
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 Glasfaser 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; Haushaltglas; Spezialglas (einschließlich Wasserglas); Mineralwolle (mit den zwei Teilsparnen 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 Querflammenregenerativöfen 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 ein grundstoffproduzierendes Gewerbe, 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.

Der Gesamtproduktionsausstoß 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
Haushaltglas	3,6
Spezialglas	5,8
Mineralwolle	6,8

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

Kapitel 1 enthält Informationen für jeden Bereich unter den folgenden Überschriften: Sparten-überblick, Erzeugnisse und Märkte, kommerzielle und finanzielle Aspekte und wesentliche Umweltfragen. 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 Bechern, zum Teil auch der Produktion von maschinell gefertigtem Haushaltglas. 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 Firmen mit 140 Anlagen. 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, Pappeverbundstoffe 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. Das Hauptanliegen 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, in dem die einzelnen Rohstoffe unter hoher Temperatur zu einer Glasschmelze zusammengeführt 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: Heizung, Vorschmelzen, 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 beschrieben 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 Hauptenergiequellen für die Glasherstellung sind Erdgas, Heizöl und Elektroenergie.

Regenerativöfen basieren auf regenerativ betriebenen Wärmerückgewinnungseinrichtungen. 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 Querflammenregenerativöfen sind die Verbrennungskanäle und Brenner an den Längsseiten des Ofens angeordnet, und die Regeneratorkammern befinden sich auf beiden Seiten des Ofens. In den U-Flammen-Regenerativöfen 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 Schmelzkapazität (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 Anfangsinvestitionsaufwand 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 Öfen mit höherer Leistung (bis zu 400 Tonnen pro Tag) nicht unüblich sind.

Bei der **Sauerstoff-Heizöl-Feuerung** wird Sauerstoff (>90 % Reinheit) anstelle der Verbrennungsluft eingesetzt. Durch die Ausschaltung des größten Teiles des Stickstoffes aus

der Verbrennungsatmosphäre 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-Heizöl-Öfen haben mit ihren seitlich angeordneten Mehrfachbrennern und einem einzigen Abgasabzugskanal im Allgemeinen den gleichen Grundaufbau wie die Unitmelter. Für eine Sauerstoffverbrennung ausgelegte Öfen sind jedoch nicht für die Nutzung von Wärmerückgewinnungseinrichtungen zur Vorwärmung des Sauerstoffspeisestromes zu den Brennern vorgesehen.

Elektroöfen besitzen einen in einem Stahlrahmen abgestützten Kasten mit Feuerfestauskleidung, wobei Elektroden entweder durch die Seitenwand, die Decke oder – was üblicher ist – in den Boden des Ofens eingeführt werden. Die Energie 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 fossiler Brennstoffe abhängt. Da zur Ofenbeheizung keine fossilen Brennstoffe eingesetzt werden, fallen auch keine Verbrennungsprodukte an.

Ein **Schmelzprozess mit kombinierter Feuerung durch fossilen Brennstoff und Elektroenergie** kann nach zwei Prinzipien erfolgen: Feuerung unter vorwiegendem Einsatz von fossilem Brennstoff mit Verstärkung durch Elektroenergie; oder Feuerung unter vorwiegendem Einsatz von Elektroenergie mit Unterstützung durch fossilen Brennstoff. Die Elektroverstärkung 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 liegen dürfte. 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 Lösungen 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. Erstformgebung des Rohlings entweder durch Pressen mit Hilfe eines Stempels oder durch Blasen mit Druckluft und Endformgebung 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 Einzelprofilmaschinen.

Flachglas wird fast ausschließlich mit Hilfe von Querflammenregenerativöfen erzeugt. Das Grundprinzip des Schwimmverfahrens 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 in eine parallele Lage gebracht werden. Vom Ausgang des Schwimmbades wird das Glasband durch den Bandkühlofen geführt, in dem das Glas zur Verminderung der Restspannungen allmählich abgekühlt wird. Zur Verbesserung der Leistungseigenschaften des Erzeugnisses können während des Fertigungsprozesses Beschichtungen aufgetragen werden (z.B. Emissionsglasur).

