



Gebrauchs- und Zierporzellan

Arbeitshilfe zur Altlastenbearbeitung
und zum Flächenrecycling



bodden

Impressum

Gebrauchs- und Zierporzellan: 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 Heinzel, Erhard Goller, Michael Burger

Redaktion:

LfU, Referat 95: Matthias Heinzel

Bildnachweis:

Alle Fotos im Innenteil: Dr. G. Pedall Ingenieurbüro GmbH, Flurstraße 24, 95473 Haag

Titelbild:

Bayerisches Landesamt für Umwelt

Stand:

Juni 2010

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	9
Einführung	11
1 Historische und regionale Entwicklung	12
1.1 Überblick Porzellanherstellung	12
1.2 Entwicklung und regionaler Rahmen in Bayern	12
2 Technologie	14
2.1 Begriffe und Unterteilung	14
2.2 Porzellanherstellung	15
2.2.1 Rohstoffe	15
2.2.2 Porzellanarten	15
2.2.3 Masseaufbereitung	15
2.2.4 Formgebung	16
2.2.5 Kapseln und Brennhilfsmittel	18
2.2.6 Brennen	20
2.2.7 Glasieren	23
2.2.8 Sortieren und Schleifen	23
2.2.9 Dekoration	23
2.3 Sonstige Anlagentechnik	27
2.3.1 Generatorgaserzeugung	27
2.3.2 Lager für Brennmedien	29
2.3.3 Kesselhäuser mit Ablufschornsteinen	30
2.3.4 Hilfsbetriebe	30
2.3.5 Gleiskörper	31

3	Schadstoffinventar in Bauwerken	32
3.1	Anlagenteile Herstellung	32
3.1.1	Weißbetrieb, Massenfertigung	32
3.1.2	Formenherstellung	32
3.1.3	Kapselherstellung, Rundöfen	33
3.1.4	Tunnelöfen	33
3.2	Sonstige Werksanlagen	39
3.2.1	Lagerung, Herstellung oder Reinigung von Brennmedien	39
3.2.2	Generatorgaserzeugung	39
3.2.3	Kesselhäuser mit Abluftschnsteinen	40
3.2.4	Schlossereien, Schreinereien, Elektrowerkstätten, Betriebsstofflager	41
3.3	Bausubstanzbezogene Belastungen	41
3.3.1	Dachkonstruktionen, Eindeckungen	41
3.3.2	Decken und Böden	42
3.3.3	Hausschwamm	43
3.3.4	Asbesthaltige Einbauten und Teile von Produktionsanlagen	43
4	Umweltauswirkungen	45
4.1	Anlagenteile Herstellung	45
4.1.1	Brennöfen	45
4.1.2	Massemühlen, Weißbetrieb	45
4.2	Sonstige Werksanlagen	45
4.2.1	Generatoren-gaserzeugung und -verarbeitung	45
4.2.2	Schlossereien, Werkstätten etc.	46
4.3	Abfälle	46
4.3.1	Weißschlämme	46
4.3.2	Aschen und Schlacken der Kohlefeuerung aus den Kesselhäusern	47
4.3.3	Rückstände aus der Gaserzeugung	47
4.3.4	Abwasserleitungen / Kanalisation	48
4.3.5	Bauschutt aus früheren Rückbaumaßnahmen	48

4.3.6	Ablagerungen und Auffüllungen anderer Industriezweige	48
4.3.7	Betriebsdeponien	48
4.3.8	Wilde Ablagerungen, Sperrmüll und Gerümpel	50
4.3.9	Radioaktive Belastungen	50
5	Hinweise zur Altlastenbearbeitung	51
5.1	Schadstofferkundung in Bausubstanz und Anlagenteilen	51
5.2	Rückbau von Gebäuden und Anlagen	53
5.2.1	Bergung von Gefahrstoffen und Produktionsresten	53
5.3	Schadstofferkundung in Boden und Grundwasser	54
5.4	Boden- und Grundwassersanierung	57
	Abkürzungsverzeichnis	58
	Technisches Glossar	59
	Quellenangaben	65
	Index	69

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1:	Schematische Darstellung der Porzellanherstellung mit Rundofen.	11
Abb. 2:	Diagramm zur Unterteilung keramischer Massen [38].	14
Abb. 3:	Kollergang zur Feinmahlung der Porzellan- und Glasurrohstoffe in einer Massemühle mit Läufer und Mahlbahn aus Quarzit.	16
Abb. 4:	Kammerfilterpresse (erkennbar sind die Kammern, welche beidseitig mit wasserdurchlässigen Filtertüchern ausgekleidet sind und die Hintereinanderschaltung der Kammern für die Druckentwässerung).	16
Abb. 5:	Vertikaltrockner in einer Gießerei zur rascheren Trocknung von nach dem Gießvorgang durchfeuchteter Formen.	17
Abb. 6:	Mutterformenlager einer Porzellanfabrik. Die Lager mit z. T. aus Verbundmaterial hergestellten Gegenständen sind schwierig zu beräumen und zu entsorgen.	18
Abb. 7:	Musterlager einer Porzellanfabrik mit Resten von Porzellan.	18
Abb. 8:	Kapselstöße, in eine Rundofenkammer zum Brand eingestellt.	18
Abb. 9:	Einfahrt eines Glattbrand-Tunnelofens; Schubwagen beladen mit Stapeln von Teller-Sparkapseln aus Siliziumkarbit.	19
Abb. 10:	Rundofen. Beiderseits der Eintragsöffnung zwei Feuerungskästen. Eisenkorsettierung des Ofenmauerwerks mit einhängbarer Spannschraube vor der Öffnung. Im Boden des Brennraums liegen die Abzugsöffnungen für die Führung Brenngase in „überschlagende Flamme“ (dunkle Flecken), welche über Fuchse im Mauerwerk zu den darüber liegenden Kammern geführt werden.	20
Abb. 11:	Stillgelegte Ofenhalle und Tunnelofen mit Hochtemperatur- bzw. Brennzone.	21
Abb. 12:	Unterfahrt eines Tunnelofens als Begehkanal (von der eigentlichen Brennröhre getrennt).	21
Abb. 13:	aufgelassene Tunnelofenhalle mit Oberlichtern und Abluftschornstein der Öfen.	22
Abb. 14:	Tunnelöfen mit Ofensteuerung („Monos“), Ofenhydraulik und Schubzylinder. Hintergrund die Brennzone mit Gaszuführung.	22
Abb. 15:	Herstellermarke auf der Unterseite eines Scherbens als Chromgrün-Unterglasur (auf Betriebsdeponie).	24
Abb. 16:	Farbmuster für Aufglasur-Schmelzfarben.	25
Abb. 17:	Teilweise eingestürztes Dekorbilderlager.	27
Abb. 18:	Ehemaliges Gasgeneratorenhaus Erkennbar sind das große Oberlicht, der Rauchgasschornstein sowie ein Teil des ehem. Kohlelagers (links).	29
Abb. 19:	Dampfmaschine im Kesselhaus einer Porzellanfabrik. Erkennbar sind die Schmierölbuchsen und Öldruckleitungen als Kontaminationsquellen.	30
Abb. 20:	Kesselhaus und zugehörige Nebenbetriebe. vorne links Basis des Rauchgasschornsteins; Bildmitte (klein): Brauchwasseraufbereitung, dahinter Kesselhaus mit siloartigem Überbau des eigenen Kohlebunkers.	30

Abb. 21: Massive Schmierölverunreinigung in Bodenplatte und Fundament unter einer Kugelmühle der Masseaufbereitung.	32
Abb. 22: Rundofenbatterie beim Rückbau einer Porzellanfabrik. Das oberste Ofenstockwerk und die Abluftschornsteine waren bereits während des Betriebs entfernt und überbaut worden.	33
Abb. 23: Bausubstanzverunreinigung der Unterfahrt eines Tunnelofens durch langzeitige Tropfverluste aus einem Schubzylinder.	34
Abb. 24: Starke Hydrauliköl-Verunreinigung an der Einfahrt eines Dekor-Plattenschubofens. An der Einfahrt weiße, flugstaubartige Anhauchungen von Arsen- und Bleioxid.	34
Abb. 25: Steuerung eines Tunnelofens. Die barometrische Steuerung der Ofenatmosphäre befindet sich in den linken Schränken.	34
Abb. 26: Mit Quecksilber gefüllte Ausgleichsgefäße einer barometrischen Ofenluftsteuerung („Mono“).	34
Abb. 27: Handhabungsbedingt ausgelaufenes, metallisches Quecksilber am Boden eines Schalt- und Schreibrands der barometrischen Ofenluftsteuerung.	34
Abb. 28: Beim Rückbau eines Tunnelofens im Bereich der Brennzone unter der Bodenplatte ausgebaute, teilweise noch mit Teerkondensat befüllte Teerschiffchen.	35
Abb. 29: Hochtemperaturzone eines Tunnelofens (Glattofen). Querschnitt durch den äußeren Teil der Ofenwand mit Stahlblechkorsettierung (links) und altrosa bis ockerfarbener Kieselgur-Isolierung (rechts). Mit Erreichen der Kondensationstemperatur sind aus der Brennzone diffundierte Schadstoffe (Sulfat, Metalloxide) dicht unter der Korsettierung als weiße und gelbe Schicht ausgefallen und korrodieren die Ofenverblechung.	36
Abb. 30: Ablagerung hochkorrosiven sulfat- und metallhaltigen Krusten und Stäuben in einem Rekuperator nahe einem Saugzug. Die Metallteile sind bereits deutlich angegriffen.	36
Abb. 31: Blick von der Ofeneinfahrt in die Aufheizzone eines Glattbrand-Tunnelofens. Als unterschiedlich gefärbte und scharf zonierte Flugstaubanhaftungen sind die bei abnehmender Temperatur aus der Ofenluft kondensierten verschiedenen Metalloxidausfällungen zu erkennen.	37
Abb. 32: In Ziegelmauerwerk aufgeführter Rauchfuchs eines Glattofens. Im Hintergrund eine teileingestürzte Begehöffnung. An den Wänden sind die schwarzen Flugstaubanhaftungen aus dem Ofenbetrieb zu erkennen.	38
Abb. 33: Schwerölaustritt aus einer beheizten Schwerölpumpe. Das Schweröl wird bei Abkühlung am Boden zäh und breitet sich nur wenig aus.	39
Abb. 34: Unsachgemäße Lagerung von Kraft- und Schmierstoffen, Ölen, etc.	41
Abb. 35: Teerpappeeindeckung in Auflösung, aufgeklebt mit Teerkondensat auf Holzschalung.	42
Abb. 36: Asbest-Dämmplatte („Promabest“) unter der Stahlkorsettierung eines Dekorofens (linker Bildausschnitt).	43
Abb. 37: Weißschlammbecken mit Baggerschurf. Erkennbar die durch Einspülung entstandene, ebene Oberfläche mit nur geringem Bewuchs. Der Baggerschurf zeigt die zähplastische Beschaffenheit des abgelagerten Sediments.	47
Abb. 38: An der Oberfläche eines Ablagerungsbereiches austretende Teerkondensate.	48

Abb. 39: Verbotsschilder an der Zufahrt zu einer ehem. Betriebsdeponie.	49
Abb. 40: Bereitstellungslagers einer Porzellanfabrik für Pigmente und Chemikalien mit gefährlichen und gefährdenden Stoffen.	53
Abb. 41: Beräumung gefährlicher und gefährdender Stoffe einer Porzellanfabrik als Sofortmaßnahme.	53
Abb. 42: Zur Entsorgung abgeworfener Gipsformenbruch.	54

Tabellenverzeichnis

Tab. 1: Verflüssigungsmittel	17
Tab. 2: Verschiedene Glasurarten und deren Einsatz	24
Tab. 3: Pigmente bei der Porzellanherstellung	26
Tab. 4: Wesentliche Bestandteile von Kondensaten aus dem Generator-Rohgas bei Verschmelzung von Stein- bzw. Braunkohle (nach [35], verändert)	28
Tab. 5: Zusammenfassung spezifischer Schadstoffe im Weißbetrieb und der Massefertigung	32
Tab. 6: Zusammenfassung spezifischer Schadstoffe bei der Formenherstellung	33
Tab. 7: Zusammenfassung spezifischer Schadstoffe bei der Kapselherstellung und in Rundöfen	33
Tab. 8: Belastungen mit Metallsulfaten und –arsenaten durch Kondensation in Tunnelöfen	35
Tab. 9: Schadstoffbelastung in Brennöfen	37
Tab. 10: Zusammenfassung spezifischer Schadstoffe in Verbindung mit Tunnelöfen	38
Tab. 11: Zusammenfassung spezifischer Schadstoffe bei Lagerung, Herstellung und Reinigung von Brennmedien	39
Tab. 12: Zusammenfassung spezifischer Schadstoffe bei der Generatorgaserzeugung	40
Tab. 13: Zusammenfassung spezifischer Schadstoffe in Kesselhäusern und Abluftschornsteinen	40
Tab. 14: Zusammenfassung spezifischer Schadstoffe in Schlossereien, Schreinereien, E-Werkstätten und Betriebsstofflager	41
Tab. 15: Belastungen in Dachkonstruktionen und Eindeckungen (zusätzlich zum sonst üblichen Belastungsinventar)	42
Tab. 16: Belastungen in Decken und Böden (zusätzlich zum sonst üblichen Belastungsinventar)	42
Tab. 17: Asbesthaltige Einbauten und Teile von Produktionsanlagen bei der Porzellanherstellung	44
Tab. 18: Zusammenfassung spezifischer Schadstoffe im Boden im Bereich der Massemühlen	45
Tab. 19: Zusammenfassung spezifischer Schadstoffe im Boden im Bereich von Generatorgaserzeugungen	46
Tab. 20: Schadstoffparameter im Boden aus Weißschlammbecken und -gruben	47
Tab. 21: Schadstoffparameter im Boden aus Produktionsabfällen der Kohlefeuerung	47
Tab. 22: Schadstoffparameter im Boden aus Rückständen der Generatorgaserzeugung	48
Tab. 23: Schadstoffparameter im Boden im Bereich von Scherbenhaufen	49
Tab. 24: Branchenspezifische Bauteile und deren Schadstoffinventar	51
Tab. 25: Branchenunspezifische Bauteile und deren Schadstoffinventar	52

Tab. 26: Mengenabschätzung der zu entsorgenden, gefährlichen bzw. gefährdenden Stoffgruppen aus der Beräumung einer großen Porzellanfabrik	53
Tab. 27: Branchenspezifische Bauteile (Auswahl) und deren Schadstoffinventar für Boden und Grundwasser	55

Einführung

Diese Arbeitshilfe zur Erkundung von Altlasten und schädlichen Bodenveränderungen aus der Porzellanproduktion wurde mit Mitteln des Bayerischen Staatsministeriums für Umwelt und Gesundheit erstellt. Es wurden Ergebnisse und Erfahrungen bereits durchgeführter Altlastenuntersuchungen und erfolgreich abgeschlossener Altlastensanierungen mit Gebäuderückbau und Bodensanierung ausgewertet.

Die Übertragbarkeit auf andere Porzellan 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 bleibt aber unerlässlich.

Auf grundsätzliche Vorgehensweisen bei der Erkundung und Bewertung von Altlasten und kontaminierter Bausubstanz wird nicht eingegangen, sondern auf die einschlägige Literatur verwiesen. Von besonderer Bedeutung in Bayern sind für den Gebäuderückbau die LfU-Arbeitshilfe „Kontrollierter Rückbau“ [5] sowie für die Untersuchung und Bewertung von Altlasten und schädlichen Bodenveränderungen die LfU-/Lfw-Merkblätter Altlasten 1, 2 und 3 sowie 3.8/1, 3.8/4, 3.8/5 und 3.8/6 ([3], [6], [7], [8], [9], [10], [11]). 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.

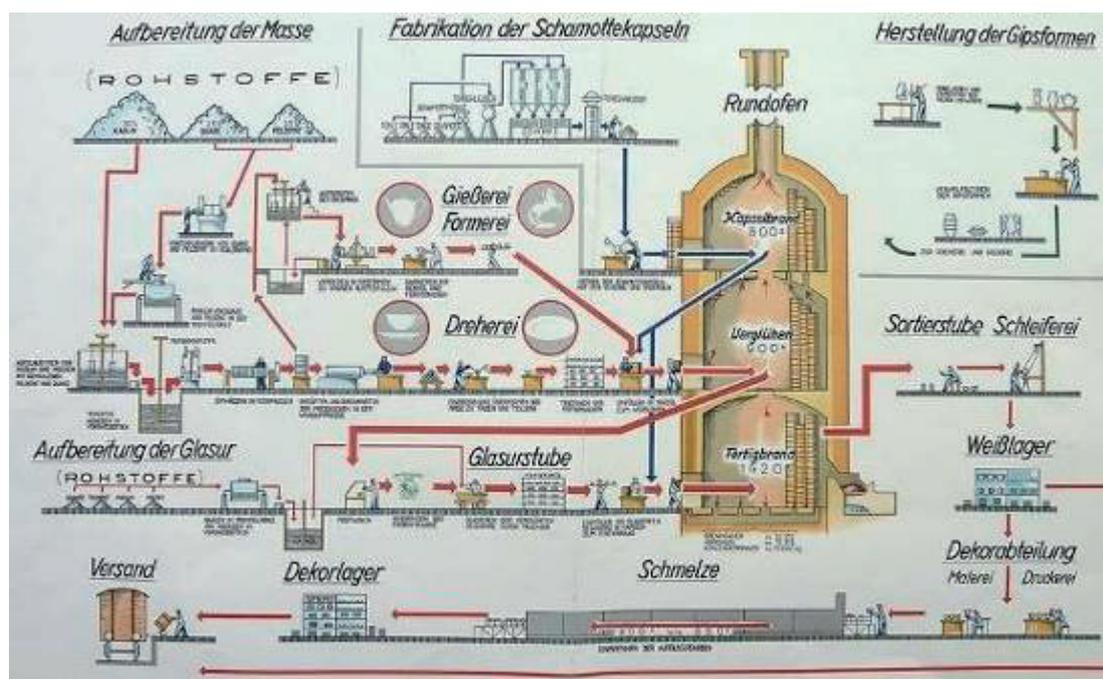


Abb. 1: Schematische Darstellung der Porzellanherstellung mit Rundofen.

