



Glas und Bleikristallglas

Arbeitshilfe zur Altlastenbearbeitung
und zum Flächenrecycling



Impressum

Glas und Bleikristallglas: Arbeitshilfe zur Altlastenbearbeitung und zum Flächenrecycling

Herausgeber:

Bayerisches Landesamt für Umwelt
Bürgermeister-Ulrich-Straße 160
86179 Augsburg

Tel.: (0821) 90 71 - 0

Fax: (0821) 90 71 - 55 56

E-Mail: poststelle@lfu.bayern.de

Internet: www.lfu.bayern.de

Bearbeitung/Text/Konzept:

Dr. G. Pedall Ingenieurbüro GmbH, Flurstraße 24, 95473 Haag
LfU, Referat 95: Matthias Heinzl und Erhard Goller

Redaktion:

LfU, Referat 95: Matthias Heinzl und Erhard Goller

Bildnachweis:

Firma Lamberts, Wunsiedel: Seite 17

Alle anderen Fotos im Innenteil und Anhang 1: Farbtafeln): Dr. G. Pedall Ingenieurbüro GmbH, Flurstraße 24, 95473 Haag

Titelbild:

Bayerisches Landesamt für Umwelt

Stand:

Dezember 2009

Diese Druckschrift wurde mit großer Sorgfalt zusammengestellt. Eine Gewähr für die Richtigkeit und Vollständigkeit kann dennoch nicht übernommen werden. Sofern in dieser Druckschrift auf Internetangebote Dritter hingewiesen wird, sind wir für deren Inhalte nicht verantwortlich.

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	3
Abbildungsverzeichnis	6
Tabellenverzeichnis	7
Einführung	8
1 Historische und regionale Entwicklung	9
1.1 Überblick Glasherstellung in Deutschland	9
1.2 Entwicklung und regionaler Rahmen in Bayern	9
2 Technologie	11
2.1 Glasherstellung	11
2.1.1 Glasgrundstoffe	11
2.1.2 Glasarten	12
2.1.3 Glasfärbung	13
2.1.4 Schmelze	14
2.1.5 Formgebung	16
2.2 Weiterverarbeitung	19
2.2.1 Oberflächenbearbeitung	20
2.2.2 Oberflächenveredelung	21
2.3 Sonstige Anlagentechnik	22
2.3.1 Generatorgaserzeugung	22
2.3.2 Kesselhäuser mit Abluftschornsteinen	23
2.3.3 Schlossereien, Schreinereien, Elektrowerkstätten	23
2.3.4 Lagerung von Brennstoffen	23
2.3.5 Gleisanlagen	23
2.3.6 Abluftbehandlung säurehaltiger Abgase	24
2.3.7 Säurelager	24

3	Schadstoffinventar in Bauwerken	25
3.1	Anlagenteile Herstellung	25
3.1.1	Gemengelager und Gemengeaufbereitung	25
3.1.2	Glasschmelzwannen und -häfen mit Läuterung	26
3.1.3	Schmelzöfen, Regeneratoren und Rekuperatoren	27
3.1.4	Abkühl- und Entspannungsöfen	29
3.1.5	Rauchfuchse	29
3.2	Anlagenteile Weiterverarbeitung	31
3.2.1	Säurepolitur, Säuretanklager	31
3.2.2	Neutralisations- und Absetzbecken	32
3.2.3	Endvergütung von Hohlgläsern	32
3.3	Sonstige Werksanlagen	33
3.3.1	Generatorgaserzeugung	33
3.3.2	Kesselhäuser mit Abluftschnsteinen	34
3.3.3	Schlossereien, Schreinereien, Elektrowerkstätten, Betriebsstofflager	34
3.3.4	Lagerung, Herstellung und Reinigung von Brennmedien	35
4	Umweltauswirkungen	36
4.1	Produktionsbedingte Direkteinträge in den Boden und das Grundwasser	36
4.1.1	Generatoren-gaserzeugung und -verarbeitung	36
4.1.2	Säurepolitur und Säuretanklager	37
4.1.3	Neutralisation und Absetzbecken	37
4.1.4	Schlossereien, Werkstätten, etc.	37
4.2	Produktionsabfälle	38
4.2.1	Aschen und Schlacken der Kohlefeuerung aus den Kesselhäusern	38
4.2.2	Rückstände aus der Gaserzeugung	38
4.2.3	Schlämme aus Neutralisation und Versitzgruben	38
4.2.4	Abwasserleitungen / Kanalisation	39

4.3	Sonstige Abfälle	39
4.3.1	Bauschutt aus früheren Rückbaumaßnahmen	39
4.3.2	Ablagerungen und Auffüllungen anderer Industriezweige	40
4.3.3	Betriebsdeponien	40
4.3.4	Wilde Ablagerungen, Sperrmüll und Gerümpel	41
4.4	Sonstige Umweltauswirkungen	41
4.4.1	Luftemissionen	41
4.4.2	Ableitung belasteter Abwässer in die Vorflut	42
4.4.3	Radioaktive Belastungen	42
5	Hinweise zur Altlastenbearbeitung	44
5.1	Schadstofferkundung in Bausubstanz und Anlagenteilen	44
5.2	Rückbau von Gebäuden und Anlagen	47
5.3	Schadstofferkundung in Boden und Grundwasser	48
5.4	Boden- und Grundwassersanierung	50
	Abkürzungsverzeichnis	51
	Technisches Glossar	53
	Quellenangaben	56
	Index	59
	Farbtafeln	61

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Allgemeines Verfahrensschema der Glasherstellung mit Angaben zu den möglichen Schadstoffen	11
Abb. 2: Hafenoferen	15
Abb. 3: Innenansicht Wannenoferen mit querziehender Flamme	16
Abb. 4: Abschnitt der Läuterung mit keramischem Rührwerk	16
Abb. 5: Wannenauslaufverfahren	17
Abb. 6: Glasmacherpfeife, Mundstück	18
Abb. 7: Flachglasherstellung durch Blasen	18
Abb. 8: Abkühlöfen für Glasplatten	18
Abb. 9: Gemengelager mit Mischanlage in laufender Produktion	24
Abb. 10: Gemengelager in einer Industriebranche mit massiven Staubablagerungen	24
Abb. 11: Deutlich sichtbare Gelbverfärbungen durch Arsen im Bereich der Ofentüre	26
Abb. 12: Alter Regenerator mit Einschlichtung	27
Abb. 13: Vollständig zugesetzter Regenerator	27
Abb. 14: Kühlöfen mit asbesthaltigem Schutzvorhang an der Beschickungsöffnung	28
Abb. 15: Rauchzug mit schwarzen Inkrustationen am Mauerwerk und Staubablagerungen	28
Abb. 16: Tiefgründig mit PAK und Phenolen imprägnierter Boden im Bereich der Befuerung mit Rauchzügen	29
Abb. 17: Teerkondensate unmittelbar unter einem Rauchfuchs	29
Abb. 18: Gebinde mit Restschlämmen und nicht entleerte Neutralisationsbehälter auf einem Altstandort	31
Abb. 19: Unsachgemäße Lagerung von Kraft- und Schmierstoffen, Ölen, etc.	33
Abb. 20: An der Oberfläche eines Ablagerungsbereiches austretende Teerkondensate	37
Abb. 21: Wilde Ablagerungen auf einem aufgelassenen Bleikristallstandort	40

Tabellenverzeichnis

Tab. 1: Farbrohstoffe für die Ionenfärbung	13
Tab. 2: Farbrohstoffe für Anlauffarben	14
Tab. 4: Wesentliche Bestandteile von Kondensaten aus dem Generator-Rohgas bei Verschmelzung von Stein- bzw. Braunkohle	22
Tab. 5: Zusammenfassung spezifischer Schadstoffe bei der Gemengeherstellung	24
Tab. 6: Zusammenfassung spezifischer Schadstoffe bei Schmelzung und Läuterung	26
Tab. 7: Zusammenfassung spezifischer Schadstoffe der Schmelzöfen, Regeneratoren, Rekuperatoren	27
Tab. 8: Zusammenfassung spezifischer Schadstoffe der Abkühl- und Entspannungsöfen	28
Tab. 9: Zusammenfassung spezifischer Schadstoffe der Rauchföhse	30
Tab. 10: Zusammenfassung spezifischer Schadstoffe bei der Säurepolitur	30
Tab. 11: Zusammenfassung spezifischer Schadstoffe der Neutralisations- und Absetzbecken	31
Tab. 12: Zusammenfassung spezifischer Schadstoffe bei der Vergütung	32
Tab. 13: Zusammenfassung spezifischer Schadstoffe bei der Generatorgaserzeugung	32
Tab. 14: Zusammenfassung spezifischer Schadstoffe in Kesselhäusern und Abluftschornsteinen	33
Tab. 15: Zusammenfassung spezifischer Schadstoffe in Schlossereien, Schreinereien, E-Werkstätten und Betriebsstofflager	33
Tab. 16: Zusammenfassung spezifischer Schadstoffe bei Lagerung, Herstellung und Reinigung von Brennmedien	34
Tab. 17: Zusammenfassung spezifischer Schadstoffe im Boden im Bereich von Generatorgaserzeugungen	35
Tab. 18: Schadstoffparameter im Boden im Bereich von Säurepolituren	36
Tab. 19: Schadstoffparameter im Boden im Bereich von Neutralisation- und Absetzbecken	36
Tab. 20: Schadstoffparameter im Boden aus Produktionsabfällen der Kohlefeuerung	37
Tab. 21: Schadstoffparameter im Boden aus Rückständen der Generatorgaserzeugung	37
Tab. 22: Schadstoffparameter im Boden aus Neutralisation	38
Tab. 23: Schadstoffparameter in Auffüllungen und Böden aus früheren Rückbaumaßnahmen	39
Tab. 24: Branchenspezifische Bauteile und deren Schadstoffinventar	43
Tab. 25: Branchenunspezifische Bauteile und deren Schadstoffinventar	44
Tab. 26: Branchenspezifische Bauteile (Auswahl) und deren Schadstoffinventar für Boden und Grundwasser	48

Einführung

Diese Arbeitshilfe zur Erkundung von Altlasten und schädlichen Bodenveränderungen aus der Glasproduktion wurde im Auftrag des Bayerischen Landesamtes für Umwelt erstellt. Dazu wurden Ergebnisse und Erfahrungen bereits durchgeführter Altlastuntersuchungen und erfolgreich abgeschlossener Altlastensanierungen mit Gebäuderückbau und Bodensanierung ausgewertet.

Die Übertragbarkeit von Ursache, Art und Ausmaß der Kontaminationen auf andere Glas- und Bleikristallglas produzierende Standorte ist, bei zeitlich ähnlich einzuordnender Errichtung der Industrieanlagen und deren Betrieb, gleichartigen Roh-, Hilfs- und Betriebsstoffen und einander entsprechenden Produktions- und Hilfstechnologien, grundsätzlich gegeben. Eine einzelfallbezogene Überprüfung und Anpassung der genannten Untersuchungsparameter unter Einbeziehung der historischen Erkundung ist aber unerlässlich.

Auf grundsätzliche Vorgehensweisen bei der Erkundung und Bewertung von Altlasten und kontaminierter Bausubstanz wird nicht eingegangen, sondern auf einschlägige Literatur verwiesen. Von besonderer Bedeutung in Bayern sind für den Gebäuderückbau die LfU-Arbeitshilfe „Kontrollierter Rückbau“ [4] sowie für die Untersuchung und Bewertung von Altlasten und schädlichen Bodenveränderungen die LfU-/LfW-Merkblätter Altlasten 1 und 3 sowie 3.8/1, 3.8/4, 3.8/5 und 3.8/6 ([5], [6], [7], [8], [9], [10]). Die im Text genannten Prüf- und Beurteilungswerte beziehen sich auf den Stand des einschlägigen Regelwerkes zum Zeitpunkt dieser Veröffentlichung.

Nach einem Überblick über die historische und regionale Entwicklung (Kapitel 1) werden in Kapitel 2 die wichtigsten Produktionsschritte und Nebenanlagen mit Verweis auf die potentiellen Schadstoffquellen in Bezug auf eine Umwelt- und Bausubstanzbelastung erläutert. Kapitel 3 beschreibt die Kontaminationsschwerpunkte und das Schadstoffinventar in der Gebäudesubstanz. Die Auswirkung auf Boden, Grund- und Oberflächenwasser durch produktionsbedingte Schadstoffeinträge, Ablagerungen und sonstige Emissionspfade werden im Kapitel 4 behandelt. Hinweise zur Erkundung mit Übersichtstabellen zu potentiellen Schadstoffparametern und Kurzhinweise zum Gebäuderückbau und zur Altlastensanierung sind dem Kapitel 5 zu entnehmen.

1 Historische und regionale Entwicklung

1.1 Überblick Glasherstellung in Deutschland

Vom ausgehenden Mittelalter bis in die Neuzeit (13. und 17. Jahrhundert) dominierten in Deutschland Waldglashütten, in denen das so genannte Waldglas, ein Kaliglas mit grünlicher Färbung, hergestellt wurde. Dabei trat die Produktion von Alltagsglas im Hochmittelalter langsam in den Hintergrund. Es wurden nun vorrangig Gläser für Kirchen, Klöster und Wohnhäuser produziert. Für die Energieerzeugung wurden damals enorme Mengen an Holz benötigt, so dass es sogar in verschiedenen Regionen zu einem Verbot von Glasstandorten kam. Das 19. Jahrhundert brachte dann den Übergang von Holz auf Kohle als Energieträger. Dies bedeutete das Ende der bis dahin so erfolgreichen Waldhütten.

Mit der industriellen Revolution wurde ab 1856 der Siemens-Schmelzofen eingeführt. Dieser ermöglichte bei einem etwa um die Hälfte reduzierten Energieaufwand einen deutlich effizienteren Arbeitsablauf.

Während die Produktion von Hohlgläsern nach der althergebrachten Methode des Glasblasens erfolgte, entstanden Anfang des 20. Jahrhunderts die ersten Verfahren zur maschinellen Produktion von Flachglas (Fourcault- und Libbeys-Owens-Verfahren). Die letzte große Entwicklungsstufe zur Herstellung von Flachglas geht auf den britischen Hersteller Pilkington zurück. Mit der Einführung des Floatglas-Verfahrens im Jahr 1959 konnte die Produktivität nochmals entscheidend gesteigert werden. Somit fällt die letzte große Blütezeit in den Zeitraum des „Wirtschaftswunders“.

Ab etwa 1970 und verstärkt in den Neunziger Jahren des letzten Jahrhunderts, setzte in Folge einer schweren Strukturkrise in diesem Industriezweig ein Rückgang der Industrieproduktion ein. Inzwischen haben viele Glasfabriken ihre Tore geschlossen. Tausende von Arbeitsplätzen gingen in den von der Glasindustrie geprägten Regionen verloren. Dieser Prozess der Betriebsschließungen oder Standortverlagerungen hält in Teilregionen bis heute an.

1.2 Entwicklung und regionaler Rahmen in Bayern

Die wenig ertragreichen Böden und das ungünstige Klima zwangen in den vergangenen Jahrhunderten die Bevölkerung der Mittelgebirge in Nord- und Ostbayern neben der Landwirtschaft zusätzliche Erwerbsquellen zu erschließen. Zu diesen neuen Erwerbszweigen zählten Holzwirtschaft mit Flößerei, Holzkohle- und Pechherstellung, Glasproduktion in den Waldhütten und begrenzt die Gewinnung und Verarbeitung von Bodenschätzen.

Vor allem in der nördlichen Oberpfalz, dem südöstlichen Fichtelgebirge und dem Bayerischen Wald nahm bereits im 17. und 18. Jahrhundert die Glasherstellung eine Schlüsselrolle ein. Dies spiegelte sich in der weit verbreiteten Herstellung von Perlen, Knöpfen etc. wieder. Daneben wurden beispielsweise in Bischofsgrün kunstvoll gestaltete Gläser mit Emaillefarben bemalt (Bischofsgrüner Gläser).

Mit der einsetzenden Industrialisierung ab Mitte des 19. Jahrhunderts vergrößerte sich der Markt durch verbesserte Transportbedingungen und zunehmende Kaufkraft. Dies führte zu einer Ausbreitung der Glas- und Bleikristallglashütten. Auch andere Wirtschaftszweige, wie z. B. das zunächst noch durchweg in Heimarbeit betriebene Weberhandwerk, die Natursteingewinnung und -verarbeitung sowie die Porzellanherstellung, florierten. Diese Industriebetriebe nutzten, neben der günstig verfügbaren Arbeitskraft, den in der Region reichlich vorhandenen Brennstoff Holz und später Braunkohle sowie die ortsnahe verfügbaren Rohstoffe.

Zwar wurde der wirtschaftliche Aufschwung durch die Rezessionen während der Kriege und der Wirtschaftskrise unterbrochen, führte aber seit der Wende vom 19. zum 20. Jahrhundert und wieder nach Ende des 2. Weltkriegs zu wirtschaftlichen Blütezeiten.

Dabei war die Glasfabrikation, mit einem wesentlichen Anteil an der Produktion von Trink- und Haushaltsgläsern sowie der zugehörigen Zulieferbetriebe, als Monostruktur ähnlich der Porzellanindustrie aufgebaut. Beispiele dafür sind die Glasproduktionsstandorte in Neustadt a. d. Waldnaab, Warmensteinach, Zwiesel und Regen.

Beginnend mit der Öffnung der osteuropäischen Märkte in der zweiten Hälfte des 20. Jahrhunderts und dem wirtschaftlichen und industriellen Aufstieg auch von Entwicklungsländern, überschwemmt Glasprodukte zu deutlich geringeren Preisen als den regional üblichen Verkaufspreisen den Markt. Als Folge dessen war ein starker Absatzrückgang der in Nordostbayern und im Bayerischen Wald produzierten Trink- und Haushaltsgläser zu verzeichnen. Die mitunter traditionsreichen Betriebe konnten zum Teil der Konkurrenz durch Billigprodukte nicht standhalten und mussten schließen.

Die heute noch bestehenden Betriebe besitzen aufgrund hoher Rationalisierung und Effizienz, der Produktion von Nischenprodukten und hohen Ansprüchen an die Produktqualität, international einen hohen Stellenwert. So produzieren weltweit nur noch zwei Betriebe buntes Flachglas z. B. für die Restauration von Kirchenfenstern, ein Standort davon befindet sich im Fichtelgebirge.

2 Technologie

2.1 Glasherstellung

Glas ist ein nichtkristalliner (amorpher) anorganischer Feststoff. In thermodynamischer Hinsicht ist Glas als unterkühlte Schmelze zu bezeichnen. Es hat keinen bestimmten Schmelzpunkt, sondern einen Erweichungsbereich. Eine allgemeingültige Zusammensetzung kann für Glas nicht angegeben werden, da unter dem Sammelbegriff „Gläser“ hinsichtlich Bestandteile und Eigenschaften unterschiedliche Fest- und Werkstoffe zusammengefasst sind.