Endlosglasfaser wird mit Hilfe von Rekuperativöfen oder Öfen mit Sauerstoff-Heizöl-Feuerung 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.

Haushaltglas 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 Regenerativöfen. Die eingesetzten Formgebungsverfahren sind automatische Bearbeitung, Handfertigung oder halbautomatische Bearbeitung, 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 Fertigungstechniken 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).

Als Öfen zur Herstellung von **Glaswolle** werden entweder Elektroschmelzöfen, gasgefeuerte Rekuperativöfen oder Sauerstoff-Heizöl-Öfen eingesetzt. 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 gedämpft 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 gedämpft 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.

Kermakifasern 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 werden oder zu Matten weiterverarbeitet werden, die als Erzeugnis zur Ballenverpackung oder als Nadelfilz vorgesehen sind. Möglich ist aber auch eine weitere Verarbeitung.

Die Fertigung von **Fritten** 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 ge feuert, und viele Frittenanlagen sind mit Sauerstoff-Heizöl-Feuerung 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 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 ausgestoßenen Stoffe werden für die Industrie als Ganzes erörtert, und danach erfolgt eine spezifischere Betrachtung der einzelnen Sparten. In diesem Kapitel wird auf die Hauptemissionsdaten, die Emissionsquellen und die Energiefragen eingegangen. Diese Informationen sollen es ermöglichen, die Emissions- und Verbrauchswerte einer bestimmten zur Genehmigung vorgesehene Anlage dadurch richtig einzuordnen, dass sie den Werten anderer Prozesse in der gleichen Sparte oder in der Glasindustrie als Ganzes gegenübergestellt werden.

Die wesentlichsten Zufuhrstoffe zum Prozess können in vier Hauptkategorien unterteilt werden: Rohstoffe (Bestandteile des Erzeugnisses), 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 Erzeugnisformgebung 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 der Chargen. Die Glasherstellung ist ein energieintensiver Prozess, und daher können Brennstoffe einen wesentlichen Einsatzstoff für den Prozess bilden. 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, flüssige Abproduktströme, feste Prozessrückstände 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 Energieverbrauch. Die Glasherstellung ist ein energieintensiver Prozess, der unter hohen Temperaturen abläuft. Er führt zum Ausstoß 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
Schwebstaub	Kondensation flüchtiger Chargenbestandteile. Miterissene Feinstoffe in der Charge. Verbrennungsprodukte einiger fossiler Brennstoffe.
Stickstoffoxide	Thermische NO _x infolge hoher Schmelzofentemperaturen. Zersetzung von Stickstoffverbindungen in den Chargenstoffen. Oxidation von in Brennstoffen enthaltenem Stickstoff.
Schwefeloxide	Schwefel im Brennstoff. Zersetzung von Schwefelverbindungen in den Chargenstoffen. Oxidation von Wasserstoffsulfid im Betrieb von Heißwindkupolöfen.
Chloride/HCl	Vorhanden als Verunreinigung in einigen Rohstoffen, insbesondere in synthetischem Natriumkarbonat. NaCl als Rohstoff für einige Arten von Spezialglas.
Fluoride/HF	Vorhanden als geringfügige Verunreinigung in einigen Rohstoffen. Zugabe als Rohstoff in der Herstellung von Emaillefritte zur Erzielung bestimmter Eigenschaften im Fertigerzeugnis. Zugabe als Rohstoff in der Endlosglasfaserherstellung sowie in einigen Glaschargen zur Verbesserung des Schmelzvorgangs oder zur Erzielung bestimmter Eigenschaften im Glas, z.B. Opaleszenz. Wenn Fluoride zur Charge zugegeben werden, in der Regel als Flusspat, 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 Fritteindustrie (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 in Chargenstoffen (z.B. Natriumcarbonat, 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 Haushaltglas, Spezialglas und Endlosglasfaser.