1 Historische und regionale Entwicklung

1.1 Überblick Porzellanherstellung

Die Herstellung von **Keramik** ist eine der ältesten Kulturtechniken der Menschheit und ist zurückzuführen bis in die jüngere Steinzeit. Das leicht gestaltbare, plastische Ausgangsmaterial Ton bot von jeher Anreiz zur formgebenden Gestaltung.

Die Fertigung des Porzellans ist in China schon seit fast 1.500 Jahren bekannt. Zusammensetzung und Herstellungsmethoden waren jedoch lange Zeit ein in diesem Land gut gehütetes Geheimnis. Erst um 1.300 n. Chr. brachte Marco Polo Porzellanstücke nach Europa. Die Bezeichnung „Porzellan“ leitet sich von dem italienischen Wort „**Porcellana**“, der Name für eine weiß glänzende Muschelschale, ab. Im 14. Jahrhundert erhält die Porzellanherstellung in China einen neuen Aufschwung in deren Folge sich Glasuren, Dekore und Malereien verfeinern. Das Pigment Kobaltblau wurde dort die wesentliche Farbvariante.

Ein großer Porzellansammler war der sächsische König August der Starke. Nachdem der Alchemist Johann Friedrich Böttger mit der im königlichen Auftrag versuchten Goldherstellung gescheitert war, erhielt er den Auftrag, „weißes Gold“, also Porzellan, herzustellen. Böttger erfand dann zusammen mit dem Naturwissenschaftler Walther von Tschirnhaus 1708 in Meißen zum zweiten Mal die Herstellung von Porzellan. Im Jahr 1710 entstand auf der sächsischen Albrechtsburg die erste europäische Porzellanmanufaktur.

In rascher Folge wurden ab 1750 in allen europäischen Ländern zahlreiche Manufakturen gegründet, von denen die Mehrzahl an der Wende des 18. zum 19. Jahrhundert ihre sehr begrenzte Produktion wieder einstellten. Bei guter Verfügbarkeit der benötigten Rohstoffe kam es um die Mitte des 19. Jahrhunderts wieder zu zahlreichen Neugründungen von Porzellanfabriken, insbesondere in den Mittelgebirgen Südthüringens, Nordostbayerns, Westsachsen und Westböhmens. In diesen Regionen wurde zeitweise bis zu 90 % des deutschen Porzellans hergestellt.

Nach der letzten und größten Blüte dieses Industriezweigs zu Zeiten des „Wirtschaftswunders“ nach dem 2. Weltkrieg setzte ab 1970 und mehr noch seit den 1990er Jahren eine schwerwiegende Strukturkrise ein. Viele Porzellanfabriken der Region haben inzwischen ihre Tore geschlossen und Tausende von Arbeitsplätzen gingen verloren. Dieser Prozess der Betriebsschließungen oder -verlagerungen scheint auch heute noch nicht abgeschlossen.

1.2 Entwicklung und regionaler Rahmen in Bayern

Ungünstige klimatische Verhältnisse und meist ertragsarme Böden zwangen die Bevölkerung der Mittelgebirge in Nord- und Ostbayern, Südthüringen und Westsachsen schon früh dazu, neben der Landwirtschaft neue Erwerbsquellen zu erschließen. Neben der Holzwirtschaft mit Flößerei, Holzkohle- und Pechherstellung und der Glasherstellung in den Waldhütten zählte hierzu auch die Gewinnung und Verarbeitung von Bodenschätzen.

Mit der Industrialisierung und Ausweitung der Märkte etwa ab Mitte des 19. Jahrhunderts kamen zu diesen Erwerbszweigen das Weberhandwerk, die Natursteingewinnung und -verarbeitung, die Herstellung von Glas und Bleikristall sowie insbesondere die Herstellung von Gebrauchs- und Zierporzellan. Diese Industriebetriebe nutzten neben den günstig verfügbaren Arbeitskräften die in der Region verfügbaren Brennmittel Holz und später Braunkohle sowie die ortsnah vorhandenen Rohstoffe.

Unterbrochen durch Rezessionen während der Kriege und der Wirtschaftskrise nahm die Industrie seit Ende des 19. Jahrhunderts und dann wieder nach Ende des Zweiten Weltkriegs einen raschen Aufstieg mit wirtschaftlichen Blütezeiten.

Mit Belegschaften von zeitweise 500 Mitarbeitern und mehr und insgesamt Tausenden von Arbeitnehmern waren Dutzende von Porzellanfabriken in Nordostbayern neben der Textilindustrie wichtiger Arbeitgeber in z. T. sehr großen Industriekomplexen. Sie gewährleisteten in der Region über Jahrzehnte hinweg nahezu Vollbeschäftigung. In Städten wie z. B. Selb und Arzberg war die Porzellanindustrie mit international wesentlichen Anteilen an der Fertigung von Gebrauchs-, Zier- sowie auch Industrieporzellan samt den zugehörigen Zulieferbetrieben monostrukturartig entwickelt.

Mit Änderung der Verbrauchergewohnheiten, Öffnung der Märkte und dem industriellen Aufstieg auch anderer Länder mit ungleich niedrigeren Fertigungskosten brach der Absatz von Geschirr aus Nordostbayern gegen Ende des 20. Jahrhunderts zusammen. Traditionsreiche Unternehmen mit ihren alten, oft vielstöckigen Fertigungsgebäuden und überkommenen Herstellungsmethoden konnten die für eine hochrationalisierte Produktion erforderlichen Investitionen in neuzeitliche Fabriken und moderne Verfahrenstechniken nicht erbringen und stellten dann meist wegen Insolvenz ihren Betrieb ein.

Heute haben in Nordostbayern nur ein Teil der ursprünglichen Betriebe der Porzellanindustrie überlebt. Diese allerdings stellen aufgrund hoher Rationalisierung und Effizienz sowie sich ständig weiterentwickelnder Fertigungstechnologien einen großen Teil des weltweit gehandelten Gebrauchs- und Zierporzellans her. Die Konzentration der Produktion auf immer weniger große und leistungsfähige Betriebe ist auch heute noch nicht abgeschlossen, wie wiederkehrende Zeitungsartikel zu Belegschaftsabbau und Produktionsverlagerungen zeigen.

Verblieben nach Betriebseinstellung sind die verlassenen Komplexe der Porzellanfabriken. Diese liegen meist im oder am Innenbereich der Ortschaften, welche sich seit Errichtung der Betriebe deutlich ausgedehnt haben. Mangels Verantwortlichkeit oder Geldmitteln verwaisten die stillstehenden Betriebe, werden witterungsbedingt baufällig und beginnen einzustürzen. Im wirtschaftsschwachen Nordostbayern sind die Kommunen manchmal selbst bei öffentlicher Förderung mit der Übernahme und der Baufeldfreimachung solcher Industrieruinen finanziell überfordert.

2 Technologie

2.1 Begriffe und Unterteilung

Keramik kennzeichnet die Herstellung von Formgegenständen aus anorganischen, feinkörnigen Mineralgemengen. Diese werden nach Mischung, Homogenisierung und Wasserzugabe bei Raumtemperatur geformt, danach getrocknet und anschließend in einem Brennprozess oberhalb von 900 °C zu unveränderlich harten und weiter veredelbaren Gegenständen verändert.

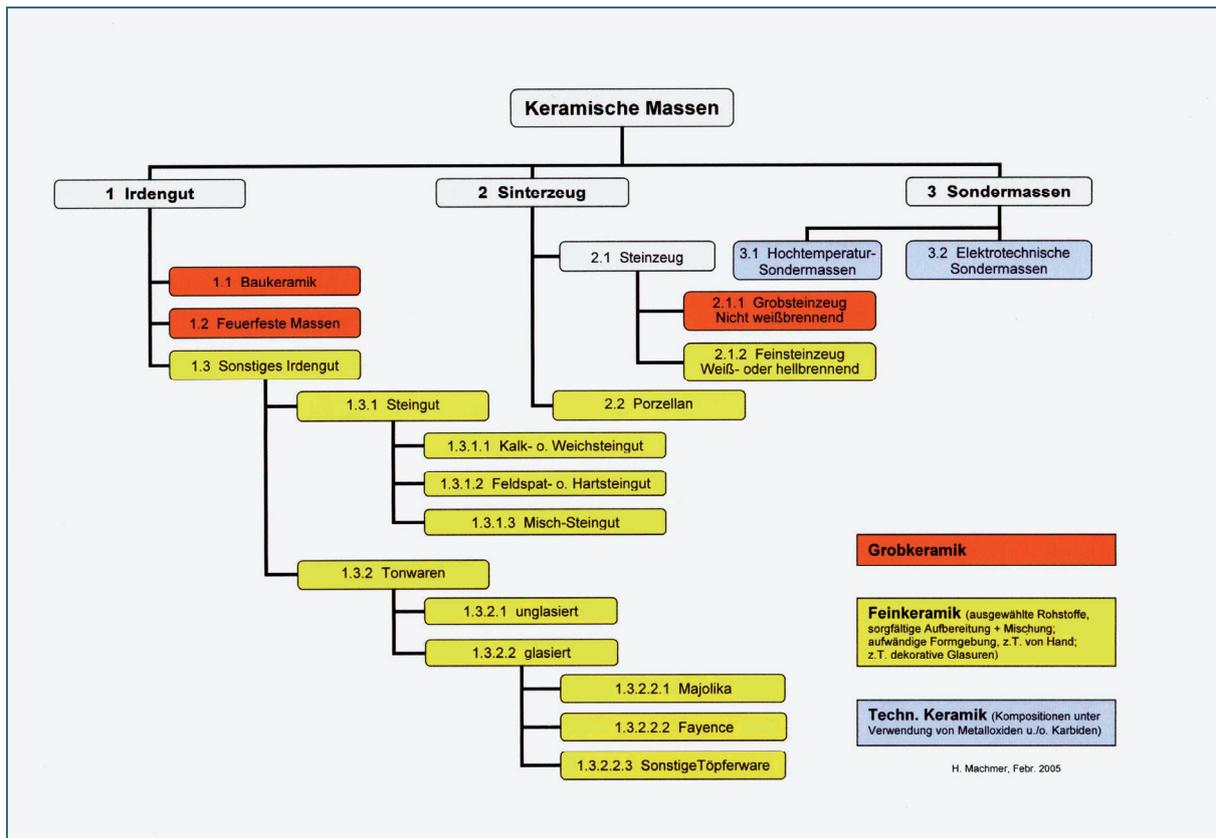


Abb. 2: Diagramm zur Unterteilung keramischer Massen [38].

Die Unterteilung von Keramik kann nach Art und Chemismus der Einsatzstoffe in die Werkstoffgruppen Silikatkeramik, Oxidkeramik und Nichtoxidkeramiken erfolgen.

Unabhängig von Einsatzstoffen oder Herstellungstechnologien werden keramische Erzeugnisse auch über die Korngrößen der Einsatzstoffe in Grob- oder Baukeramik und Feinkeramik unterteilt.

Eine weitere Systematik richtet sich nach der Art und Zusammensetzung der Ausgangsstoffe bzw. der in der Fertigung der Formstücke verwendeten Herstellungstechnologien. Hierbei wird Keramik in Irdenware, Technische Keramik, Sinterzeug und Porzellan eingeteilt.

Wesentliches Merkmal der Porzellanherstellung gegenüber der Irdengutfertigung ist die hohe Temperatur der Brände bis 1.410 °C. Zu unterscheiden sind der Glühbrand, der Glattbrand und der Dekorbrand, wobei letztere in Auf-, In- und Unterglasdekore unterteilt werden.

Ausführlichere Informationen zu den o. g. Begriffen finden sich im Technischen Glossar ab Seite 59.

2.2 Porzellanherstellung

2.2.1 Rohstoffe

Alle Porzellanarten bestehen aus den **Hauptrohstoffen** Kaolin, Quarz und Feldspat. Die meisten der anderen anorganischen **Zuschlagsstoffe** in der Porzellan-Rohmasse sind ebenfalls natürlich entstandene Minerale wie Dolomit, Kalk, Flussspat sowie Schamotte und aufgemahlener Weißporzellanbruch (siehe auch Technisches Glossar). Diese Stoffe:

- beeinflussen als Flussmittel die Temperaturhöhe der Materialsinterung,
- erhöhen die Formstabilität beim Trocknen,
- minimieren die Form- oder Brennschwindung bei der Trocknung und/oder dem Brand oder
- wirken als Stabilisatoren gegen eine zu starke Verflüssigung der Masse beim Brand.

2.2.2 Porzellanarten

Es gibt folgende unterschiedliche Arten von Porzellan:

- Hartporzellan
- Weichporzellan
- Knochenporzellan (Bone China)
- Steinzeug

Porzellan seinerseits wird weiter unterteilt in:

- Technisches Porzellan (z. B. als Isolatorenmaterial)
- Gebrauchsporzellan (als Geschirr: Tafelgeschirr oder Hotelporzellan)
- Zierporzellan (für dekorative Zwecke oder als Kunstgegenstand)

2.2.3 Masseaufbereitung

Früher besaß jede Porzellanfabrik eine eigene **Massemühle**. Die Massemühle war die erste Abteilung einer Porzellanfabrik. Hier werden durch Zerkleinern, Reinigen, Durchmischen und Entlüften der angelieferten Rohstoffe und Zuschläge völlig homogene Porzellanmassen und Glasuren hergestellt. Die Kenntnis des Mischungsverhältnisses war lange ein gut gehütetes Geheimnis. Heute geschieht die Aufbereitung firmenunabhängig zumeist in zentralen Produktionsstätten.

Zunächst werden harte und zähe Bestandteile wie Quarz- oder Feldspatstücke in einem einstöckigen Rundofen („Kiesofen“) durch Rösten vorzerkleinert. Auch andere Zuschlagsstoffe (Porzellanscherben, Schamottebrocken) werden vorzerkleinert. Das in einer Magnettrommel erstmals vom Eisen befreite Mahlgut wird dann in Kollergängen und Trommelmühlen als Vorstufe der Homogenisierung feingemahlen.



Abb. 3: Kollergang zur Feinmahlung der Porzellan- und Glasurrohstoffe in einer Massemühle mit Läufer und Mahlbahn aus Quarzit.

Die vorgemahlene Rohstoffe werden mit Wasser und einem je nach Verwendungsabsicht wechselnden Anteil an geschlämmtem Kaolin versetzt und in diesen Mühlen homogenisiert und feinst gemahlen.

Nach dem Mahlvorgang wird die flüssige Masse (Schlicker) in Rührbottiche überführt. Restanteile nicht feinstgemahlener Körner werden mit Rüttelsieben aus der Suspension abgetrennt. In einer zweiten Magnetabscheidung wird noch enthaltenes Eisenhydroxid (FeOOH) entfernt, um eine spätere Braunfärbung des Scherbens oder der Glasur zu vermeiden. Je nach beabsichtigtem Formgebungsprozess über Gießen, Drehen, Pressen oder Drücken wird dem Schlicker durch Abpressen mehr oder weniger Wasser entzogen.



Abb. 4: Kammerfilterpresse (erkennbar sind die Kammern, welche beidseitig mit wasserdurchlässigen Filtertüchern ausgekleidet sind und die Hintereinanderschaltung der Kammern für die Druckentwässerung).

Der Masse werden je nach Verwendungszweck und Anforderung Mittel zur Formgebung, Verflüssigung, Plastifizierung und Verfestigung zugesetzt.

2.2.4 Formgebung

In der industriellen Porzellanfertigung war das Gießen bis zur Einführung isostatischer Pressverfahren und noch vor dem Drehen das wichtigste Formgebungsverfahren. Beim Gießen wird der Schlicker in Gipsformen gegossen. Nach einer kurzen Trocknungszeit löst sich der an der Innenwandung der Form verbliebene Scherben mit „lederharter“ Konsistenz von der Formwand. Danach kann der Rohling aus der stets zerlegbaren Gipsform entnommen werden.

Hilfsstoffe werden dem Schlicker in der Massemühle zugegeben, um die Verarbeitbarkeit der Masse zu verbessern. Durch den Zusatz von **Verflüssigungsmitteln** (Deflokkulantien) kann der Schlicker relativ wasserarm und trotzdem fließfähig gehalten werden.

Tab. 1: Verflüssigungsmittel

Verflüssigungsmittel	Zusammensetzung
Soda	$\text{Na}_2\text{CO}_3 \times 10 \text{ H}_2\text{O}$
Wasserglas	$\text{Me}_2\text{O} \times n\text{SiO}_2$ (Me = Na, K = Alkalimetalle)
Na-Oxalat	Natriumoxalat (Na-Salz der organischen Oxalsäure)
Na-Di- oder Triphosphat	$\text{Na}_2\text{P}_2\text{O}_7$ (Na-Pyrophosphat) oder $\text{Na}_3\text{P}_3\text{O}_{10}$
organische Verbindungen	Humussäuren, Gerbsäure oder Tannine

Plastifizierungsmittel dienen der Erhöhung der Plastizität bzw. der plastischen Verformbarkeit ohne Abreißen bzw. Abbrechen bei möglichst niedrigen Wassergehalten in der Masse. Zum Einsatz kommen meist organische, zähviskose, wasserlösliche Verbindungen wie Stärke, Dextrin, Zelluloseäther oder langkettige, aliphatische Kohlenwasserstoffe sowie Sulfitablauge z. B. aus der Zelluloseherstellung.

Gipsformen haben eine Mindestwandstärke von einigen Zentimetern. Durch die Abnutzung des weichen Materials beim Gießen und Entleeren können die Formen nach 30 bis 80 Abgüssen nicht weiter verwendet werden. Bei der Fertigung von Massengeschirr sind so größte Mengen von Gipsformen erforderlich. Verbrauchte Formen (Formenbruch) bilden eine der Hauptabfallmengen auf den werkseitigen Abfalldeponien (Scherbenhaufen).

