewisser Entwicklungsaufwand erforderlich ist.

Als BVT zur Senkung der Staubemissionen aus Öfen in der Glasindustrie gilt im allgemeinen der Einsatz entweder eines elektrostatischen Abscheiders- oder eines filternden Abscheiders, soweit erforderlich in Verbindung mit dem Betrieb einer trockenen- oder halbtrockenen Sorptionsanlage zur Abscheidung saurer Abgasbestandteile. Der mit diesen Techniken erzielte BVT-Emissionswert beträgt 5 bis 30 mg/Nm³, was im Normalfall mit weniger als 0,1 kg/Tonne geschmolzenen Glases gleichzusetzen ist. Für Schlauchfilteranlagen sind im Allgemeinen Werte im unteren Teil des angegebenen Bereiches zu erwarten. Diese Zahlen beruhen auf einer typischen Zeit für die Durchschnittsermittlung von nicht unter 30 Minuten (Halbstunden-Mittelwert) und nicht über 24 Stunden (Tagesmittelwert). In einigen Fällen kann die Anwendung von BVT für Metallemissionen zu geringeren Emissionswerten für Staub führen.

Zu der Frage, ob die Umweltvorteile von Sekundärmaßnahmen zur Staubminderung in jedem Falle die höheren Kosten rechtfertigen, gab es auch einige abweichende Meinungen in der Technischen Arbeitsgruppe. Die allgemeine Schlussfolgerung lautete allerdings, dass eine sekundäre Staubminderung für die meisten Glasöfen alles in allem der BVT entspricht, es sei denn, dass vergleichbare Emissionen mit Primärmaßnahmen erzielt werden können. Das Für und Wider von Primär- und Sekundärmaßnahmen wird ausführlich in Abschnitt 4.4.1.7 und 5.2.2 erörtert.

Stickstoffoxide

Dieser Stoff erwies sich für die Festlegung verbindlicher BVT-Schlussfolgerungen als einer der schwierigsten. Insbesondere ist es schwierig, allgemeine Emissionswerte anzugeben, die für mehr als eine Sparte gelten. Es ist daher wichtig, die in diesem Abschnitt genannten Zahlen nur als orientierende Zusammenfassung der in Kapitel 5 dargestellten Schlussfolgerungen zu betrachten. Die Erwägung von Bedingungen für die Zulassung einer BVT auf der Grundlage der in dieser Zusammenfassung gegebenen Informationen ohne Berücksichtigung des Hauptdokuments hieße, die Zahlen völlig aus dem Zusammenhang zu reißen. Im Ergebnis dessen könnte es dazu kommen, dass unnötig strenge oder lockere Maßstäbe für einen Vergleich angelegt würden.

Für Stickstoffoxide ist die Auswahl von BVT-gerechten Techniken sehr stark von standortspezifischen Aspekten abhängig, insbesondere der eingesetzten Schmelztechnik und dem Alter des Ofens. Bestimmte Techniken können in verschiedenen Anwendungsgebieten zu unterschiedlichen Ergebnissen führen und je nach den standortspezifischen Gegebenheiten unterschiedliche Kosten verursachen.

Für Behälterglas, Flachglas, Spezialglas (einschließlich Wasserglas), Mineralwolle und Fritten wird davon ausgegangen, dass die Stickstoffoxid- Emissionswerte (als NO₂) der im Allgemeinen als BVT geltenden Techniken im Bereich 500 bis 700 mg/Nm³ liegen. Obwohl der Emissionswert von BVT normalerweise der gleiche ist, sind die zur Erreichung dieser Werte anwendbaren Techniken, die damit zusammenhängenden Kosten und die verhältnismäßige Schwierigkeit ihrer Anwendung von Sparte zu Sparte unterschiedlich.

Es gibt verschiedene Situationen, in denen weitere Überlegungen erforderlich sind und für die die oben genannten Emissionswerte nicht zutreffen müssen, z.B. wenn Nitrate benötigt und bestimmte zurückgeführte Materialien eingesetzt werden oder der Ofen sich dem Ende seiner vorgesehenen Betriebszeit nähert. Diese Gesichtspunkte sind sehr wichtig und werden in den Abschnitten zu den einzelnen Sparten in Kapitel 5 erörtert.