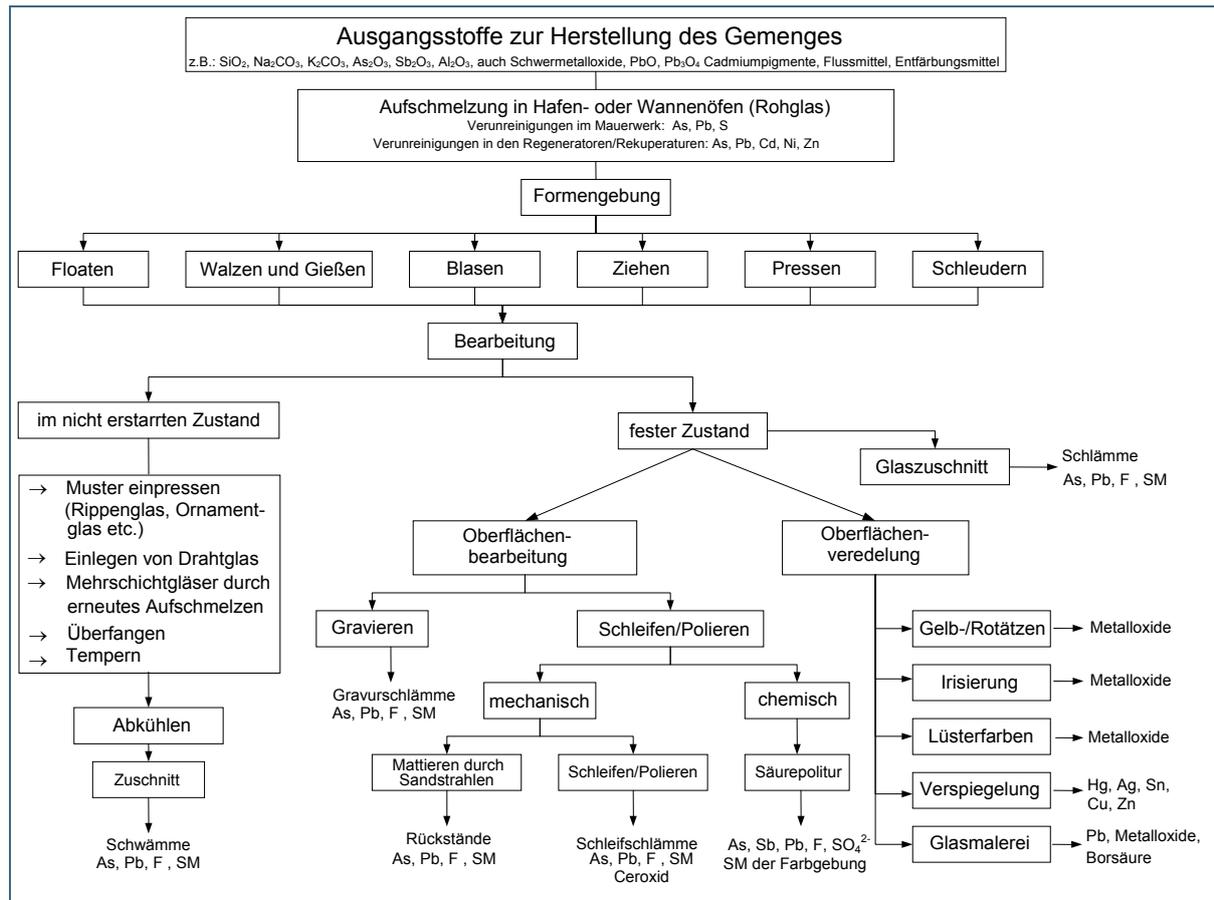


Abb. 1: Allgemeines Verfahrensschema der Glasherstellung mit Angaben zu den möglichen Schadstoffen

2.1.1 Glasgrundstoffe

Rohstoffe zur Glasherstellung sind Quarzsand (SiO_2), Natriumoxid (Na_2O) aus Soda (Na_2CO_3), Calciumoxid (CaO) und Magnesiumoxid (MgO) aus Dolomit ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$) sowie Aluminiumoxid (Al_2O_3). Durch Beimengung weiterer Stoffe im Gemengelager werden unterschiedliche Glasarten mit ihren jeweiligen mechanischen, optischen und thermischen Eigenschaften hergestellt.

Die Ausgangsstoffe lassen sich nach ihren chemischen Eigenschaften wie folgt einteilen:

Netzwerkbildner (saure Anteile)

Sie bilden die molekulare Grundstruktur.

Eingesetzte Stoffe z. B.: Siliziumdioxid, Phosphor- und Arsenpentoxid, Bortrioxid, (Aluminiumoxid, Bleioxid), Arsenoxid – insbesondere für optische Zwecke.

Netzwerkstörer (basische Anteile) und Flussmittel

Sie verändern das Gefüge und die Eigenschaften des Glases.

Eingesetzte Stoffe z. B.: Bariumoxid, Calciumoxid, Kaliumoxid, Natriumoxid, (Aluminiumoxid, Bleioxid) sowie als Flussmittel Zinkoxid, Thallium.

Trennstellschließer

Eingesetzte Stoffe z. B.: Boroxid, Alumosilikate (Kaolin, Feldspäte) und amphotheres Aluminiumoxid.

Als weitere Zuschlagsstoffe werden dem Gemenge Entfärbungs- und Läuterungsmittel zugesetzt.

Läuterungsmittel

Eingesetzte Stoffe z. B.: arsenige Säure, Antimontrioxid, Braunstein und Salpeter.

Entfärbung der Glasschmelze

Eingesetzte Stoffe z. B.: Braunstein, Nickeloxid, selenige Säure, Selen, Bariumoxid und arsenige Säure.

Farbgebung des Glases

Eingesetzte Stoffe v. a. Schwermetallpigmente.

2.1.2 Glasarten

Gläser lassen sich nach ihrer chemischen Zusammensetzung in die drei Hauptgruppen Alkali- und Erdalkaligläser, Borosilikatgläser und Bleigläser unterteilen. Diese Glasarten machen etwa 95 % der gesamten Glasproduktion aus. Der Rest ist Spezialgläsern zuzuordnen.

Alkali- und Erdalkaligläser

Sie werden aufgrund der hohen Verfügbarkeit der benötigten Rohstoffe (Sand, Kalkstein und Soda) sowie nur geringen Anteilen an Zuschlagsstoffen für die Massenherstellung von Behälterglas, Flachglas, Wirtschaftsglas und Apparateglas verwendet.

Borosilikatgläser

Sie besitzen wegen ihres höheren SiO_2 -Gehaltes einen geringeren Ausdehnungskoeffizienten, eine gute chemische Beständigkeit und somit große technische Bedeutung. Verwendung finden diese Gläser als feuerfestes Glas im Haushalt (z. B. Jenaer Glas) sowie als Laborglas.

Bleigläser und Bleikristallgläser (geschliffene Bleigläser)

Diese Gläser werden durch die Verwendung von 24 % Bleioxid und ca. 12 % Kaliumoxid anstatt Calciumoxid hergestellt. Eigenschaften dieser Gläser sind eine hohe Brechzahl, Farblosigkeit, brillanter Glanz, ein schöner Klang und eine relativ hohe spezifische Dichte von 3,5 bis 4,8. Bleigläser finden Verwendung zur Herstellung von Trinkgläsern, Karaffen, Vasen und Ziergegenständen.

Spezialgläsern

Sie werden unterschieden in Alumo-Silikatglas, Schaumglas, Wasserglas, Quarzglas und optische Gläser (siehe Technisches Glossar).

2.1.3 Glasfärbung

Massenläser

Farbige Massenläser werden stets durch Ionenfärbung erzeugt. Dabei entsteht die spektrale Festlegung der Gläser (Färbung) durch die Zugabe von Metalloxiden in die Schmelze, wodurch diese gelöst werden und das Glas homogen eingefärbt wird. Die mengenmäßig bedeutsamsten Farbläser sind Grünglas (Eisenoxid und Chrom-(III)oxid), Braunglas (Eisenoxid) und halbweißes Glas (Spuren von Eisenoxid und Chrom-(III)oxid). Andere Farbrohstoffe sind der Tab. 1 zu entnehmen.

Tab. 1: Farbrohstoffe für die Ionenfärbung ([17], verändert)

Farbrohstoffe	färbende Oxide	Glasfarbe
Eisen- mit Chromoxid	$\text{FeO} + \text{Cr}_2\text{O}_3$	grün
Eisen- mit Kobaltoxid	$\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{CoO}$	grau
Didymoxid	$\text{Nd}_2\text{O}_3 + \text{Pr}_2\text{O}_3$	violett
Eisenoxid	$\text{FeO}, \text{Fe}_2\text{O}_3, \text{Fe}_2\text{O}_3 + 3\text{H}_2\text{O}$	grün-blaugrün braun bei Schmelze unter reduzierenden Bedingungen braunschwarz oder gelb in Verbindung mit Braunstein
Indiumoxid	In_2O_3	gelb-bernsteinorange
Kaliumdichromat	$\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7, \text{K}_2\text{CrO}_4$	hellgrün
Kobaltoxid	CoO	tiefblau
Kupferoxid	$\text{CuO}, \text{Cu}_2\text{O}$	blau bei CuO und rot bei Cu_2O
Manganoxid	MnO	gelb
Manganoxid	Mn_2O_3 und höhere Oxide	violett
Nickeloxid	$\text{NiO}, \text{Ni}_2\text{O}_3$	grün, auch violett
Praseodymoxid	Pr_2O_3	grün
Samariumoxid	Sm_2O_3	gelb
Europiumoxid	Eu_2O_3	intensiv rosa
Selenoxid	SeO_2	rosa, rot
Uranoxid	UO_2	gelb bis hellgrün
Zerdidymoxid	$\text{CeO}_2 + \text{Nd}_2\text{O}_3 + \text{Pr}_2\text{O}_3$	
Zeroxid	CeO_2	hellgelb

Im Anhang 1: Farbtafeln werden die wesentlichen Glasfärbungen in Farbtafeln dargestellt. Feine Farbänderungen können durch Änderung der Zugabemenge oder durch Zugabe weiterer Oxide erzielt werden. Wird eine Farbe durch den Zuschlag mehrerer Metalloxide erzeugt, steigert sich die Veränderbarkeit der Zugabemenge der einzelnen Oxide und somit die mögliche Anzahl erzeugbarer Farbtöne.

Anlaufgläser

Die Färbung der Anlaufgläser wird dagegen durch Farbausscheidungen hervorgerufen. Als im Glas kolloidal verteilte Farbstoffe sind Cadmiumchalkogenide sowie die Metalle Kupfer, Silber und Gold am gebräuchlichsten (Tab. 2). Bei diesen Gläsern entsteht die Färbung erst durch einen Wiedererwärmungsprozess, dem so genannten „Anlaufen“ (auch „Tempern“).

Tab. 2: Farbstoffe für Anlauffarben [17]

Farbstoffe	färbende Metallverbindungen	Glasfarbe
Cadmiumselenid	CdSe	rot bis dunkelrot
	CdS-CdSe-Mischkristalle	orange
	CdSe-CdTe-Mischkristalle	dunkelrot
Cadmiumsulfid	CdS	gelb
	CdS-ZnS-Mischkristalle	hellgelb
Gold	Au	rot
Kupferoxid	CuO, Cu ₂ O	rot
Silbernitrat	AgNO ₃	gelb bis gelbbraun

Daneben wurden früher auch Rubin- bzw. Farbgläser mit weiteren Schwermetallsulfiden oder -seleniden (z. B. Sb₂S₃, FeS, FeSe, CuS, NiS, Mo₂S₃, W₂S₃, Ag₂S₃) hergestellt.

2.1.4 Schmelze

Schmelzvorgang

Der Schmelzvorgang bei der Glasherstellung besteht im Wesentlichen aus den drei Phasen Rauhschmelze, Läuterung und Abstehen.

Als **Rauhschmelze** (Rohschmelze) bezeichnet man das Erschmelzen des Gemenges. Das Aufheizen des Gemenges verläuft aufgrund der niedrigen Wärmeleitfähigkeit nur sehr langsam. Nach anfänglichen Silikatbildungsreaktionen und CO₂-Entbindung werden bei Temperaturen von etwa 600 °C bis 900 °C Stoffe dehydriert und Nitrate in NO₂, NO und O₂ umgewandelt. Es entsteht eine Rauhschmelze (ca. 1.200 °C), die aufgrund ihrer Inhomogenität und dem hohen Gasanteil dem nachfolgenden Läuterungsprozess unterzogen werden muss.

Während der **Läuterung** werden bei etwa 1.400 °C bis 1.500 °C durch Zugabe von Läuterungsmitteln und Schmelzbeschleunigern (Tab. 3) die gebundenen Gase aus der Schmelze ausgetrieben. Durch zusätzliche mechanische Maßnahmen (Rühren oder Blubbing, d.h. Spülen mit Gas) wird eine schnellere Entgasung (v. a. Sauerstoff, Chlorid, Fluorid, Schwefeldioxid und Stickoxide) und eine optimale Homogenisierung der Schmelze bewirkt.

Tab. 3: Läuterungsmittel und Schmelzbeschleuniger [17]

Bezeichnung	Summenformel	Verwendet als
Arsentrioxid	As_2O_3	Läuterungsmittel
Bariumchlorid	$\text{BaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	Läuterungsmittel
Bariumfluorid	BaF_2	Läuterungsmittel
Natriumchlorid	NaCl	Läuterungsmittel
Natriumhexafluorosilikat	Na_2SiF_6	Läuterungsmittel
Antimontrioxid	Sb_2O_3	Läuterungsmittel
Aluminiumnitrat	$\text{Al}(\text{NO}_3)_3 + 15\text{H}_2\text{O}$	Läuterungsmittel in alkaliarmen Alumosilikatgläsern
Calciumfluorid	CaF_2	Läuterungsmittel, Schmelzbeschleuniger
Bariumnitrat	$\text{Ba}(\text{NO}_3)_2$	Oxidations- und Läuterungsmittel

In der letzten Phase, dem **Abstehen**, wird die Glasschmelze gleichmäßig auf eine für die Weiterverarbeitung geeignete Temperatur von ca. 1.200 °C abgekühlt.

Schmelzwannen

Der Schmelzprozess kann entweder diskontinuierlich (Hafenöfen, Tagesöfen) oder kontinuierlich (Wannenöfen) erfolgen.

Hafenöfen mit einem Fassungsvermögen von ca. 50–400 l je Hafen stellen die ältesten Bauarten für einen diskontinuierlichen Verfahrensprozess dar [19]. Die Phasen der Schmelzenbildung laufen hier nacheinander im selben Ofen ab. Hafenöfen sind oft runde bis zylindrische Öfen aus feuerfesten Schamottesteinen, die aus Ofenraum, Schmelzraum und einem die Gitterschächte der Regeneratoren umschließenden Unterofen bestehen (Abb. 2). Die Standzeit solcher Öfen schwankt je nach Art des geschmolzenen Glases zwischen zwei und acht Jahren.

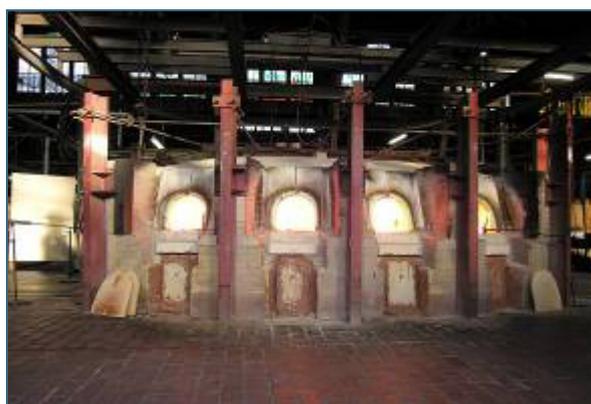


Abb. 2: Hafenofer

In den mit Gittersteinen ausgelegten Regeneratoren, die sich in zwei nur durch Züge verbundenen Räumen befinden, werden in einem Teil das einströmende Brenngas und die Luft vor Eintritt in den Ofenraum vorgewärmt. Im anderen Teil heizen die Abgase des Ofens die Regeneratoren wieder auf. Nach einer bestimmten Zeit werden die Wechselklappen der Rauchzüge umgelegt, so dass nun im anderen Teil die Vorwärmung der Brenngase erfolgt. Zu diesem Zweck werden auch Rekuperatoren

eingesetzt, die wie übliche Wärmetauscher funktionieren.

Die heißen und bisweilen durch Stäube und gasförmige Komponenten stark beladenen Ofengase schlagen sich an den Steinen und Innenwänden der Regenerativkammer nieder. Im Laufe der Zeit bilden sich mächtige Ablagerungen in den Regeneratoren und Rekuperatoren, so dass diese getauscht werden müssen. Das mögliche Belastungsinventar besteht aus Sulfaten, Nitraten, Alkalien, Oxiden und Schwermetalloxiden.

Im großindustriellen Einsatz finden sich kontinuierlich arbeitende **Wannenöfen** mit Fassungsvermögen von mehr als 1.000 t und täglichen Schmelzleistungen zwischen 2 t und 900 t [19]. Dieses erstmals um 1860 von der Fa. Siemens vorgestellte Schmelzverfahren ermöglichte eine deutliche Steigerung der Schmelzleistung und damit eine Steigerung der Produktion. Der Ablauf der Phasen Schmelzen, Läutern und Abstehen läuft in einem großen keramischen Becken in räumlich aufeinander folgenden Bereichen kontinuierlich ab (Abb. 3 und Abb. 4). Das Gemenge wird auf der einen Seite der Wanne eingelegt („Schmelzwanne“), auf der anderen Seite wird das erschmolzene Glas entnommen („Arbeitswanne“).



Abb. 3: Innenansicht Wannenofen mit querziehender Flamme



Abb. 4: Abschnitt der Läuterung mit keramischem Rührwerk

Unterhalb der Schmelzwanne erfolgt die Beheizung der Wannen in den Schmelz- und Läuterungsabschnitten (Abb. 3) aufgrund ihrer Größe meist durch eine querziehende Flammenführung. Die Regeneratoren sind hier entsprechend seitlich angebracht. Im Abschnitt des Arbeitsbereiches wird hingegen nicht mehr geheizt.

2.1.5 Formgebung

Die Weiterbehandlung von Glas nach Erreichen der Verarbeitungstemperatur ist sehr unterschiedlich und von dem herzustellenden Produkt abhängig. Nachfolgend und nach Art der Verarbeitung eingeteilt werden die wichtigsten Prozesse zur Formgebung und Vergütung beschrieben.

Floaten

Das Floatglasverfahren wurde in den 1950er Jahren entwickelt und wird seit den 1960er Jahren industriell angewandt. Nach Schätzungen werden derzeit ca. 95 % der gesamten Flachglasproduktion mit diesem Verfahren hergestellt.

Beim Floaten wird kontinuierlich Glasschmelze mit etwa 1.100 °C in ein mit flüssigem Zinn (Schmelzpunkt 232 °C) gefülltes, geschlossenes Becken geleitet. Dabei kann die Länge der Anlagen bis zu

1.000 m betragen. Die deutlich leichtere Glasschmelze schwimmt auf und breitet sich gleichmäßig in einer Dicke von ca. 6 mm aus. Durch Ablauf in einem geschlossenen und sauerstoffarmen System wird die Oxidation des Zinns verhindert.

Durch die relativ hohen Oberflächenspannungen von Zinn und Glas bildet sich zudem eine sehr glatte Oberfläche, wodurch Nachschleifen oder Polieren entfallen. Ein weiterer Effekt dieser feuerpolierten Oberflächen ist das Fehlen von optischen Verzerrungen bei der Durchsicht.

Am Ende des Floatbades wird das bereits auf ca. 600 °C abgekühlte Glasband durch einen Kühllofen gezogen, in dem die Endlosscheiben verspannungsfrei abgekühlt werden. Ablängen und Randschnitt erfolgen nach optischer Qualitätskontrolle. Die Standardgrößen liegen i. d. R. bei etwa 321 x 600 cm.

In Abhängigkeit der Ziehgeschwindigkeit lassen sich mit dem Floatverfahren Glasstärken zwischen 0,4 mm und 24 mm erzielen. Angaben zu produzierten Glasmengen schwanken bei 24-stündiger Laufdauer zwischen 600 t/d und 780 t/d. Die Haltbarkeit der Wannen beträgt ca. 11 bis 15 Jahre.

Walzen und Gießen

Beim Walzen wird das Glas im geschmolzenen Zustand über mehrere nacheinander folgende Walzen langsam zu einem gleichmäßig dicken Strang geformt. Das hierbei entstehende Flachglas weist durch den Kontakt mit dem unterliegenden Gusstisch keine feuerpolierte Oberfläche wie beim Floaten auf und ist daher deutlich gewellter. Bei diesem Verfahren werden bereits Ornamentierungen in das noch heiße Flachglas geprägt. Die Herstellung solcher Flachgläser erfolgt industriell im diskontinuierlichen Verfahren (Tischverfahren, Bicherouxverfahren) und im kontinuierlichen Verfahren (Wannenauslaufverfahren, Abb. 5). Mit den diskontinuierlichen Verfahren werden beispielsweise Tischkathedralgläser, Marmorgläser, Drahtgläser, Ornamentgläser oder Spezialgläser (Spiegel- oder Strahlenschutzgläser) hergestellt.



Abb. 5: Wannenauslaufverfahren

Blasen

Mundblasen

Die klassischen Glasmacherpfeifen bestehen aus einem Mundstück (Abb. 6) und einem ca. 1,2 m langen Eisenrohr, welches im oberen Teil mit einem Holzgriff versehen ist. Den unteren Abschluss bildet der „Nabel“, mit dem der Glasbläser eine kleine Menge Glas aus dem Ofen holt. Unter drehenden Bewegungen wird die Glasmasse zu einer kleinen Blase, dem „Kölbel“, aufgeblasen. Bei Bedarf wird der Kölbel durch nochmaliges Eintauchen in die Schmelze vergrößert.