Ausgangsmaterial für Gipsformen ist das Mineral Gips ($\text{CaSO}_4 \times 2 \text{ H}_2\text{O}$). Dabei sind Verunreinigungen mit Arsen im Spurenelementbereich möglich. Heute kommt Gips aus industriellen **Rauchgas-Entschwefelungs-Anlagen** (REA-Gips) zum Einsatz.



Abb. 5: Vertikaltrockner in einer Gießerei zur rascheren Trocknung von nach dem Gießvorgang durchfeuchteter Formen.

In der weiteren Entwicklung des Formenbaus werden tragende Elemente, wie z. B. die Schlösser der zerlegbaren Gipsformen sowie Teile der Form selbst, aus Kunststoff (Epoxidharz) gefertigt. Aus dem vorher rein mineralischen Gegenstand wird ein Verbundmaterial mit organischen Anteilen. Arbeitsformen für moderne Druckgussanlagen und isostatische Pressen bestehen aus Kunststoff oder Metall, die nach Gebrauch nicht getrocknet werden müssen.



Abb. 6: Mutterformenlager einer Porzellanfabrik. Die Lager mit z. T. aus Verbundmaterial hergestellten Gegenständen sind schwierig zu beräumen und zu entsorgen.



Abb. 7: Musterlager einer Porzellanfabrik mit Resten von Porzellan.

Beim **Drehen** wird unterschieden zwischen Eindrehen und Aufdrehen eines plastischen Masseklumpens auf Formen. Beim **Pressen** von Porzellanmassen liegen die Vorteile im Gegensatz zur plastischen Formgebung des Drehens grundsätzlich in einem geringeren Feuchtigkeitsgehalt und größerer Verdichtung der Masse. Eine Verwendung bei der Fertigung von Gebrauchsporzellan war aus technischen Gründen zunächst nicht möglich. Dies gelang erst nach Entwicklung eines weitgehend trockenen Massegranulats.

2.2.5 Kapseln und Brennhilfsmittel

Kapseln im Rundofen

In den bis Mitte des letzten Jahrhunderts zum Brennen des Porzellans eingesetzten Rundöfen (siehe Kap. 2.2.6) durchzogen Flammen und die durch Flugstaub belasteten Rauchgase der Direktbefeuerung die Brennkammern und gefährdeten besonders beim Glasurbrand die Qualität des feinen Brennguts. Schon geringste Staubablagerungen führen zu Verfärbungen oder Unebenheiten in der Glasur.

Es ist daher erforderlich, das Porzellan durch eine feuerfeste Hülle zu schützen. Dies erfolgt durch **Kapseln**, dosenartige Gefäße aller Größen aus Schamotte mit einem aufsteckbaren Deckel. Mit Kapseln lässt sich zu brennendes Porzellan schonend und platzsparend im Ofen stapeln.



Abb. 8: Kapselstöße, in eine Rundofenkammer zum Brand eingestellt.

Die Schamottekapseln werden i. d. R. von den Fabriken selbst hergestellt. Schamotte ist eine Mischung aus etwa drei Teilen rohem und einem Teil gebranntem Ton. Herkömmliche Tellerkapseln überstanden maximal 15 Brände. Verbrauchte Kapseln wurden auf den Betriebsdeponien entsorgt oder teilweise wieder zum Einmischen in neue Schamotte aufgemahlen.

Auch die **Muffeln**, die Behälter, in die das dekorierte Porzellan für den Dekorbrand gesetzt wird, sind aus Kapselmasse.

Im Rundofen liegt das Gewichtsverhältnis zwischen Porzellan und Kapseln bei 1 zu 10. So werden in den Rundöfen prozessbezogen überwiegend Kapseln und nicht Porzellan gebrannt.

In den Scherbenhaufen der Porzellanfabriken aus der Zeit bis etwa Mitte des letzten Jahrhunderts sind zerbrochene Schamottekapseln (Kapselbruch) neben verbrauchten Gipsformen (Formenbruch) und Aschen der Rundofenfeuerung die Hauptabfallarten.

Sparkapseln und Stapelhilfen in Tunnelöfen

Beginnend 1925 und in nahezu allen Porzellanfabriken ab Mitte des 20. Jahrhunderts, wurden die Rundöfen durch kontinuierlich laufende Tunnelöfen ersetzt. Durch den Einsatz von Brenngas anstelle der vorher eingesetzten Festbrennstoffe und der kürzeren Verweildauer im Hochtemperaturbereich benötigt das Porzellan keinen Schutz vor Verunreinigungen mehr. Immer noch erforderlich waren jedoch Stapelhilfen.

Da im Tunnelofen die Aufheiz- und Abkühldauer im Vergleich zum Rundofen kurz ist, erhöhen sich die Temperaturgradienten vor und nach Durchlaufen der eigentlichen Brennzone stark. Entsprechend werden Brennhilfsmittel erforderlich, welche ausreichend feuerfest und zugleich gegenüber den Temperaturänderungen im Tunnelofen beständig sind.

Diese Anforderungen werden erfüllt durch das im Elektroofen aus Kohle und Quarzsand gesinterte Siliziumkarbid (SiC), welches zugleich auch hohe Bruchbeständigkeit, besonders hohe Härte und gute Wärmeleitfähigkeit aufweist. Siliziumkarbid ist eine Nicht-Oxidkeramik und gehört zu den Sondermassen bzw. der Technischen Keramik.



Abb. 9: Einfahrt eines Glattbrand-Tunnelofens; Schubwagen beladen mit Stapeln von Teller-Sparkapseln aus Siliziumkarbid.

Brennhilfsmittel (BHM) in Schnellbrandöfen

In den Siebziger Jahren des 20. Jahrhunderts wurden zusätzlich zu den Tunnelöfen oder an deren Stelle Schnellbrandöfen installiert. Bauartspezifisch kann die Brennzeit auf vier bis sechs Stunden verkürzt werden. Hochwertige Brennhilfsmittel aus drucklos gesintertem Siliziumkarbid (z. B. RSiC) halten bis zu 1800 Brände aus.

Bomsen

Flache Scheiben oder Teller stützen das Porzellan beim Brand gegen Veränderungen der Form. Sie bestehen wegen einheitlicher Schwindung aus der gleichen Masse wie das Porzellanstück. Bomsen werden nur einmal verwendet. Verbrauchte Bomsen werden entweder auf den Scherbenhaufen abgelagert oder nach Aufmahlen als Zuschlagsstoff bei der Porzellanherstellung eingesetzt.

2.2.6 Brennen

Jeder keramische Werkstoff erfordert zur endgültigen Verfestigung und Herstellung der gewünschten Oberflächenbeschaffenheit sowie zur Farbgebung bzw. zur Dekoration andere Brennbedingungen. Alle glasierten Porzellangegenstände müssen mindestens zweimal unter verschiedenen Brennbedingungen gebrannt werden.

Durch den ersten Porzellanbrand bei 900 °C bis 1000 °C, dem sogenannten **Glüh- oder Schrühbrand**, wird der Porzellanscherben im Glühofen fest, matt und porös. Danach wird das Porzellan in Vorbereitung des nachfolgenden Glattbrands in die Glasurmasse getaucht.

Im Glattofen findet der **Glatt- oder Fertigbrand** bei bis nahe 1500 °C statt. Das Porzellan wird hart, durchscheinend und wasserundurchlässig.

Zum dauerhaften Einbrennen bzw. Einschmelzen bestimmter Dekorarten wird als dritter Brand der **Dekorbrand** im Dekorofen bzw. der Schmelz notwendig.

Der Rundofen

Rundöfen werden seit etwa 200 Jahren beim Brennen von Porzellan eingesetzt. Die ein-, zwei- oder dreigeschossigen, zylindrischen Mauerwerkskörper haben Außendurchmesser von etwa zehn Metern und Höhen bis über fünfzehn Meter. Die äußere Stützkonstruktion ist in Ziegel- oder Bruchsteinmauerwerk von Meterdicke ausgeführt. Die Innenausmauerung besteht aus Schamotte. Um durch die extremen Temperaturschwankungen bedingte Spannungen und Bewegungen im Mauerwerk aufzufangen, sind die meist flach auf Streifenfundamenten gegründeten Öfen außen engflächig durch Stahlträger und Spannbänder korsettirt.

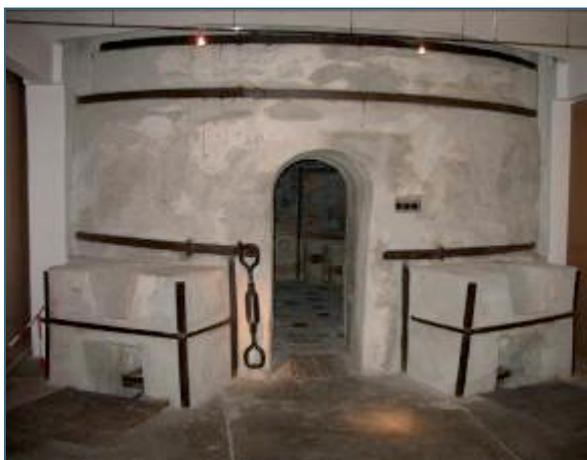


Abb. 10: Rundofen.
Beiderseits der Eintragsöffnung zwei Feuerungskästen. Eisenkorsettierung des Ofenmauerwerks mit einhängbarer Spannschraube vor der Öffnung. Im Boden des Brennraums liegen die Abzugsöffnungen für die Führung Brenngase in „überschlagende Flamme“ (dunkle Flecken), welche über Füchse im Mauerwerk zu den darüber liegenden Kammern geführt werden.

Zu jedem Geschoss im Rundofen führt ein gewölbeartiger Zugang, welcher vor jedem Brand abgemauert und verspannt wird. Nach dem Brand wird er wieder aufgebrochen.

Beim Einsatz von Stein- und Braunkohle als Brennmaterial fallen große Mengen Aschen mit Schlackanteilen an, welche auf dem Scherbenhaufen abgelagert werden.

Besonders wirtschaftlich werden Brennraum und Feuerungsenergie in den üblichen, dreistöckigen Rundöfen ausgenutzt: Angrenzend an die Feuerungskästen erfolgt im untersten Geschoss des Ofens der Glatbrand bei 1.400 °C, darüber der Glühbrand bei 900 °C und im dritten Geschoss können bei 800 °C die Schamottekapseln gebrannt werden. Die Abluft wurde über aufsitzende Schornsteine abgeführt.

Der Tunnelofen

Tunnelöfen wurden erstmals um 1925 eingesetzt und ersetzen ab den Fünfziger Jahren des 20. Jahrhunderts die Rundöfen. Tunnelöfen sind komplexe Bauwerke, bei welchen der Porzellanbrand ohne Unterbrechung in einem horizontalen Ablauf von 60 m bis 100 m Länge in einem außenisolierten Brennkanal erfolgt.

Tunnelöfen sind unterteilt in eine **Aufheiz-**, eine **Hochtemperatur-** und eine **Abkühlzone**. Der Transport des gestapelten Brennguts erfolgt im konventionellen Ablauf mittels schienengebundener, isolierter Tunnelofenwagen. Er kann jedoch auch mittels Rollen oder Platten erfolgen.

Der Ofen ist ein horizontal liegender Mauerwerkskanal, welcher von außen durch Stahlträger und z. T. durch Stahlplatten massiv korsettiert ist. Der Ofen besitzt einen quadratischen Querschnitt mit den ungefähren Außenabmessungen von Breite(B) x Höhe(H) = ca. 3 x 3 m.

Im Inneren des Tunnelofens verläuft die eigentliche **Brennröhre**, durch welche das zu brennende Porzellan kontinuierlich geschoben wird. Die Brennröhre hat überflurige Abmessungen von B x H = ca. 0,75 x 1,5 m. Die Ofengleise für die Schubwagen liegen höhengleich zur Bodenplatte der Ofenhalle, darunter liegt die begehbare „Unterfahrt“ des Ofens mit etwa gleichen Abmessungen. Diese dient der Kontrolle und Behebung von Havarien während des Brennbetriebs.



Abb. 11: Stillgelegte Ofenhalle und Tunnelofen mit Hochtemperatur- bzw. Brennzone.



Abb. 12: Unterfahrt eines Tunnelofens als Begehkanal (von der eigentlichen Brennröhre getrennt).

Der Tunnelofen besitzt eine Tragkonstruktion aus Klinkermauerwerk, welche auf einem massiven und armierten Betonfundament auflagert.

Die Außenisolierung kann aus verschiedenen **Dämmmaterialien** bestehen. Zum Einsatz kommt v. a. Kieselgur, ein natürlich vorkommendes, jedoch von Tonmineralien u. a. gereinigtes Sediment. Dieses wirkt auf Grund seines sehr hohen Außen- und Innenporenraums stark isolierend und ist als Kieselsäure (SiO₂) auch beständig gegen hohe Temperaturen.

Abgedeckt ist der Tunnelofen mit abhebbaren Isolierplatten. Zur Brennröhre hin ist die Ofensubstanz isoliert. Je nach Brennzone besteht diese Isolierung aus Isolier-Leichtziegeln hinter Schamottemauerung oder aus Hochfeuerfest-Steinen im Hochtemperaturbereich. Aus der Abkühlzone wird die Ofenluft über **Rekuperatoren** mit Saugzügen zur Aufheizzone rückgeführt. Die heiße Abluft dient entweder der Vorwärmung des Brennguts oder wird anderen Betriebsabteilungen als Heiz- oder Trockenluft zugeleitet.

Die rückwärts zur Aufheizzone geführten Ofengase der Feuerung im Hochtemperaturbereich werden über zwei unterflurige, gemauerte und mit Schamotte ausgekleidete Rauchföhse (früher) zu beiden Seiten des Ofens oder über isolierte, überflurige Abluftleitungen (heute) zu den nachgeschalteten Einheiten „Staubfilter“ und „Entfluorisierungsanlage“ sowie weiter zum **Abluftschorstein** geführt. Ein hoher Abluftschorstein und die sehr große, eingeschossige Tunnelofenhalle mit ihren Oberlichtern („Kappellen“) sind das wesentliche Merkmal größerer Porzellanfabriken.



Abb. 13: aufgelassene Tunnelofenhalle mit Oberlichtern und Abluftschorstein der Öfen.

Der **Transport** des Brennguts durch den Tunnelofen erfolgt auf hintereinander laufenden Schubwagen. Diese Wagenkette ohne Zwischenräume wird an der Ofeneinfahrt mittels eines horizontal laufenden Hydraulik-Zylinders langsam durch den Ofen geschoben. Damit die aufgeheizte Ofenatmosphäre im Ofenraum gehalten wird, sind die Schubwagen an ihrer Stirn durch Faserdichtschnüre und zu den seitlichen Ofenwandungen hin durch sog. „Schikanen“ gegen die Ofenunterfahrt gedichtet. Die Ofenatmosphäre unterscheidet sich deutlich in Druck und Gaszusammensetzung von der Außenluft.

Hydraulik-Schubvorrichtung und barometrische Ofenluft-Steuerung („Mono“) mit ihren Schalt- und Steuerschränken und -pulten liegen an der Außenseite der Öfen, ebenso wie die Tanks für Hydrauliköl, zugehörige Pumpen sowie Schreiber und Quecksilber-Barometer der Steuerung.



Abb. 14: Tunnelöfen mit Ofensteuerung („Monos“), Ofenhydraulik und Schubzylinder. Hintergrund die Brennzone mit Gaszuführung.

Die **Brennmedien** der Öfen haben sich im Lauf der Zeit geändert. Anfangs wurden die Tunnelöfen meist mit Generatorgas befeuert, welches in werkseigenen Gasgeneratorenhäusern hergestellt wurde (Kap. 2.3.1). Daneben wurde in großen Außentanks gelagertes Butangas verwendet. Auch Schwer- oder Heizöl kam zum Einsatz. Ab den Siebziger Jahren des 20. Jahrhunderts wurden alle Tunnelöfen auf die Feuerung mit Erdgas umgestellt.

2.2.7 Glasieren

Glasuren stellen möglichst dünne Glasschichten auf einem festen (keramischen) Untergrund dar. Die Glasur verleiht dem Porzellan seinen kennzeichnenden, besonderen Glanz und trägt zur Transparenz der Gegenstände bei. Sie hat jedoch nicht nur dekorative Bedeutung, sondern macht das Porzellan auch beständiger gegen Außeneinwirkungen, Schmutz und Beschädigung. Außerdem überzieht und schützt die Glasur die Unter- oder In-Glasur-Dekore oder gibt den geeigneten, glatten Untergrund für das Aufglasur-Dekor.

Wichtigste Bestandteile der Glasur sind **Feldspat** und **Quarz**. Das Mengenverhältnis liegt zwischen eins zu fünf und eins zu zehn. Auch **Porzellanscherben** und weitere **Flussmittel** sind Bestandteile der Glasurmasse. **Pigmentierende Bestandteile** können beigemischt sein.

Die dünnflüssige Feststoffsuspension des Glasurschlickers wird entweder durch Tauchen, Besprühen oder Übergießen auf den Scherben aufgebracht. Der poröse Scherben saugt das Wasser aus der Glasurmasse an und die festen Bestandteile bleiben wie ein mehliges Überzug auf der Scherbenoberfläche haften. Mit Hilfe von feuchten Schaumgummibändern wird die Glasur letztlich wieder von den Flächen abgewaschen, auf die das Stück während des Brandes gestellt werden soll.

Trotz größter Sorgfalt beim Glasieren können Fehlstellen in der Beschichtung nicht vermieden werden. Um solche zu erkennen, wird die Glasurmasse eingefärbt, wodurch unglasierte Stellen weiß verbleiben. Zum Einfärben werden organische Farbstoffe eingesetzt, welche nicht umweltgefährdend sind und beim nachfolgenden Glattbrand ohne färbende Rückstände zerfallen.

Bis Mitte des letzten Jahrhunderts erfolgte das Glasieren von Hand. Danach kamen Anlagen auf den Markt, welche die einzelnen Schritte des Glasierens maschinell ausführten.

Aus dem mit Glasurmasse überzogenen Glühscherben entsteht im nachfolgenden Glatt- oder Glasurbrand **Weißgeschirr**, welches direkt in den Verkauf geht oder aber in weiteren Arbeitsschritten dekoriert wird. Neben weißen Glasurmassen kommen für **Buntgeschirr** auch pigmentierte Glasuren zum Einsatz.