Zum Zeitpunkt der Abfassung dieses Überblicks befindet sich die Endlosfasersparte bei der Senkung der NO_x-Emissionen in einer Umbruchphase, was die Formulierung verbindlicher Schlussfolgerungen zur BVT erschwert. Die vielversprechendste Technik scheint der Sauerstoff-Brennstoff-Schmelzprozess zu sein, obwohl einige gute Ergebnisse mit Primärmaßnahmen erreicht wurden und keine unüberwindlichen technischen Hindernisse für die Anwendung der selektiven nichtkatalytischen Reduktion bestehen. Im Allgemeinen gilt der Sauerstoff-Brennstoff-Schmelzprozess in dieser Sparte als BVT für Stickstoffoxide (als NO₂),

und der mit der BVT realisierte Emissionswert wird mit 0,5 bis 1,5 kg/Tonne geschmolzenen Glases angegeben. Diese Angabe stellt keine verbindliche Schlussfolgerung dar, eher einen fundierten Schätzwert auf der Grundlage der derzeit verfügbaren Informationen. Es wird eingeräumt, dass diese Technik noch ein finanzielles Risiko birgt. Allerdings wird erwartet, dass die Technik mittelfristig eine stärkere Anwendung als BVT finden wird. Sind andere Techniken praktikabel, wird ein vergleichbarer BVT-Emissionswert für Öfen mit Luft-Brennstoff-Beheizung im Bereich von 500 bis 700 mg/Nm³ angegeben.

Ebenso schwierig ist es, verbindliche Schlussfolgerungen für NO_x-Werte in der Sparte Wirtschaftsglas zu formulieren. Hier gibt es einige spezifische Probleme, die sich auf die Möglichkeiten der NO_x-Reduzierung auswirken. Einige dieser Probleme können durch einen Vergleich mit Behälterglas, d.h. potentiell größeren Qualitätsbeschränkungen, niedrigeren Produktionsmengen, kleinerer durchschnittlicher Ofengröße, Beschränkungen im Scherbeneinsatz, höheren Temperaturen und längerer Verweilzeit, verdeutlicht werden. Alle diese Faktoren führen zu einem höheren spezifischen Energieverbrauch und erhöhen das Potential für NO_x-Bildung. In den Bereichen, in denen das Schmelzen mit elektrischer Energie (entweder 100 % oder überwiegend elektrisch) wirtschaftlich tragbar ist. Insbesondere in der Bleikristall-, Kristallglas- und Opalglasherstellung gilt diese Technik als BVT. In diesem Falle läge der mit der BVT erreichte Emissionswert normalerweise im Bereich 0,2 bis 1,0 kg/Tonne geschmolzenes Glas.

Bei Prozessen, bei denen das Schmelzen mit elektrischer Energie wirtschaftlich nicht vertretbar ist, besteht die Möglichkeit der Anwendung einer Reihe anderer Techniken. Die Sparte Wirtschaftsglas nutzt eine breite Palette von Ofentypen, und die geeignetste Technik ist im Regelfall anlagenspezifisch. Sollte die erforderliche Zeit für die Entwicklung und Realisierung der Techniken zur Verfügung stehen, wird angestrebt, den mit der BVT realisierten Emissionswert für Stickstoffoxide (als NO₂) in einem Bereich von 500 bis 700 mg/Nm³ (bzw. bei der Sauerstoff-Brennstoff-Beheizung in einem Bereich von 0,5 bis 1,5 kg/Tonne geschmolzenes Glas) zu begrenzen. Die Grundlage hierfür bilden die Nutzung (bzw. die Kombination) von Primärmaßnahmen (Änderungen des Verbrennungsprozesses), der Sauerstoff-Brennstoff-Beheizung, der selektiven nichtkatalytischen Reduktion, der selektiven katalytischen Reduktion oder des 3R- bzw. Reburning- Prozesses (nur Regenerativöfen).

Steinwollekupolöfen sind gewöhnlich keine Quelle wesentlicher NO_x-Emissionen, wobei Emissionen unter 0,5 kg/Tonne Schmelze ohne spezifische Reduktionsmaßnahmen erreicht werden können. In Bereichen, in denen Wannenöfen eingesetzt werden, wird der mit der BVT realisierte Emissionswert dem der Glaswolleherstellung gleichgesetzt. Keramikfasern werden ausschließlich mit Elektroöfen hergestellt, und der NO_x-Ausstoß liegt in der Regel deutlich unter 0,5 kg/Tonne Schmelze.