Abb. 6: Glasmacherpfeife, Mundstück

Die Formgebung für Hohlgläser erfolgt nun entweder freihändig durch Ausnutzen der Schwerkraft bei gleichzeitigem Aufblasen oder es wird direkt in hölzerne oder metallene Formen geblasen. Anschließend können die Rohformen durch Anbringen von Henkeln, Füßen o. ä. oder das „Überfangen“ mit anderem, farbigem Glas weiterbearbeitet werden.

Beim Herstellen von geblasenem Flachglas wird durch Hin- und Herschwingen in einer Grube (Abb. 7) aus dem Kölbel langsam ein Zylinder geblasen. Anschließend wird die Glasmacherpfeife abgesprengt und der Zylinder aufgeschnitten. Die aufgeschnittenen Zylinder werden im Streckofen nochmals bis zum Erweichen erwärmt (Antemperm auf Transformationstemperatur ca. 650 °C), zu einer ebenen Glastafel ausgebreitet und mit dem Polierholz geglättet. Danach erfolgt die Abkühlung der Glasplatten in einem langen Kühllofen (Abb. 8).



Abb. 7: Flachglasherstellung durch Blasen



Abb. 8: Abkühllofen für Glasplatten

Maschinelles Blasen

Anfang des 20. Jahrhunderts wurden erste Versuche zur Herstellung von Fenstergläsern mit pneumatischen Pfeifen durchgeführt, die jedoch nicht den gewünschten Erfolg brachten und daraufhin wieder eingestellt wurden.

Für die Herstellung von Hohlgläsern hingegen setzten sich die maschinellen Saug / Blas-, Blas / Blas- und Press / Blas-Verfahren durch. Bei diesen Verfahren wird zunächst die Glasmasse durch Saugen, Blasen oder Pressen in eine vorgefertigte Hohlform gebracht und anschließend ausgeblasen. Auf diese Weise werden überwiegend Eng- und Weithalsgläser hergestellt.

Düsenblasverfahren

Bei diesem Spezialverfahren werden äußerst feine und kurze Fasern hergestellt, indem man unter hohem Druck aus am Boden der Glasschmelzwanne angebrachten Düsen flüssige Glasfäden senkrecht nach unten austreibt (Geschwindigkeiten bis zu 100 m/s), so dass die Fasern in kurze Stücke zerreißen.

Ziehen

Die verschiedenen Ziehverfahren dienen vorrangig zur maschinellen Herstellung von Flachgläsern und Glasrohren als Massenware. Spezialgläser, z. B. bunte Fensterscheiben für Kirchen, werden nach wie vor in Handarbeit (Zylinderziehverfahren) produziert. Im Wesentlichen sind Zylinder-, Platten-, Rohr-, Stab- und Düsenziehverfahren von Bedeutung (siehe Technisches Glossar).

Pressen

Beim Pressen wird die Glasschmelze manuell mit der Pfeife oder dem Schöpfergerät bzw. automatisch über so genannte Speiser in eiserne Formen gefüllt und mit dem Pressstempel ausgepresst. Um die Oberflächen der fertigen Gegenstände zu glätten, werden diese bei Bedarf nochmals erhitzt. Hergestellt werden mit dieser Technik vorzugsweise dickwandige Gegenstände, wie z. B. Schüsseln, Biergläser, Glasdachziegel.

Zerfasern und Schleudern

Ein typisches Produkt in Schleudertechnik sind Butzenscheiben, die jedoch auch mundgeblasen werden können. Die Herstellung erfolgt durch starkes Drehen eines Glaspostens und der Formgebung durch eine Lehre, bis die gewünschte Stärke des Glases entstanden ist. Geschleuderte Butzenscheiben sind an der nicht kreisrunden Form und der durch das Absprengen am Hefteisen hervorgerufenen Bruchstelle im Zentrum zu erkennen.

Auch kurze Glasfasern können nach dieser Methode hergestellt werden. Dabei werden von einer sich horizontal drehenden Scheibe Glastropfen weggeschleudert, die dabei Fäden ziehen. Die Tropfen werden laufend von den Fäden getrennt. So entsteht am Rand der Drehscheibe ein nach unten sinkender Faserstrang, der abgeschnitten als Fasermatte weiter verarbeitet werden kann.

2.2 Weiterverarbeitung

Für die Bearbeitung der Glasoberflächen wurden verschiedene Verfahren entwickelt. Eine Übersicht der wichtigsten Oberflächenbearbeitungs- und -veredelungsverfahren gibt Abb. 1.

2.2.1 Oberflächenbearbeitung

Gravieren

Die Gravur (auch „Glasschnitt“) ist eine abgewandelte Variante der Glasschleiferei und kommt in der Glasmacherzunft bei der künstlerischen Veredelung (Ornamente, Portraits, Monogramme etc.) von Gläsern zur Anwendung. Die Arbeiten werden mit kleinen Kupferrädchen und ölvermischem Schmirgel oder mit einer Diamantnadel ausgeführt.

Schleifen und Polieren

Ziel eines Glasschliffes ist es, durch geeignete Facettierung die Brillanz und das Feuer in Kristallgläsern hervorzuheben. In den früheren Jahren wurde das Dekor mit Schmirgel und Sandsteinen eingeschliffen. Das Polieren erfolgte auf einer Holzscheibe unter Einsatz von Kieselgur, Bimsstein, Zinnasche oder Polierrot als Poliermittel [19].

Heutzutage werden Siliziumkarbonat-Scheiben für den Grobschliff verwendet. Mit Diamant- und Korundscheiben werden die feineren Details herausgearbeitet. Die hierbei entstehende rau-matte Oberfläche wird mit Pappelholz- oder Presskorkscheiben unter Verwendung von Bimssteinmehl nachpoliert. Die Feinpolitur erfolgt mit Poliertonerde auf Filz- bzw. Bürstenrädern.

Alternativ zur mechanischen Politur wird v. a. bei Bleikristallgläsern die chemische Politur (Säurepolitur) angewandt. Die Säurepolitur oder Glasätzung mit verdünnter Flusssäure ist eines der wichtigsten Arbeitsverfahren zum Polieren geschliffener Gläser. Zum Mattieren von Kristallgläsern wird hingegen konzentrierte Flusssäure verwendet.

Beim Säurepolitur-Verfahren wird die Glasoberfläche in einem 40 °C bis 60 °C heißen Polierbad, welches aus Schwefelsäure und Flusssäure (2–10 % HF) besteht, angegriffen bzw. aufgelöst. Als Reaktionsfolgeprodukt entsteht hierbei neben Wasser auch das wasserunlösliche Siliziumtetrafluorid (SiF_4), das gasförmig entweicht oder mit HF-Überschüssen zu Kieselfluorwasserstoffsäure reagiert.

Dieser Vorgang wird so oft ausgeführt, bis eine hochglänzende Oberfläche vorliegt. Da bei der Reaktion der Flusssäure mit der Glasoberfläche Wasser entsteht, nimmt die Säurekonzentration ständig ab. Dies und die Anreicherung von Verschmutzungen haben zur Folge, dass die Bäder relativ schnell verbraucht sind und ausgetauscht werden müssen. Der Säureverbrauch ist daher bei solchen Anlagen sehr hoch. Gleichzeitig stellen die sehr sauren Abwässer, die stark mit Schwermetallen angereichert sind, hohe Anforderungen an die Neutralisationsanlagen.

In neueren Anlagen wird das Sälzle-Verfahren eingesetzt. Im Polierbad wird nur noch reine Flusssäure eingesetzt, das Waschbad enthält konzentrierte Schwefelsäure (ca. 60 % bis 70 %). Durch Temperaturerhöhung und die Belüftung des Waschbades wird die niedrig siedende Flusssäure ausgetrieben, so dass die Schwefelsäure länger verwendet werden kann.

In früheren Jahren existierten vielfach keine Neutralisationsanlagen. Es wurden die säure- und metallhaltigen (besonders As und Pb) Abwässer direkt in eine nahe gelegene Vorflut geleitet oder über offene Erdgruben bzw. Versitzgruben versickert. Die dort entstandenen massiven Boden- und Grundwasserunreinigungen sind neben den Standorten von Gasgeneratoren, direkt befeuerten Wannen samt Abluftführungen sowie begrenzt den Betriebsdeponien die am stärksten belasteten Bereiche.

Spiegelschliff

Die auf beiden Seiten rohen, meist gegossenen Spiegelglasplatten werden zunächst beim Rauhschleifen auf großen gusseisernen Tischen (bis zu 10 m Durchmesser) eingegipst und mit rotierenden Schleifscheiben planparallel geschliffen. Als Schleifmittel wird ein scharfkantiger Quarzsand verwendet. Der Feinschliff erfolgt mit kornabgestuftem Schmirgelpulver. Zum Polieren verwendet man z. B. Ceroxid, Eisenoxid oder Zinnaschen auf Holz-, Filz- oder Zinkscheiben.

2.2.2 Oberflächenveredelung

Bei der Glasveredelung werden durch Auftragen oder Aufschmelzen von Metallen oder Farbgläsern verschiedenste Oberflächeneffekte erzielt.

Gelb- und Rotätzen

Auftrag von Silberverbindungen in Ton (Gelbfärbung) oder Kupferoxid (Rotfärbung) auf das Glas und Erhitzung bis zum Erweichen. Silber bzw. kolloidal verteiltes Kupfer wird vom Glas aufgenommen und färbt dieses.

Irisierende Oberflächen

Das Glas wird im erhitzten Zustand Metalldämpfen ausgesetzt. Ausgangsstoffe zur Erzeugung irisierender Oberflächen sind v. a. die Chloride des Zinns, Bariums und Strontiums sowie arsenige Säure.

Lüsterfarben

Harzsaure Metallsalze (Resinate) werden in ätherischen Ölen aufgelöst und auf die Glasoberfläche aufgebracht. Durch Erhitzung im Muffelofen (ca. 600 °C) werden die Metalle oxidierend in das Glas eingebrannt. Es entsteht ein perlmuttartiger, farbloser oder farbiger Glanz. Zur Anwendung kommen Wismut-, Uran-, Eisen-, Kupfer- Gold- oder Platinresinate [19].

Verspiegelung

Früher wurde der Spiegelbelag aus Zinnamalgam hergestellt. Hierbei wurde auf einer ebenen Fläche Zinnfolie ausgebreitet und darauf Quecksilber verteilt. Die zu verspiegelnde Glasplatte wurde anschließend vorsichtig darüber geschoben und solange dort belassen, bis die Mischung in einigen Tagen zu Amalgam ausgehärtet war. Aufgrund der giftigen Eigenschaften von Quecksilber werden heute nur noch Silber Spiegel produziert. Bei deren Herstellung wird nach Vorbehandlung der Glasoberfläche mit einer Zinnsalzlösung, die nach kurzer Einwirkzeit abgewaschen wird, ein Silberniederschlag durch gleichzeitiges Aufsprühen einer Silberlösung und einer Silberreduktionslösung erzeugt. Nachfolgend wird darauf eine dünne Kupferschicht, durch gleichzeitige Aufbringung einer Kupferlösung und einer Kupferreduktionssuspension, abgeschieden. Nach dem Trocknen wird der Spiegel mit einem Schutzlack überzogen.

Glasmalerei

Als Glasmalfarbe werden leicht schmelzende, gefärbte Gläser (Farbgebung siehe Kapitel 2.1.3 und Anhang 1: Farbtafeln) verwendet. Diese enthalten neben Metalloxiden bis zu 70 % Blei (Beispiel einer Grundmischung aus [19]: 80 Teile Mennige (Blei(II,IV)-oxid), 30 Teile Sand, 20 Teile Borax (Natriumborat)). Das so produzierte Glas wird sehr fein aufgemahlen (metallhaltige Staubemissionen), mit Terpentinöl oder vergleichbarem vermischt und mit einem Pinsel auf das Glas aufgetragen. Alternativ werden bei Massenartikeln Abziehbilder zum Dekorieren verwandt. Nachdem die Farben bzw. die Dekorbilder getrocknet sind, werden sie im Muffelofen eingebrannt.

Der flächige Auftrag von Glasmalfarben erfolgt industriell im Spritzverfahren in Spritzkabinen. Die Gläser werden mit Glasmalfarbe besprüht und kommen anschließend zum Einbrennen in den Muffelöfen. In den Absaug- und Filteranlagen der Spritzkabinen ist verfahrensspezifisch mit hohen Metallgehalten zu rechnen.

2.3 Sonstige Anlagentechnik

2.3.1 Generatorgaserzeugung

Generatorgas (auch Luftgas, bestehend aus ca. 70 % N₂, 25 % CO, Rest H₂, CO₂, CH₄) wird großtechnisch durch die unvollständige Verbrennung von Kohle in Generatoröfen ohne Wasserzugabe erzeugt.

Bei der Herstellung dieses Brennstoffs wird Luft von unten („Unterwind“) im Aufstrom durch eine bis zu mehrere Meter dicke, an der Basis rotglühende Schicht Kohle geführt. Die Kohle verbrennt im aufsteigenden Gasstrom zunächst zu nicht brennbarem Kohlendioxid (CO₂). Im oberen Bereich der Kohleschüttung wird dieses Gas dann an noch unverbrannter Kohle zum brennbaren Kohlenmonoxid oder Kohlendioxid (CO) reduziert. Der Stickstoffanteil der Luft bleibt bei dieser Reaktion unverändert. Weitere, untergeordnet auftretende Gase sind Kohlendioxid sowie geringe Mengen an Wasserstoff, Sauerstoff und Methan.

Die am häufigsten eingesetzten Generatortypen waren Drehrostgeneratoren. Diese wurden von oben über eine Beschickungsöffnung unter kontinuierlicher Schüttung zumeist mit Braunkohlenbriketts oder Steinkohle beschickt. Dabei musste die Dicke des durchströmten Kohlebetts während der Verschmelzung konstant bleiben. Das mit Feinstaub, Teer- und anderen Gasen befrachtete Generator-Rohgas wurde anschließend entstaubt und gekühlt. Je nach eingesetzter Kohle entstanden verschiedene Kondensate und Waschwässer aus dem Kühl- und Abscheideprozess (Tab. 4).

Tab. 4: Wesentliche Bestandteile von Kondensaten aus dem Generator-Rohgas bei Verschmelzung von Stein- bzw. Braunkohle [16]

Stoffe/-gemische	Mengenanteil	entstehende Schadstoffe
Steinkohlenteer	50 %–80 % 2 %–20 % 0,5 %– 5 %	PAK (Naphthalin, Anthracen, Phenanthren, Fluoranthen, Pyren, Benz(a)pyren) BTEX Phenole und heterozyklische Kohlenwasserstoffe
Braunkohlenteer	20 %–40 % 10 %–20 % 8 %–30 % < 10 % 0,05 %–5 %	aliphatische Kohlenwasserstoffe: Paraffine bis C32, Alkene, Alkine Cycloalkane, -alkene Phenole PAK: Naphthalin, Anthracen, Phenanthren, Fluoranthen, Pyren, Benz(a)pyren BTEX
Ammoniakwasser ¹⁾	k.A.	anorg. Verbindungen: Ammoniak, Sulfat, Sulfid, Cyanid u. a., Chlorid
Phenolwasser, Gaswasser ²⁾	k.A.	organische Verbindungen: Phenole, Pyridin, Aldehyde, Ketone

1): Als Ammoniakwasser wird das Waschwasser aus Gaswerken und Kokereien auf Steinkohlenbasis bezeichnet. Es ist durch hohe Konzentrationen an Ammoniak gekennzeichnet. Organische Verbindungen liegen in vergleichsweise niedrigen Konzentrationen vor.

2): Die Waschwässer der Braunkohlenveredlung enthalten einen entscheidend höheren Anteil an organischen Verbindungen. Wie schon die Bezeichnung Phenolwasser aussagt, sind v. a. Phenole, aber auch Alkohole, Aldehyde, Ketone und Pyridin enthalten.

Nach Voranreicherung erfolgte die Kondensatabtrennung in massiven, unterirdischen Betonbecken (Phenolgruben und Teerbecken), in welchen das bei Kühlung und Kondensation anfallende Gemisch aus Teer und Gaswasser gesammelt wurde. Aufgrund des Dichteunterschiedes floss das leichtere Wasser in die Phenolgrube, das schwerere Teerkondensat über ein Tauchrohr in die Teergrube. Die anfallenden Abfallstoffe wurden gesammelt und verwertet bzw. abgelagert oder als Phenolwasser in die Vorfluter abgeleitet.

2.3.2 Kesselhäuser mit Abluftschornsteinen

Heißwasser, Dampf und zeitweise der gesamte Energiebedarf für den Betrieb wurden stets in firmeneigenen Kesselhäusern erzeugt. Etwa ab Mitte des 19. Jahrhunderts bis oft noch weit in das 20. Jahrhundert hinein standen in den Kesselhäusern die Dampfmaschinen und die Notstromaggregate.

Wärmeenergie wurde in Stahl-Mauerwerk-Verbundkesseln erzeugt. Die Feuerung erfolgte meist mit Kohle, seltener mit Koks oder auch mit schwerem Heizöl. In verschiedenen Betrieben wurde in den Kesseln des Heizhauses Teerkondensat aus dem Betrieb der Gaserzeugung mit verfeuert, welches über beheizte Erdleitungen zugeführt wurde. Leichtes Heizöl wurde aus Kostengründen nicht oder nur zum Betrieb kleiner Sekundär-Heizkessel verwendet.

Nach Feuerung in den Stahlkesseln durchzogen die Heißgase die in gemauerten Einhausungen liegenden Wärmetauscher in mehreren Zügen, durchliefen eine „Aschekammer“ zur Flugstaubabscheidung und zogen ohne weitere Reinigung über unterirdische Rauchfuchse zum meist sehr hohen Rauchgasschornstein.

Zum Komplex des Kesselhauses gehörten auch die Kessel- und Brauchwasseraufbereitung. Das Speisewasser für die Dampfessel sowie das gesamte Brauchwasser des Betriebs wurde durchweg aus eigenen Betriebsbrunnen gehoben und aufbereitet.

2.3.3 Schlossereien, Schreinereien, Elektrowerkstätten

Schlossereien, Schreinereien und Elektrowerkstätten zur Wartung und Reparatur von Maschinen und Produktionsinventar finden sich in jeder Glasfabrik. Die Stromversorgung in alle Teilbereiche der Werke erfolgte mittels Transformatoren und Verteilern. Auch nach Stilllegung der Betriebe werden im Eigentum des Stromversorgers stehende Umspanneinheiten oft noch weiterbetrieben, um die Versorgung anderer Verbraucher zu gewährleisten.

2.3.4 Lagerung von Brennstoffen

Früher wurden bei der Glasproduktion im Wesentlichen zwei Arten von Brennstoffen eingesetzt. Zum einen Stein- und Braunkohlen zur Erzeugung von Generatorgas, die in Bunkern in der Nähe des Kesselhauses gelagert wurden. Zum anderen kam Schweröl zum Einsatz, bei dessen Verbrennung u. a. Chlorverbindungen freigesetzt werden. Vereinzelt wurde auch leichtes Heizöl zur Befuerung der Schmelzöfen eingesetzt. Die Lagerung des bei Normaltemperatur zähflüssigen Schweröls und des leichten Heizöls erfolgte i. d. R. in Stahltanks.

2.3.5 Gleisanlagen

Größere Glashüttenstandorte besaßen, zumindest in der Vergangenheit, meist einen Anschluss an das öffentliche Schienennetz zur Versorgung mit Brenn- und Rohstoffen. Ein mögliches Belastungsinventar stellen in diesem Zusammenhang die meist auf teerölimprägnierten Holzschwellen gebetteten älteren Gleis- und Weichenanlagen dar. Des Weiteren wurden per Bahnkesselwagen auch Heizöle und Säuren angeliefert. An den jeweiligen Abfüllplätzen sind leckagebedingte, stoffspezifische Verunreinigen (MKW, HF) möglich.

2.3.6 Abluftbehandlung säurehaltiger Abgase

Die in der Säurepolituranlage über den Bädern abgesaugte Abluft, die neben Schwefelsäure und der wasserunlöslichen Verbindung SiF_4 auch Flusssäure enthielt, wurde über ggf. mehrstufige Waschtürme geführt. In diese Waschtürme wurde Wasser eingedüst, in einem Vorlagebehälter aufgefangen und erneut eingesprüht. Ab einem bestimmten Verunreinigungsgrad wurde das mit Säuren angereicherte Waschwasser über Kanäle der Abwasserbehandlungsanlage zugeführt. Der Aufstellbereich dieser Luftwäscher stellt einen potenziellen Eintragsbereich säurehaltiger Abwässer dar.