2.2.8 Sortieren und Schleifen

Nach dem Glattbrand kommt das Porzellan zur Sortierung. Dort wird es in Güteklassen eingeteilt und der weiteren Verarbeitung – insbesondere der Dekoration – zugeführt. Wichtigste Aufgabe der Sortierung ist das Entdecken von Stücken mit kleinen Fehlern, um diese zur Nachbearbeitung zu leiten. Nach dem Brand sind Füße und Böden der Porzellanstücke rau und unglasiert. Alle Unebenheiten sowie kleine Produktions- und Brennfehler werden in der Schleiferei weggeschliffen und geglättet.

2.2.9 Dekoration

Bei der Dekoration wird das Porzellan in vielfältigen und komplizierten Arbeitsschritten vorwiegend manuell verziert. Die Dekoration fand überwiegend in den oberen, hellen Stockwerken der Porzellanfabriken statt.

Hauptmethoden der Dekoration

Beim Dekorieren durch farbige Gestaltung unterscheidet man **Aufglasur-**, **Inglasur-** und **Unterglasurbrand** (Tab. 2). Der Inglasurbrand ist die heute häufigste Variante des Dekorbrands.

Nach der Dekoration des Weißgeschirrs durch Malen, Bedrucken oder Spritzen erfolgt der Dekorbrand. Er verschmilzt die keramischen Farben mit der Glasur. Der Brand erfolgt meist in gasbefeuerten, aufgeständerten Durchlauföfen („Schmelz“). Die Brenndauer liegt zwischen 60 und 90 Minuten.

Tab. 2: Verschiedene Glasurarten und deren Einsatz

Glasurarten	Brenntemperatur	Verfahren	Einsatz
Aufglasurbrand	750 °C–900 °C	Farbgestaltung erfolgt auf dem glattgebrannten Scherben	fast alle Farbnuancen möglich. Verwendung für hochwertiges Porzellan, vor allem Geschenkartikel
Inglasurbrand	1.200 °C–1.250 °C	Die farbigen Dekorbilder werden entweder auf den bereits glattgebrannten Scherben abgezogen (Abziehbild) oder vom Papier auf das Porzellan geschoben (Schiebebild).	spülmaschinenbeständig; etwas kleinere Farbauswahl
Unterglasur- oder Scharffeuerbrand	1.300 °C–1.350 °C	Farbe wird direkt auf den geglühten Scherben aufgebracht und erst dann glasiert und gebrannt	Geringe Farbauswahl; eingesetzt für Kobaltdekorationen; charakteristisches Zwiebelmuster.



Abb. 15: Herstellermarke auf der Unterseite eines Scherbens als Chromgrün-Unterglasur (auf Betriebsdeponie).

Weitere Veredelung des Porzellans durch Dekorationsvarianten erfolgt z. B. durch

- Ätzkantendekoration: Motive werden tief in die Glasur eingeätzt und dann vergoldet
- Oberflächenmattierung durch Sandstrahlen von Teilflächen
- Aufbringen und Polieren von Gold- und Platindekoren

Bei der **Porzellanmalerei** werden die zu verzierenden Teile vom Maler mit Ränder-, Linien- oder Bänderdekors, mit Ornamenten, Schriften oder Monogrammen oder bildhaften Darstellungen bemalt. Hierzu werden von Hand mit Pinsel, Feder oder Stempel mineralische Aufglasurfarben und Edelmetallpräparate aufgetragen. Weitere Dekoration erfolgt auch in Spritzkabinen mit Spritzpistole und Schablonen.

Die an sich pulverförmigen Farben werden mit organischen Ölen und Firnissen wie Leinöl, Terpentin, Schellack o. ä. angemischt. Diese oft mit Alkohol verdünnten und insgesamt nur in geringen Mengen eingesetzten organischen Stoffe verdunsteten nach dem Farbauftrag. Die Farben werden fest, Reste verbrennen im Ofen.

Meist wird das Weißgeschirr vor dem Aufbringen der Inglasurfarben in Industriegeschirreinigern gereinigt. Hierbei werden tensid- und phosphathaltige Geschirreiniger verwendet. Teilweise kam zum Entfetten kleiner Glasur-Oberflächen auch Toluol zum Einsatz.

Dekorfarben

Dekorfarben bestehen aus einem **Farbträger** und aus färbenden **Pigmenten**, welche auf die meist farblose bis weiße Glasur aufgetragen werden.

Die **Pigmente**, unterschiedliche Metalle und Metallverbindungen und deren Mischung, werden im Farb- oder Schmelzfluss, ein leicht schmelzbares, durchsichtiges Glas, eingebunden. Farb- oder Schmelzfluss wird hergestellt wie ein Glas und besteht ebenfalls aus feinstvermahlenem Quarz und Feldspat mit weiteren Beimengungen. Besonders wichtig sind hier die Flussmittel zur Erniedrigung bzw. Einstellung der Schmelztemperatur und zum Erzielen eines homogenen, aufnahmebereiten Schmelzflusses.



Abb. 16: Farbmuster für Aufglasur-Schmelzfarben.

Bei der Porzellandekoration mit Inglasurfarben wurden Schiebe- oder Abziehbilder in großen Mengen eingesetzt. Diese waren in der Druckerei auf großen Papierbögen aufgebracht, mit wasserlöslichem Leim auf dem Papier fixiert und mit einer dünnen Trag- und Deckschicht überzogen. Neben Schmelzdekorfarben unterschiedlichster Zusammensetzungen, vorwiegend aus Metalloxiden, wurden bei der Herstellung auch in größerem Umfang Lösemittel eingesetzt. Nach Betriebseinstellung finden sich in den Regallagern oft erhebliche Mengen an solchen metalloxidhaltigen Druckpapieren.

Tab. 3: Pigmente bei der Porzellanherstellung

Farbstoffe	färbende Verbindungen	Keramfarben*
Kupferverbindungen	Kupfer(II)-oxid, Kupfer(I)-oxid, Kupferkarbonat, Kupferphosphat, Kupferazetat, Kupferchlorid u. a.	schwarz, blaugrün, grün
Manganverbindungen	Manganoxid, Mangankarbonat, Manganchlorid u. a.	schwarz, violettbraun, dunkel, bis hellbraun
Chromverbindungen	Chrom(III)-oxid, Bleichromat, Kaliumdichromat u. a.	chromgrün, dunkelolivgrün, chromgelb, gelb
Nickelverbindungen	Nickel(II)-oxid, Nickel(III)-oxid, Nickelkarbonat, Nickelazetat, Nickelchlorid u. a.	grüngrau bis schwarz, hellgrün
Cadmium- und Selenverbindungen	Cadmiumsulfid, Cadmiumoxid, Cadmiumcarbonat, Selen, Selenoxid, Cadmiumchlorid, Selenchlorid	grau, orangelfarb, gelb
Antimon-, Zinn- und Titanverbindungen	Antimontrioxid, Antimonsulfid, Zinnoxid, Zinnchlorid, Titanoxid, Titaneisen	weiß, gelblich, schwarz, dunkelbraun
Uranverbindungen	Urandioxid, Urantrioxid, Natriumdiuranat	schwarz, orange, gelb
Wismutverbindungen	Bismut(III)-oxid, Bismutkarbonat, Bismutchlorid, Bismutnitrat	weiß und gelblich
Molybdänverbindungen	Molybdän(VI)-oxid, Molybdänsulfid, Ammoniummolybdat und -chlorid	weiß und gelblich
Vanadiumverbindungen	Vanadium(IV)-oxid, Vanadium(V)-oxid, Vanadium(III)-chlorid	grünlich, gelbgrünlich, rötlichbraun
Gold- und Silberverbindungen	Gold, Silber, Gold- und Silberchlorid bzw. -oxid, u. a.	als metallische Überzüge und Lusterfarben als Aufglasurdekoration; Gold: rosa, purpurn, rubin Silber: gelb

* andere Farbgebungen unter oxidierenden oder reduzierenden Bedingungen möglich



Abb. 17: Teilweise eingestürztes Dekorbilderlager.

Schadstoffe in Glasuren

Blei, Cadmium, Antimon und Barium waren Glasurrohstoffe, die bei der Verarbeitung und beim Benutzen glasierter keramischer Gegenstände die Gesundheit der Mitarbeiter, aber auch der Benutzer, beschädigen konnten. In Deutschland gilt deshalb seit 1888 ein Bleigesetz, welches der Abgabe von Blei aus Glasuren begrenzt. Heute sind Porzellanglasuren bleifrei.

2.3 Sonstige Anlagentechnik

Nach oft bescheidenen Anfängen in alten Mühlen oder Hammerwerken entwickelten sich Porzellanfabriken um die Wende zwischen 19. und 20. Jahrhundert zu großen **Industriekomplexen**. Die Fabrikanlagen mit ihren zahlreichen, drei- bis fünfgeschossigen Produktionsgebäuden und Schornsteinbatterien der Rundöfen prägten nachhaltig das Bild der Ortschaften. Die Fabriken wiesen zwischen 100.000 m³ und 200.000 m³ umbauten Raum auf und verfügten über eigene Eisenbahnanschlüsse.

In Nebengebäuden befanden sich Lager und **Hilfsbetriebe**. Ziel der damaligen Zeit war es, im eigenen Betrieb eine möglichst große Fertigungstiefe zu erreichen. Das bedeutete, dass zum Werk eine eigene Druckerei für Dekorbilder, Schlosserei und Elektrowerkstatt gehörten und bei geeigneter Lage an einem Vorfluter z. T. auch Wasserkraftwerk, Sägewerk, Schreinerei und Kistenfertigung betrieben wurden.

Solange auf dem Werksgelände ausreichend Fläche zur Verfügung stand, wurden auf den als „Scherbenhaufen“ bezeichneten **Betriebsdeponien** die Produktionsabfälle abgelagert und bei späteren Betriebserweiterungen oft überbaut.

2.3.1 Generatorgaserzeugung

Mit der Umstellung in der Produktion von Rundöfen zu Tunnelöfen war die Errichtung von Generatorhäusern zur Gaserzeugung verbunden. I. d. R. wurden in den Porzellanfabriken Nord- und Nordostbayerns Tunnelöfen mit Generatorgasfeuerung erst vergleichsweise spät in den Fünfziger Jahren des 20. Jahrhunderts eingeführt. Nur wenige Jahrzehnte später wurde dann das Generatorgas bereits durch Erdgas ersetzt.

Generatorgas, auch Luftgas genannt, besteht aus ca. 70 % Stickstoff, 25 % Kohlenmonoxid, Wasserstoff, Kohlendioxid und Methan. Es wird großtechnisch durch die unvollständige Verbrennung von Kohle in Generatoröfen ohne Wasserzugabe erzeugt.

Bei der Herstellung dieses Brennstoffs wird Luft im Aufstrom von unten („Unterwind“) 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. Im oberen Bereich der Kohleschüttung wird dieses Gas dann an noch unverbrannter Kohle zum brennbaren Kohlenmonoxid oder Kohlendgas 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 (nach [35], verändert)

Stoffe/-gemische	Mengenanteil	entstehende Schadstoffe
Steinkohlenteer	50 %–80 %	PAK (Naphthalin, Anthracen, Phenanthren, Fluoranthen, Pyren, Benz(a)pyren)
	2 %–20 %	BTEX
	0,5 %– 5 %	Phenole und heterozyklische Kohlenwasserstoffe
Braunkohlenteer	20 %–40 %	aliphatische Kohlenwasserstoffe: Paraffine bis C32, Alkene, Alkine
	10 %–20 %	Cycloalkane, -alkene
	8 %–30 %	Phenole
	< 10 %	PAK (Naphthalin, Anthracen, Phenanthren, Fluoranthen, Pyren, Benz(a)pyren)
	0,05 %–5 %	BTEX
Ammoniakwasser ¹⁾	k.A.	anorganische 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.

Soweit noch erhalten und nicht bei der Umstellung des Brennmediums abgebrochen, sind die Generatorenhäuser in den Porzellanfabriken durch die großen Oberlichter im Dach zu erkennen, über welche

zur Explosionssicherung und Vermeidung von Vergiftungen Fehlgase aus der Kohleverschwelung abgeführt werden konnten.



Abb. 18: Ehemaliges Gasgeneratorenhaus
Erkennbar sind das große Oberlicht, der Rauchgasschornstein sowie ein Teil des ehem. Kohlelagers (links).

2.3.2 Lager für Brennstoffe

Kohlelager

Noch bis in die zweite Hälfte des 19. Jahrhunderts erfolgte der Porzellanbrand in den Rundöfen mit Holz. Danach wurde zunächst Kohle Hauptbrennstoff. Zum einen wurde Braunkohle (auch in Briquetform) verwendet und in Abhängigkeit von der Brenntechnologie Steinkohle mit höherem Heizwert. Die Anlieferung erfolgte per Bahn. Die Festbrennstoffe wurden in eingeschossigen, überdachten Schuppen entlang der Werksgleise und in der Nähe zu den Verbrauchsstellen in z. T. unterflurigen Schüttsilos gelagert.

Schweröltanks

Später erfolgte in einzelnen Porzellanfabriken die Feuerung von Öfen und Kesselhäusern zeitweise mit schwerem Heizöl, bei dessen Verbrennung u. a. Chlorverbindungen freigesetzt werden. Gelagert wurde dieses in durch Tanktassen eingefassten Überflurtanks. An der Tasse befanden sich auch Heiz- und Pumpeinrichtungen für das unter Normaltemperatur sehr zähflüssige Öl. Der Transport des unter normalen Außentemperaturen kaum fließbereiten Schweröls zu den Feuerungsstellen fand in isolierten und beheizten Erdleitungen statt.

Heizöltanks

Leichtes Heizöl wurde ab Mitte des 20. Jahrhunderts zu Heizzwecken eingesetzt. Die Lagerung erfolgte in Überflurtanks mit Tassen oder aber konventionell in Erdtanks.

Butantanks

Ebenfalls ab Mitte des 20. Jahrhunderts kam für einige Jahrzehnte Butangas bis zur Einführung von Erdgas zur Verwendung. Das Flüssiggas wurde per Bahn angeliefert und in großen Überflurtanks gelagert.

Erdgas

Spätestens ab Mitte der Siebziger Jahre des 20. Jahrhunderts wurde die Feuerung der Tunnelöfen auf das damals sehr kostengünstige und nahezu rückstandsfrei verbrennende Erdgas umgestellt.

2.3.3 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 Rauchföhse zum meist sehr hohen Rauchgasschornstein.



Abb. 19: Dampfmaschine im Kesselhaus einer Porzellanfabrik. Erkennbar sind die Schmierölbuchsen und Öldruckleitungen als Kontaminationsquellen.



Abb. 20: Kesselhaus und zugehörige Nebenbetriebe. vorne links Basis des Rauchgasschornsteins; Bildmitte (klein): Brauchwasseraufbereitung, dahinter Kesselhaus mit siloartigem Überbau des eigenen Kohlebunkers.

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

2.3.4 Hilfsbetriebe

Schlossereien, Schreinereien und Elektrowerkstätten zur Wartung und Reparatur von Maschinen und Produktionsinventar finden sich in jeder Porzellanfabrik. 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.

Die meisten Porzellanfabriken besaßen eigene Tankstellen, Garagen und Reparaturwerkstätten.

Eigene Bauabteilungen planten und überwachten Um- oder Neubauarbeiten im Betrieb und zugehörigen Einrichtungen. Hier wurden auch die Bauakten des Betriebs und die Ausbau- bzw. Bestandspläne Archiven gehalten. Diese Unterlagen bilden auch heute noch eine wertvolle Informationsquelle für bauliche Gegebenheiten vergangener Zeit und für Schadstoffquellen in der Bausubstanz.

2.3.5 Gleiskörper

Größere Porzellanfabriken besaßen meistens einen eigenen Anschluss an das öffentliche Schienennetz. Über diesen Werksbahnanschluss wurden die Rohstoffe für den Betrieb angeliefert und das in Kisten verpackte, fertige Porzellan versandt.

Ein mögliches Belastungsinventar stellen die teerölimprägnierten Holzschwellen der älteren Gleis- und Weichenanlagen dar. Unter Holzschwellen können erhöhte PAK-Gehalte auftreten, ebenso wie Kohlenwasserstoffbelastungen in Weichenabschnitten. Auf den vergleichsweise wenig befahrenen Werksbahntrassen wurden bislang keine systematisch erhöhten Metallbelastungen festgestellt, ebenso wenig wie Reste von Herbiziden (PBSM).

3 Schadstoffinventar in Bauwerken

3.1 Anlagenteile Herstellung

3.1.1 Weißbetrieb, Massenfertigung

Im Bereich der Mäseemühlen bzw. im Weißbetrieb treten i. d. R. keine relevanten Kontaminationen auf, die sich auf die eingesetzten Stoffe zurückführen lassen. Hier wurde hauptsächlich nur Kaolin, Quarz und Feldspat verarbeitet. Zuschlagstoffe wie Bariumkarbonat (BaCO_3) oder andere Flussmittel (siehe Kap. 2.2.4) wurden in Säcken angeliefert und nur in geringen Mengen der Masse zugeschlagen.

Die Mühlen- und Pumpenfundamente weisen dagegen durch langfristig abgetropftes Hydraulik- oder Schmieröl Verunreinigungen auf. Dabei überwiegen längerfristige und wenig mobile Aliphate.



Abb. 21: Massive Schmierölverunreinigung in Bodenplatte und Fundament unter einer Kugelmühle der Masseaufbereitung.

Sind in diesen Betriebsteilen zu Beweissicherungszwecken Proben zu ziehen, sollten diese neben MKW auf Parameter für die einschlägigen Flussmittel mit Gehalten an Ba, F, B sowie auf Zn und ggf. Sn in Feststoff und Eluat untersucht werden.