Schwefeloxide

Die Bestimmung der mit der BVT realisierten Emissionswerte für die jeweilige Sparte ist ein komplexes Thema mit vielen sich gegenseitig bedingenden und in einigen Fällen auch widersprechenden Aspekten. Diese Probleme werden in Kapitel 5 und 4 ausführlich erörtert, wobei die hier gegebenen Informationen nur eine orientierende Zusammenfassung darstellen sollen.

Ein wesentlicher Einflussfaktor ist in der Auswahl des Brennstoffes und dessen Schwefelgehalt zu sehen. Daher werden die für Öl- und Gasfeuerung geltenden Bedingungen getrennt behandelt. Weiterhin erfordern bestimmte Rezepturen, insbesondere Kalknatronglas, den Einsatz von Sulfaten im Gemenge. Natürlich kommt es bei derartigen Rezepturen zu höheren SO₂-Emissionen.

Es ist vorgesehen, die BVT für Staubemissionen in den meisten Einsatzgebieten mit einer Entstaubungseinrichtung auszustatten, die in vielen Fällen eine Einrichtung zur Abscheidung saurer Abgasbestandteile umfasst. Das wird bereits in den in Kapitel 5 angegebenen, mit der

BVT erzielten Emissionswerten berücksichtigt. Der anfallende sulfathaltige Reststoff kann im Allgemeinen dem Gemenge zurückgeführt werden, um die Entstehung fester Abfälle zu verhindern. Die Aufnahmefähigkeit des Glases für den Schwefel ist jedoch begrenzt, und das System kann schnell einen Gleichgewichtszustand erreichen, wobei eine beträchtliche Menge des zurückgeführten Schwefels erneut emittiert wird. Daher kann es bei vollständiger Rückführung des Staubes dazu kommen, dass der Entschwefelungsnutzen der Entschwefelungsanlage durch die eingeschränkte Aufnahmefähigkeit des Glases für den Schwefel begrenzt ist.

Um eine weitere Reduzierung der SO₂-Emissionen zu erreichen, wird man eine externe Entsorgungsmöglichkeit oder bei Durchführbarkeit eine Verringerung der Schwefelgehalte des Brennstoffs in Betracht ziehen müssen. Die wirtschaftlich tragbaren Varianten einer Verwertung des Stoffes außerhalb der Anlage sind äußerst begrenzt, wodurch feste Abfallprodukte anfallen, für die als Entsorgungsmöglichkeit am ehesten eine Ablagerung auf einer Deponie in Betracht kommt. Geht man von einer integrierten Umweltlösung aus, müssen die relativen Prioritäten der Minderung der SO₂-Emissionen und die mögliche Entstehung fester Abfälle bedacht werden. Die am besten geeignete Lösung kann von Prozess zu Prozess unterschiedlich sein, und aus diesem Grunde werden die Emissionswerte in zweierlei Hinsicht dargestellt, und zwar je nach dem, ob die SO₂-Minderung oder die Abfallminderung den Vorrang hat. In der Praxis gibt es viele Fälle, in denen der niedrigere Emissionswert beim Einsatz einer vollständigen Staubrückführung erreicht wird.

In der nachstehenden Tabelle werden die mit der BVT realisierten Emissionswerte für die einzelnen Sparten und für verschiedene Betriebsarten dargestellt. Es handelt sich hier wiederum nur um eine orientierende Zusammenfassung. Zur näheren Betrachtung der damit zusammenhängenden komplexen Aspekte wird auf Kapitel 5 verwiesen.