2.3.7 Säurelager

Die zur Ätzung bzw. Politur der Glasoberfläche erforderlichen Säuren (HF , H_2SO_4) wurden sowohl in ortsfesten Lagerbehältern, als auch in beweglichen Gebinden bevorratet. Bei der Befüllung der ortsfesten Behälter, aber auch bei der kontinuierlichen Entnahme von Säuren über Rohrleitungen, können durch Überfüllung, Leckagen oder sonstige Handhabungsverluste Kontaminationen mit hochkonzentrierter Säure entstanden sein.

3 Schadstoffinventar in Bauwerken

3.1 Anlagenteile Herstellung

3.1.1 Gemengelager und Gemengeaufbereitung

Die Hauptrohstoffe zur Glasherstellung in den Gemengelagern wie Quarzsand, Natron oder Kalium- und Calciumoxid sind nicht umweltbedeutsam. Als umweltrelevant einzustufen sind jedoch Zusatzstoffe (Kapitel 2.1 ff. und Tab. 5).

Die Herstellung spezifischer Glasrezepturen, dem Gemenge, erfolgt in den Mischanlagen der Gemengelager (Abb. 9). Handhabungsbedingt treten beim Transport durch z. B. Mulden oder Förderbänder und bei Mischvorgängen im Gemengelager Staubemissionen auf. Diese Stäube setzen sich im gesamten Arbeitsbereich auf horizontalen Flächen oder in Ritzen ab. Solche Staubablagerungen können durchaus Schichtstärken von mehreren Zentimetern erreichen (Abb. 10) und stellen für Mensch und Umwelt ein Gefährdungspotential dar.



Abb. 9: Gemengelager mit Mischanlage in laufender Produktion



Abb. 10: Gemengelager in einer Industriehalle mit massiven Staubablagerungen

Moderne Mischanlagen besitzen Absauganlagen mit nachgeschalteten Gewebefiltern, so dass Staubemissionen deutlich minimiert werden.

Tab. 5: Zusammenfassung spezifischer Schadstoffe bei der Gemengeherstellung ([17], verändert)

(Gefährdende) Inhaltsstoffe	Hauptschadstoffparameter
Glasrohstoffe Siliziumdioxid, Oxidverbindungen von Natrium, Calcium, Magnesium, Barium und Aluminium	elektrische Leitfähigkeit, Pb, Ba, B
Bleikristallglas zusätzlich Bleioxid	Pb, As, Sb
Borosilikatglas zusätzlich Borverbindungen	B
Farbgläser Metalloxide	As, Pb, Cd, Cr, Cu, Ni, Co, Se, Mo
Sondergläser Ceroxid, Schwefel, Selen, Tellur, Beryllium, Fluorid, Nitrat, Phosphat, Vanadat	Ce, S, Se, Te, Be, F, NO ₃ ⁻ , PO ₄ ³⁻ , VO ₄ ³⁻

3.1.2 Glasschmelzwannen und -häfen mit Läuterung

Wichtigster und emissionsintensivster Schritt bei der Glasproduktion ist das Erschmelzen des Gemenges. Dabei ist die Zusammensetzung von Stäuben und Abgasen abhängig von der Art des Brennstoffs, der Gemengerohstoffe und dem Einsatz von Rücklaufscherben.

Beim mechanischen Einlegen des feuchten Gemenges entsteht nur wenig Staub. Die Rückstände in den Abgasen der Schmelzöfen bestehen überwiegend aus Verdampfungsprodukten der Glasschmelze. Beim Einschmelzen des Gemenges und beim Läutern des Glases werden aufgrund der hohen Temperaturen Alkalien teilweise verdampft. Dabei sind Hauptbestandteile der gasförmigen Emissionen Kohlendioxid, Schwefeldioxid, Stickoxide, Chlorwasserstoff und Fluorwasserstoff.

Fluoride sind als Verunreinigungen in den Rohstoffen enthalten und werden weiterhin als Schmelzbeschleuniger sowie bei der Blankschmelze als Läuterungsmittel eingesetzt. Durch Zugabe von Fluorid kommt es bei Überschreitung einer bestimmten Konzentration beim Abkühlen der Glasschmelze zur Bildung von Natriumfluorid- und Calciumfluoridkristallen und damit zu einer Trübung des Glases. Die während des Schmelzprozesses im Abgas auftretenden Fluorverbindungen sind Fluorwasserstoff (HF) und Siliziumtetrafluorid (SiF₄).

Chlor ist ähnlich wie Fluorid als Verunreinigung in den Glasrohstoffen vorhanden. In mit schwerölbeheizten Glaswannen entgast Chlor vorwiegend als gasförmige Chloridverbindung (HCl). Die Bindung als staubförmiges NaCl findet nur in geringem Maße statt.

Blei und **Bor** sowie die z. B. als Läuterungs- und Entfärbungsmittel eingesetzten **Arsen-**, **Antimon-** oder **Selenverbindungen** sublimieren u. a. als Oxide und bilden mit Schwefeloxiden im Verlauf der Abkühlung Sulfate (ca. 10 % bis 50 % des verwendeten Arsens verdampft beim Läutern). Diese werden mit den Abgasen als Feinstaub emittiert und führen z. B. in der unmittelbaren Umgebung der Bleikristallhütten zu erhöhten Blei- und auch Arsengehalten im Oberboden. Typische Ausblühungen von Blei-, Arsen- und Schwefelverbindungen lassen sich auch an den Öffnungen der Schmelzöfen feststellen (Abb. 11). Teile der Schadstofffracht aus dem Abluftstrom der Öfen schlagen sich als Inkrustationen oder Infiltrationen auf bzw. in den unter Kap. 3.1.3 und 3.1.4 beschriebenen Bauteilen nieder. Wurden farbige Gläser hergestellt, so finden sich meistens die zur Glasfärbung eingesetzten **Schwermetalle** ebenfalls in den genannten Bauteilen wieder.

Der Wannenbereich selbst weist im Normalfall keine oder nur geringe Belastungen auf. Aus den feuerfesten Chromoxidsteinen, in welchen Chrom als dreiwertige Verbindung vorliegt, sind bedingt durch die starke Bindung des Chroms keine oder nur sehr geringe Austräge zu erwarten.

Tab. 6: Zusammenfassung spezifischer Schadstoffe bei Schmelzung und Läuterung ([17], verändert)

Gefährdende Inhaltsstoffe	Hauptschadstoffparameter
Glasrohstoffe: siehe Tab. 5	siehe Tab. 5
Läuterungsmittel: As- und Sb-Verbindungen, Aluminiumnitrat, Ba-Verbindungen, Fluoride	As, Sb, Ba, F ⁻
Farbrohstoffe: Ionenfärbung: Fe-, Cr-Co-Oxide, Kupfer, Mangan, Nickel, Uran	Cr, Co, Cu, Ni, U
Anlauffarben: Cadmiumselenid, Cadmiumsulfid, Goldchlorid, Kupferoxid, Silbernitrat, früher in geringen Mengen auch weitere Schwermetallsulfide und -selenide	Cd, Cu, S, Se, Cl, Au, Ag, weitere Schwermetalle
Schmelzbeschleuniger: Fluorid	F ⁻
Oxidationsmittel: Bariumnitrat, Salpetersäure, arsenige Säure	Ba, As
Farbentwicklungshilfen: Borax (Natriumtetraborat)	B

3.1.3 Schmelzöfen, Regeneratoren und Rekuperatoren

Optisch erkennbare Verunreinigungen weisen Beschickungsöffnungen, Brenner und Mauerdurchlässe auf (Abb. 11). Starke Inkrustationen finden sich vorwiegend im Bereich der Ofenhäule.



Abb. 11: Deutlich sichtbare Gelbverfärbungen durch Arsen im Bereich der Ofentüre

Beim Abbruch einer Bleikristall- und Röhrenglashütte wurden z. B. Bleibelastungen im Mauerwerk von bis zu 350.000 mg Blei/kg im Original und zwischen 10 und 20 mg Pb/l im Eluat des Baustoffes nachgewiesen. Ausmauerungen in Regeneratoren bzw. Rekuperatoren waren oft stark mit metallhaltigen Ausfällungen aus dem Abluftstrom belegt und teilweise auch zugesetzt (Abb. 12 und Abb. 13). Die bei Bausubstanzuntersuchungen im Vorlauf von Abbrucharbeiten in Glashütten festgestellten Bleigehalte lagen im Feststoff ebenfalls im 100er Gramm-Bereich bei einhergehend sehr hohen Eluatgehalten.

Andere Metalle und Schwermetalle treten im Vergleich dazu in deutlich geringeren Konzentrationen auf. Auffallend ist hier, dass im Umfassungsmauerwerk der Regeneratoren die Metallbelastungen zwar um ein Vielfaches geringer sind, von dort stammender Abbruch aber meistens noch auf Entsorgungseinrichtungen hoher Kategorie zu verbringen ist.

Das Schadstoffspektrum kann alle Stoffe (siehe Tab. 5 und Tab. 6), die für die jeweilige Glasherstellung erforderlich sind, in unterschiedlichen Konzentrationen umfassen. Auch können Schadstoffe aus der Produktion, die anfangs mengenmäßig als eher unbedeutend eingestuft wurden, durch die Anreicherung in Kondensaten oder Inkrustationen durchaus bestimmend für den Gebäude- und Anlagenrückbau und insbesondere die Abfallentsorgung werden (Beispiel Cadmium in Kapitel 3.1.5).



Abb. 12: Alter Regenerator mit Einschlichtung



Abb. 13: Vollständig zugesetzter Regenerator (Bleimennige = rot, Arsen = gelb)

Tab. 7: Zusammenfassung spezifischer Schadstoffe der Schmelzöfen, Regeneratoren, Rekuperatoren

Bauteile / Einbauten	Hauptschadstoffparameter
innen: Staubablagerungen Inkrustationen	alle anorganischen Stoffe, die zur jeweiligen Glasherstellung eingesetzt wurden (siehe Tab. 5 und Tab. 6)
Mauerwerk	alle anorganischen Stoffe, die zur jeweiligen Glasherstellung eingesetzt wurden (siehe Tab. 5 und Tab. 6) sowie PAK, Phenol
Warm- und Abluftsystem der Regeneratoren/Rekuperatoren; Dichtungen an Flanschen	asbesthaltige Dichtflansche (schwach gebunden)

PAK und Kohlenwasserstoffe als Kondensate treten in den Ablufführungen moderner Schmelzöfen und Wannen, in deren Untergrund oder Bausubstanz, nicht mehr auf. In alten, direkt befeuerten Öfen sind solche Substanzen, begleitet z. T. durch massive Phenolgehalte, wesentliche Kontaminanten. Nicht nur die Ofen- und Brennraummauerungen zeigen massive Belastungen. Auch im Untergrund, selbst noch metertief im Festgestein, treten Schwarzfärbung und geruchlich stark auffällige Teerkondensate auf (s. Kap. 3.1.5).

3.1.4 Abkühl- und Entspannungsöfen

Neben den eigentlichen Schmelzöfen werden zur Vermeidung von Oberflächenspannungen im Glas Abkühl- und Entspannungsöfen in den Betrieben eingesetzt (Abb. 14). Hier wurden insbesondere in den niedrigeren Temperaturbereichen als Schutzisolierung Asbestplatten bzw. im Einschubbereich der Kühlöfen Asbestvorhänge (beides schwach gebundener Asbest) verwendet.



Abb. 14: Kühlöfen mit asbesthaltigem Schutzvorhang an der Beschickungsöffnung

Tab. 8: Zusammenfassung spezifischer Schadstoffe der Abkühl- und Entspannungsöfen

Bauteile / Einbauten	Schadstoffparameter
Kühl- und Strecköfen; Außenisolierung	Asbest (schwach gebunden)
Einschubbereich Abkühlöfen, Asbestvorhänge	Asbest (schwach gebunden)

3.1.5 Rauchfuchse

Weitere Hauptbelastungsträger für Schwermetalle und organische Schadstoffe sind zum einen Flugstäube und Aschen in den Rauchfuchsen (Abb. 15 links), zum anderen Kondensatbildungen (Abb. 16 rechts) unterhalb der Rauchfuchse.



Abb. 15: Rauchzug mit schwarzen Inkrustationen am Mauerwerk und Staubablagerungen (Bild links); stark inkrustierter Rauchzug (rechtes Bild)

Untersuchungen an Staubablagerung in der weiteren Ablufführung einer Glashütte ergaben Blei-, Cadmium- und Arsengehalte im Prozentbereich mit dementsprechenden Eluatkonzentrationen von mehreren Milligramm pro Liter. Blei und Arsen sind in den Ablagerungen und Inkrustationen der Fuchse Hauptkontaminanten. Die in einem Fall festgestellte massive Cadmiumbelastung ist vermutlich auf die Produktion von Lampen(glas) zurückzuführen und nicht typisch für die Bleikristallglasherstellung.

Der Fall macht deutlich, dass auf komplexen Altlaststandorten mit unerwarteten Befunden zu rechnen ist.

Organische Schadstoffe wie PAK und Phenole wurden an mehreren untersuchten und teilsanierten Standorten in Nordbayern in sanierungsbedeutsamen Konzentrationen im Untergrund des unmittelbaren Heizbereichs festgestellt. Besonders unter der Hochtemperaturzone kann aufgrund tiefreichender Kondensationsvorgänge ein so genannter „Schwarzer Kern“ ausgebildet sein (Abb. 16).



Abb. 16: Tiefgründig mit PAK und Phenolen (schwarz) imprägnierter Boden im Bereich der Befuerung mit Rauchzügen



Abb. 17: Teerkondensate unmittelbar unter einem Rauchfuchs

Neben diesen tiefreichenden Belastungen fanden sich zusätzlich unter den Rauchföchen der Ofenfeuerungen Teerkondensatlagen mit Dicken bis zu 10 cm (Abb. 17). Eine Entfernung dieser teils über viele Meter verbreiteten Kondensate ist mit besonderer Sorgfalt auszuführen, um Sekundärkontaminationen des umliegenden Bodens oder von Bausubstanz zu vermeiden.

Hierbei kann der Einsatz verfestigender Substanzen wie z. B. Branntkalk oder Sägespäne bei der Bergung der zäh-pastösen Kondensate hilfreich sein.

Tab. 9: Zusammenfassung spezifischer Schadstoffe der Rauchföhse

Bauteile / Einbauten	Hauptschadstoffparameter
Rauchzug innen: Staubablagerungen Inkrustationen	alle anorganischen Stoffe, die zur jeweiligen Glasherstellung eingesetzt wurden (siehe Tab. 5 und Tab. 6) sowie PAK, Phenole
Mauerwerk	alle anorganischen Stoffe, die zur jeweiligen Glasherstellung eingesetzt wurden (siehe Tab. 5 und Tab. 6) sowie PAK, Phenole
Mauerwerk und Boden unter Rauchföhse	v. a. PAK (als Kondensate), Phenole

3.2 Anlagenteile Weiterverarbeitung

3.2.1 Säurepolitur, Säuretanklager

Beim Säurepolieren werden durch den Einsatz von Flusssäure und Schwefelsäure folgende Stoffe aus dem Glas gelöst: SiF_4 , H_2O , PbF_2 , PbSO_4 , BF_3 , AsF_3 und weitere Fluoride und Sulfate verschiedener Metalle (in den Tabellen als MeF und Me_2SO_4 abgekürzt).

Die über den Polier- und Waschbädern entstehenden HF-haltigen Dämpfe konnten in alten Anlagen an Wänden und Dächern kondensieren und dort als weiße, salpeterähnliche Ausblühungen auftreten. Diese Ausblühungen fallen mit der Zeit von den Wänden und Dächern ab und bilden bei Kontakt mit der Hautfeuchtigkeit wieder Flusssäure, so dass Verätzungen der Haut die Folge sein können. Zur Vermeidung von Verletzungen durch herabfallende Ausblühungen ist beim Rückbau die vollständige Entfernung durch Trockenabsaugung unter persönlichem Vollschutz erforderlich. In modernen Anlagen werden die HF-haltigen Dämpfe über geeignete Absaugvorrichtungen abgesaugt und Absorptionsanlagen zugeleitet.

Neben diesen Kontaminationen können Wände mit einem säureresistenten Anstrich versehen sein, der hohe PCB-Konzentrationen im Verputz und auch im Mauerwerk verursachen kann.

Tab. 10: Zusammenfassung spezifischer Schadstoffe bei der Säurepolitur

Schadstoffträger	Hauptschadstoffparameter
Kondensate der Säuredämpfe	Fluorid-Ausblühungen
Einsatz von Flusssäure und Schwefelsäure, Herauslösung von: SiF_4 , H_2O , PbF_2 , PbSO_4 , MeF , Me_2SO_4 , BF_3 , AsF_3	Metalle (besonders Blei und Arsen), Fluorid, Bor, Sulfat
Säureresistente Ölfarbanstriche und hiervon ausgehende Imprägnationen in das Mauerwerk	PCB

3.2.2 Neutralisations- und Absetzbecken

Die regelmäßig durch Arsen, bei der Bleikristallherstellung auch durch Blei sowie bei vorhandener Säurepolitur auch mit Fluor, hoch belasteten Schlämme wurden auf werkseigenen bzw. externen Deponien entsorgt. Bei Auflassung der Becken (Nutzungsaufgabe) wurde eine rückstandsfreie Entfernung der Schlämme erfahrungsgemäß jedoch nur sehr selten durchgeführt. Daher sind die Wände der Betonbecken z. T. stark verschmutzt bzw. inkrustiert und weisen hohe Metallgehalte auf.



Abb. 18: Gebinde mit Restschlämmen (linkes Bild) und nicht entleerte Neutralisationsbehälter (rechtes Bild) auf einem Altstandort

Nicht selten wurden diese Becken bei Betriebseinstellung im befüllten Zustand hinterlassen (vgl. Abb. 18 rechtes Bild).

Tab. 11: Zusammenfassung spezifischer Schadstoffe der Neutralisations- und Absetzbecken

Bauteile / Schadstoffträger	Hauptschadstoffparameter
Betonbecken	Metalle (besonders Pb und As)
Schlämme	Metalle (besonders Pb und As); bei Säurepolitur auch Fluor als CaF_2

3.2.3 Endvergütung von Hohlgläsern

Hohlgläser werden i. d. R. entweder heiß oder kalt endvergütet. Bei der Heißendvergütung werden die Oberflächen des Glases bei etwa 550 °C mit einer Titan- oder Zinnoxidschicht überzogen. Ausgangsstoffe hierfür sind Titanchlorid und Zinnchlorid, die bei der Vergütung nur zu einem geringen Teil (ca. 10 %) auf die Oberfläche des Glases gehen. Der Großteil der Metalle wird über die stark HCl-haltige Abluft abgeführt und in die Umgebung der Glashütte eingetragen, sofern keine Abluftreinigung erfolgt.

Die Kaltendvergütung wird bei deutlich niedrigeren Temperaturen von 80 °C bis 150 °C durchgeführt. Zum Einsatz kommen hier organische Stoffe, wie Wachse oder Stearate, die auf Hohlgläser aufgebracht werden.

Tab. 12: Zusammenfassung spezifischer Schadstoffe bei der Vergütung

gefährdende Inhaltsstoffe	Hauptschadstoffparameter
Heißendvergütung Zinnchlorid, Titanchlorid, in geringerem Maße: Nickel, (Gold) und andere Metalle, (Salzsäure)	Zinn, Titan, Nickel, (Gold), Chlorid
Kaltendvergütung Stearat, Wachse, Ölsäuren, Polyethylen, Polyoxyethylenglykol oder -stearat	Kohlenwasserstoffe

3.3 Sonstige Werksanlagen

Nachfolgend werden sonstige Versorgungseinrichtungen, Hilfsbetriebe und Lagerungsbereiche behandelt, die auch an Industriestandorten anderer Branchen zu finden sind.

Weitere Information zu auftretenden Schadstoffen sind der Arbeitshilfe „Kontrollierter Rückbau: Kontaminierte Bausubstanz – Erkundung, Bewertung, Entsorgung“ [4] zu entnehmen.