Tab. 5: Zusammenfassung spezifischer Schadstoffe im Weißbetrieb und der Massenfertigung

Schadstoffträger / Bauteile	Hauptschadstoffparameter
Handhabung der Zuschlagstoffe	Ba, F, B, Zn, (Sn)
Fundamente und Bodenplatten unter Mühlen und Pumpen	KW-Index, PCB

3.1.2 Formenherstellung

Ähnlich wie in der Mäseemühle und -herstellung sind auch hier mit Ausnahme der beschriebenen Ölverunreinigungen unter Maschinenstandorten keine produktionsspezifischen oder handhabungsbedingten Verunreinigungen in Bausubstanz oder Böden zu erwarten.

Gippschlämmen und -formenbruch kann ebenso wie Weißschlamm geringfügig erhöhte Kohlenwasserstoffgehalte aufweisen, deren Herkunft nicht geklärt ist. Als Möglichkeit wird die gezielte Beimengung organischer Bestandteile im angelieferten Hartgips zur Erhöhung der Widerstandsfähigkeit oder durch mikrobiell im Gippschlamm sich anreichernde Organika gesehen.

Tab. 6: Zusammenfassung spezifischer Schadstoffe bei der Formenherstellung

Schadstoffträger / Bauteile	Hauptschadstoffparameter
Ölverunreinigungen im Fundament und der Bodenplatte unter Maschinenstandorten	KW-Index

3.1.3 Kapselherstellung, Rundöfen

Auch bei der Fertigung von Schamottekapseln wurden keine Roh- oder Zuschlagstoffe eingesetzt, welche Belastungen der Bausubstanz hervorrufen. Hohe Brenntemperaturen, kurze Verweilzeiten im Ofen und geschlossene Gefäße um das Brenngut zu verhindern ebenfalls die Anreicherung von Schadstoffen in diesem Produktionsschritt.

In Schamotteziegeln aus Ausbruch von Rundöfen sowie in Kapselbruch, welche als mengenbedeutende Abfallart auf den Scherbenhaufen wiederholt beprobt und analysiert wurden, fallen oft geringfügig erhöhte Arsengehalte sowie niedrige Bleigehalte auf. Auch Cr_{ges}, Ni und Cu zeigen in Einzelfällen leicht erhöhte Feststoffgehalte. Im Eluat ergaben sich bei den hier untersuchten Fällen jedoch keine Gehalte oberhalb der jeweiligen Nachweisgrenzen.



Abb. 22: Rundofenbatterie beim Rückbau einer Porzellanfabrik. Das oberste Ofenstockwerk und die Abluftschornsteine waren bereits während des Betriebs entfernt und überbaut worden.

Flugstäube bzw. Abrieb in den Zuluftkanälen unter der Bodenplatte der Rundöfen zeigen für keinen der in Betracht kommenden Schadstoffe nennenswerte Belastungen auf.

Tab. 7: Zusammenfassung spezifischer Schadstoffe bei der Kapselherstellung und in Rundöfen

Schadstoffträger / Bauteile	Hauptschadstoffparameter
Schamotteziegel in Rundöfen und Kapselbruch Abluftschornsteine	As, Pb, Cr, Ni, Cu

3.1.4 Tunnelöfen

Im Bereich unter den **Hydraulikstempeln** in den Einfahrten von Glüh- und Glattöfen kommt es zu Austritt von Hydrauliköl aus dem Schubstempel bzw. aus der Dichtmanschette. Der Schubbereich der Stempel beträgt jeweils eine Wagenlänge von ca. 1,5 m. Durch die massive Ausführung der Betonbodenplatten unter den Öfen ist ein Durchdringen der Bausubstanz durch die Kohlenwasserstoffe i. d. R. nicht festzustellen.

Auch um und unter den Druckerzeugern für die Schubzylinder, den hier vorhandenen Hydraulik-Öltanks oder an anderen Schubeinrichtungen, z. B. bei Dekoröfen, treten z. T. starke Ölverunreinigungen der Bodenplatte auf.



Abb. 23: Bausubstanzverunreinigung der Unterfahrt eines Tunnelofens durch langzeitige Tropfverluste aus einem Schubzylinder.



Abb. 24: Starke Hydrauliköl-Verunreinigung an der Einfahrt eines Dekor-Plattenschubofens. An der Einfahrt weiße, flugstaubartige Anhauchungen von Arsen- und Bleioxid.

Seitlich neben den Aufheizzonen befinden sich die Schalt- und Schreiberschränke für den Betrieb der Tunnelöfen mit der barometrischen Steuerung der Ofenatmosphäre. Hier eingebaute Quecksilberbarometer mit Ausgleichs- und Vorratsgefäßen, Stelleinheiten und Schreibern sind z. T. mit etwa 20–30 kg metallischen Quecksilber gefüllt.

Handhabungsbedingt ist es unter diesen Barometern im Lauf der Zeit durch Nach- oder Überfüllen von Quecksilber, zerbrechende Ausgleichsgefäße oder andere Havarien zu teilweise starken Verunreinigungen der Bodenplatten und des hier akkumulierten Kehrtritts in den Steuerungs-Schränken gekommen.



Abb. 25: Steuerung eines Tunnelofens. Die barometrische Steuerung der Ofenatmosphäre befindet sich in den linken Schränken.



Abb. 26: Mit Quecksilber gefüllte Ausgleichsgefäße einer barometrischen Ofenluftsteuerung („Mono“).



Abb. 27: Handhabungsbedingt ausgelaufenes, metallisches Quecksilber am Boden eines Schalt- und Schreibschanks der barometrischen Ofenluftsteuerung.

Seitlich der mit Generatorgas beheizten Tunnelöfen liegen in der Hochtemperaturzone unter den Bodenplatten, in kleinen und abgedeckten z. T. überbauten Betongruben, herausnehmbare Stahlblechbehälter, welche früher als sogenannte „Teerschiffchen“ genutzt wurden. In diesen Behältnissen sammelten sich kondensierte Teernebel aus den Gasleitungen vor Aufgabe auf die Brenner. Die Behälter wurden von Zeit zu Zeit ausgekratzt und das in geringen Mengen anfallende Kondensat zusammen mit anderem „Kratzteer“ auf der Betriebsdeponie abgekippt.



Abb. 28: Beim Rückbau eines Tunnelofens im Bereich der Brennzzone unter der Bodenplatte ausgebaute, teilweise noch mit Teerkondensat befüllte Teerschiffchen.

Besonders an der Außenseite stillgelegter Tunnelöfen fallen oft kräftige, gelbliche Beschläge und Krusten auf. Hierbei handelt es sich um Ausblühungen von Metallsulfaten oder -arsenaten, welche aus der Brenn-atmosphäre kondensierten und die Ofenmauerung infiltrierten. Bei Temperaturen wenig oberhalb des Taupunkts bilden sich diese z. T. kristallwasserhaltigen Salze.

Tab. 8: Belastungen mit Metallsulfaten und -arsenaten durch Kondensation in Tunnelöfen

Bauteil / Schadstoffträger	Belastungsbereich
Abluftschornstein	Kondensation im mittleren bis oberen Bereich
Innenseite Tunnelofen	Besonders in der Aufheizzone bis in den Bereich der Außenisolierung
	In der Hochtemperaturzone Diffusion durch die Ofenmauerung bis an die Außenkorsettierung
Rekuperatoren	Ablagerungen im Rohrinternen örtlich säurehaltige pastöse Massen durch Kondenswasser (Schwefelsäuredämpfe beim Rückbau)



Abb. 29: Hochtemperaturzone eines Tunnelofens (Glattofen). Querschnitt durch den äußeren Teil der Ofenwand mit Stahlblechkorsettierung (links) und altrosa bis ockerfarbener Kieselgur-Isolierung (rechts). Mit Erreichen der Kondensationstemperatur sind aus der Brennzone diffundierte Schadstoffe (Sulfat, Metalloxide) dicht unter der Korsettierung als weiße und gelbe Schicht ausgefallen und korrodieren die Ofenverblechung.



Abb. 30: Ablagerung hochkorrosiven sulfat- und metallhaltigen Krusten und Stäuben in einem Rekuperator nahe einem Saugzug. Die Metallteile sind bereits deutlich angegriffen.

In der aus Schamottesand bestehenden, horizontalen Abdichtung des Brennraums in Nuten beidseitig der Ofenwagen zur Unterfahrt hin (**Schikanekies**) reichern sich im Lauf der Zeit schadstoffbelastete Flugstäube aus dem Abluftstrom an. Die Stäube sind z. T. mit Asbestfasern aus den Ofenwagendichtungen oder aus Dichtschnüren in der Ofenmauerung zusätzlich beaufschlagt und rieseln auch auf den Boden der Unterfahrten ab und bildet dort kiesartige Ablagerungen.

Im Schikanekies und den Ablagerungen auf dem Boden der Unterfahrt tritt dasselbe Belastungsinventar auf, wie es auch nachfolgend für die Flugstaubanhaftungen, Inkrustationen und Infiltrationen in der Ofenmauerung und -isolierung beschrieben wird.

In den **Tunnelöfen** mit ihren hintereinander angeordneten **Aufheiz-, Hochtemperatur-(Brenn-) und Abkühlzonen** verläuft die Abluftführung generell entgegen dem Materialtransport (siehe Kap. 2.2.6). Auf dem Weg zwischen Hochtemperaturzone bis zur Abführung in den Füchsen nahe der Ofeneinfahrt verringert sich die Temperatur über wenige Zehnermeter von über 1.400 °C (in den Glattöfen) bzw. etwa 900 °C (in den Glühöfen) auf Temperaturen von um oder unter 100 °C.

Bei den Temperaturen in der **Brennzone** sublimieren, mit Ausnahme der Silikate, Anteile aller weiteren, in Masse oder Glasuren enthaltenen Inhaltsstoffe, insbesondere auch Metalle und Schwermetalle. Ebenfalls aus der Hochtemperaturzone stammen die zur Einfahrt hin geführten Ofengase und hieran gebundenen Spurenelemente.

Auf den Oberflächen im eigentlichen Brennereich kondensieren bei den gegebenen Maximaltemperaturen keine Inhaltsstoffe aus der Ofenluft. Die Oberflächen der Hoch-Feuerfeststeine sind belastungsfrei.



Abb. 31: Blick von der Ofeneinfahrt in die Aufheizzone eines Glattbrand-Tunnelofens. Als unterschiedlich gefärbte und scharf zonierte Flugstaubanhaftungen sind die bei abnehmender Temperatur aus der Ofenluft kondensierten verschiedenen Metalloxidausfällungen zu erkennen.

Zur Ofeneinfahrt hin kommt es, mit fortschreitender Abkühlung der Ofengase, zur temperaturdifferenzierten Kondensation von Metallverbindungen. Die Substanzen schlagen sich entsprechend ihrer Kondensationstemperatur horizontiert abgestuft nieder. Somit kommt es in der Aufheizzone zu einer scharf voneinander abgegrenzten, unterschiedlich gefärbten Aufeinanderfolge von Flugstaubanhaftungen an den Innenwänden. Ebenfalls ist eine tiefendifferenzierte Belastungsentwicklung von innen (Brennraum) nach außen (Korsettierung) festzustellen.

Tab. 9: Schadstoffbelastung in Brennöfen

Ofentyp	Belastungscharakteristika und Hauptschadstoffparameter
alle Tunnelöfen	<ul style="list-style-type: none"> • höchsten Belastungen (bis über 10 Gew.-%) in den Flugstäuben • Beschränkung weitgehend auf die Aufheizzone Im Abkühlbereich nur dünne, schleierartige Staubüberzüge • v. a. Pb, As und Zn • auch Co, F, Ni, Cd, Cr, Cu • Belastungen als Folge langjähriger Ablagerungen aus großen Volumenströmen an Heißgas bei geringem Schadstoffinhalt
Dekoröfen	<ul style="list-style-type: none"> • Cd • Cr, Ni, As, Se von der Einfahrt her nach einem Anstieg der Belastungswerte ein Gehaltsmaximum und dann zur Brennzone hin wieder eine Belastungsabnahme
Glattbrandöfen	<ul style="list-style-type: none"> • Aufheizzone: bei Ba, Zn, Pb und As merkliche diffusionsbedingte Anreicherung nach außen hin • Brennzone: v. a. Anreicherungen von Ba, F, sowie Cr mit zunehmendem Abstand von der Innenwand • Abkühlzone: nur F und Zn zeigen eine Entwicklung zu höheren Belastungswerten nach außen
Glühöfen	<ul style="list-style-type: none"> • im Vergleich zu Glattöfen niedrigere Belastungswerte • in der Aufheizzone sind F und As im feuerungsseitigen Mauerwerk angereichert
Isolierschicht aus Kieselgur	<ul style="list-style-type: none"> • Metalle: niedrige bis mittlere Feststoffgehalte, aber z. T. sehr hohe Eluatwerte

In den Abluftsystemen treten Belastungen v. a. im Strömungsschatten, in den Rauchföchen und an der Innenbasis des Ablufschornsteins auf. Die Staubablagerungen sind besonders massiv, wenn während der Betriebszeit auf eine Innenreinigung verzichtet wurde. Die Belastungsparameter richten sich nach den zugehörigen Ofentypen (siehe auch Tab. 9). Die aus Ziegelmauerwerk oder Schamottsteinen errichteten Wände der Rauchföche weisen selbst nur untergeordnet Verunreinigungen durch Infiltrationen auf.



Abb. 32: In Ziegelmauerwerk aufgeführter Rauchföch eines Glattofens. Im Hintergrund eine teileingestürzte Begehöffnung. An den Wänden sind die schwarzen Flugstaubanhaftungen aus dem Ofenbetrieb zu erkennen.

Tab. 10: Zusammenfassung spezifischer Schadstoffe in Verbindung mit Tunnelöfen

Bauteile / Einbauten		Hauptschadstoffparameter
Hydraulikstempel		KW-Index, ggf. PCB
Quecksilberbarometer		Hg
Schikanekies		As, Ba, Co, Cu, Cr, F, Ni, Pb, Se, Tl, Zn Asbest
Brennzone	alle Tunnelöfen	As, Pb, Cd, Co, Cr, Cu, F, Ni, Zn
	Dekoröfen	As, Cd, Cr, Ni, Se
	Glattbrandöfen	As, Ba, Cr, F, Pb, Zn
	Glühöfen	As, F
Kieselgurisolierung		As, Ba, Co, Cu, Cr, F, Ni, Pb, Se, Tl, Zn
Abluftsystem		Alle anorganischen Stoffe, die bei der Porzellanherstellung (Eingrenzung durch die Brennofenart) eingesetzt wurden, v. a.: As, (Ba), Cd, Cr, Cu, Pb, Sn, Tl, Zn, Sulfat

3.2 Sonstige Werksanlagen

3.2.1 Lagerung, Herstellung oder 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 Schwerölspritzern an Wänden und Böden bestehen. Wurde leichtes Heizöl eingesetzt, ist eine tiefer greifende Kontamination der Bauteile möglich.



Abb. 33: Schwerölaustritt aus einer beheizten Schwerölpumpe. Das Schweröl wird bei Abkühlung am Boden zäh und breitet sich nur wenig aus.

Tab. 11: 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

3.2.2 Generatorgaserzeugung

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. 12: 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

3.2.3 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 Schadstoffspektren 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. 13: Zusammenfassung spezifischer Schadstoffe in Kesselhäusern und Ablufschornsteinen

Bauteile / Einbauten	Hauptschadstoffparameter
Rauchföhse 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)

3.2.4 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. 34: Unsachgemäße Lagerung von Kraft- und Schmierstoffen, Ölen, etc.

Tab. 14: 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. Transformatoröle	KW-Index, BTEX, LHKW, ggf. PCB

3.3 Bausubstanzbezogene Belastungen

Im Folgenden werden ausgewählte, bausubstanzbezogene Belastungen erläutert, die für Porzellanfabriken im nordost- und nordbayerischen Raum typisch sind und häufig angetroffen werden. Zusätzlich muss das Belastungsinventar für Fabrikgebäude allgemein berücksichtigt werden.

3.3.1 Dachkonstruktionen, Eindeckungen

Die Dachkonstruktionen der Porzellanfabriken unterscheiden sich stark in Abhängigkeit von Errichtungszeitraum, Gebäudegröße und Nutzung. Folgende Erfahrungen zur Ausbildung und zum Belastungsinventar sind auf Grundlage der vorliegenden Untersuchungen auch auf andere Standorte übertragbar.

Dächer älterer Gebäude von Porzellanfabriken aus der Gründerzeit bestehen meist aus einer massiven Holzbalkenkonstruktion mit einer vollflächigen Dachschalung aus Holzbrettern, welche außenseitig mit teerhaltiger **Dachpappe** abgedeckt ist. Die Dachpappe ist oft mit pechhaltigem **Kleber** auf der Schalung befestigt bzw. mehrlagig geflickt.

Holzbalken der Dachkonstruktion, Holzdielenböden und Tragbalken sind häufig unbehandelt. Die rot- bis dunkelbraune Oberflächenfärbung ist altersbedingt.

Sehr verbreitet als Dacheindeckungen auf jüngerer Substanz – insbesondere der Ofenhallen – sind **Leichtbeton-Stegplatten** auf Beton- oder schwachen Profilstahlkonstruktionen. Auf diesen Bimsbetonplatten mit einem Flächengewicht von z. T. nur ca. 50 kg/m² liegen dann unterschiedliche Eindeckun-

gen. Es überwiegen auch hier mit Haftkleber auf den Platten befestigte Dachpappen, welche je nach Alter entweder teergebunden oder bituminös sind.



Abb. 35: Teerpappeeindeckung in Auflösung, aufgeklebt mit Teerkondensat auf Holzschalung.

In Tab. 15 sind die baustoffbezogenen Schadstoffe aufgelistet, die bislang bei der Erstellung von Belastungskatastern bzw. beim Rückbau von Porzellanfabriken in Dachkonstruktionen und Eindeckungen angetroffen wurden.