Sparte	BVT- Emissionswerte (mgSO ₂ /m ³)		Bemerkungen
	Gasfeuerung	Ölfeuerung	
Behälterglas mit vorrangiger SO ₂ -Minderung	200 - 500	500 - 1200	
Behälterglas mit vorrangiger Abfallminderung	< 800	< 1500	Wenn die Massenbilanz die Erreichung der oben genannten Werte nicht zulässt.
Flachglas mit vorrangiger SO ₂ -Minderung	200 - 500	500 - 1200	
Flachglas mit vorrangiger Abfallminderung	< 800	< 1500	Wenn die Massenbilanz die Erreichung der oben genannten Werte nicht zulässt.
Endlosglasfaser	< 200	500 - 1000	Wenn das Gemenge Sulfatenthält, kann der Wert bei Gasbeheizung bis zu 800 betragen. Bei Ölfeuerung bezieht sich die Obergrenze des Bereiches auf eine Staubrückführung.
Wirtschaftsglas	200 - 500	500 - 1300	Bei niedrigem Sulfatgehalt im Gemenge beträgt der Wert bei Gasbeheizung <200. Die Werte im oberen Teil des Bereiches beziehen sich auf Filterstaubrückführung.
Spezialglas einschließlich Wasserglas	200 - 500	500 - 1200	Die Werte im oberen Teil des Bereiches beziehen sich auf Filterstaubrückführung
Glaswolle	allgemein <50	300 - 1000	Im Allgemeinen für Glas mit niedrigem Sulfatgehalt

Steinwolle (Koksfeuerung) mit vorrangiger Abfallminderung und -rückführung	(a) < 600 (b) < 1100 (c) < 1400	(a) Steincharge (b) 45 % bindemittelgebundene Briketts (c) bindemittelgebundene Briketts einschl. Filterstaub
Steinwolle (Koksfeuerung) mit vorrangiger SO ₂ - Minderung	(a) < 200 (b) < 350 (c) < 420	(a) Steincharge (b) 45 % bindemittelgebundene Briketts (c) bindemittelgebundene Briketts einschl. Filterstaub
Keramikfaser (Elektroschmelzverfahren)	< 0.5 kg/Tonne Schmelze	Nur Elektroöfen, Konzentration ist fallspezifisch
Fritten	< 200	500 - 1000 Ölbeheizung ist selten

Orientierende Zusammenfassung der mit der BVT verbundenen Schwefeloxid- Emissionswerte (als SO₂)

Andere im Schmelzprozess anfallende Emissionen

Zu allen Abschnitten in Kapitel 5, die den einzelnen Sparten gewidmet sind, gehört jeweils ein Absatz, in dem die außer Staub, NO_x und SO_x in den Schmelzprozessen anfallenden Emissionen beschrieben werden. Die wichtigsten dieser "sonstigen Emissionen" sind in der Regel Chloride (als HCl), Fluoride (als HF) sowie Metalle und deren Verbindungen. Bestimmte Metalle werden in Gruppen zusammengefasst und entweder als Gruppe 1 oder Gruppe 2 bezeichnet. Metalle, die nicht in diese Gruppen eingeordnet werden können, werden entweder aufgrund ihrer höheren Toxizität als Einzelstoff beschrieben oder einfach in der Kategorie Staub geführt, da ihr niedriger Toxizitätsgrad eine spezifische Betrachtung nicht rechtfertigt. Die beiden Gruppen werden in der nachfolgenden Tabelle dargestellt.

Metalle und deren Verbindungen der Gruppe 1	Metalle und deren Verbindungen der Gruppe 2
Arsen	Antimon
Kobalt	Blei
Nickel	Chrom III
Selen	Kupfer
Chrom VI	Mangan
	Vanadium
	Zinn

Klassifizierung von Metallen und deren Verbindungen

Die BVT-Schlussfolgerungen für die meisten Sparten in Bezug auf diese Stoffe waren im Allgemeinen gleichwertig. Als BVT zur Verhinderung dieser Emissionen gilt die Rohstoffauswahl zur weitestgehenden Verminderung der Emissionen in Verbindung mit einer Anlage zur Abscheidung saurer Abgasbestandteile sofern dies durchführbar ist. Eine Anlage zur Abscheidung saurer Abgasbestandteile ist nicht in jedem Falle erforderlich, um die Anlagen zur Emissionsminderung zu schützen oder die für SO_x angegebenen Werte zu erreichen. Wo dies aber der Fall ist, gilt eine Anlage zur Abscheidung saurer Abgasbestandteile als BVT, wenn die unten aufgeführten Werte nicht durch Primärmaßnahmen gewährleistet werden können. Die mit der BVT realisierten Emissionswerte für die nachstehend bezeichneten Schadstoffe werden wie folgt angegeben:

- Chloride (als HCl) <30 mg/m³
- Fluoride (als HF) <5 mg/m³
- Metalle (Gas + feste Phase) (Gruppe 1 + Gruppe 2) <5 mg/m³
- Metalle (Gas + feste Phase) (Gruppe 1) <1 mg/m³