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

Fritten ist eine starke Schwankung der zum Ofen zurückgeführten Abfallmenge 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 Durchlauföfen mit einer Betriebslebensdauer von bis zu zwölf Jahren eingesetzt. Diese Öfen stellen einen beträchtlichen Kapitalaufwand dar, 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 Emissionsverringerung 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 Senkung 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.

Schwebstaub

Die Methoden zur Reduzierung von Schwebstaubemissionen 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 eine Leistung 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 Sauegaswäsche) 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 beruhen auf 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 Emissionswerte für Schwebstaub liegen zwischen 0,1 mg/m³ und 5 mg/m³, wobei ständig unter 10 mg/m³ liegende Werte für die meisten Einsatzgebiete 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 Metallemmissionen 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 der Emissionsverhinderung 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 Verhinderung von NO_x-Emissionen zählen im Allgemeinen die Primärmaßnahmen, das Sauerstoff-Brennstoff-Schmelzverfahren, 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 des Verbrennungsvorgangs und entsprechende spezielle Ofenausführungen oder optimierte Paketlösungen für die Auslegung des Verbrennungsvorgangs. Die Sauerstofffeuerung bildet ebenfalls eine Primärmethode, 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. der LoNO_x-Schmelzofen. Diese Ausführungen haben sehr gute Ergebnisse ermöglicht, 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-Feuerung wird anstelle der Verbrennungsluft Sauerstoff eingesetzt. Durch die weitgehende Eliminierung des Stickstoffs aus der Verbrennungsatmosphäre 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 thermischen NO_x wird beträchtlich gesenkt, da nur der restliche Stickstoff im Sauerstoff/Brennstoff, der Stickstoff aus dem Nitratabbau und der Stickstoff aus parasitärer Luft allein als Stickstoff in der Verbrennungsatmosphäre vorhanden ist.

Das Prinzip der Sauerstoff-Brennstoff-Feuerung ist ein bewährtes Verfahren und gilt grundsätzlich als branchenweit einsetzbar. Allerdings wird es von einigen Sparten (insbesondere Flachglas- und Haushaltglasherstellung) 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 mit der steigenden Anzahl von Fertigungsanlagen auch stärker anerkannt. 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 Emissionsverringerung) 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 Rückbrennprozess. Beide Verfahren sind gegenwärtig nur in Regenerativöfen anwendbar. Der 3R-Prozess ist ein ausgereiftes Verfahren zur Anwendung in der Glasindustrie, und der Rückbrennprozess wurde im großtechnischen Anlagenmaßstab erprobt und zeigte vielversprechende Ergebnisse. Mit dem 3R-Prozess können Emissionswerte von weniger als 500 mg/Nm^3 erreicht werden, was einer Erhöhung des Brennstoffverbrauchs von 6 bis 10 % entspricht. Vom Rückbrennprozess 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 katalytischen Bett bei einer Temperatur von etwa 400°C . In den meisten Anwendungsfällen der Glasindustrie wird dazu eine dreistufige Anlage einschließlich Entstaubung und Sauer gaswäsche 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 der elektrostatischen Abscheider und der Gaswäsche) 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 hat sich die Technik nicht für den Einsatz in Glasöfen mit Schwerölföuerung sowie für Glaswolle oder Endlosglasfaser bewährt.

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 Sauer gaswäsche. 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 Reagens 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 Verhinderung von SO_x -Emissionen sind Brennstoffauswahl, Chargenrezeptur und Sauer gaswäsche.

In ölgefeuerten Prozessen besteht die Hauptquelle von SO_x in der Oxidation von Schwefel im Brennstoff. Die aus den Chargenstoffen stammende Menge von SO_x schwankt in Abhängigkeit von der Glasart, aber normalerweise ist in allen Ölverbrennungsanlagen die Menge der aus dem Brennstoff entstehenden SO_x -Emissionen größer als die aus den Chargenstoffen stammende.