3.3.1 Generatorgaserzeugung

Vor dem 19. Jahrhundert wurden die Öfen der Glashütten mit Holz befeuert. Erst um die Jahrhundertwende wurde die erforderliche Energie durch Generatorgas bereitgestellt. Die Anlagen zur Generatorgaserzeugung weisen, neben den Anlagen zur Säurepolitur, das größte Kontaminationspotential alter Glashüttenstandorte auf.

Die Verwertung des bei der Generatorgaserzeugung anfallenden, viskosen oder unter Normaltemperatur auch z. T. festen Teerkondensates erfolgte, soweit wegen anderer Verunreinigungen (Staub) nicht ausgeschlossen, einerseits durch Verbrennung in den werkseigenen Kesselhäusern. Andererseits wurde das Teerkondensat auch als Kleb- bzw. Dichtstoff, z. B. in Dacheindeckungen, verwendet. Überschussmengen wurden entweder auf dem Betriebsgelände oder extern abgelagert.

In den Gasabzugsrohren bildeten sich aus verbliebenen Teernebeln Kondensatablagerungen an den Rohrwandungen, welche durch Abkratzen entfernt wurden. Die abschließende Teerabscheidung aus dem Generatorgas erfolgte vor Einleitung in die Brenner der Öfen in der Hochtemperaturzone. Der hochviskose bis feste **Kratzteer** aus den Gasleitungen und Reinigungsgruben wurde i. d. R. auf der werkseigenen Deponie abgelagert.

Soweit noch erhalten und nicht bei der Umstellung des Brennmediums abgebrochen, sind die Generatorenhäuser an ihren großen Oberlichtern im Dach zu erkennen. Die Oberlichter dienen der Explosionssicherung und der Vermeidung von Vergiftungen durch Fehlgase aus der Kohleverschmelzung.

Tab. 13: Zusammenfassung spezifischer Schadstoffe bei der Generatorgaserzeugung

Bauteile / Einbauten	Hauptschadstoffparameter
Gasgenerator, Generatorhaus	PAK, Phenole, BTEX, KW, CN
unterflurige Betonbecken (Phenol- und Teergruben)	PAK, Phenole, BTEX, KW, CN
Rohrleitungen, Kondensatablagerungen	PAK, Phenole, KW
Restkondensate im Brenner	PAK, Phenole, KW

3.3.2 Kesselhäuser mit Ablufschornsteinen

Der Hauptschadstoffeintrag in Kesselhäusern mit Ablufschornsteinen erfolgte durch Flugstaubablagerungen aus Heißgasen. Bei den Heißgasen sind zwar geringe spezifische Stoffkonzentrationen, jedoch hohe Gasvolumina zu berücksichtigen.

In den Ablufschornsteinen sind häufig höhen- und damit temperaturdifferenzierte Schadstoffseparationen in den Anhaftungen und Infiltrationen zu beobachten. Höchste Belastungen – insbesondere als Infiltrationen in das Mauerwerk – treten in Höhen auf, welche am Taupunkt des Wassers liegen.

Nach längerem Betriebsstillstand kann ein großer Teil der Innenanhaftungen der Schornsteine abgefallen sein.

Tab. 14: Zusammenfassung spezifischer Schadstoffe in Kesselhäusern und Ablufschornsteinen

Bauteile / Einbauten	Hauptschadstoffparameter
Rauchfuchse und Schornstein, Stäube und Inkrustationen,	Metallbelastungen, PAK nur untergeordnet; im Schornstein z. T. höhendifferenzierte Schadstoffseparation
Bereich der Wärmetauscher, Staubablagerungen	Metallbelastungen, PAK nur untergeordnet
„Aschekammer“, Flugstäube	Metallbelastungen, PAK nur untergeordnet
Kesselhaus, Übergang zwischen Stahlkessel und Mauerung der Wärmetauscher	Asbest-Dichtschnüre (schwach gebunden)

3.3.3 Schlossereien, Schreinereien, Elektrowerkstätten, Betriebsstofflager

Eine Gefährdung für die Bausubstanz, insbesondere für Bodenplatten und Seitenwände, entsteht hier ausschließlich durch unsachgemäße Handhabung der eingesetzten Stoffe, wie z. B. Schmierstoffen, Fette, Entfettungsmittel (LHKW) oder Lackier- und Beizmittel (Abb. 19).



Abb. 19: Unsachgemäße Lagerung von Kraft- und Schmierstoffen, Ölen, etc.

Tab. 15: Zusammenfassung spezifischer Schadstoffe in Schlossereien, Schreinereien, E-Werkstätten und Betriebsstofflager

Bauteile / Einbauten	Art der verwendeten Stoffe	Hauptschadstoffparameter
Bodenplatten, Wandbereiche, Montagegruben	Schmierstoffe und -öle, Kraftstoffe, Entfettungsmittel, ggf. Transformatoröl	KW-Index, BTEX, LHKW, ggf. PCB

3.3.4 Lagerung, Herstellung und Reinigung von Brennmedien

Bei der Lagerung, Herstellung und Reinigung der verwendeten Brennmedien treten nur untergeordnet Belastungen durch Schweröl in der Bausubstanz auf, welche überwiegend aus Schweröl-Spritzern an Wänden und Böden bestehen. Wurde leichtes Heizöl eingesetzt, ist eine tiefer greifende Kontamination der Bauteile möglich.

Tab. 16: Zusammenfassung spezifischer Schadstoffe bei Lagerung, Herstellung und Reinigung von Brennmedien

Bauteile / Einbauten	Art der verwendeten Stoffe	Hauptschadstoffparameter
Bodenplatten, Wandbereiche	Schweröl, leichtes Heizöl	KW-Index, PAK

4 Umweltauswirkungen

Bei den bisher beschriebenen Gebäudeteilen ist grundsätzlich auch eine Kontamination des Untergrundes durch die eingesetzten Schadstoffe möglich und zu untersuchen. Die Kontamination kann durch die baulichen Verhältnisse, z. B. unbefestigte Lagerflächen im Gemengelager, Schäden an der Bodenplatte oder durch unsachgemäße Handhabung bzw. Havarien verursacht sein. Insbesondere bei Glashütten, die dem Verfall preisgegeben sind, können die Schadstoffe in den Bauwerken durch das eindringende Niederschlagswasser in den Untergrund verlagert werden.

Häufig vorkommende Kontaminationen von Boden und Grundwasser, die auf den Betrieb der Glashütten und den Umgang mit den Produktionsabfällen zurückzuführen sind, werden im Folgenden beschrieben.

4.1 Produktionsbedingte Direkteinträge in den Boden und das Grundwasser

4.1.1 Generatoren-gaserzeugung und -verarbeitung

Durch die Herstellung von Generatorgasen kann es zu direkten Schadstoffeinträgen in den Untergrund unterhalb Gasgeneratorenanlage, der Brenneranlagen (Heizbereich für die Glasschmelze) und der Rauchföhse (Abb. 16 und Abb. 17) kommen. Auf die Kontamination im Bereich der Teerbecken bzw. -teiche sowie der Betriebsdeponien durch die Lagerung und Entsorgung von Nebenprodukten der Gaserzeugung wird in den Kap. 4.2.2 und 4.3.3 eingegangen.

Beispiel: An einem Standort der Glasproduktion in Nordbayern wurden tiefgründige Kontaminationen des Bodens mit Teer und Phenolen bis mehrere Meter in den anstehenden Fels nachgewiesen. Die häufig bereits optisch gut zu erkennenden Belastungen bewegen sich in einem Konzentrationsbereich um mehrere 100 mg PAK /kg Boden und im Milligramm-Bereich beim Phenolindex.

Tab. 17: Zusammenfassung spezifischer Schadstoffe im Boden im Bereich von Generatoren-gaserzeugungen

Schadstoffträger	Hauptschadstoffparameter
Kondensate unterhalb der Anlagen zur Generatoren-gaserzeugung inkl. Bereiche der Rohrleitungen	PAK, KW, Phenole, BTEX
Kondensate unterhalb der Brennereinrichtungen (besonders: Hochtemperaturzone) und der Rauchföhse	PAK, KW, Phenole, Heterozyklen
Ammoniakwasser	Ammoniak, Sulfat, Sulfid, Cyanid, Chlorid
Phenolwasser	Phenole, Pyridin, Aldehyde, Ketone

Die Teerkondensate können selbst metertief in das unterlagernde Festgestein eindringen und sich dort durch Schwarzfärbung und starken Geruch bemerkbar machen. Weitere Informationen finden sich auch in den vorangegangenen Kapiteln 3.1.5 und 3.3.1.

Bei den hier in die Bewertung einbezogenen Untersuchungen zeigten sich im Umfeld von Gasgeneratoren trotz massiver Feststoffgehalte an PAK, Mineralölkohlenwasserstoffen und z. T. Phenolen häufig nur begrenzte Auswirkungen auf das Grundwasser. Dies ist jedoch im jeweiligen Einzelfall zu prüfen.

4.1.2 Säurepolitur und Säuretanklager

Der Eintrag von Schadstoffen in den Untergrund erfolgte i. d. R. über alte, offene Ablaufgräben sowie den nach unten teilweise offenen Versitzgruben. Hierbei handelte es sich um Erdlöcher/-becken ohne rückhaltende Befestigungen und mit Überlauf in die angrenzende Vorflut. Teilweise kam es auch durch unsachgemäße Handhabung beim Befüllen der Säuretanks bzw. durch undichte Behälter und Leitungen zu Schadstoffeinträgen.

Untersuchungen im unmittelbaren Bereich von Säurepolituren und -tanklagern ergaben eine tiefreichende Versauerung des Bodens mit pH-Werten ≤ 4 . Der oberste Grundwasserleiter war i. d. R. durch pH-Werte zwischen 2,5 und 4,8 gekennzeichnet. Bei diesem sauren Milieu sind die meisten Metalle hoch mobil. Im Grundwasser wurden Arsen und Blei in sehr hohen Konzentrationen (weit über den Stufe-2-Werten) sowie Kupfer, Kobalt, Nickel und Zink in deutlich geringeren Konzentrationen nachgewiesen. Weiter wurden durch die bei der Politur eingesetzten Säuren v. a. Blei und Arsen aus dem Glas heraus gelöst, welche dann über das Sickerwasser in das Grundwasser gelangten.

Fluorid findet sich in extrem hohen Konzentrationen im Umfeld der Säurepolituren und -tanklager. Die Intensität der Belastung an Fluss- und Schwefelsäure ist besonders groß, wenn eine unsachgemäße Handhabung bei der Säurepolitur stattfand, so dass Fluss- und Schwefelsäure teils ungehindert über lange Zeiträume in den Untergrund gelangen konnten.

Auch neuere Säureneutralisationsanlagen können bei Leitungsdefekten durch Eintrag von Flusssäure und Schwefelsäure zu einer Versauerung des Bodens mit einhergehenden erhöhten Arsen-, Blei- und Fluorid-Konzentrationen im Grundwasser führen.

Tab. 18: Schadstoffparameter im Boden im Bereich von Säurepolituren

Schadstoffträger	Hauptschadstoffparameter
Säuren	Schwermetalle, insbesondere Arsen und Blei sowie Fluorid

4.1.3 Neutralisation und Absetzbecken

Wie in Kap. 4.1.2 erläutert, wurden früher die stark sauren Produktionsabwässer in unbefestigte, nach unten offene Neutralisations- und Absetzbecken geleitet. Weitere potentielle Eintragstellen für Schadstoffe in den Untergrund sind Leckagen bzw. Havarien im Bereich der Neutralisationsanlagen und allseitig offene Zu- und Ablaufgräben zu den Gruben. Hier sind oft Schadstoffeinträge bis in das Grundwasser festzustellen.

Tab. 19: Schadstoffparameter im Boden im Bereich von Neutralisation- und Absetzbecken

Schadstoffträger	Hauptschadstoffparameter
Abwässer	Schwermetalle, insbesondere Arsen und Blei sowie Fluorid

4.1.4 Schlossereien, Werkstätten, etc.

Eine Gefährdung für den Boden und das Grundwasser geht wie bei der Bausubstanz von branchenspezifisch eingesetzten Stoffen (z. B. Schmierstoffe, Fette, Entfettungsmittel wie LHKW oder Lackier- und Beizmittel) aus. Relevante Eintragsstellen sind u. a. Werkstätten mit integrierter LKW- und PKW-Garage und mit Putzgruben (Schadstoffe u. a. PAK, Phenole, LHKW und MKW). Da es sich nicht um glasstandortsspezifische Einträge handelt, wird auf eine weitere Erläuterung an dieser Stelle, unter Verweis auf gängige branchenspezifische Altlastenmerkblätter, verzichtet.

4.2 Produktionsabfälle

4.2.1 Aschen und Schlacken der Kohlefeuerung aus den Kesselhäusern

Sortenreine Ablagerungen von Rückständen aus der Kohlefeuerung sind meistens nur in geringmächtigen Lagen (i. d. R. wenigen Zentimeter mächtig) anzutreffen. Überwiegend sind diese Verbrennungsrückstände mit Bauschutt der rückgebauten Gebäude und Anlagenteile vermischt.

Als Schadstoffe kommen insbesondere Arsen (bis etwa 500 mg Arsen/kg) und Blei (im Grammbereich) sowie untergeordnet PAK (niedrige Konzentrationen im 1er bis unteren 10er-Milligrammbereich) vor. Je nach Bauschuttart und -mengenanteil lassen sich auch andere Schwermetalle, jedoch nur in geringen Konzentrationen, bestimmen. Bei Kupfer konnten Gehalte zwischen 100 und 500 mg/kg nachgewiesen werden.

Tab. 20: Schadstoffparameter im Boden aus Produktionsabfällen der Kohlefeuerung

Schadstoffträger	Hauptschadstoffparameter
Aschen und Schlacken	Schwermetalle, insbesondere Arsen und Blei, untergeordnet PAK

4.2.2 Rückstände aus der Gaserzeugung

Die Rückstände (z. B. Waschwässer) und Kondensate der Generatorgaserzeugung wurden oft in hierfür angelegten Teerteichen bzw. -becken abgelagert. Diese wurden anschließend z. T. mit grobem Bauschutt verfüllt bzw. abgedeckt. Teilweise wurden sie auch punktuell auf bereits bestehenden Betriebsdeponien abgelagert. In Teilbereichen können hier die Teerkondensate bis an die Oberfläche migrieren und eine Gefährdung über den Pfad Boden-Mensch darstellen (Abb. 20).



Abb. 20: An der Oberfläche eines Ablagerungsbereiches austretende Teerkondensate

Das Schadstoffspektrum setzt sich hauptsächlich aus PAK und Phenolen sowie untergeordnet aus BTEX, Ammoniak und Cyaniden zusammen.

Tab. 21: Schadstoffparameter im Boden aus Rückständen der Generatorgaserzeugung

Schadstoffträger	Hauptschadstoffparameter
Teerkondensate und Waschwässer	PAK, Phenole, BTEX, Ammoniak, Cyanide

4.2.3 Schlämme aus Neutralisation und Versitzgruben

Im Umfeld der Neutralisationen bzw. außerhalb von ehem. Versitzgruben findet man im Boden und in aufgelassenen Gruben oder Becken weiße bis gräuliche Schlammrückstände aus Behandlungsanla-

gen. Die Ablagerungsmächtigkeiten schwanken erfahrungsgemäß zwischen einigen Zentimetern und bis zu zwei Metern in Bereichen der ehem. Neutralisationsgruben.

Die Schlämme weisen sehr hohe Bleigehalte z. B. zwischen 20.000–50.000 mg/kg im Original und mehreren Milligramm pro Liter im Eluat auf. Einhergehend mit den hohen Bleigehalten finden sich stets deutliche Belastungen durch Fluorid (z. T. über 500 mg/l), auch wenn während der Betriebszeit zumindest teilweise versucht wurde das Abwasser durch Kalkzugabe zu behandeln.

Die Arsengehalte im Feststoff liegen in den Neutralisationsedimenten oft bei relativ niedriger Belastungsintensität. Verfahrensbedingt liegt das Arsen in hoch mobiler Form vor, und war durch die lange Zeit übliche Neutralisation mittels Kalkzugabe nicht wirksam zu fixieren. Es wurde in den Ablauf der Neutralisation bzw. der Vorflut ausgewaschen. Das im Neutralisationsschlamm zurückgehaltene Arsen ist aufgrund seiner Bindungsformen meist leicht eluierbar.

Neutralisations- und Absetzschlämme führen im Bereich der betriebseigenen Deponien zu Boden- und Grundwasserverunreinigungen durch Blei, Fluorid, Arsen und ggf. weitere Metalle. In späteren Jahren wurden Schlämme und andere Abfälle der Produktion extern z. B. in stillgelegte Steinbrüche oder auf ortsnahe Hausmülldeponien abgelagert. Entsprechend kann es auch hier zu bedeutsamen Kontaminationen gekommen sein.

Die wirksame Aufbereitung der Deponiesickerwässer ist aufgrund der Bindungsformen der Metalle, insbesondere bei Schlämmen aus der Bleikristallproduktion mit sehr hohem Fluoridgehalt und niedrigem pH-Wert, nur mit hohem technischem Aufwand zu erreichen.

Tab. 22: Schadstoffparameter im Boden aus Neutralisation

Schadstoffträger	Hauptschadstoffparameter
Schlämme	Blei, Fluorid, Sulfat, Arsen und andere Metalle

4.2.4 Abwasserleitungen / Kanalisation

Bei Entwässerungssystemen ist, neben Rohrdefekten, an den Muffenverbindungen der Abwasserleitungen sowie in Schachtbereichen mit einer Kontamination des Untergrundes durch Abwässer zu rechnen. Die Schadstoffzusammensetzung kann grundsätzlich ein breites Spektrum aufweisen. Der notwendige Untersuchungsumfang bei der Erkundung des Abwassersystems kann durch Zuordnung der abfließenden Abwässer zu den jeweiligen Produktionsstätten eingegrenzt werden.

4.3 Sonstige Abfälle

4.3.1 Bauschutt aus früheren Rückbaumaßnahmen

Auf älteren Glasfabrikstandorten wurden die Produktionsstätten mit der Zeit immer wieder erweitert, umgebaut, abgerissen und neu gebaut. Auch mussten die Wannen- und Ofenhäfen regelmäßig, etwa alle zwei bis acht Jahre, repariert oder abgerissen und erneuert werden. Der hierbei anfallende Bauschutt wurde häufig zur Geländemodellierung bzw. als Unterbau für neue Gebäude verwendet. Die Auffüllungen setzen sich u. a. aus Ziegel- und Schamottesteinen der alten Schmelzwannen, zugehörigen Regeneratoren oder Rekuperatoren und bereichsweise aus Glasbruchresten zusammen. Untergeordnet finden sich Schrott- und Holzreste.

Beispiel: Auf Bleikristallstandorten treten in Bauschuttauffüllungen Arsen und Blei in z. T. extrem hohen Konzentrationen auf. Beim Abbruch einer Bleikristallfabrik wurden in solchen Ablagerungen Arsenkonzentrationen bis 1.000 mg/kg im Feststoff festgestellt. Die Eluatgehalte lagen im Milligrammbereich. Blei wurde mit Gehalten von bis zu einigen Gramm pro Kilogramm im Original bestimmt. Trotz des bauschutttypischen hohen pH-Werts lagen die Gehalte im Eluat um 100 µg/l.

Bei gemeinsamen Auftreten von Abbruchmaterial und Rückständen der Säurepolitur können sehr niedrige pH-Werte auftreten, die z. T. für eine massive Erhöhung der Eluatkonzentrationen ursächlich sind (Kap. 4.1.2). Eher untergeordnet lassen sich weitere Schwermetalle wie Kupfer, Nickel, Zink oder Chrom in der Originalsubstanz nachweisen.

Generell kann das Schadstoffinventar in alten Ablagerungen das gesamte Spektrum der für die Glasproduktion typischen Schadstoffparameter widerspiegeln (siehe Kap. 3).