In der Sparte Fritten und Spezialglas treten einige Fälle auf, in denen es zu Cadmium- und Thalliumemissionen kommen kann. Der mit der BVT erreichte Emissionswert für diese Metalle und deren Verbindungen beträgt $<0,2 \text{ mg/Nm}^3$. Für die Herstellung von Endlosglasfasern beträgt der mit der BVT realisierte Fluoridemissionswert 5 bis 15 mg/m^3 . Die untere Grenze dieses Bereiches gilt für Zusammensetzungen ohne Fluoridzusatz und die obere Grenze für Zusammensetzungen mit Fluoridzusatz.

In der Sparte Steinwolle werden die mit der BVT realisierten Emissionswerte auch für Kohlenmonoxid und Schwefelwasserstoff angegeben, und zwar $<200 \text{ mg/m}^3$ bzw. $<5 \text{ mg/m}^3$.

Nachgeschaltete Prozesse

Die nachgeschalteten Prozesse unterliegen je nach der Sparte und den eingesetzten Anlagen einer starken Schwankungsbreite, und es wird daher auf die jeweiligen Abschnitte in Kapitel 5 verwiesen. Mit Ausnahme der Mineralwolleherstellung werden jedoch im Folgenden einige orientierende, mit der BVT erreichte Emissionswerte angegeben. Nicht alle der genannten Stoffe kommen dabei in allen Anlagen oder Sparten vor. Bestimmte Stoffe werden in einigen der Abschnitte angesprochen und hier nicht genannt, da diese hier nur für eine Sparte gelten. Trotz dieser Probleme bestehen bestimmte Gemeinsamkeiten in bezug auf die Art der einsetzbaren Techniken, wenn Sekundärmaßnahmen zur Emissionsminderung als zweckmäßig angesehen werden.

- Chloride (als HCl) $<30 \text{ mg/Nm}^3$
- Fluoride (als HF) $<5 \text{ mg/Nm}^3$
- Partikelförmige Stoffe $<20 \text{ mg/Nm}^3$
- Metalle (Gas + feste Phase) (Gruppe 1 + Gruppe 2) $<5 \text{ mg/Nm}^3$
- Metalle (Gas + feste Phase) (Gruppe 1) $<1 \text{ mg/Nm}^3$

Emissionen in das Wasser

In der Glasindustrie treten normalerweise Emissionen in das Wasser als Folge von Betriebsvorgängen nur in geringem Maße auf und sind nicht typisch für diesen Industriezweig. In einigen Abläufen kann es jedoch zum Anfall größerer Emissionen in das Wasser kommen. Die nachstehend aufgeführten Emissionswerte gelten in der Regel als Werte, die dem Gewässerschutz gerecht werden, und weisen auf die Emissionswerte hin, die mit den allgemein als BVT geltenden Techniken erreicht würden. Sie entsprechen nicht unbedingt den gegenwärtig in diesem Industriezweig erreichten Werten, sondern beruhen auf dem fachmännischen Urteil der Technischen Arbeitsgruppe.

- Abfiltrierbare Stoffe $<30 \text{ mg/l}$
- Chemischer Sauerstoffbedarf -CSB- (Anmerkung 1) 100 - 130 mg/l
- Ammoniak (nach Kjeldahl) $<10 \text{ mg/l}$
- Sulfat $<1000 \text{ mg/l}$
- Fluorid 15 - 25 mg/l
- Arsen $<0,3 \text{ mg/l}$
- Antimon $<0,3 \text{ mg/l}$
- Barium $<3,0 \text{ mg/l}$
- Kadmium $<0,05 \text{ mg/l}$
- Chrom (gesamt) $<0,5 \text{ mg/l}$
- Kupfer $<0,5 \text{ mg/l}$
- Blei (Anmerkung 2) $<0,5 \text{ mg/l}$
- Nickel $<0,5 \text{ mg/l}$
- Zinn (Anmerkung 3) $<0,5 \text{ mg/l}$
- Zink $<0,5 \text{ mg/l}$
- Phenol $<1,0 \text{ mg/l}$
- Borsäure 2 - 4 mg/l

-
- pH 6,5 - 9
 - Mineralöl (Kohlenwasserstoffe-KW-) <20 mg/l

(Anmerkung 1) – Für die Endlosglasfasersparte ist dieser Wert 200 mg/l. Im Allgemeinen ist der chemische Sauerstoffbedarf verhältnismäßig gering und der tatsächliche, mit der BVT realisierte Wert kann von dem Einleitgewässer abhängig sein. Wenn das Gewässer besonders empfindlich ist, müssen die Werte möglicherweise unter diesem genannten Wert liegen.