Als naheliegendste Methode zur Verringerung 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 Niedrigschwefelbrennstoffe 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 die Hauptquelle von SO_x-Emissionen aus Chargetstoffen dar. Sulfate sind die am meisten verbreiteten Läutermittel und ebenfalls wichtige Oxidationsmittel. In den meisten modernen Glasöfen sind die Gehalte an Sulfaten in der Charge auf die zur Durchführbarkeit des Verfahrens erforderlichen Mindestwerte abgesenkt worden, wobei diese je nach Glasart unterschiedlich sind. Die mit der Verringerung der Sulfatgehalte in der Charge 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 SO₂-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 der Sauregaswäsche betrachtet werden muss. Dieses Thema wird in Kapitel 4 und 5 des Hauptdokuments ausführlich erörtert.

Die Trockenwäsche und Halbtrockenwäsche arbeiten nach dem gleichen Prinzip. Das reaktionsfähige Material (Absorptionsmittel) wird dem Abgasstrom zugeführt und in diesem dispergiert. Dieses Material reagiert mit der Gattung der SO_x-Verbindungen zu einem Feststoff, der mit einem elektrostatischen Abscheider- oder Schlauchfiltersystem aus dem Abgasstrom entfernt werden muss. Die zur Entfernung der SO_x-Verbindungen gewählten Absorptionsmittel sind auch für den Austrag anderer saurer Gase geeignet. Im Trockenprozess wird ein trockenes Pulver als Absorptionsmittel eingesetzt (gewöhnlich Ca(OH)₂, NaHCO₃, oder Na₂(CO)₃). Im halbtrockenen Prozess wird das Absorptionsmittel (gewöhnlich Na₂CO₃, CaO oder Ca(OH)₂) als Suspension oder Lösung zugegeben, und die Kühlung des Gasstroms erfolgt durch die Verdampfung von Wasser. 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 Prozessen erreichten Wirkungsgrade dargestellt.

Die vollständige Rückführung des Filterstaubes einschließlich des sulfathaltigen Abfallstoffes 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 erreicht wird. (Dabei handelt es sich natürlich um eine zusätzliche Maßnahme zu anderen geeigneten Primärmaßnahmen zur Reduzierung der Gesamtschwefelzufuhr.) Deshalb wird man zur Verringerung der sauren Gasemissionen die Realisierung eines externen Entsorgungsweges für einen Teil des erfassten Materials 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 Verminderung von Abfallstoffen und der Verringerung der SO_x-Emissionen gegeneinander abgewogen werden müssen. In Anlagen, in denen dies der Fall ist, macht sich für die Festlegung von BVT-gerechten Emissionswerten unbedingt eine Prozessschwefelbilanz erforderlich.

Bei Filterstaubrückführung nach dem Kreislaufprinzip liegen die gegenwärtig beobachteten SO_x-Emissionswerte im Allgemeinen im Bereich 200 bis 800 mg/Nm³ bei Erdgasfeuerung und 800 bis 1600 mg/Nm³ bei Heizöl mit einem Schwefelgehalt von 1 %. Die meisten der installierten SO_x-Waschanlagen arbeiten nach dem Prinzip der Trockenkalkwäsche bei einer Temperatur von etwa 400 °C, was der Abgastemperatur eines Regenerativofens mit hohem Wirkungsgrad entspricht. Bei diesen Temperaturen kann eine Verringerung des SO_x-Ausstoßes 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-Wäsche 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 in den Chargestoffen 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 Änderung der Charge oder Wäsche. Wenn Halide als Verunreinigungen vorliegen, können Emissionen in der Regel durch die Auswahl der Rohstoffe gesenkt werden, obwohl die Wäsche häufig dann eingesetzt wird, wenn die Rohstoffauswahl nicht ausreicht oder die Wäsche zur Verringerung anderer Substanzen genutzt wird. Werden Halide zur Erzeugung spezifischer Eigenschaften eingesetzt, gibt es zwei Hauptlösungswege, d.h. die Wäsche oder die Änderung der Chargenrezeptur, um die gleichen Eigenschaften durch andere Maßnahmen zu erreichen. Besonders erfolgreich erwies sich die Rezepturänderung bei der Herstellung der Endlosglasfaser.