Tab. 23: Schadstoffparameter in Auffüllungen und Böden aus früheren Rückbaumaßnahmen

Schadstoffträger	Hauptschadstoffparameter
Reste von Schmelzwannen und den zugehörigen Rekuperatoren und Regeneratoren	Metalle und Schwermetalle (v. a. Arsen, Blei, untergeordnet auch andere)
Abbruchmaterial aus Säurepolituren, insbesondere in Mischung mit Abbruchmaterial aus Rekuperatoren, Regeneratoren oder Rauchfuchsen	Metalle und Schwermetalle (v. a. Arsen, Blei, untergeordnet auch andere). Durch den niedrigen pH-Wert der Abbruchmaterialien aus den Säurepolituren resultieren hohe Eluatwerte.
Bauschutt und Flugaschen aus Rauchfuchsmaterial	Metalle und Schwermetalle (v. a. Arsen, Blei, untergeordnet auch andere). PAK, Phenole, Mineralölkohlenwasserstoffe im Abbruch aus Feuerungseinrichtungen unter den Öfen und Wannen

4.3.2 Ablagerungen und Auffüllungen anderer Industriezweige

Auf Glasstandorten sind häufig Ablagerungen oder Auffüllungen anderer Industriezweige festzustellen. Aufschluss hierüber kann eine lückenlose historische Recherche bieten. Ein besonderer Augenmerk sollte dabei auf die Zeit des 2. Weltkrieges gelegt werden. Die Produktion wurde damals zum Teil auf rüstungswichtige Güter umgestellt oder andere Industriezweige wurden auf nordostbayerische Industriestandorte zum Schutz vor Bombenangriffen verlegt [1].

4.3.3 Betriebsdeponien

Zu Glashütten gehören i. d. R. große Betriebsdeponien mit Volumina im Bereich einiger Zehntausend Kubikmeter. Bis zum Inkrafttreten der Abfallgesetze Anfang der 1970er Jahre wurden verschiedenste Abfälle aus der Produktion, von Hilfsbetrieben, aus Abbruch, Um- und Neubaumaßnahmen sowie nach dem 2. Weltkrieg zunehmend hausmüllartige Abfälle aus dem Werk abgelagert.

Neben Erdaushub und Bauschutt, wie Beton, Ziegelmauerwerk und Naturstein mit schadstoffhaltigen Beimengungen (z. B. teerhaltige Dachpappen oder Gussasphalt), sind Verbrennungsrückstände der Ofenfeuerung oder der Gaserzeugung (Aschen und Schlacken) Hauptbestandteil der Werksdeponien.

Aus der Produktion wurden erhebliche Mengen an Glas-Restchargen als Scherben unterschiedlichster Färbung und Stückigkeit abgelagert. Ebenso enthalten die Deponien den Abbruch verbrauchter Glashäfen und Wannen (Hochfeuerfeststeine oder Schamotte) und Schleifschlämme.

Ein hohes Schadstoffinventar haben Teerkondensate und Kratzteer aus der Gaswäsche und Teerabscheidung, Schleif- und Neutralisationsschlämme sowie Flugstäube aus der Reinigung von Wärmetauschern und Ablufführungen. Sie sind sensorisch und analytisch in den Altablagerungen besonders auffällig. Im Vergleich zum Gesamtvolumen der ehemaligen Betriebsdeponien sind die Mengenanteile i. d. R. gering. Größere, zusammenhängende Kubaturen sind aufgrund der Ablagerungsgeschichte nur in Einzelfällen zu erwarten. Dennoch kann insbesondere für das Grundwasser eine erhebliche Gefahr von diesen Ablagerungsbestandteilen ausgehen.

4.3.4 Wilde Ablagerungen, Sperrmüll und Gerümpel

Eine erhebliche Umweltgefährdung kann auf stillgelegten Glasstandorten von „wilden Ablagerungen“ ausgehen.



Abb. 21: Wilde Ablagerungen auf einem aufgelassenen Bleikristallstandort

Eine Gefährdung besteht beispielsweise durch illegal abgelagerte Altbatterien oder Gebinde mit Altölen, aus denen durch Beschädigung oder Korrosion Schwermetalle und Kohlenwasserstoffe austreten können. Nicht unerhebliche Mengen an vor Ort hinterlassenem Sperrmüll und Gerümpel können zusätzliche Entsorgungskosten verursachen.

4.4 Sonstige Umweltauswirkungen

4.4.1 Luftemissionen

Schmelzvorgang

Das größte Emissionspotential besteht bei der Erschmelzung des Gemenges. Schadstoffhaltige Stäube und Gase entstehen bei der Zugabe bzw. Zersetzung der Rohstoffe und der Verfeuerung von Brennstoffen.

Mit zunehmender Entfernung von der Schmelze, einhergehend mit abnehmender Temperatur, kondensieren aus dem Abgasstrom Schadstoffe, oft in durch unterschiedliche Verfärbungen deutlich erkennbarer Zonierung. Diese ergibt sich aus den physikalisch-chemischen Eigenschaften der Ausfällungen. Ein Teil dieser Schadstofffracht aus den Abgasen setzt sich bereits in Regeneratoren bzw. Rekuperatoren, Rauchzügen und Schornsteinen als Feinstäube oder Inkrustationen ab (vgl. Kap. 3.1.3 und 3.1.5) oder infiltriert in das Mauerwerk selbst. Die Abluft aus den Öfen und Wannen war nicht unbedingt hoch schadstoffbelastet. Das sehr hohe Abluftvolumen, über den jahrzehntelangen Betrieb der Hütten hinweg, führte jedoch zu einer massiven Akkumulation von hoch belasteten Ablagerungen in Abluftsystemen.

Durch die fehlende Abluftreinigung gelangten früher erhebliche Schadstofffrachten in die Umgebung und führte im Abwind der Hütten zum Schadstoffeintrag in die Böden. Untersuchungen haben ergeben, dass mit Metallen belastete Stäube über viele Kilometer transportiert werden können. So wurden im Umfeld einer Bleikristallfabrik Flächenbeprobungen durchgeführt und erhöhte Werte für die branchenrelevanten Schadstoffe festgestellt. Allerdings ist noch unklar, ob alleine die Bleikristallfabrik als Verursacher zu bezeichnen ist, da auch andere Eintragspfade und geogene Hintergrundwerte in Frage kommen.

4.4.2 Ableitung belasteter Abwässer in die Vorflut

Früher wurden schadstoffbelastete Abwässer teilweise ungeklärt und nicht neutralisiert in die Vorflut eingeleitet. Das kann zu erheblichen Kontaminationen im Bereich der Abwasserkanäle und -gräben sowie der Gewässersedimente geführt haben. Im Einzelfall wäre zu klären, ob die Auenbereiche im Abstrom der Glashütten, z. B. bei Hochwasserereignissen, mit Schadstoffen beaufschlagt wurden. Die geogene Grundbelastung ist dabei als mögliche Ursache für erhöhte Schadstoffgehalte zu berücksichtigen.

4.4.3 Radioaktive Belastungen

Repräsentative Untersuchungen zur radioaktiven Belastung auf den Standorten der Glasindustrie liegen derzeit nicht vor. Bei der Glasherstellung können aber Materialien mit natürlicher Radioaktivität als Zuschlagsstoff oder Betriebsmittel zum Einsatz kommen.

Eine Quelle für radioaktive Strahlung können die zur Glasfärbung eingesetzten Stoffe, insbesondere Uranoxide, sein. Uranglas wird je nach Färbung auch als Anna-Glas (annagelb), Eleonoren-Glas (eleonorengrün) oder Vaselineglas bezeichnet. Vor allem die böhmischen Glashütten werden als Hersteller von Urangläsern genannt [21]. Ob und in welchem Umfang in bayerischen Glashütten Uranglas hergestellt oder weiterverarbeitet wurde, ist unklar. Sofern Hinweise für die Fertigung oder Verarbeitung von uranoxid-pigmentierten Gläsern vorliegen, sind die potentiellen Kontaminationsbereiche auf ihre radiologische Belastung zu untersuchen. Das Augenmerk sollte besonders auf nicht beräumte Pigmentlager mit Restbeständen von Uranoxid, die Gemengeherstellung und bei der Glasveredelung auf die Eintragsbereiche der Schleif- und Polierschlämme gerichtet werden. Auch wenn keine erhöhte Strahlenbelastung festgestellt wird, ist Uran aufgrund seiner Toxizität als Untersuchungsparameter aufzunehmen.

Zur Herstellung von Hochfeuerfestbaustoffen für die Schmelzwannen und -häfen wird heute unter anderem Zirkonoxid eingesetzt. Abhängig vom Herkunftsgebiet des Zirkonsandes kann er eine deutliche radiologische Belastung aufweisen. Ob Zirkonoxid früher bei den Feuerfestmaterialien in den Glasfabriken eingesetzt wurde oder nur Schamottsteine zur Anwendung kamen, ist nicht geklärt. Aufgrund der regelmäßigen Erneuerung der Schmelzwannen und -häfen finden sich oft deutliche Anteile von Ofenausbruch in den Geländeauffüllungen und Betriebsdeponien. Insbesondere wenn eine sensible Nachnutzung geplant ist, sollte überprüft werden, ob zirkonoxidhaltige Hochfeuerfestmaterialien eingesetzt wurden.

Eine weitere Quelle für radioaktive Strahlung können die Aschen und Schlacken in den Ablagerungen sein. Die natürliche Radioaktivität der eingesetzten Kohle ist regional sehr unterschiedlich und hängt von der Geologie des Kohleflözes ab. Die Radionuklide reichern sich bei der Verbrennung in der Asche, v. a. in der Flugasche, an. In den Betriebsdeponien und bei der Geländemodellierung wurden oft große Mengen an Aschen und Schlacken abgelagert.

Vom LfU wurden u. a. Feuerfestmaterialien, Ofenausbruch und Braunkohleaschen untersucht [3]. Als Ergebnis lässt sich festhalten, dass die Strahlenbelastung bei den untersuchten Expositionsszenarien am Arbeitsplatz bzw. bei der Entsorgung der Materialien deutlich unter den einschlägigen Überwa-

chungsgrenzwerten lagen. Bei Glasstandorten ist aber die mögliche Nachnutzung zu berücksichtigen. So kann eine erhöhte Strahlenbelastung bei sensibler Nachnutzung mit langen Aufenthaltszeiten zu einer anderen Beurteilung führen. Die natürliche Hintergrundstrahlung ist bei der Beurteilung zu berücksichtigen.

5 Hinweise zur Altlastenbearbeitung

5.1 Schadstofferkundung in Bausubstanz und Anlagenteilen

Auf das mögliche Schadstoffinventar in der Bausubstanz von Glasfabrikationsstätten wurde bereits im Kapitel 3 eingegangen. Die folgenden Tabellen fassen für die wichtigsten Anlagenteile wesentliche Untersuchungsparameter und Untersuchungsstellen in der Bausubstanz zusammen.

Tab. 24: Branchenspezifische Bauteile und deren Schadstoffinventar

Anlagenteil	Produktionsart	Hauptschadstoffe	Vorkommen
Gemengeherstellung Gemengelager	alle Glasstandorte	Pb, Ba, B, As	Staubablagerungen an Wänden und Böden
	Bleikristallgläser	zusätzl./ insb. Pb, (Sb)	Staubablagerungen an Wänden und Böden
	Farbgläser	Cd, Cr, Ni, Cu, Co, Se, Mo	Staubablagerungen an Wänden und Böden
	Sondergläser	S, Se, Te, Be, F ⁻ , V, Ce	Staubablagerungen an Wänden und Böden
Hafenöfen und Wannenöfen Regeneratoren Rekuperatoren	alle Glasstandorte (Schadstoffe abhängig von Produktionsart und Brennstoffe)	As, Sb, Pb Cd, Cr, Cu, Ni, Zn, F Ba, Co, V, Se, B, weitere (Schwer-)Metalle Asbest PAK, Phenole ggf. Uran und seltene Erden, je nach Farbrohstoff Sn (Floating)	Inkrustationen am Mauerwerk, bei den Glaswannen geringere Belastungen; In den Regeneratoren bzw. Rekuperatoren Inkrustationen und Infiltration insbesondere durch Cd und As
Schornstein und Rauchfuchse der Schmelzöfen	alle Glasstandorte (Schadstoffe abhängig von Produktionsart und Brennstoffe)	As, Sb, Pb Cd, Cr, Cu, Ni, Zn, F Ba, Co, V, Se, B, weitere (Schwer-)Metalle V, Ni (aus Schweröl) Chlorid, Sulfat PAK, Phenole	Rauchfuchse, Innen- und Außenwand des Schornsteins, Verkrustungen an der Innenwand, Schornsteinbasis
Heißendvergütung	v. a. Hohlglas, Behälterglas	Sn, Ti, Ni, Chlorid	Metalle: Fußboden, Wände um Spritzeinrichtung Sn, Ti, Chlor: Abluftanlage
Kaltendvergütung	v. a. Hohlglas, Behälterglas, Sonderglas	Stearat, Ölsäuren, Polyethylen, Polyoxyethylenglykol/ stearat	Fußboden, Wände um Spritzeinrichtung
Spiegel	Spiegelglas	Hg, Ag, Sn, Cu, Zn, Lacke: BTEX	Fußboden, Abluftanlage, Wände, Tauchbäder, Abwasseranlagen (Becken etc.)
Säurepolitur	v. a. Bleikristallglas	As, Pb, Cd, Cr, Cu, Ni, Zn, F, Sulfat B, Co, Se, V, sonstige Metalle	Tauchbäder, Wände, Fußboden, Decke, Abluftanlage für HF-Dämpfe

Fortsetzung Tab. 24: Branchenspezifische Bauteile und deren Schadstoffinventar

Anlagenteil	Produktionsart	Hauptschadstoffe	Vorkommen
Neutralisationsbecken Neutralisationsanlage n	Glasherstellung mit Säureeinsatz	F, SO ₄ ²⁻ , B, Pb, As, Cd, Cr, Cu, Co, Ni, Se, V, sonstige Metalle	metallhaltige Säurezuleitung, Neutralisationsbecken, Fundament, Fußboden, Wände
Säurelager	Glasherstellung mit Säureeinsatz	HF, H ₂ SO ₄	Tankunterlager, Tank, Zuleitung zur Säurepolitur

Tab. 25: Branchenunspecifische Bauteile und deren Schadstoffinventar

Anlagenteil	Produktionsart	Hauptschadstoffe	Vorkommen
Kohlelager	Standorte mit Generatorgaserzeugung oder Feuerung von Gebäuden	i. d. R. keine Verunreinigung	
Generatorgaserzeugung	(alle) Glasstandorte	PAK, Phenole, KW, BTEX, Heterozyklen, CN ⁻	Bodenplatten, Rauchfuchse, Gasabzugsrohre, Teerbecken
Ölübernahmestationen Öltanks	(alle) Glasstandorte	Kohlenwasserstoffe, PAK	Fundament der Übernahmestation, Öltankunterlager, Ölleitungen
Abscheideeinrichtungen für Schmiermittel etc.	alle Glasstandorte	Kohlenwasserstoffe, PAK, PCB	Abscheideeinrichtungen für Schmiermittel, Kompressionsöle, Trafoöle, Leckagen von Abwasserleitungen
Abfüll- / Umschlagplatz für Säuren	Bleikristallstandorte mit Säurepolitur	HF, H ₂ SO ₄	Ggf. Betriebsgleisanlagen bzw. befestigte Abfüllbereiche
Werkstätten	alle Glasstandorte	Kohlenwasserstoffe, LHKW, BTEX, PAK, PCB,	Fußboden, Fundament, Wände, wenn vorhanden Waschplatzeinrichtungen
Garagen	alle Glasstandorte	Kohlenwasserstoffe	Fußboden
Dächer	alle Glasstandorte	PAK, Phenole, Asbest, MKW, PCB Metalle	je nach Dachart Dachziegel-, -bedeckung über Ofenhalle

Die allgemein für Industrieanlagen üblichen, bausubstanzspezifischen Untersuchungen sind der Arbeitshilfe „Kontrollierter Rückbau: Kontaminierte Bausubstanz – Erkundung, Bewertung, Entsorgung“ [4] zu entnehmen.

Bei der Beprobung von Anlagenteilen der Ofenhallen und der Säurepolituren sollten des Weiteren folgende Hinweise beachtet werden:

Ofenhallen

An Glasproduktionsstandorten ist die Begutachtung der Ofenhallen mit den Schmelzöfen und zugehörigen Anlagenteilen (wie Ofenhäse, Rekuperatoren, Rauchfuchse und Schornsteine) erforderlich. Zur Bewertung der Schadstoffsituation wird empfohlen, mindestens folgende Verdachtsbereiche zu untersuchen:

Öfen und Ofenhäse

- Mauerwerk der Öfen
- Mauerwerk der Ofenhäse
- Inkrustationen an den Ofenhäsen

Regeneratoren und Rekuperatoren

- Mauerwerk
- Ablagerungen
- bei vorhandener Ziegeldacheindeckung: Ziegel mit Inkrustationen (verursacht durch staubbefruchtete Warmluft der Öfen)

Rauchfuchse

- Staubablagerungen
- Mauerwerk

Schornsteine

- Ablagerungen an der Schornsteinbasis
- höhendifferenzierte Probenahme mit Trennung von Innen- und Außenschale (falls vorhanden)

Stäube und Ablagerungen

- im unmittelbaren Umfeld der Ofenanlage und auf den meist offenen Dachstuhlauflagern

Die Untersuchungen an den Bestandteilen der Ablufführung aus den Schmelzöfen und -wannen sollten die Parameter Arsen, Antimon, Blei, Cadmium, Chrom_{ges}, Kupfer, Nickel, Zink und Fluorid umfassen.

In der Ablufführung von Feuerungsanlagen selbst, der zugehörigen Bausubstanz oder auch dem Unterlager können Gehalte an PAK und Phenolen bedeutsam sein.

Staubproben können auch Asbestfasern enthalten. In Anbetracht der ohnehin durch die Metallbelastungen gegebenen Anforderungen an Arbeits- und Immissionsschutz sowie der Entsorgung ist ein Nachweis von Asbestfasern nur in Sonderfällen erforderlich.

Je nach Art des produzierten Glases (Historische Recherche) können weitere Untersuchungsparameter zu berücksichtigen sein (siehe Kap. 3.1).

Säurepolituren

Einen weiteren Verdachtsbereich stellen die Gebäude der Säurepolituren dar. Aufgrund des Umgangs mit Schwefel- und Flusssäure sind die Wandbeschichtungen und Bodenbeläge besonders widerstandsfähig ausgebildet. Dennoch können Mauerwerk und Bodenbelag durch aggressive Säuren stark angegriffen sein. An solchen schadhafte Stellen können blei- und arsenbelastete Säuren in die Bausubstanz eindringen und Belastungen in der Bausubstanz hervorrufen. Der Nachweis einer Belastung ist über Kernbohrungen in der Bodenplatte und im Mauerwerk mit tiefendifferenzierter Probennahme zu erbringen.

Die Untersuchungen sollten als Mindestumfang neben der Erfassung der Metalle Arsen, Blei, Cadmium, Chrom_{ges}, Kupfer, Nickel und Zink im Original und Eluat auch Fluorid und Sulfat im Eluat beinhalten. Zinkgehalte können jedoch auch durch Verwendung von Zinkweiß in Wandanstrichen erhöht sein. Vor dem Einsatz von Titanweiß war Zinkweiß das wichtigste Weißpigment.

Neben der Verunreinigung durch Metalle können Wände mit säureresistenten Anstrichen (Ölfarben) versehen sein, welche hohe PCB-Konzentrationen im Verputz und Mauerwerk verursachen. Die Probenahme ist ebenfalls tiefendifferenziert durchzuführen, da insbesondere PCB unterschiedlich stark in das Mauerwerk eindringen kann.

Bei den Bodenbelägen ist hingegen der Aufbau zu überprüfen, da möglicherweise unterhalb der i. d. R. gefliesten Oberfläche pechhaltiger Gussasphalt als Ausgleichsschicht eingebracht wurde. Die Untersuchung von Belagsproben auf PAK ist i. d. R. erforderlich.

Beim kontrollierten Rückbau von Glashüttenstandorten werden durch die Arbeitsschritte Entrümpelung, Dekontamination, Entkernung und schließlich konventioneller Abbruch die schadstoffhaltigen Fraktionen von den nur noch gering bis nicht mehr belasteten Anlagenteilen bzw. Bausubstanz abgetrennt und einem entsprechenden Entsorgungsweg zugeführt. Neben dieser für alle Industrieanlagen erforderlichen Vorgehensweise sind speziell bei Glashüttenstandorten folgende Besonderheiten zu beachten.

5.2 Rückbau von Gebäuden und Anlagen

Entrümpelung

Entfernung und fachgerechte Entsorgung des beweglichen, nicht fest mit der Bausubstanz verbundenen Inventars. Hierzu zählen beispielsweise Ersatzteile, Materialien in Lagern, Mobiliar, Batterien und Abfälle sowie Reste von flüssigen und festen Betriebs- und Hilfsstoffen.