(Anmerkung 2) – Für Wirtschaftsglasprozesse, in denen bedeutende Anteile von Bleiverbindungen eingesetzt werden, wird ein Wert von 1,0 mg/l gegenwärtig als sachgerechter angesehen. Der Erreichung von 0,5 mg/l stehen keine unüberwindlichen Hindernisse im Wege. Wenn man davon ausgeht, dass die erforderliche Zeit für die Entwicklung und Realisierung geeigneter Techniken zur Verfügung steht, ist dieser Wert erreichbar.

(Anmerkung 3) – Für Behälterglasprozesse, in denen Wäscher zur Behandlung der in nachgeschalteten Einrichtungen anfallenden Emissionen eingesetzt werden, ist ein Emissionswert von <3 mg/l angemessener.

Unter gewissen Umständen kann die BVT in der Einleitung in ein Klärwerk oder eine andere externe Behandlungsanlage bestehen. Wenn diese Variante vorgesehen wird, sollte die Eignung der die Emission aufnehmenden Einrichtung geprüft werden.

7) Projektschlussfolgerungen und -empfehlungen

Dieses Kapitel ist in drei Abschnitte unterteilt: Informationsaustausch, allgemeine Schlussfolgerungen und Empfehlungen für die weitere Arbeit. Im ersten Abschnitt werden die Zeitpläne und die Mechanismen für die Durchführung des Informationsaustausches dargestellt. Viele Informationen wurden von der Industrie und den Mitgliedsstaaten zur Verfügung gestellt und waren im Allgemeinen von hoher Qualität. Die verfügbaren Informationen wurden während des Beratungsprozesses präzisiert und bewertet. Es wird empfohlen, dieses Dokument in den nächsten 4 bis 5 Jahren einer Überarbeitung zu unterziehen.

Die wichtigsten allgemeinen Schlussfolgerungen lauten wie folgt:

- Der Informationsaustausch war erfolgreich, und nach der zweiten Zusammenkunft der technischen Arbeitsgruppe wurde ein hoher Grad an Übereinstimmung erzielt.
- Dieser Industriezweig ist äußerst vielfältig, und in den meisten Fällen ist es nicht angebracht, eine einzige Technik als BVT anzugeben.
- In den vergangenen Jahren ist viel für die Verbesserung der durch diesen Industriezweig hervorgerufenen Umweltauswirkungen getan worden. Es werden jedoch weitere Entwicklungen/Verbesserungen erwartet, insbesondere mit Primärtechniken, aber auch durch die Anwendung von Sekundärtechniken, wie sie in anderen Branchen bereits stärker eingesetzt werden.

Die wesentlichsten Empfehlungen für die weitere Arbeit lauten wie folgt:

- Eine tiefergehende (vorzugsweise halbquantitative) Bewertung der medienübergreifenden Probleme wäre hilfreich.
- Eine gründlichere Betrachtung der Kosten der Techniken wäre zur Festlegung der BVT von Nutzen.
- Bei der Überprüfung der geleisteten Arbeit wäre eine eingehendere Bewertung der Techniken zur Verbesserung des energetischen Wirkungsgrades zweckmäßig, wobei die in jüngster Zeit gewonnenen Informationen berücksichtigt werden sollten.
- Bei der Überprüfung der geleisteten Arbeit sollten die mit Primärmaßnahmen zur Emissionsminderung erzielten Fortschritte neu bewertet werden.
- Bei der Überprüfung der geleisteten Arbeit sollte eine Neubewertung solcher Techniken erfolgen, bei denen gegenwärtig bestimmte Probleme noch unbewiesen oder umstritten sind und entweder in der gesamten Glasindustrie oder in einigen Einsatzgebieten auftreten. Dies

betrifft insbesondere die Schwefeldioxid -Abscheidung, die Sauerstoff-Brennstoff-Beheizung und die selektive katalytische Reduktion.