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 Haushaltglasprozessen entstehen. In der folgenden Tabelle werden die wichtigsten möglichen Techniken zur Verhinderung von Emissionen in das Wasser genannt.

<u>Physikalische/chemische Behandlung</u>	
<ul style="list-style-type: none">• Sieben• Abschäumen• 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

Ein charakteristisches Merkmal der Glasindustrie besteht darin, dass in den meisten Betriebsvorgängen nur verhältnismäßig geringe Mengen an festen Abfällen anfallen. Die meisten Prozesse verlaufen ohne wesentliche Nebenproduktströme. Die wichtigsten Prozessrückstände sind ungenutzte Rohstoffe, nicht verarbeitetes Altglas und Abprodukte. Zu den sonstigen festen Abfällen gehören Altfeuerfestmaterial und der in Reinigungsanlagen oder Abzugskanälen erfasste Staub. Nichtfaserige Abfälle werden im Allgemeinen sofort in den Prozess zurückgeführt, und es sind Techniken zur Rückführung auch anderer Abfallstoffe in der Entwicklung. Der Anteil der Abfallrückführung nimmt in dem Maße zu, wie sich der finanzielle Anreiz entwickelt, insbesondere höhere Entsorgungskosten. Die in der Glasindustrie anfallenden Prozessrückstände und die zu deren Verhinderung eingesetzten Techniken werden in Abschnitt 4.7 des Hauptdokuments erörtert.

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 Glasanlagen, und ein wesentlicher Anreiz für den Betreiber besteht in der Senkung des Energieverbrauchs.

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-Verbrennung und Elektroverstärkung)
- Verbrennungsregulierung und Brennstoffauswahl (z.B. NO_x-arme Brenner, stöchiometrische Verbrennung, Öl-/Gasfeuerung)
- Einsatz von Scherben
- Abhitzekeessel

-
- Scherben-/Chargenvorwärmung

6) Zusammenfassung der BVT-Schlussfolgerungen

Kapitel 5 enthält die Schlussfolgerungen zu den besten verfügbaren Techniken für die Realisierung der integrierten Vermeidung und Verhinderung 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 Umwelleistung 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, Leistungskennziffern festzulegen, die den Einsatz bester verfügbarer Techniken angebracht erscheinen lassen, aber gleichzeitig einzuräumen, dass die beste Methode zur Erreichung dieser Leistungskennziffern 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 Erneuerungsgrad 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 (Durchlaufschmelzöfen), 13 Vol.-% Sauerstoff (Chargenschmelzöfen mit diskontinuierlicher Beschickung). Für Anlagen mit Sauerstoff-Brennstoff-Feuerung 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 würde. 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 Sauerstofffeuerung, 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.

Schwebstaub/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 Schwebstaubs 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 einer elektrostatischen Abscheide- oder einer Schlauchfilteranlage, die bei Durchführbarkeit gemeinsam mit einer Trocken- oder Halbtrocken-Sauggaswascheinrichtung betrieben wird. Der mit diesen Techniken erzielte BVT-Emissionswert beträgt 5 bis $30 \text{ mg}/\text{Nm}^3$, was im Normalfall mit weniger als $0,1 \text{ kg}/\text{Tonne}$ 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 und nicht über 24 Stunden. 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 Staubvermeidung in jedem Falle die höheren Kosten rechtfertigen würden, gab es auch einige abweichende Meinungen in der Technischen Arbeitsgruppe. Die allgemeine Schlussfolgerung lautete allerdings, dass eine Sekundärstaubvermeidung für die meisten Glasöfen alles in allem der BVT entspricht, es sei denn, dass die gleichen Emissionswerte mit Primärmaßnahmen erzielt werden können. Das Für und Wider von Primär- und Sekundärtechniken 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 Fritteprozesse wird davon ausgegangen, dass die Stickstoffoxidemissionswerte (als NO_2) der im Allgemeinen als BVT geltenden Techniken im Bereich 500 bis 700 mg/Nm^3 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 NO_2), 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-Feuerung im Bereich von 500 bis 700 mg/Nm^3 angegeben.