Tab. 15: Belastungen in Dachkonstruktionen und Eindeckungen (zusätzlich zum sonst üblichen Belastungsinventar)

Bauteile / Einbauten	Art der verwendeten Stoffe	Schadstoffparameter
Dachstuhlholz	nur selten mit Holzschutzmittel behandelt	PAK, (PCP, SM)
Dachhaut	Dachpappen, Haftkleber	PAK, Phenole
Dachschalungen aus Holzbrettern	teerhaltige Dachpappen, Haftkleber	PAK
Leichtbeton-Stegplatten	Aufsitzender bzw. eingedrungener Haftkleber	PAK

3.3.2 Decken und Böden

In älteren Gebäuden mit eher geringen Traglasten sind Holzbalkendecken mit Dielenböden und Fehlbodenraum verbreitet. Als Füllungen der **Fehlböden** wurden neben Sand- und Granitgrusschüttungen auch Aschen der Rundofenfeuerung, Masseabfälle und Gipsformenbruch verwandt. In Ascheschüttungen treten teilweise geringfügig erhöhte PAK-Gehalte aus unvollständiger Verbrennung sowie leicht erhöhte Feststoffgehalte für Metalle, insbesondere für Arsen auf.

In Arbeitsbereichen mit vorwiegend sitzender Tätigkeit wurden zur Verminderung von Fußkälte untergeordnet **Beton-Sägemehl-Estriche** aufgebracht, welche eine durch Eisenoxid als Füllmaterial bedingte ziegelrote Farbe aufweisen und nach Vernässung unter Frosteinwirkung schlammig zerfallen.

Tab. 16: Belastungen in Decken und Böden (zusätzlich zum sonst üblichen Belastungsinventar)

Bauteile / Einbauten	Art der verwendeten Stoffe	Schadstoffparameter
Fehlbodenfüllungen	Asche und Schlacken	PAK, SM, As (nur Feststoff)

3.3.3 Hausschwamm

Nach Durchfeuchtung nicht mehr genutzter Bauteile in Folge eindringenden Regenwassers über schadhafte Eindachungen bildet sich in vielen Fällen **Hausschwamm** (v. a. der „Echte Hausschwamm“ *Serpula lacrimans*), welcher die gesamte Bausubstanz befällt und innerhalb weniger Jahre sämtliche Holzbauteile, -einbauten und -möbel zerstört.

Neben dieser „**Braunfäule**“ kommt in baufälligen und teilweise schon eingestürzten Gebäuden auch die „**Weißfäule**“ im Holz vor. Mehrfach wurden im Konstruktionsholz von Porzellanfabriken Fruchtkörper von austerseitlingsartigen Großpilzen festgestellt.

3.3.4 Asbesthaltige Einbauten und Teile von Produktionsanlagen

Wie in jeder anderen Produktionsanlage älteren Baualters kamen auch in Porzellanfabriken an verschiedensten Stellen asbesthaltige Werkstoffe zum Einsatz. Die folgenden Ausführungen beziehen sich auf Asbestprodukte, deren Einsatz im Bereich der Porzellanherstellung typisch und bedeutend war.

Durch den langzeitigen Einsatz von Tunnelofenwagen mit Asbestdichtungen enthalten Altstäube in Ofenhallen verbreitet Asbestfasern. In eigenen Betriebsabteilungen wurden die Ofenwägen repariert bzw. mit neuem Schamotteaufbau versehen. In diesen Werkstätten sind meist noch Reste von Asbest-Dichtschnüren gelagert. Stäube weisen ebenfalls Asbestfasern auf.



Abb. 36: Asbest-Dämmplatte („Promabest“) unter der Stahlkorsettierung eines Dekorofens (linker Bildausschnitt).

Stark gebundene Asbestzementplatten wurden, außer bei Dach- und Fassadenverkleidungen oder als Trennwände (in Toiletten), auch großflächig verwendet, um Putz- und Mauerwerksschäden in durchfeuchteter Altsubstanz zu kaschieren. Asbestzementfertigteile wurden als nachträglich eingebaute Entlüftungskanäle z. B. in Toilettenanlagen o. ä. verwendet

Tab. 17: Asbesthaltige Einbauten und Teile von Produktionsanlagen bei der Porzellanherstellung

Bauteil	Verwendungsart	Asbestprodukt	Bemerkung
Kesselhaus	Übergang zwischen Stahlkessel und Mauerung der Wärmetauscher	Asbest-Dichtschnüre	nur über Wartungsöffnungen erkennbar
Tunnelöfen	Außenisolierung in der Aufheiz- und Abkühlzone	Asbest-Dämmplatten	selten; unter Metallkorsettierung möglich;
	Dehnungsfugen in der Innenausmauerung im Bereich der Ofenschikanen	gestopfte Asbest-Dichtschnüre	nur geringe Dichtschnurlängen, unauffällig. z. T. verbacken mit der Innenmauerung
	Beobachtungs- und Messöffnungen (teilweise)	Asbest-Dichtungen und Stopfmassen	
	Spritzschutz unter Schubzylinder von Tunnelöfen	Asbestzementplatten	an den Seitenwänden der Ofen-Unterfahrt am Schubzylinder
	Ofenwägen; Dichtungen an der Wagenstirn	Asbest-Dichtschnüre	nicht immer zur Gänze durch keramische Fasern ersetzt
	Heißluftleitungen: Rohrisolierungen vom Warm- und Abluftsystem	Gipsbandagen über Glaswolle-Isolierung	Gipsbandagen nicht immer asbesthaltig
Abluftsystem	Isolierung am Stoß von Fuchs- oder Schornsteinschüssen	Asbest-Dichtschnüre	selten
Materialtrocknung	Verkleidung von Vertikaltrocknern	Verbundplatten aus Spanfaser und Promabest; auch Asbestzementplatten,	häufig
	Tabletts in Paternostern	Promabestplatten	überwiegend Metalltabletts

4 Umweltauswirkungen

Bei den in Kapitel 3 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, Schäden an der Bodenplatte oder unsachgemäße Handhabung bzw. Havarien verursacht sein. Insbesondere bei Porzellanfabriken, 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 Porzellanwerke und den Umgang mit den Produktionsabfällen zurückzuführen sind, werden im Folgenden beschrieben.

4.1 Anlagenteile Herstellung

4.1.1 Brennöfen

Die Standorte der Rundöfen einschließlich ihrer Basis und der Tunnelöfen stellen i. d. R. keine Belastungsschwerpunkte für den Untergrund dar. Wie bereits in Kap. 3.1.4 beschrieben, verhindern die massiv ausgeführten Betonbodenplatten unter den Tunnelöfen meist ein Eindringen von Hydrauliköl in den unterlagernden Boden.

4.1.2 Massemühlen, Weißbetrieb

Treten Risse in den Bodenplatten auf oder sind diese anderweitig beschädigt oder aus Beton schlechter Qualität ausgeführt, kann langfristig abgetropftes Hydraulik- oder Schmieröl in den Untergrund eindringen. Wegen der verhältnismäßig geringen Zutrittsrate kommt es, selbst bei gering durchlässigen Böden, i. d. R. nicht zu einem Einstau des Öls. Vorhandene Kontaminationen zeigen eine kleinflächige Ausdehnung. Das gering viskose Schmier- oder Hydrauliköl dringt vertikal in ungünstigen Fällen bis mehrere Meter in den Untergrund ein.

Tab. 18: Zusammenfassung spezifischer Schadstoffe im Boden im Bereich der Massemühlen

Schadstoffträger	Hauptschadstoffparameter
Hydrauliköl unter Fundamenten und Bodenplatten an Standorten von Mühlen und Pumpen	KW-Index, PCB

4.2 Sonstige Werksanlagen

4.2.1 Generatoren-gaserzeugung und -verarbeitung

Durch die Herstellung von Gasgeneratoren kann es zu direkten Schadstoffeinträgen in den Untergrund unterhalb der Gasgeneratorenanlage, der Brenneranlagen und der Rauchföhse kommen. Auf die Kontamination im Bereich der Teerbecken bzw. -teiche sowie der Betriebsdeponien durch die Lagerung und Entsorgung von Nebenprodukten der Gaserzeugung wird im Kap. 4.3.3 eingegangen.

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 2.3.1 und 3.2.2.

Tab. 19: Zusammenfassung spezifischer Schadstoffe im Boden im Bereich von Generatorgaserzeugungen

Schadstoffträger	Hauptschadstoffparameter
Kondensate unterhalb der Anlagen zur Generatorengaserzeugung inkl. Bereiche der Rohrleitungen	PAK, KW, Phenole, BTEX
Kondensate unterhalb der Brenneinrichtungen (besonders: Hochtemperaturzone) und der Rauchföhse	PAK, KW, Phenole, Heterozyklen
Ammoniakwässer	Ammoniak, Sulfat, Sulfid, Cyanid, Chlorid
Phenolwässer	Phenole, Pyridin, Aldehyde, Ketone

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 lokal begrenzte Auswirkungen auf das Grundwasser. Dies ist jedoch im jeweiligen Einzelfall zu prüfen.

4.2.2 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 porzellanstandortspezifische Einträge handelt, wird auf eine weitere Erläuterung an dieser Stelle verzichtet.

4.3 Abfälle

4.3.1 Weißschlämme

Bei Herstellung der Porzellanmasse, Gipsformenfertigung, Glasierung und Nachbearbeitung (Schleifen) des Porzellans fallen große Mengen mit Tonmineralen, Porzellanmasse und Gips befrachtete, weiße Betriebswässer an. Früher erfolgte die Reinigung der Abwässer in [Weißschlammgruben](#) und [-becken](#) passiv durch Sedimentation ohne Zugabe z. B. von Flockungshilfsmitteln.

Die am Auslauf der Kanalisation aus dem Produktionsbereich gelegenen Weißschlammbecken wurden regelmäßig entleert. Der Austrag der Sedimente erfolgte mittels Abpumpen oder Ausschaufeln. Die Weißschlämme wurden dann auf ebenen Oberflächen, meist der Scherbenhaufen, zur Entwässerung in hierzu angelegten, umwallten Erdbecken abgelagert.

Zusammen mit den Weißschlämmen wurden früher auch andere Abwässer des Betriebs abgeleitet bzw. in den Becken geklärt. Hierdurch können auch andere Schadstoffe, wie z. B. Lösemittel, in den Schlämmen auftreten.

In Einzelbetrieben gezielt abgelagert wurden in den Weißschlammbecken auch die sensorisch stark auffälligen Ablagerungen von Teerkondensat aus der Gaserzeugung, welche durch die Sedimentation der Schlämme dann rasch wieder überdeckt wurden.

Erkennbar als ebene Oberflächen, oft mit Bewuchsdefiziten aufgrund von Nährstoffmangel im Untergrund, zeigen sich die bis zu mehreren Meter mächtigen Ablagerungen in den Weißschlammbecken

als weiße bis hellgraue, tonige Schlämme. Diese sind z. T. auch heute noch zähflüssig bis plastisch ausgebildet und können zukünftig nicht ohne Sicherungsvorkehrungen überbaut und nur mit Einschränkungen befahren werden.



Abb. 37: Weißschlammbecken mit Baggerschurf. Erkennbar die durch Einspülung entstandene, ebene Oberfläche mit nur geringem Bewuchs. Der Baggerschurf zeigt die zähplastische Beschaffenheit des abgelagerten Sediments.

Tab. 20: Schadstoffparameter im Boden aus Weißschlammbecken und -gruben

Schadstoffträger	Hauptschadstoffparameter
Weißschlämme (Belastungen hervorgerufen durch die Zuleitung von schadstoffhaltigen Abwässern oder den Eintrag von Teerkondensaten)	z. B. Lösemittel, MKW, Teerkondensate, SM, Sulfat

4.3.2 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 bestimmen. Bei Kupfer konnten Gehalte zwischen 100 und 500 mg/kg nachgewiesen werden.

Tab. 21: Schadstoffparameter im Boden aus Produktionsabfällen der Kohlefeuerung

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

4.3.3 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. 38).



Abb. 38: 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. 22: Schadstoffparameter im Boden aus Rückständen der Generatorgaserzeugung

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

4.3.4 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.

4.3.5 Bauschutt aus früheren Rückbaumaßnahmen

Auf älteren Porzellanfabriken wurden die Produktionsstätten mit der Zeit immer wieder erweitert, umgebaut, abgerissen und neu gebaut. Der hierbei anfallende Bauschutt, der auch Anteile aus erneuerten Produktionsanlagen beinhalten kann, wurde häufig zur Geländemodellierung bzw. als Unterbau für neue Gebäude verwendet.

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

4.3.6 Ablagerungen und Auffüllungen anderer Industriezweige

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

4.3.7 Betriebsdeponien

Auf den Betriebsgeländen der Porzellanfabriken wurden langfristig Abfallmengen von mehreren Zehntausend bis z. T. Hunderttausend Kubikmeter abgelagert. 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.

Hauptabfallmenge sind Aschen und Schlacken aus der Kohleverbrennung in den Rundöfen, der Gas-erzeugung für die Tunnelöfen oder aus dem Betrieb der Kesselhäuser. Dazu kommen Erdaushub und Bauschutt aus Erweiterungs- und Umbaumaßnahmen des Betriebs. Bei der Porzellanherstellung fielen außerdem bei der Masseherstellung, Formgebung und dem Einsatz von Schutzkapseln beim Brand stets größte Mengen an Inertabfällen an.

Abfälle aus dem „Scherbenhaufen“ wurden regelmäßig auch außerhalb des Betriebsgeländes als Deponiekörper abgelagert. Alte Steinbrüche und Eintalungen wurden aufgefüllt. Häufig kam das kornabgestufte und verdichtungswillige Material bei Geländeprofilierung und Straßenbau zum Einsatz.



Abb. 39: Verbotsschilder an der Zufahrt zu einer ehem. Betriebsdeponie.

Die Ablagerungskörper verschiedener Abfallfraktionen können von sehr eng begrenzt („Schubkarrengröße“) über mehrere Meter aushaltende Linsen bis zu weiterreichenden Lagen ausgebildet sein. In Feststoffproben werden, abhängig von der beprobten Abfallart, v. a. Arsen, Blei, Kupfer, Kobalt, Barium, Antimon und Zink festgestellt. Bei einem Großteil der untersuchten Proben wiesen die zugehörigen Eluatuntersuchungen, mit Ausnahme von Arsen, Barium, Antimon und Zink, vergleichsweise geringe Belastungen auf. Überschreitungen der jeweiligen Beurteilungswerte sind aber, v. a. für Arsen, nicht auszuschließen.

Durch gipshaltige Abfälle (Gipsformenbruch und Weißschlamm) kommt es zum Austrag von Sulfat und zum Auftreten von leicht erhöhten MKW-Gehalten.

Im Zusammenhang mit Abfällen aus der Generatorgaserzeugung kommt es lokal zu hohen Befunden für PAK, Kohlenwasserstoffe und Phenole. PAK-Belastungen werden zusätzlich durch Ablagerungen von Teerpappe und Gussasphalt hervorgerufen.

Tab. 23: Schadstoffparameter im Boden im Bereich von Scherbenhaufen

Schadstoffträger	Hauptschadstoffparameter
Scherbenhaufen	Schadstoffparameter abhängig von der Zusammensetzung, v. a.: As, Pb, Cu, Co, Ba, Sb, Zn Sulfat MKW, PAK, Phenole

4.3.8 Wilde Ablagerungen, Sperrmüll und Gerümpel

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

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.

Zur Hinterlassenschaft in verlassenen und nicht beräumten Porzellanfabriken gehören auch gefährliche und gefährdende Feststoffe und Flüssigkeiten, zugehörend dem ehemaligen Herstellungsablauf – insbesondere der Dekoration – ebenso aber auch den unterschiedlichen Neben- und Hilfsbetrieben in z. T. ganz erheblicher Menge.

4.3.9 Radioaktive Belastungen

Repräsentative Untersuchungen zur radioaktiven Belastung auf den Standorten der Porzellanherstellung liegen derzeit nicht vor. Eine 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. Braunkohleaschen untersucht [2]. Als Ergebnis lässt sich festhalten, dass die Strahlenbelastung bei den untersuchten Expositionsszenarien am Arbeitsplatz bzw. bei der Entsorgung der Materialien deutlich unter den einschlägigen Überwachungsgrenzwerten lagen. Bei Porzellanstandorten 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 Porzellanfabriken 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
Gemengelager Gemengeherstellung Massefertigung Formgebung	alle Porzellanstandorte	Ba, F, B, Zn, (Sn) KW-Index, PCB	Staubablagerungen an Wand und Böden Fundamente und Bodenplatten v. a. unter Mühlen / Pumpen / Maschinen
Brennöfen	Porzellanstandorte mit Rundöfen	As, Pb, (Cr, Ni, Cu)	Ablagerungen in den Schamotteziegeln (Ausmauerung der Öfen) und im Kapselbruch
	Porzellanstandorte mit Tunnelöfen	Metallsulfide/-arsenate und weitere Metall- verbindungen (u. a. Pb, As, Zn, Co, Ni, Cd, Cr, Cu, Se, Zn, Ba), F Asbestfasern KW-Index, PCB Hg PAK	Inkrustationen und Infiltrationen am Mauerwerk und Isolierung, Flugstäube Bodenplatten und Wände im Bereich der Schubeinrichtungen Bereich der Steuerungs- kästen (auch Bodenplatten und Kehrlicht) Teerschiffchen
	Porzellanstandorte mit Dekoration	Cd, Cr, Ni, As, Se und weitere je nach ein- gesetzten Pigmenten (Tab. 3)	Inkrustationen und Infiltrationen am Mauerwerk der Öfen
Rauchfuchse Schornsteine	alle Porzellanstandorte (Schadstoffe abhängig von Produktionsart und Brennstoffe)	As, (Ba), Cd, Cr, Cu, Pb, Sn, Tl, Zn, Sulfat PAK, KW-Index	Ablagerung in den Rauchfuchsen; Innen- und Außenwand des Schornsteins; Verkrustungen an der Schornsteinbasis
Weißschlammgruben, - becken	alle Porzellanstandorte	Je nach Verunreinigung möglich: LHKW, PAK, MKW etc. Sulfat	

Tab. 25: Branchenunspecifische Bauteile und deren Schadstoffinventar

Anlagenteil	Produktionsart	Hauptschadstoffe	Vorkommen
Kohlelager	Standorte mit Kohlebefeuerung und Generatorgaserzeugung	i. d. R. keine Verunreinigung	
Schweröltanks Schwerölpumpen	vereinzelt Befeuerung von Öfen und Kesselhäusern	KW-Index, PAK	Unter den Pumpen; Spritzer an Boden und Wänden
Heizöltanks	ab Mitte des 20. Jahrhunderts zur Gebäudeheizung	KW-Index	Fundamente und Domschächte der Tanks; Ölleitungen
Generatorgasanlagen	Porzellanstandorte mit Tunnelöfen v. a. in der 2. Hälfte des 20. Jh.	PAK, KW-Index, Phenole, BTEX, Heterozyklen, Cyanide	Bodenplatten, Rauchföhse, Gasabzugsrohre, Teerbecken
Kesselhäuser mit Schornsteinen		SM, PAK, Asbest	Flugstäube, Anhaftungen und Infiltrationen in Anlagen, Rauchföhsen und Schornstein
Werkstätten	alle Porzellanstandorte	KW-Index, LHKW, BTEX, PAK, PCB	Boden und Wände
Tankstellen		KW-Index, BTEX	Bodenversiegelung, Tankanlagen
Gleisanlagen		PAK KW-Index (SM, PBSM)	Bahnschwellen Weichenabschnitte

Die allgemein für Industrieanlagen üblichen, bausubstanzspezifischen Untersuchungen sind der Arbeitshilfe „Kontrollierter Rückbau: Kontaminierte Bausubstanz – Erkundung, Bewertung, Entsorgung“ [5] zu entnehmen.