Dekontamination

Entfernung und fachgerechte Entsorgung von Prozessrückständen und schädlichen Einsatzstoffen i. d. R. im Vorlauf, in Einzelfällen jedoch spätestens einhergehend mit der Entkernung. Neben den allgemein verbreiteten, branchenunspezifischen Schadstoffbelastungen sind an Glasstandorten besonders folgende Schritte zu beachten

- Säure- und Neutralisationsbehälter ordnungsgemäß entleeren und reinigen
- Leeren und Reinigen von Säureleitungen
- Entsorgung von Restschlämmen aus der Neutralisation
- Entfernung von Inkrustationen und Ablagerungen in allen Schmelz- und Verbrennungseinheiten sowie der Rauchgasführungen (Rauchfuchse, Schornsteine)
- Entfernung von Restrohstoffen (Metalloxiden) und Staubablagerungen in den Gemengelagern und im Bereich der Schmelzwannen (Beschickungsöffnungen, Stäube im Dachstuhl oberhalb der Öfen)
- Ausbau und Reinigung von Teergruben innerhalb von Gebäuden
- Entfernung von asbesthaltigen Bauteilen an und in den Abkühlöfen
- Entfernung von schadstoffbelastetem Wandputz in Säure- und Neutralisationsanlagen

Entkernung

Material- und belastungsgetrennter Rückbau von Anlagen- und Bauteilen mit prozess- oder bauteilbedingten Schadstoffen. Für Glasstandorte sind folgende Anlagenteile von besonderer Relevanz

- Schmelzöfen mit Regeneratoren / Rekuperatoren
- Streck- und Abkühlöfen
- Säure- und Neutralisationsanlagen
- Leitungen und Mischanlagen im Gemengelager
- Abluftleitungen von Schmelz- und Verbrennungseinheiten
- Abluftfilteranlagen
- Rauchzüge

Abbruch

Nach Abschluss der vorgenannten Schritte erfolgt der konventionelle, sortengetrennte Rückbau der dekontaminierten und entkernten Gebäudesubstanz.

5.3 Schadstofferkundung in Boden und Grundwasser

Die Methoden zur Erkundung von Belastungen in Boden und Grundwasser auf Standorten der Glasindustrie unterscheidet sich nicht von denen anderer Industriezweige. Meistens werden, bei entsprechenden Anhaltspunkten, die Wirkungspfade Boden-Mensch und Boden-Gewässer erkundet. Abhängig von der geplanten oder möglichen Nachnutzung sollte auch der Wirkungspfad Boden-Nutzpflanze betrachtet werden. Die Vorgehensweise hierzu ist in den einschlägigen LfU/LfW-Merkblätter ([5], [8], [9], [10]) ausführlich beschrieben.

Auf das mögliche Schadstoffinventar im Untergrund von Glasfabrikationsstätten wurde bereits im Kapitel 4.1 eingegangen. Wie dort beschrieben, sind auch Kontaminationen des Untergrundes an den Belastungsstellen der Bausubstanz bei direktem Kontakt mit dem Untergrund möglich. Faktoren wie eine hohe Mobilität der Schadstoffe, das Eindringen von Niederschlagswasser und Mängel in der Bausubstanz (z. B. Risse im Mauerwerk und der Bodenplatte, defekte Rohrleitungen etc.) begünstigen die Schadstoffverlagerung in den Boden bzw. das Grundwasser.

Die folgende Tabelle fasst wesentliche Untersuchungsparameter für die wichtigsten Eintragsstellen, die auf den Betrieb der Glashütten und den dortigen Umgang mit Produktionsabfällen zurückzuführen sind, zusammen. Diese Angaben sind einzelfallbezogen auf die Eintragsstellen und Schadstoffparameter der Tab. 24 anzupassen.

Tab. 26: Branchenspezifische Bauteile (Auswahl) und deren Schadstoffinventar für Boden und Grundwasser

Anlagenteil	Produktionsart	Hauptschadstoffe	Vorkommen
Generatorgaserzeugung	alle Standorte mit Generatorgaserzeugung	PAK, Phenole, KW, BTEX	unter den Brennereinrichtungen Teergruben, Teerteiche teils Betriebsdeponien
		Ammoniak, Sulfat, Sufid, Cyanid, Chlorid	Teergruben, Teerteiche teils Betriebsdeponien
		Phenole, Pyridin, Aldehyde, Ketone, Heterozyklen	Phenolgruben, Leitungen teils Betriebsdeponien
Schmelzöfen	alle Standorte mit Generatorgas, direkt befeuerte Wannen	KW, PAK, Phenole, Heterozyklen	sogen. „schwarzer Kern“ unter den Brennereinrichtungen; Rauchfuchse und Abluftsystem
Säurepolitur	v. a. Bleikristallglas	Schwermetalle (insbes. As und Pb), F	Ablaufgräben, Versitzgruben, Säuretankanlagen, Leitungen
Neutralisationsbecken Neutralisationsanlagen	Glasherstellung mit Säureeinsatz	Schwermetalle (insbes. As und Pb), F	Becken, Leitungen, Anlagenteile, Betriebsdeponien
Schlossereien, Werkstätten	Alle Standorte	PAK, Phenole, LHKW, MKW, BTEX, Kohlenwasserstoffe	
Betriebsdeponien	bei Glashütten mit eingenen Betriebsdeponien (Regelfall)	grundsätzlich alle Schadstoffparameter der Glaserzeugung möglich	
	Aschen und Schlacken der Kohlefeuerung	As, Pb, Cu, PAK, andere Metalle	Oft nur geringmächtige Lagen
	Rückstände der Gaserzeugung	PAK, Phenole, BTEX, Ammoniak, Cyanide	Punktueller Ablagerung auf Betriebsdeponien möglich
	Schlämme aus Neutralisation	Pb, F, Sulfat, As, andere Metalle	v. a. im Umfeld der Neutralisationen und der Versitzgruben
	Abbruchmaterial von Schmelzwannen, Rekuperatoren, Regeneratoren	As, Pb, andere Metalle Asbest PAK, Phenole	
	Abbruchmaterial von Säurepolituren, teils mit Ofenmaterial	As, Pb, andere Metalle Sulfat	
	Abbruchmaterial und Flugaschen aus den Rauchfuchsen	As, Pb, andere Metalle, PAK, Phenole, KW	
Abluft	Immissionen im Umfeld der Glashütten	As, Pb, andere Metalle	Oberboden

Untergrundbelastungen von Betriebsdeponien

Die repräsentative Erkundung der Schadstoffbelastung von Betriebsdeponien ist, wie bei anderen he-

terogenen Ablagerungen, problematisch. Die Betriebsabfälle wurden früher in Kleinstmengen („Handkarregröße“) zumeist über die Deponieböschung abgekippt. Probleme bei der Erkundung ergeben sich v. a. durch einen schnellen Materialwechsel und die Grobstückigkeit der Abfälle.

Sondierungen oder Bohrungen sind zur alleinigen Erkundung der Betriebsdeponien i. d. R. nicht aussagekräftig, da kein repräsentativer Querschnitt des Ablagerungs- oder Belastungsinventars erfasst werden kann. Weitere Störfaktoren sind Bohrhindernisse und die oft sehr geringe Lagerungsdichte des Materials. Zur Erkundung von Betriebsdeponien sind z. B. Baggerschürfe geeignete Aufschlussverfahren. Neben der rasterförmigen Erkundung sollten die Schürfe auf Grundlage der Historischen Recherche angelegt werden.

Die Materialansprache und die Beprobung erfolgt bei Schurftiefen bis maximal 1,25 m Tiefe und ausreichender Standfestigkeit der senkrechten Böschungen schichtbezogen. Bei tieferen oder nicht standsicheren Schürfen, die nicht betreten werden dürfen, ist die Beprobung über die Baggerschaufel, an kleinzügig gefördertem und artgetrennt seitlich aufgesetztem Aushub, vorzunehmen. Eine Beprobung in Meterintervallen über Schichtgrenzen hinweg ist nicht zielführend. Bei der Schurfbeprobung sind zu erfassen

- räumliche Daten (Tiefenangabe „von-bis“, Mächtigkeit, Schüttrichtung, linsenartige Ablagerungen)
- Art der einzelnen Ablagerungslinsen nach ihrer Zusammensetzung (Modalbestand)
- Bestandteile jeder Ablagerungslinse nach den Volumenanteilen der einzelnen Abfallarten (grobe Abschätzung)

Zur Probengewinnung für die Analytik wird auf einschlägige Merkblätter [5] und Mitteilungen der LAGA [12] verwiesen. Bezüglich der zu untersuchenden Wirkungspfade gilt das oben Geschriebene (Kapitel 5.3). Auf Grund der hohen Heterogenität der Ablagerungen sind zur integrativen Erfassung von Verunreinigungen meist Grundwasseruntersuchungen neben Materialuntersuchungen sinnvoll.

Beim Arbeitsschutz ist, für Erkundungsarbeiten auf Betriebsdeponien der Glasherstellung, die hohe Verletzungsgefahr durch das Vorhandensein von Glasscherben und Glasbruch (z. B. bei der Herstellung von Aufschlüssen, der Probenahme und der Probenvorbereitung) zu berücksichtigen. Zudem sind erhöhte Anforderung an den personenbezogenen Arbeitsschutz (auch Atemschutz) zu stellen, weil schadstoffbelastete Feinstäube oder säurehaltige Schlämme auftreten können.

5.4 Boden- und Grundwassersanierung

Insbesondere bei Bleikristallhütten zeigt sich aufgrund der unterschiedlichen Eintragstellen und des Parameterumfangs häufig ein sehr komplexes Schadensbild. Grundlegend für eine Sanierung ist die Dekontamination bzw. Beräumung der hoch belasteten Anlagenteile und Bausubstanz. Durch den Verfall der Hüttenstandorte steigt mit dem eindringenden Regenwasser die Gefährdung von Boden und Grundwasser weiter an.

Welche Sanierungskonzepte und -verfahren geeignet sind, orientiert sich am Stand der Technik und kann erst nach detaillierter Erkundung der konkreten Altlast entschieden werden. Neben den häufig eingesetzten Sanierungsverfahren wie Aushub und „pump and treat“, sollten auch in-situ-Verfahren und neu entwickelte Sanierungsverfahren auf ihre Eignung und Wirtschaftlichkeit geprüft werden.

Abkürzungsverzeichnis

Abb.	Abbildung
bzw.	beziehungsweise
ca.	circa
d	Durchmesser oder Tag
FK	Feinkorn
etc.	et cetera
ggf.	gegebenenfalls
Hrsg.	Herausgeber
i. d. R.	in der Regel
KMF	künstliche Mineralfaser
LAGA	Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Abfall
LfU	Bayerisches Landesamt für Umwelt oder Bayerisches Landesamt für Umweltschutz
LfW	Bayerisches Landesamt für Wasserwirtschaft
LKW	Lastkraftwagen
PKW	Personenkraftwagen
s. o.	siehe oben
Tab.	Tabelle
u. a.	unter anderem
v. a.	vor allem
vgl.	vergleiche
z. B.	zum Beispiel

Einheiten

%	Prozent
°C	Grad Celsius
µg/l	Mikrogramm je Liter
EUR	Euro
m	Meter
mg/kg	Milligramm je Kilogramm
mg/l	Milligramm je Liter
mm	Millimeter
pH	pH-Wert
t/d	Tonne je Tag

Chemische Elemente, Verbindungen und Stoffgruppen

Ag	Silber
Ag ₂ S ₃	Silbersulfid
AgNO ₃	Silbernitrat
Al(NO ₃) ₃	Aluminiumnitrat
Al ₂ O ₃	Aluminiumoxid
As	Arsen
As ₂ O ₃	Arsentrioxid
AsF ₃	Arsenfluorid
As ₂ Te ₃	Arsentellurid
Au	Gold
B	Bor
Ba	Barium

Ba(NO ₃) ₂	Bariumnitrat
BaCl ₂	Bariumchlorid
BaF ₂	Bariumfluorid
Be	Beryllium
BeF ₂	Berylliumfluorid
BF ₃	Borfluorid
BTEX	Leichtflüchtige aromatische Kohlenwasserstoffe (Benzol, Toluol, Ethylbenzol, Xylol, Stryrol, Cumol)
Ca	Calcium
Ca(NO ₃) ₂	Calciumnitrat
CaF ₂	Calciumfluorid (Flussspat)
CaMg(CO ₃) ₂	Calcium/Magnesiumcarbonat (Dolomit)
CaO	Calciumoxid (Branntkalk)
Cd	Cadmium
CdS	Cadmiumsulfid
CdSe	Cadmiumselenid
CdTe	Cadmiumtellurid
Ce	Cer
CeO ₂	Ceroxid
CH ₄	Methan
Cl	Chlor / Chlorid
CN	Cyanide
Co	Kobalt
CO	Kohlenmonoxid
CO ₂	Kohlendioxid
CoO	Kobaltoxid
Cr	Chrom
Cr ₂ O ₃	Chrom(III)-oxid
Cr _{ges}	Chrom (gesamt)
Cu	Kupfer
CuO	Kupfer(II)-oxid
Cu ₂ O	Kupfer(I)-oxid
CuS	Kupfersulfid
Eu ₂ O ₃	Europiumoxid
F / F ⁻	Fluor / Fluorid
Fe ₂ O ₃	Eisen(III)-oxid
FeO	Eisen(II)-oxid
FeS	Eisensulfid
FeSe	Eisenselenid
GeSe ₂	Germaniumselenid
H ₂	Wasserstoff
H ₂ O	Wasser
H ₂ SO ₄	Schwefelsäure
HCl	Salzsäure
HF	Flusssäure
Hg	Quecksilber
In ₂ O ₃	Indiumoxid
K ₂ CO ₃	Kaliumcarbonat (Pottasche)
K ₂ Cr ₂ O ₇	Kaliumdichromat
K ₂ CrO ₄	Kaliumchromat
K ₂ O	Kaliumoxid
KNO ₃	Kaliumnitrat
KW	Kohlenwasserstoffe

LHKW	Leichtflüchtige Halogenkohlenwasserstoffe	Pb	Blei
Me ₂ SO ₄	Sulfat eines Metalles	PbO	Bleioxid
MeF	Fluorid eines Metalles	Pb ₃ O ₄	Blei(II, IV)-oxid (Mennige)
MKW	Mineralölkohlenwasserstoffe	PbF ₂	Bleifluorid
MgO	Magnesiumoxid	PbSO ₄	Bleisulfat
Mn ₂ O ₃	Mangan(III)oxid	PCB	Polychlorierte Biphenyle
Mo	Molybdän	PCP	Pentachlorphenol
Mo ₂ S ₃	Molybdän(III)-sulfid	PO ₄ ³⁻	Phosphat
N ₂	Stickstoff	Pr ₂ O ₃	Praseodymoxid
Na	Natrium	S	Schwefel
Na ₂ CO ₃	Natriumcarbonat (Soda)	Sb	Antimon
Na ₂ O	Natriumoxid	Sb ₂ O ₃	Antimontrioxid
Na ₂ SiF ₆	Natriumhexafluorosilikat	Sb ₂ S ₃	Antimonsulfid
NaCl	Natriumchlorid (Kochsalz)	Se	Selen
Nd ₂ O ₃	Neodym(III)-oxid	SeO ₂	Selenoxid
Ni	Nickel	SiF ₄	Siliziumfluorid
Ni ₂ O ₃	Nickel(III)-oxid	SiO ₂	Siliziumoxid
NiO	Nickel(II)-oxid	SM	Schwermetalle
NO	Stickstoffmonoxid	Sm ₂ O ₃	Samariumoxid
NO ₂	Stickstoffdioxid	Sn	Zinn
NO ₃ ⁻	Nitrat	SO ₂	Schwefeldioxid
NO _x	Stickstoffoxide	SO ₄ ²⁻	Sulfat
NSO-Heterozyklen		Te	Tellur
	Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe bei denen mindestens ein Kohlenstoffatom im Aromatenring durch Stickstoff, Schwefel oder Sauerstoff ersetzt ist.	Ti	Titan
O ₂	Sauerstoff	TiCl ₄	Titantetrachlorid
PAK	Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe	U	Uran
		UO ₂	Uranoxid
		V	Vanadium
		VO ₄ ⁻³	Vanadat (V)
		W ₂ S ₃	Wolfram(III)-sulfid
		Zn	Zink
		ZnS	Zinksulfid

Technisches Glossar

Glasarten:

Glas:

Unter Glas versteht man ein anorganisches Schmelzprodukt, das ohne deutliche Kristallisation abgekühlt und erstarrt ist (amorpher Festkörper). In der Thermodynamik bezeichnet man Glas als gefrorene, unterkühlte Flüssigkeit. Solche Stoffe werden zuerst geschmolzen und dann mit hoher Geschwindigkeit abgekühlt. So bleibt keine Zeit für die Entstehung von Kristallkeimen, die eine Kristallbildung ermöglichen.

Alumo-Silikatglas:

Die Eigenschaften der Alumo-Silikatgläser, mit einem niedrigen Ausdehnungskoeffizienten, hohen Transformationstemperaturen, guter hydrolytischer Beständigkeit und extrem niedriger Leitfähigkeit, ermöglichen einen Einsatz in Bereichen hoher Temperaturen.

Schaumglas:

Schaumgläser entstehen dann, wenn Gase aus hochviskosen Schmelzen mit niedriger Oberflächenspannung entbunden werden. Ausgangsmaterialien für die Herstellung von Schaumgläsern sind Na-Ca-Silikatgläser einfacher Zusammensetzung.

Wasserglas:

Wasserglas ist keine definierte chemische Verbindung, sondern eine Sammelbezeichnung für glasig erstarrte Schmelzen von Alkalisilikaten wechselnder Zusammensetzung, sowie deren wässrige Lösungen. Technische Wassergläser enthalten als Hauptkomponenten SiO_2 und Alkalioxide Na_2O und K_2O .

Quarzglas:

Quarzglas besteht aus 100% SiO_2 und ist das einzige technisch genutzte Glas mit nur einer Komponente. Verunreinigungen des Kieselglases beeinflussen dessen Herstellung, Verarbeitung, Eigenschaften und Verwendung.

Chalkogenidgläser (optisches Glas):

Unter Einsatz von z. B. As_2Te_3 oder GeSe_2 erreichen diese Gläser eine hohe Transmission im nahen und mittleren Infrarotbereich. Verwendet werden sie bei der Herstellung von Linsen und Fenstern mit Stärken von 1 bis 14 μm und wegen ihres Dispersionsverhalten auch im Bereich der Infraroptik.

Fluoridgläser (BeF_2) und Nitratgläser (KNO_3 , $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$) (optische Gläser):

Einsatz bei speziellen optischen Systemen wegen ihrer starken Lumineszenz bei Anregung durch UV-Licht [19].

Phosphatgläser:

Durch die eingeschränkte chemische Widerstandsfähigkeit werden Phosphatgläser nur für Spezialanwendungen, z. B. für Wärmeschutzgläser oder flusssäurebeständiges Glas eingesetzt. Phosphorglas enthält unter anderem die Rohstoffe Aluminium-, Calcium-, Bariumphosphate und Phosphorsäure

Vanadatgläser:

Verwendung in der Halbleitertechnik.

Produktionsverfahren

Tischverfahren

Flüssiges Glas wird aus der Schmelzwanne direkt auf einen vorgeheizten Gusstisch gegossen und mit einer Walze geglättet. Nach der Formgebung durch das Walzen wird die Glastafel im Kühllofen kontrolliert abgekühlt. Im Anschluss daran erfolgt der Zuschnitt auf die benötigten Größen.

Bicherouxverfahren

Im Gegensatz zum Tischverfahren wird beim Bicherouxverfahren die Glasschmelze auf eine schiefe Ebene entleert und nachfolgend gewalzt. Nach der letzten Walze gleitet das Glasband auf einen fahrbaren Tisch, um dann in den Kühllofen transportiert zu werden.

Wannenauslaufverfahren

Aus einem Wannenofen fließt kontinuierlich Glasschmelze auf ein Walzwerk mit definierter Breite. Die Dicke und das Dekor bzw. Zusätze, wie z. B. Drahtnetze zum Herstellen von Drahtglas, werden direkt an den Walzen eingestellt bzw. implementiert. Das so entstehende, endlose Glasband wird direkt weiter in den Kühllofen geleitet und anschließend konfektioniert.