Ebenso schwierig ist es, verbindliche Schlussfolgerungen für NO_x -Werte in der Sparte Haushaltglas 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 elektrische Schmelzverfahren (entweder 100 % oder überwiegend elektrisch) wirtschaftlich tragbar ist, und insbesondere in der Bleikristall-, Kristallglas- und Opalglasherstellung gilt die Technik als BVT. In diesem Falle läge der mit der BVT erreichte Emissionswert normalerweise im Bereich 0,2 bis 1,0 kg/Tonne geschmolzenen Glases.

Bei Prozessen, bei denen das elektrische Schmelzverfahren wirtschaftlich nicht vertretbar ist, besteht die Möglichkeit der Anwendung einer Reihe anderer Techniken. Die Sparte Haushaltglas 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. beim Sauerstoff-Brennstoff-Schmelzverfahren in einem Bereich von 0,5 bis 1,5 kg/Tonne geschmolzenen Glases) zu begrenzen. Die Grundlage hierfür bilden die Nutzung (bzw. die Kombination) von Primärmaßnahmen (Änderungen des Verbrennungsprozesses), der Sauerstoff-Brennstoff-Feuerung, der selektiven nichtkatalytischen Reduktion, der selektiven katalytischen Reduktion oder des 3R- bzw. Rückbrennprozesses (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. Keramikfaser wird 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 Natronkalkglasarten, den Einsatz von Sulfaten in der Charge, und 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 Sauggaswäsche umfasst. Das wird bereits in den in Kapitel 5 angegebenen, mit der BVT erzielten Emissionswerten berücksichtigt. Der anfallende sulfathaltige Abfallstoff kann im Allgemeinen mit den Ofenrohstoffen 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 die Entschwefelungswirkung der Wascheinrichtung durch die Aufnahmefähigkeit des Glases für den Schwefel begrenzt wird.

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 Rückführung des Stoffes außerhalb der Anlage sind äußerst begrenzt, und die am ehesten in Betracht kommende Entsorgungsmöglichkeit besteht in der Lagerung in einer Deponie, wodurch feste Abfallprodukte anfallen. Geht man von einer integrierten Umweltlösung aus, müssen die relativen Prioritäten der Verminderung 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-Verminderung oder die Abfallverminderung 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 /Nm ³)		Bemerkungen
	Gasfeuerung	Ölfeuerung	
Behälterglas mit vorrangiger SO ₂ -Verminderung	200 - 500	500 - 1200	
Behälterglas mit vorrangiger Abfallverminderung	< 800	< 1500	Wenn die Massenbilanz die Erreichung der oben genannten Werte nicht zulässt.
Flachglas mit vorrangiger SO ₂ -Verminderung	200 - 500	500 - 1200	
Flachglas mit vorrangiger Abfallverminderung	< 800	< 1500	Wenn die Massenbilanz die Erreichung der oben genannten Werte nicht zulässt.
Endlosglasfaser	< 200	500 - 1000	Bei einem Sulfatgehalt in der Charge kann der Wert für Gasfeuerung bis zu 800 betragen. Bei Ölfeuerung bezieht sich die Obergrenze des Bereiches auf eine Staubrückführung.
Haushaltglas	200 - 500	500 - 1300	Bei niedrigem Sulfatgehalt in der Charge beträgt der Wert für Gasfeuerung <200. Die Werte im oberen Teil des Bereiches beziehen sich auf Staubrückführung.
Spezialglas einschließlich Wasserglas	200 - 500	500 - 1200	Die Werte im oberen Teil des Bereiches beziehen sich auf Staubrückführung
Glaswolle	allgemein <50	300 - 1000	Im Allgemeinen für Glas mit niedrigem Sulfatgehalt
Steinwolle (Koksfeuerung) mit vorrangiger Abfallverminderung 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 -Verminderung	(a) < 200 (b) < 350 (c) < 420		(a) Steincharge (d) 45 % bindemittelgebundene Briketts (b) bindemittelgebundene Briketts einschl. Filterstaub
Keramikfaser (Elektroschmelzverfahren)	< 0.5 kg/Tonne Schmelze		Nur Elektroöfen, Konzentration ist fallspezifisch
Fritten	< 200	500 - 1000	Ölfeuerung ist selten