Bei der Beprobung von Öfen und Schornsteinen zur Festlegung der Entsorgungswege sollten des Weiteren folgende Hinweise beachtet werden:

Bei der Untersuchung der **Öfen** durch Kernbohrungen sollte mindestens die äußere Schale und das dahinter liegende Isoliermaterial (Kieselgur) in der Aufwärm-, Hochtemperatur- und Abkühlzone erfasst werden. Alternativ zur Kernbohrung kann die Ofenmauerung aufgebrochen und tiefendifferenziert beprobt werden. Die ofenseitigen Schamottsteine, die Ofenmauerung und die Isolierstoffe sind in den verschiedenen Ofenabschnitten getrennt zu beproben.

In allen Bestandteilen der Ablufführungen (Föhse, Saugzüge und Abluftschornsteine) können zu beprobende Staubablagerungen mit sehr hohen und löslichen Schwermetallgehalten und Ablagerungen von Teer vorliegen. Diese stellen auch besondere Anforderungen an den Arbeitsschutz. Die aus Ziegelmauerwerk oder Schamottsteinen errichteten Wände der Rauchföhse selbst weisen auch nach langzeitiger Beaufschlagung durch belastete Abluftströme nur untergeordnet Verunreinigungen aufgrund von Infiltrationen auf.

Abluftschornsteine, meist aus Ziegelmauerwerk, werden mittels Kernbohrung an der Kaminbasis und mindest auf mittlerer Höhe untersucht. Dabei ist das Mauerwerk möglichst komplett zu durchkern und tiefendifferenziert zu beproben.

5.2 Rückbau von Gebäuden und Anlagen

5.2.1 Bergung von Gefahrstoffen und Produktionsresten

Zu einem möglichst frühen Zeitpunkt sollten in den Porzellanfabriken lagernde Gefahrstoffe geborgen und entsorgt werden. In Frage kommen insbesondere Pigmente, suspendiert in Terpentinöl, Farben und Lacke, ätzende Reinigungsmittel, Reste von Laborchemikalien und weitere, gefährliche und nicht anderweitig entsorgbare Produktionshilfsstoffe.



Abb. 40: Bereitstellungslager einer Porzellanfabrik für Pigmente und Chemikalien mit gefährlichen und gefährdenden Stoffen.



Abb. 41: Beräumung gefährlicher und gefährdender Stoffe einer Porzellanfabrik als Sofortmaßnahme.

In der Dekoriererei („Buntbetrieb“) und hier v. a. in der Malerei, können Sonderabfälle, auch in kleinen Chargen, vorhanden sein. In diesem Zusammenhang ist auf Uranverbindungen zu achten. Bei Hinweisen, zum Beispiel aus der historischen Erkundung oder Ortsbegehungen, sind entsprechende Untersuchungen (Radioaktivität) in Erwägung zu ziehen. Lokal kann es zu Verunreinigungen der Baustoffsubstanz durch Pigmentreste oder andere Chemikalien, besonders im Bereich von Lagern und Umfüllplätzen, kommen.

Bei der Bergung von Gefahrstoffen können sich Abfallmengen von einigen Tonnen Sonderabfall ergeben (siehe Beispiel der Beräumung einer großen Porzellanfabrik Tab. 26).

Tab. 26: Mengenabschätzung der zu entsorgenden, gefährlichen bzw. gefährdenden Stoffgruppen aus der Beräumung einer großen Porzellanfabrik

Stoffgruppe	Ungefähre Menge [to]
Pigmente (trocken)	2,9
Pigmente in Terpentinöl	1,7
Chemikalien	1,3
Reinigungsmittel, Tenside	0,7
Öl, Altöl und ölhaltige Stoffe und Abfälle	6,9
Sonstige (Kleber, Farben, Glasur und weitere Zusatzstoffe)	2,5
Gesamtmenge	16,0

Dekor- bzw. Buntdruckpapier kann wegen der Metallgehalte aus den Pigmenten nicht einer Altpapierverwertung zugeführt werden. Sie sind i. d. R. einer geeigneten Verbrennungsanlage zuzuführen.

Gipsformen, Mutterformen und Modelle werden in Lagern häufig mit Kubaturen von mehreren Hundert Kubikmetern vorgefunden. Das Aufsammeln, Zwischentransportieren und Abwerfen dieser Abfälle ist eine personalintensive, kostenrelevante Arbeit.



Abb. 42: Zur Entsorgung abgeworfener Gipsformenbruch.

Bei der Bausubstanzerkundung wie beim nachfolgenden, kontrollierten Gebäuderückbau ist sicherzustellen, dass Dächer mit **Leichtbetonplatten** nicht begangen werden, selbst wenn diese einen noch intakten Eindruck machen. Besonders nach längerem Leerstand mit Frostangriff besteht in Bezug auf die Tragfähigkeit dieser Betonbauteile ein völlig undefinierter und grundsätzlich als unsicher zu bewertender statischer Zustand.

Tunnelöfen sollten getrennt nach Heizzonen und von außen nach innen sorten- und belastungsgrennt rückgebaut werden. Die hochwertigen Hochfeuerfeststeine aus der Brennzonen können u. U. wieder aufbereitet und kostenneutral bzw. gewinnbringend an Recyclingfirmen abgegeben werden.

5.3 Schadstofferkundung in Boden und Grundwasser

Die Methoden zur Erkundung von Belastungen in Boden und Grundwasser auf Standorten der Porzellanindustrie unterscheiden 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 ([6], [7], [10], [11]) ausführlich beschrieben.

Auf das mögliche Schadstoffinventar im Untergrund von Porzellanfabrikationsstätten wurde bereits im Kapitel 4 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.

Abgesehen von den Bereichen ehemaliger Havarien sind massive Verunreinigungen im Boden im Bereich der **Generatorenhäuser** und die hier befindlichen **Teer- und Phenolgruben** der Gasreinigung zu erwarten. Dies trifft insbesondere zu, wenn die Gruben nach Einstellung der Gaserzeugung abgebrochen und Abbruchmaterial zur Verfüllung der Abscheidegruben eingesetzt wurde.

Tab. 27: Branchenspezifische Bauteile (Auswahl) und deren Schadstoffinventar für Boden und Grundwasser

Anlagenteil	Produktionsart	Hauptschadstoffe	Vorkommen
Generatorgaserzeugung	alle Standorte mit Generatorgaserzeugung	PAK, Phenole, KW, BTEX, Heterozyklen	unter den Generatorgasanlagen, Leitungen Teergruben, Teerteiche
		Ammoniak, Sulfat, Sufid, Cyanid, Chlorid	Teergruben, Teerteiche
		Phenole, Pyridin, Aldehyde, Ketone, Heterozyklen	Phenolgruben, Leitungen
Brennöfen	alle Standorte mit Generatorgas befeuerte Tunnelöfen	KW, PAK, Phenole, BTEX, Heterozyklen	sogen. „schwarzer Kern“ unter den Brenneinrichtungen; Rauchföhse und Abluftsystem
Maschinen, Pressen, Trafos	alle Standorte	KW, PCB, PAK	Vertikale Verlagerungen von mehreren Metern möglich
Weißschlammbecken / Glasur	alle Standorte	KW-Indizes oft geringfügig erhöht; Lösemittel lokal Teerablagerungen (PAK, Phenole, KW)	
Abwasserleitungen, Kanalisation	alle Standorte	Schadstoffspektrum abhängig von zugehöriger Produktionseinheit	
Betriebsdeponien	bei Porzellanfabriken mit eigenen Betriebsdeponien (Regelfall)	grundsätzlich alle Schadstoffparameter der Porzellanerzeugung möglich	
	Kapselbruch		i. d. R. geringe Belastungen
	Gipsformenbruch	KW-Indizes oft erhöht Sulfat, Calcium, elektr. Leitfähigkeit	i. d. R. geringe Belastungen
	Erdaushub	SM, PAK, KW	i. d. R. geringe Belastungen
	Normaler Bauschutt	bauschuttspez. Parameter, SM, PAK, KW	i. d. R. geringe Belastungen
	Aschen und Schlacken der Kohlefeuerung	As, Pb, Cu, PAK, andere Metalle	
	Rückstände der Gaserzeugung	PAK, Phenole, BTEX, Ammoniak, Cyanide, Methylnaphthaline,	Oft nur geringmächtige Lagen
	Abbruchmaterial und Flugaschen aus den Rauchföhsen	As, Pb, andere Metalle, PAK, Phenole, KW	Punktuelle Ablagerung auf Betriebsdeponien möglich
Schlossereien, Werkstätten, Tankstellen, Brennstofflager	alle Standorte	PAK, Phenole, LHKW, MKW, BTEX, KW	meist lokal begrenzte Einträge

Weitere Verdachtsbereiche können **Kondensatgruben und -ablagerungen**, **Betriebsdeponien**, **Werkstätten** und **Hilfsbetriebe** (v. a. **Kesselhäuser**, **Schlosserei** und **Malerei**), **Schweröl- und Heizöllager** sowie betriebseigene **Tankstellen** darstellen.

Ausgehend von der Art und Menge eingesetzter Produktions- und Hilfsstoffe und den Betriebsabläufen besteht für das **Grundwasser** bei Porzellanfabriken i. d. R. ein begrenztes Gefährdungspotential.

Folgende Bereiche sollten, ergänzend zum Untersuchungsumfang gemäß der Verdachtsbereiche aus Kapitel 4 und Tab. 27, berücksichtigt werden:

Durch den Einsatz von Gips bei der Formgebung bzw. durch die Ablagerung großer Kubaturen an Gipsformenbruch in den „Scherbenhaufen“ kommt es häufig zu erhöhten **Sulfat- und Calciumgehalten** im Grundwasser. Meist lässt sich der gesamte Sulfatanteil über die Ermittlung des auf stöchiometrischer Grundlage ermittelten Verhältnisses von Calcium zu Sulfat auf gelösten Gips zurückführen. Erreicht der Calciumgehalt in der Probe mindestens den Anteil 0,43 der Sulfatkonzentration, stammt das Sulfat aus gelöstem Gips. Im Abstrom von Scherbenhaufen können die Sulfatgehalte zwischen einigen Zehner und einigen Hunderter Milligramm pro Liter liegen. Einhergehend mit den Sulfatgehalten wird auch eine erhöhte elektrische Leitfähigkeit festgestellt.

Im Grundwasserabstrom und auch im Sickerwasser von Betriebsdeponien gemessene **Nickelgehalte** werden nach derzeitigen Erkenntnissen auf Verbrennungsrückstände der Steinkohlefeuerung, die langfristig in stagnierendem Stauwasser lagen, zurückgeführt. Dagegen sind aus Aschen der Braunkohlefeuerung keine erhöhten Nickelgehalte bekannt.

Teilweise festzustellende, leicht erhöhte **Zinkgehalte** sind auf Zinkoxide als Flussmittel oder der Oxidation von Metallschrott im Scherbenhaufen zurückzuführen.

Pigmente, die hohe Metallgehalte und hohe Gehalte an Bleioxid als Flussmittel aufweisen, sind abhängig von ihrer Zusammensetzung (Oxide, Karbonate, Chloride etc.) sehr unterschiedlich löslich. Auf Grund der meist geringen Austragsmengen (Reste von Gebinden, kleinräumiger Austrag an Bruchstellen von Abwasserleitungen) finden sie sich i. d. R. im Grundwasser nicht wieder.

Standorte mit Feuerung von Tunnelöfen durch **Generatorgas** weisen in und um die Generatorenhäuser durch Abscheidung und/oder Lagerung von Teerkondensaten und insbesondere von phenolhaltigen Wässern bzw. Böden z. T. schwerwiegende Untergrundbelastungen auf. Schäden können auch durch Havarien entstehen, bei welchen z. B. durch Erhitzen fließfähig gemachte Teeröle langfristig aus defekten Leitungen aussickern. Die Phenolkonzentration hängt stark von der Art der eingesetzten Brennmedien ab. Im Steinkohlenteer sind nur Bruchteile der Mengen an Phenole (und aliphatischen Kohlenwasserstoffen) enthalten, welche im Braunkohlenteer auftreten.

Zusammenfassend zeigt sich, dass auf ehemaligen Porzellanstandorten vorkommende Grundwasserkontaminationen i. d. R. lokal begrenzt sind, wenngleich punktuell erhebliche Einträge von Schadstoffen in das Grundwasser vorliegen können. Abgesehen von einer durchgehend vorhandenen Sulfatbeaufschlagung aus dem sich lösenden Gipsformenbruch liegen daher im Grundwasserabstrom von Porzellanfabriken oder zugehörigen Betriebsdeponien selten schwerwiegende Kontaminationen größerer Ausdehnung vor. Einer der Ursache hierfür liegt in den hydrogeologischen Rahmenbedingungen im Nordbayerischen Raum mit einem meist geringergiebigem Grundwasserleitern. Außerdem wurde, im Vergleich zu anderen Produktionszweigen, bei der Porzellanherstellung mit vergleichsweise geringen Mengen an wassergefährdenden Stoffen umgegangen.

5.4 Boden- und Grundwassersanierung

Grundlegend für eine Sanierung ist die Dekontamination bzw. Beräumung der hoch belasteten Anlagenteile und Bausubstanz. Durch den Verfall der Porzellanstandorte 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
BHM	Brennhilfsmittel
bzw.	beziehungsweise
ca.	circa
etc.	et cetera
ggf.	gegebenenfalls
Hrsg.	Herausgeber
i. d. R.	in der Regel
k. A.	keine Angabe
Kap.	Kapitel
LfU	Bayerisches Landesamt für Umwelt oder Bayerisches Landesamt für Umweltschutz
LfW	Bayerisches Landesamt für Wasserwirtschaft
LKW	Lastkraftwagen
n. Chr.	nach Christi Geburt
o. ä.	oder ähnlich
o. g.	oben genannte
PKW	Personenkraftwagen
Tab.	Tabelle
u. a.	unter anderem
u. U.	unter Umständen
v. a.	vor allem
vgl.	vergleiche
z. B.	zum Beispiel
z. T.	zum Teil

Einheiten

%	Prozent
°C	Grad Celsius
Gew.-%	Gewichtsprozent
kg	Kilogramm
m	Meter
m ²	Quadratmeter
m ³	Kubikmeter
mg/kg	Milligramm je Kilogramm
mm	Millimeter

Chemische Elemente, Verbindungen und Stoffgruppen

Ag	Silber
As	Arsen
Au	Gold
B	Bor
Ba	Barium
BTEX	Leichtflüchtige aromatische Kohlenwasserstoffe (Benzol, Toluol, Ethylbenzol, Xylol, Stryrol, Cumol)
Ca	Calcium

CaSO ₄ x 2H ₂ O	Gips
Cd	Cadmium
Cl	Chlor / Chlorid
CN	Cyanide
Co	Kobalt
CO	Kohlenmonoxid
CO ₂	Kohlendioxid
Cr	Chrom
Cr _{ges}	Chrom (gesamt)
Cu	Kupfer
F / F ⁻	Fluor / Fluorid
FeOOH	Eisenhydroxid
H ₂	Wasserstoff
H ₂ O	Wasser
Hg	Quecksilber
KW	Kohlenwasserstoffe
LHKW	Leichtflüchtige Halogenkohlenwasserstoffe
Me ₂ O x MSiO ₂	Wasserglas
MKW	Mineralölkohlenwasserstoffe
N ₂	Stickstoff
Na	Natrium
Na ₂ CO ₃	Natriumcarbonat (Soda)
Na ₂ P ₂ O ₄	Natrium-Diphosphat
Na ₃ P ₃ O ₁₀	Natrium-Triphosphat
Ni	Nickel
NSO-Heterozyklen	Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe bei denen mindestens ein Kohlenstoffatom im Aromatenring durch Stickstoff, Schwefel oder Sauerstoff ersetzt ist.
OH ⁻	Hydoxid
PAK	Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe
Pb	Blei
PBSM	Pflanzenbehandlungs- und Schädlingsbekämpfungsmittel
PCB	Polychlorierte Biphenyle
PCP	Pentachlorphenol
REA-Gips	Rauchgas-Entschwefelungs-Gips
RSiC	Rekristallisiertes Siliziumcarbit
Se	Selen
SiC	Siliziumkarbit
SiO ₂	Siliziumoxid, Kieselsäure
SM	Schwermetalle
Sn	Zinn
Sr	Strontium
Tl	Thallium
UO ₂	Uranoxid
Zn	Zink

Technisches Glossar

Unterteilung von Keramik nach Art und Chemismus der Einsatzstoffe

Silikatkeramik:

Der Silikatkeramik als Technologie werden Baukeramik, Irdengut als Tonwaren und Steingut, Schamotteerzeugnisse sowie Steinzeug und Porzellan zugeordnet. Die Massen bestehen aus natürlich vorkommenden Verbindungen der Kieselsäure. Rohmaterialien der Silikatkeramik sind plastische Rohstoffe, vor allem Ton und Kaolin.