Zylinderziehverfahren

1904 entwickelte der Amerikaner Lubbers eine Zylinderblasmaschine mit der 9–10 m lange und ca. 50–60 cm im Durchmesser betragende Zylinder hergestellt werden können. Bei diesem Verfahren wird eine Glasmacherpfeife in die Glasschmelze eingetaucht und unter Einblasen von Druckluft langsam wieder herausgezogen. Der hierbei entstehende Zylinder wird anschließend umgelegt, aufgeschnitten, angetempert und flach ausgestreckt (ähnlich dem Verfahren für Flachglasherstellung durch Mundblasen).

Plattenziehverfahren

Grundprinzip aller Plattenziehverfahren ist die kontinuierliche Entnahme der Glasschmelze aus speziell geformten Düsen mit einem Ziehbalken und der Weiterführung über je nach Verfahren angeordnete Rollen und Walzen. Die Rollen selbst waren in früheren Jahren zum Schutz vor dem heißen Glas oftmals mit Asbestpapier bekleidet.

Das hierbei entstehende Glasband wird wie bei den anderen Flachglasherstellungen durch einen Kühllofen gezogen und auf die gewünschten Längen geschnitten.

Als wichtigste Verfahren sind hier zu nennen: Fourcault-Verfahren (ab 1904), Libbey-Owens-Verfahren und Pittsburgh-Verfahren.

Rohrziehverfahren

Bis Anfang des 20. Jh. wurden Glasrohre aus Glasschmelzen von Hafen- oder Tageöfen durch Mundblasen produziert. Erst durch Entwicklungen aus den USA (z. B. von E. Danner) konnte die kontinuierliche Herstellung von Glasröhren umgesetzt werden.

Im Danner-Verfahren wird über eine Speiserinne das schmelzflüssige Glas auf eine schräg nach unten rotierende Glaspfeife aufgebracht. Durch Zuführung von Pressluft entsteht am anderen Ende ein Staudruck, so dass das sich bildende Glasrohr fortlaufend abgezogen werden kann. Die Wandstärken und Durchmesser werden einerseits durch die Ziehgeschwindigkeit und andererseits durch den Blasdruck geregelt (konstante Geschwindigkeit und hoher Blasdruck ergibt größere Durchmesser und geringere Wandstärken).

Weitere ähnliche Verfahren sind das Vertikal-Rohrzieh- und das Vello-Verfahren. Beide Methoden unterscheiden sich im Wesentlichen nur von der Abziehrichtung des Glasrohres wobei die Glasschmelze direkt aus dem Glasbad entnommen wird.

Stabziehverfahren

Das Stabziehverfahren wird zur Herstellung von Textilgarnen und Glasfaservliesen verwendet. Hierbei werden mehrere Glasstäbe mit Durchmessern von 3–8 mm senkrecht nebeneinander an einer Seite aufgehängt. Die Enden werden mit einer Gasflamme solange erhitzt bis diese zu schmelzen beginnen. Die durch die herabfließenden Tropfen erzeugten dünnen und bereits erstarrten Glasfäden werden durch rotierende Trommeln aufgewickelt. Die so aufgewickelten Glasfäden werden anschließend in Längsrichtung von der Trommel aufgeschnitten und die so entstehenden Fasermatten entsprechend gelagert.

Düsenziehverfahren:

Über Düsen in der Bodenplatte eines Platin-Gefäßes werden 1–2 mm dünne Fäden mit Geschwindigkeiten von 25–50 m/s nach unten gezogen. Unter Verwendung von Bindemitteln werden die einzelnen Fäden miteinander verklebt und auf eine Spule gewickelt. Als Endprodukte entstehen Glasgarne mit unterschiedlichen Durchmessern.

Quellenangaben

- [1] BALD A., NEBLICH E.:
Zwangsarbeiter in Oberfranken. Bayreuth, 2008.
- [2] BAYERISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT (HRSG.):
Porzellan- und Glasindustrie in Nord- und Nordostbayern – Standortrecherche unter Berücksichtigung der Altlastensituation. Augsburg, 2007.
- [3] BAYERISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT (HRSG.):
Ermittlung von Arbeitsfeldern mit erhöhten Expositionen durch natürliche Radioisotope und überwachungsbedürftigen Rückständen. Augsburg, 2004.
- [4] BAYERISCHES LANDESAMT FÜR UMWELTSCHUTZ (HRSG.):
Arbeitshilfe „Kontrollierter Rückbau: Kontaminierte Bausubstanz – Erkundung, Bewertung, Entsorgung“. Augsburg, 2003.
- [5] BAYERISCHES LANDESAMT FÜR UMWELTSCHUTZ UND BAYERISCHES LANDESAMT FÜR
WASSERWIRTSCHAFT:
LfU-LfW-Merkblatt 3.8 / 4 – Probenahme von Boden und Bodenluft bei Altlasten und schädlichen Bodenveränderungen für die Wirkungspfade Boden-Mensch und Boden-Gewässer – Stand: 14.03.03. Augsburg, München, 2003.
- [6] BAYERISCHES LANDESAMT FÜR UMWELTSCHUTZ:
LfU-Merkblatt Altlasten 3 – Untersuchung und Bewertung von Altlasten und schädlichen Bodenveränderungen – Wirkungspfad Boden-Mensch (direkter Kontakt). Augsburg, 2002.
- [7] BAYERISCHES LANDESAMT FÜR UMWELTSCHUTZ:
LfU-Merkblatt Altlasten 3 – Historische Erkundung von Altlasten und schädlichen Bodenveränderungen. Augsburg, 2002.
- [8] BAYERISCHES LANDESAMT FÜR UMWELTSCHUTZ UND BAYERISCHES LANDESAMT FÜR
WASSERWIRTSCHAFT:
LfU-LfW-Merkblatt 3.8 / 5 – Untersuchung von Bodenproben und Eluaten bei Altlasten und schädlichen Bodenveränderungen für die Wirkungspfade Boden-Mensch und Boden-Gewässer – Stand: 17.05.02. Augsburg, München, 2002.
- [9] BAYERISCHES LANDESAMT FÜR WASSERWIRTSCHAFT:
Merkblatt 3.8 / 6 – Entnahme und Untersuchung von Wasserproben bei Altlasten, schädlichen Bodenveränderungen und Gewässerverunreinigungen – Stand: 17.05.2002. München, 2002.
- [10] BAYERISCHES LANDESAMT FÜR WASSERWIRTSCHAFT:
Merkblatt Nr. 3.8 / 1 – Untersuchung und Bewertung von Altlasten, schädlichen Bodenveränderungen und Gewässerverunreinigungen – Wirkungspfad Boden-Gewässer – Stand: 31.10.01. München, 2002.
- [11] KOLLER, W.:
Vorlesungsskript Technologie. Glasfachschule Kramsach, 2003.
- [12] LAGA / Länderarbeitsgemeinschaft Abfall:
LAGA Mitteilung 32 „LAGA PN 98-Richtlinie für das Vorgehen bei physikalischen, chemischen und biologischen Untersuchungen im Zusammenhang mit der Verwertung / Beseitigung von Abfällen“. 2002.

- [13] NEUMANN B.:
Lehrbuch der Chemischen Technologie und Metallurgie. Verlag Julius Springer, Berlin, 1939.
- [14] RICHTER, H.:
Glas Technologie. VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie, Leipzig, 1987.
- [15] RÖMPP H. (BEGR.), FALBE J., REGITZ M. (HRSG.):
Römpp Chemie Lexikon. Stuttgart/New York, Georg Thieme Verlag, 1995.
- [16] SÄCHSISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT UND GEOLOGIE:
Handbuch zur Altlastenbehandlung, Branchenbezogene Merkblätter – Teil 2, Gaswerke / Koke-
reien. 1996 (aktualisiert 07/03).
- [17] SÄCHSISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT UND GEOLOGIE:
Handbuch zur Altlastenbehandlung, Branchenbezogene Merkblätter – Teil 12, Glasherstellung.
2001.
- [18] SELLNER, CHR.:
Der Gläserne Wald. Prestel-Verlag München, 1988
- [19] UMWELTBUNDESAMT WIEN (HRSG):
Stand der Technik bei der Glasherstellung, Wien, 1999
- [20] WINNACKER/WEINGAERTNER:
Chemische Technologie, Anorganische Technologie II. C. Hanser-Verlag, München, 1950.

Internetquellenverzeichnis

(letzter Aufruf der Seiten soweit nicht anders angegeben: 01.12.2009)

- [21] GEISELBERGER S. (2002): Anna-Gelb und Eleonoren-Grün – Urangefärbtes Pressglas. – Pressglas-Korrespondenz 2/2000. – <http://www.pressglas-korrespondenz.de> (06.06.2008)
- [22] Geschichte des Glases:
http://www.bauglas.ch/glas_glasbau_werkstoff_de,510.html
- [23] Glas, Allgemeine Information:
<http://de.wikipedia.org/wiki/Glas>
- [24] Glasbearbeitung:
http://www.llaga.de/de/pg_48.html
- [25] Glasherstellung – Einsatz von Dolomit, Vor- und Nachteile:
<http://www.dolomitwerk.de/fileadmin/pdf/dolomitundglas.pdf>
- [26] Phönixwerke in Konstein:
<http://www.lfu.bayern.de/boden/fachinformationen/flaechenrecycling/positivbeispiele/doc/konstein.pdf>
- [27] Pressemitteilung des Regierungspräsidium Dresden 08/2004 „Sanierung des Glaswerk-Geländes in Pirna kann beginnen“:
http://www.rp-dresden.de/index.asp?ID=1171&art_param=129
- [28] Stralauer Glashütte:
<http://www.berlin.de/sen/umwelt/bodenschutz/de/nachsorge/stralau.shtml>
- [29] Technisches Glossar:
<http://www.museum-kunst-palast.de/doc1041A.html>
- [30] THIENEL, K.-Ch., Institut für Werkstoffe des Bauwesens, Werkstoffe des Bauwesens Glas, Universität der Bundeswehr München 2006:
<http://www.unibw.de/bauv3/forschung/veroeffentlichungen>
- [31] Wissenswertes über Glas:
http://www.rastal.de/html/de/bilder/wissenswertes_ueber_glas.pdf

Index

A abbruch	26, 39, 46, 47	Generatorgas	21, 23, 32, 35, 37, 44, 48
Absetzbecken	31, 36	Gießen	17
Abstehen	14, 15, 16	Glasätzerei	20
Alkali- und Erdalkaligläser	12	Glasblasen	9
Aluminiumoxid	11, 12	Glasmacherpfeife	17, 18, 53
Anlauffarben	14, 26	Glasmalerei	21
Anlaufgläser	13	Glasrohstoffe	24, 26
Aschen	28, 37, 39, 41, 48	Gravieren	19
		Grundwasser	20, 35, 36, 40, 47, 48, 49
B auschutt	37, 38, 39		
Betriebsdeponien	20, 35, 37, 39, 40, 41, 48, 49	H afenöfen	15, 43
Bicherouxverfahren	17, 53	Hohlgläser	18, 31
Blasen	17, 18, 53, 54		
Bleikristallglas	12, 24, 25, 43, 48	I ndustrialisierung	9
Boden	19, 20, 29, 30, 35, 36, 37, 38, 47, 48, 49	Infiltrationen	25, 33
Borosilikatglas	12, 24	Inkrustationen	25, 26, 27, 28, 30, 33, 40, 43, 45, 46
		Ionenfärbung	13, 26
C admiumchalkogenide	13	Irisierende Oberflächen	21
Calciumoxid	11, 12, 24		
D ekontamination	46, 49	K aliglas	9
Drehrostgeneratoren	22	Kesselhäuser	22, 33
Düsenblasverfahren	19	Kölbel	17, 18
		Kondensate	22, 27, 29, 30, 35, 37
E ntfärbungsmittel	25, 61	Kratzteer	32, 40
Entkernung	46		
Entrümpelung	46	L äuterung	12, 14, 15, 16, 25, 26
		Lüsterfarben	21
F arbentwicklungshilfen	26		
Farbgebung	12, 13, 21	M agnesiumoxid	11
Farbgläser	13, 14, 24, 43, 60	Maschinelles Blasen	18
Farbrohstoffe	13, 14, 26		
Flachglas	9, 10, 12, 17, 18	N atriumoxid	11, 12
Floaten	16, 17	Netzwerkbildner	12
Floatglas	9	Netzwerkstörer	12
Fluoride	25, 26, 30	Neutralisation	20, 36, 38, 44, 46, 47, 48
Flusssäure	20, 23, 30, 36, 45		
		O fenausbruch	41
G emengelager	11, 24, 35, 43, 47	Ofenhallen	44, 45
		Oxidationsmittel	26, 62

P ilkington	9	Schmelze	11, 13, 14, 17, 40, 62
Polieren	17, 19, 20	Schweröl	23, 25, 34, 43
Pressen	18, 19	Sondergläser	24, 43
Q uarzsand	11, 20, 24	Spezialgläser	12
R auchfuchs	23, 28, 29, 30, 33, 35, 39, 43, 44, 45, 46, 48	Spiegelschliff	20
Rauhschmelze	14	Staubemissionen	21, 24
Regeneratoren	15, 16, 26, 27, 38, 39, 40, 43, 45, 46, 48	T eer	22, 35
Rekuperatoren	15, 16, 26, 27, 38, 39, 40, 43, 45, 46, 48	Teerkondensat	22, 27, 29, 32, 35, 37, 40
S äurepolitur	20, 23, 30, 31, 32, 36, 39, 43, 44, 45, 48	Tischverfahren	17, 53
Schamottesteine	15, 38	Trennstellenschließer	12
Schlacken	37, 39, 41, 48	V ersitzgruben	20, 36, 38, 48
Schlämme	31, 38, 48, 49	Verspiegelung	21
Schleifen	19	W aldglas	9
Schleudern	19	Walzen	17, 53
Schmelzbeschleuniger	15, 25, 26	Wannenauslaufverfahren	17, 53
		Wannenöfen	15, 16, 43
		Waschwässer	22, 37
		Z erfasern	19
		Ziehen	19

Anhang 1: Farbtafeln

Hinweis:

Die folgenden Tafeln geben die Brillanz und Farbechtheit der realen Farbgläser nur näherungsweise wieder. Farbabweichungen können sich in Abhängigkeit vom verwendeten Bildschirm und Drucker ergeben.

Wir bedanken uns bei der Glashütte Lamberts Waldsassen GmbH für die freundliche Unterstützung bei der Erstellung der Farbtafeln.

Blaufärbungen

Ein oft verwendetes, stark blau färbendes Oxid ist Kobaltoxid. Es wird bei der Blau- und Grünfärbung eingesetzt. Die Intensität der Blaufärbung bei reinem cobaltblau gefärbtem Glas richtet sich dabei nach der enthaltenden Menge an Kobaltoxid. Je weniger Kobaltoxid verwendet wird, desto schwächer wird das Blau.



Mischt man zum Kobaltoxid Kupfer(II)-oxid so entsteht bei zunehmendem Kupferoxid- und abnehmendem Kobaltoxidanteil ein türkis- bis sonnendurchstrahltes Mittelmeerblau.



Wird zur Kobalt-Kupferoxid-Mischung noch Eisenoxid hinzugefügt, so entsteht bei überwiegender Zunahme des Eisenoxidanteiles ein kräftiges Dunkelblau.



Das folgende Foto stellt ein kobaltblau gefärbtes Glas (links) einem eisen- und kobaltgefärbtem Glas (rechts) gegenüber. Bei gleichem Kobaltoxidanteil führt der Zusatz von Eisen zu einer dunkelblaugraueren Farbe.



Auch bei diesem Foto wird ein reines Kobaltoxid gefärbtes Glas mit einem Eisen-Kobaltoxid-Glas (rechts) verglichen. Die Verminderung des Kobaltanteiles bei Zugabe von Eisen führt zu einem hellen Wasserblau.



Die Verwendung von Kupfer-, Eisen-, Nickel- und Kobaltoxid führt bei hohem Anteil aller Oxide zu einer blau-schwarzen Färbung. Wird der Anteil an Eisen-, Nickel- und Kobaltoxid stark vermindert entsteht ein helles Blau.



Lila wird erzeugt in dem Kobaltoxid mit Braunstein (MnO_2) vermischt wird. Ein dunkles, kräftiges Lila entsteht wenn beide Oxide hoch dosiert werden, die Intensität des Lila wird durch eine Abnahme beider Komponenten erreicht.



Ein dunkles Lila kann auch erzielt werden, wenn Eisenoxid und Braunstein gemischt werden. Das Manganoxid wird als Glasmacherseife zur Entfärbung von eisenhaltigen Glasschmelzen eingesetzt. Es kompensiert die gelbe Farbe der Fe^{3+} -Ionen durch eine violette Färbung.

Grünfärbungen

Grünes Glas wird durch Chrom-Eisenoxid oder durch Chrom-Kupfer(II)-oxid erstellt.

Grün entsteht, wenn ein Eisen-Kobaltoxid mit den Läuterungsmitteln Salpetersäure und arseniger Säure versetzt wird. Das Foto zeigt den Farbvergleich von reinem kobaltblauem Glas und grünem Eisen-Kobaltoxidglas.

Arsenige Säure und Salpetersäure werden als Entfärbungsmittel und Sauerstoffdonator eingesetzt. Arsenige Säure gibt im Glas Sauerstoff ab und oxidiert das Eisenoxid in eine gelbliche Verbindung.



Ein Grau-Grüntön entsteht bei Veränderung des Grautones. Das Hellgrau entsteht aus einem Nickel-Kobaltoxid-Gemisch. Dunkelgrau erhält man durch Zugabe von Braunstein zum Nickel-Kobalt-Gemisch. Der Grünton entsteht aus einem Eisenoxid, Braunstein, Nickel-Kobalt-Oxid Gemisch.



Ein typisches helles Grün wird erzielt in dem einmal Chromoxid und Kupferoxid (links) und einmal Chromoxid und Eisenoxid eingesetzt werden. Es werden dabei jeweils die Oxidationsmittel Salpetersäure und arsenige Säure eingesetzt, beim Chrom-Kupferoxid-Gemisch kommt noch Antimontrioxid hinzu.



Ein sattes Grün entsteht durch ein Chrom-Nickeloxid-Gemisch, welches zur Ausprägung des gewünschten Grüntones die Oxidationsmittel HNO_3 und H_3AsO_3 benötigt. Ein helleres sattes Grün könnte durch eine Verminderung des Chrom- und Nickeloxides entstehen. Aber auch ein Gemisch aus Eisen-Chromoxid und Braunstein ohne Verwendung von Oxidationsmitteln führt zu diesem Ergebnis. Ein Grün-Grau wird durch ein Eisenoxid-Braunstein-Kobaltoxid Gemisch erzielt.



Den Übergang von Grün zu Gelb erreicht man durch die Abschwächung des Eisenoxid-Braunstein Anteiles. Bei dem blassem Gelb dominiert schließlich der Braunsteinanteil.



Gelb-Rotfärbungen

Gelbfärbungen werden durch das Grundgemisch Eisenoxid und Selen und durch das Gemisch Cadmium und Selenoxid sowie durch Cadmiumsulfid hervorgerufen.

Das folgende Foto zeigt drei verschiedene Gelbtöne, die auch aus drei verschiedenen Gemischen bestehen. Das linke Foto zeigt ein Sonnengelb, welches durch Cadmiumselenid entsteht, das mittlere Foto zeigt ein Zitronengelb, welches aus Cadmiumselenid und Kobalt entsteht, das rechte Bild mit dem Butterblumengelb entsteht aus reinem Cadmiumsulfid. Allen drei Gemischen wird Borax- $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10 \text{H}_2\text{O}$ zugesetzt, oberhalb von $400 \text{ }^\circ\text{C}$ erhält man wasserfreies Natriumtetraborat, bei $878 \text{ }^\circ\text{C}$

schmilzt Borax zu einer glasartigen Schmelze. In dieser Schmelze lösen sich zahlreiche Metalloxide unter der Bildung charakteristischer Färbungen und bilden nach dem Abkühlen eine glasartige Perle („Boraxperle“).



Erhöht man dem Selenanteil bei gleich bleibendem Cadmiumanteil, so nimmt das Glas eine rote Färbung an. Borax ist auch hier zur Farbbildung erforderlich.



Ein anderes Verfahren wird beim sogenannten Kohleleglglas genutzt. Dieses entsteht durch reduktive Prozesse, bei denen Koks und Eisensulfat unter Zugabe von Cadmium eine gelbe bis braunrote Färbung hervorrufen.