Orientierende Zusammenfassung der mit der BVT realisierten Schwefeloxidemissionswerte (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 Sauergaswäsche, sofern dies durchführbar ist. Eine Sauergaswäsche ist nicht in jedem Falle erforderlich, um die Anlagen zur Emissionsverminderung zu schützen oder die für SO_x angegebenen Werte zu erreichen. Wo dies aber der Fall ist, gilt die Sauergaswäsche 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) $<30 \text{ mg/Nm}^3$
- Fluoride (als HF) $<5 \text{ mg/Nm}^3$
- Metalle (Gas + feste Phase) (Gruppe 1 + Gruppe 2) $<5 \text{ mg/Nm}^3$
- Metalle (Gas + feste Phase) (Gruppe 1) $<1 \text{ mg/Nm}^3$

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 Endlosglasfaser beträgt der mit der BVT realisierte Fluoridemissionswert 5 bis 15 mg/Nm^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 $<200 \text{ mg/Nm}^3$ bzw. $<5 \text{ mg/Nm}^3$.

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 Emissionsverhinderung als zweckmäßig angesehen werden.

- Chloride (als HCl) $<30 \text{ mg/Nm}^3$
- Fluoride (als HF) $<5 \text{ mg/Nm}^3$
- Partikularstoffe $<20 \text{ mg/Nm}^3$

-
- Metalle (Gas + feste Phase) (Gruppe 1 + Gruppe 2) <5 mg/Nm³
 - Metalle (Gas + feste Phase) (Gruppe 1) <1 mg/Nm³

Emissionen in das Wasser

Wässrige Emissionen im Ergebnis von Betriebsvorgängen in der Glasindustrie treten normalerweise nur in geringem Maße auf und sind nicht typisch für diesen Industriezweig. In einigen Abläufen kann es jedoch zum Anfall größerer wässriger Emissionen 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.

- Schwebstoffe <30 mg/l
- Chemischer Sauerstoffbedarf (Anmerkung 1) 100 - 130 mg/l
- Ammoniak (Kjeldahl) <10 mg/l
- Sulfat <1000 mg/l
- Fluorid 15 - 25 mg/l
- Arsen <0,3 mg/l
- Antimon <0,3 mg/l
- Barium <3,0 mg/l
- Kadmium <0,05 mg/l
- Chrom (gesamt) <0,5 mg/l
- Kupfer <0,5 mg/l
- Blei (Anmerkung 2) <0,5 mg/l
- Nickel <05 mg/l
- Zinn (Anmerkung 3) <0,5 mg/l
- Zink <0,5 mg/l
- Phenol <1,0 mg/l
- Borsäure 2 - 4 mg/l
- pH 6,5 - 9
- Mineralöl <20 mg/l

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

(Anmerkung 2) – Für Haushaltglasprozesse, in denen bedeutende Anteile von Bleiverbindungen eingesetzt werden, wird ein Wert von 1,0 mg/l gegenwärtig als zweckmäßiger angesehen. Der Erreichung von 0,5 mg/l stehen keine unüberwindlichen Hindernisse im Wege, und 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 zweckmäßiger.

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 Umweltleistung dieses Industriezweiges 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 tiefere (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 Schwefeldioxidbeseitigung, die Sauerstoff-Brennstoff-Feuerung und die selektive katalytische Reduktion.