Oxidkeramik:

Im Gegensatz zur Silikatkeramik wird Oxidkeramik durchweg nicht aus mineralischen sondern aus künstlich erzeugten Ausgangsstoffen hergestellt. Diese werden zu hochtemperaturbeständigen Feuerfesterzeugnissen verarbeitet. Einsatzstoffe sind Tonerde (Aluminiumoxid) als kalzinierter Bauxit, Zirkonoxid, Sintermagnesit als Magnesiumoxidträger und Chromerz als Chromoxid oder aber Mischungen dieser Stoffe.

Nichtoxid-Keramiken:

Nichtoxid-Keramiken sind Verbindungen auf der Basis vom Aluminium-, Bor- oder Silizium-Oxiden mit Kohlenstoff oder Stickstoff als Carbide bzw. Nitride. Sie bestehen ausschließlich aus sehr fein gemahlene, synthetisch hergestellten Rohstoffen. Diese Stoffgruppe ist außerordentlich beständig bei höchsten Einsatztemperaturen.

Einteilung von Keramik über die Korngrößen von Einsatzstoffen

Grob- oder Baukeramik:

Zur Grob- oder Baukeramik mit Korngrößen der Einsatzstoffe über 0,05 mm gehören Bau- und Dachziegel oder Kanalrohre, Feuerfeste Massen wie Schamotte sowie Grobsteinzeug. Solche Produkte sind dickwandig, von inhomogenem Innengefüge und oft von zufälliger Färbung.

Feinkeramik:

Feinkeramik mit Korngrößen unter 0,05 mm ist dagegen einheitlich feinkörnig, von homogenem Innengefüge und definierter Färbung. Hier sind zuzuordnen Haushaltskeramik, Tischgeschirr, Sanitärkeramik und Ziergegenstände.

Einteilung von Keramik nach den Ausgangsstoffen bzw. der Herstellungstechnologien

Irdenware:

Irdenware mit den Gruppen Baukeramik, Feuerfestmassen, Steingut und glasierten bzw. unglasierten Tonwaren wird hergestellt aus im Feuchten plastischem und formbarem Ton als natürlich vorkommendem Boden bzw. Lockergestein.

Technische Keramik bzw. Sondermassen:

Technische Keramik bzw. Sondermassen werden als vielfältig einsetzbare Stoffe u. a. in der Hochtemperatur- oder Elektrotechnik, der Elektronik und auch bei abrasionsresistenter Verwendung (z. B. in der Medizin- oder Zahntechnik) als chemisch weitgehend inerte Materialien aus Metalloxiden, Karbiden und Nitriden u. a. hergestellt.

Sinterzeug:

Sinterzeug kennzeichnet eine Reihe von künstlich aus mineralischen Rohstoffen hergestellten Erzeugnissen innerhalb der vielfältigen Stoffgruppe keramischer Massen, z. B. Steinzeug und Porzellan.

Porzellan:

Porzellan – oder auch „weißes Gold“ – gilt als „Krönung der Keramik“. Dies ist bedingt durch die besonderen Eigenschaften wie Lichtdurchlässigkeit, Wasserundurchlässigkeit, das Weiß des Scherbens oder den Oberflächenglanz.

Brände bei der Porzellanherstellung

Glühbrand:

Der Glühbrand (auch Schrüh- oder Biskuitbrand) wandelt bei Temperaturen von 850 – 950 °C das getrocknete Rohformteil („Grünling“) im Glühofen in einen dauerhaft formstabilen und unauflöslich festen, jedoch noch porösen Scherben um.

Glattbrand:

Diese verglühten Scherben werden durch Überzug mit einer dünnen, glasartigen Glasurmasse durch den Glattbrand (auch Glasur- oder Endbrand) bei 1.280 °C – 1.410 °C im Glattbrandofen wasserdicht gemacht und mit einer glatten, leicht zu reinigenden Oberfläche versehen, welche gegen die meisten Chemikalien unlöslich ist und zudem durch Farbgebung und Aufbringen von Mustern dekoriert werden kann.

Dekorbrand:

Solche Dekore werden im dritten Brand (Dekorbrand) in eigenen Dekoröfen (örtlich „Schmelz“) dauerhaft mit der Glasur verbunden. Je nach Lagebeziehung zwischen Glasur und Dekoration wird im Dekorbrand unterschieden in:

- **Aufglasdekore** (auf der Oberfläche der Glasur aufgemalt oder mit abziehbildartig aufzutragenden Siebdruckfolien); der Brand erfolgt bei 780 - 900 °C.
- **Inglasdekore**; die aufgetragenen Verzierungen sinken beim Brand formstabil in die flüssig werdende Glasur ein und werden hierdurch z. B. spülmaschinenfest. Die Brenntemperatur liegt hier bei 1.200 - 1.300 °C.
- **Unterglasdekore** werden direkt auf die Oberfläche des verglühten Scherben aufgebracht, mit Glasurmasse überzogen und bei Temperaturen zwischen 1.300 und 1.410 °C gebrannt. Diese teuerste Dekorationsart verleiht den dauerhaft durch das Glas der Glasur geschützten Mustern besondere Transparenz und Leuchtkraft.

Hauptrohstoffe von Porzellan

Kaolin:

Kaolin, als namensgebendes Glied einer ganzen Gruppe von Tonmineralen, ist ein weißes, weiches und tonartig plastisches Gemenge aus dem Tonmineral Kaolinit mit Resten an Feldspat, Glimmer und anderen Bestandteilen des Ausgangsgesteins. Chemisch ist es ein natürliches Aluminiumsilikathydrat mit der Formel Aluminiumsilikathydrat. Das Tonmineral enthält 39,8 % Aluminiumoxid, 46,3 % SiO_2 und 13,9 % Wasser. Kaolin ist wichtigster Bestandteil des Porzellans. Er gibt ihm die weiße Farbe, ermöglicht aber auch die Formbarkeit. Je höher der Kaolingehalt ist, desto widerstandsfähiger wird der Scherben, desto höher ist aber auch die erforderliche Brenntemperatur.

Herkunft und Verlagerung des Kaolins haben Einfluss auf daran gebundene Neben- und Spurenelemente:

- Im Zersatz der primären Lagerstätte aus Graniten im nordostbayerischen Raum sind die aus dem Ausgangsgestein stammenden Spurenelemente Pb und Cu sowie z. T. Ti, Cr und Ni vollständig adsorptiv an das Schichtgittermineral Kaolin gebunden. Alle anderen Elemente aus dem Granit sind bei der Verwitterung durch Auslaugung vermindert worden, kein einziges ist von außen zugeführt.
- In den sekundären Kaolinen der sedimentär umgelagerten Lagerstätten der nördlichen Oberpfalz fallen vergleichsweise hohe Spurenelementgehalte an Ba, Sr, Pb und Cu auf.
- Stets finden sich in den Tonmineralen unterschiedlich hohe Gehalte an Fluor, welche OH^- -Gruppen substituieren. Ba kann ein kennzeichnendes Spurenelement sein, welches in Feldspäten von fluidreichen Graniten geringe Anteile von Ca substituiert und sich ggf. in Zersatzprodukten weiter anreichert.

Ein Teil dieser Spurenelemente reichert sich bei der Porzellanherstellung – insbesondere beim Brennen in den Ablufführungen der Öfen – erheblich an.

Quarz:

Quarz ist als Siliziumoxid SiO_2 das weltweit häufigste Mineral und in den meisten Locker- und Festgesteinen Hauptbestandteil. Quarz schmilzt während des Brandes und macht den Scherben hart, hitzebeständig und chemisch widerstandsfähig. Quarz ist bei Herstellung der Porzellanmasse das wichtigste Magerungsmittel. Die Beimengung senkt den Trocknungs- und Brennschwund, verschlechtert jedoch die Plastizität der Masse.

Feldspat:

Feldspäte kommen in nahezu allen magmatischen und auch anderen Gesteinen als wichtigster primärer Bestandteil („Gesteinsbildner“) vor und sind weltweit verbreitet. Feldspat schmilzt im Brand zu einer Art Glas, nimmt hierbei die anderen Mineralien und Kristalle auf und verbindet diese Ausgangsstoffe unlösbar und dauerhaft miteinander.

Bei den Feldspäten können sich je nach Herkunft insbesondere die Barium- und auch die Borgehalte erhöht zeigen und auch bei verfahrens- bzw. umwelttechnischen Untersuchungen in Zusammenhang mit der Porzellanherstellung eine Rolle spielen.

Zuschlagsstoffe von Porzellan

Schamotte, Porzellanbruch:

Schamotte ist kein natürliches Material, sondern wird künstlich durch Brechen/Mahlen aus gebranntem, kaolinhaltigem Ton oder Tonschiefer hergestellt. Das Produkt ist ein teilhydratisiertes Aluminiumsilikat („Mullit“ ca. 25 - 50 %) mit Glasanteilen (25 – 50 %) und Kieselsäure SiO_2 (bis 30 %). Der Mengenanteil an OH^- bzw. Fluorid richtet sich nach den Mengenanteilen im Ausgangston bzw. -kaolin.

Als Magerungsmittel bei der Herstellung der Masse für Porzellan wird feingemahlene Schamotte verwendet. Schamotte erhöht in der Porzellanmasse die Porosität und verringert ebenfalls die Trocken- und Brennschwindung.

Kalk, ggf. Dolomit:

Die Zuschlagstoffe zur Porzellanmasse Kalk und ggf. Dolomit sind fein gemahlene oder geschlämmte, natürliche Karbonatgesteine. Voraussetzung für eine Verwendung dieser sehr häufig vorkommenden Sedimente ist eine möglichst hohe Reinheit. Kalk und ggf. Dolomit erhöhen beim Trocknen die Formstabilität und wirken im Brand als Flussmittel. Hier liegen jedoch Sinter- und Schmelztemperaturen sehr nahe beieinander.

Arten von Porzellan

Hartporzellan:

Rohstoffe: Kaolin (50 %), Quarz (25 %), Feldspat (25 %)

Herstellung in 2 Bränden

Temperatur bis 1450 °C

Hergestellt vorwiegend in Kontinentaleuropa

Weichporzellan:

Rohstoffe: Kaolin (25 - 30%), Quarz (30 - 50%), Feldspat, (30 - 40%), Flussspat

Herstellung in 2 Bränden

Temperatur bis 1300 °C

Hergestellt vorwiegend in China, Japan, England

Knochenporzellan (Bone China):

Rohstoffe: Rinderknochenasche (50%), Pegmatit (25%), Kaolin (25%)

Herstellung in 1 Brand

Temperatur bis 1280 °C

Hergestellt vorwiegend in England

Steinzeug:

Rohstoffe: weiß- bis gelbbrennender Ton, Kaolin, Quarz, Flint (Feuerstein), Feldspat, Kreide (Kalk),

Herstellung in 2 Bränden

Temperatur bis 1250 °C

Quellenangaben

- [1] BAYER. STAATSMINISTERIUM FÜR UMWELT, GESUNDHEIT UND VERBRAUCHERSCHUTZ:
Leitfaden: „Anforderung an die Verwertung von Recycling-Baustoffen in technischen Bauwerken“;
Umweltpakt Bayern. München, 2005.
- [2] BAYERISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT (HRSG.):
Ermittlung von Arbeitsfeldern mit erhöhten Expositionen durch natürliche Radioisotope und überwachungsbedürftigen Rückständen. Augsburg, 2004.
- [3] BAYERISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT (HRSG.):
LfU-Merkblatt Altlasten 2 – Hinweise zur Untersuchung und Bewertung von flüchtigen Stoffen bei Altlasten und schädlichen Bodenveränderungen, Wirkungspfad Boden - Bodenluft - Mensch,
Stand: September 2009. Augsburg 2009.
- [4] BAYERISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT (HRSG.):
Porzellan- und Glasindustrie in Nord- und Nordostbayern – Standortrecherche unter Berücksichtigung der Altlastensituation. Augsburg, 2007.
- [5] BAYERISCHES LANDESAMT FÜR UMWELTSCHUTZ (HRSG.):
Arbeitshilfe „Kontrollierter Rückbau: Kontaminierte Bausubstanz – Erkundung, Bewertung, Entsorgung“. Augsburg, 2003.
- [6] 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.
- [7] 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.
- [8] BAYERISCHES LANDESAMT FÜR UMWELTSCHUTZ:
LfU-Merkblatt Altlasten 1 – Untersuchung und Bewertung von Altlasten und schädlichen Bodenveränderungen – Wirkungspfad Boden-Mensch (direkter Kontakt). Augsburg, 2002.
- [9] BAYERISCHES LANDESAMT FÜR UMWELTSCHUTZ:
LfU-Merkblatt Altlasten 3 – Historische Erkundung von Altlasten und schädlichen Bodenveränderungen. Augsburg, 2002.
- [10] 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.
- [11] 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.
- [12] BROSIG, A., SCHULZ, V., WENDLER, F.:
Bericht zur Detailerkundung des Generatorstandorts der ehemaligen Glashütte Marienthal/Haselbach. Jena, 1997.

- [13] GRUPPE, M:
Bericht zur Historischen Erkundung des Generatorstandorts der ehemaligen Glashütte Marienthal/Haselbach. Jena, 1995.
- [14] GRUPPE, M:
Bericht zur Orientierenden Erkundung des Generatorstandorts der ehemaligen Glashütte Marienthal/Haselbach. Jena, 1995.
- [15] MATTHES, W. E.:
Keramische Glasuren. Köln, 1985.
- [16] MÜNZER B. - GLAS, METZEL H.:
GründerFamilien - FamilienGründungen. Ein Beitrag zur Geschichte der Porzellanindustrie Nordost-Bayerns. 2002.
- [17] NEUMANN, B.:
Lehrbuch der Chemischen Technologie und Metallurgie. Berlin, 1939.
- [18] OBERSTEN BAYER. BAUBEHÖRDE IM BAYER. STAATSMINISTERIUM DES INNEREN UND DES BAYER. STAATSMINISTERIUMS FÜR UMWELT, GESUNDHEIT UND VERBRAUCHERSCHUTZ:
Gemeinsame Bekanntmachung vom 12. Dezember 2005, AZ. II D 9-43437-002/92: Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Technische Lieferbedingungen für die einzuhaltenden wasserwirtschaftlichen Gütemerkmale bei der Verwendung von Recycling-Baustoffen im Straßenbau in Bayern. 2005.
- [19] PFANNKUCHE, B.:
Handbuch der Keramikbrennöfen. Köln, 1986.
- [20] SCHÄFER F. G.:
Die Porzellanfabrik Johann Haviland, Waldershof (Oberpfalz) / Porzellanfabrik Waldershof AG vorm. J. Haviland in der Ära Hermann Zimmer (1907 - 1933) - ihre Geschichte und ihre Erzeugnisse. 1993.
- [21] SIEMEN W. (HG.):
100 Jahre Porzellanfabrik Arzberg 1887-1987; Ausstellung zur Wirtschafts-, Sozial-, Werbe- und Stilgeschichte eines Unternehmens. 1987.
- [22] SIEMEN W. (HG.):
125 Jahre Bareuther Porzellan aus Waldsassen; eine Ausstellung. 1991.
- [23] SIEMEN W. (HG.):
Mit der Zeit gehen - 100 Jahre Porzellanfabrik Walküre; ein mittelständisches Industrieunternehmen im Wandel. 1999.
- [24] SIEMEN, W.:
Schriften und Kataloge des Deutschen Porzellanmuseums (z. T. als „Beiträge zur Wirtschafts-, Sozial- und Technikgeschichte der Porzellanindustrie, herausgegeben vom Zentralen Archiv für die Deutsche Porzellanindustrie“).
- [25] SINGER, F.:
Die Keramik im Dienste von Industrie und Volkswirtschaft. Braunschweig, 1923.
- [26] WURZBACHER M., HERTWIG V., SCHILLING W.:
Leben für das „weiße Gold“ – Arbeit und Alltag der Porzelliner 1920 – 1970. 2. Aufl., 1996.
- [27] ZEHENTMEIER S.:
Leben und Arbeiten der Porzelliner in Nordostbayern (1870 - 1933). Bd. 4; 2001.

- [28] ZIMMERMANN E.:
Lebensbilder; Aus den Fotoalben der Porzelliner. Bd. 56/Bd. 2; 1999.

Internetquellenverzeichnis

(letzter Aufruf der Seiten soweit nicht anders angegeben: 02.03.2010)

- [29] Arbeitshilfe kontrollierter Rückbau v. kontaminierter Bausubstanz:
http://www.bestellen.bayern.de/shoplink/lfu_abfall_00097.htm
- [30] Befall von Bausubstanz durch den Echten Hausschwamm:
http://de.wikipedia.org/wiki/Echter_Hausschwamm
- [31] Eigenschaften von Einsatzstoffen:
<http://ingenieurbuero-john.de>
- [32] Europäisches Industriemuseum für Porzellan, Selb Plößberg und Deutsches Porzellanmuseum, Hohenberg/Eger:
<http://www.porzellanikon.org>
- [33] Farbpigmente und nichtbunte Pigmente:
<http://home.snafu.de/v.emrath/pigments.htm>
- [34] Farbpigmente, Chemielexikon:
<http://www.seilnacht.com/lexikon>
- [35] Gaswerke u. Kokereien: Sächs. Staatsministerium f. Umwelt u. Geologie, Branchenbezogene Merkblätter z. Altlastenbehandlung, Teil 2 (1996, überarb. 2003); in „Materialien z. Altlastenbehandlung in Sachsen“:
<http://www.umwelt.sachsen.de/de/wu/umwelt/lfug/lfug-internet/SalfaWeb/salfaweb-nt/berichte/brabl2/brabl2.html>
- [36] Geschichte, Porzellanherstellung, Glasuren 18. Jahrhundert, ausführlich (Zuordnung von Band und Stichwortliste):
<http://kruenitz1.uni-trier.de>
- [37] Grobkeramik, Ziegeleien: Sächs. Staatsministerium f. Umwelt u. Geologie, Branchenbezogene Merkblätter z. Altlastenbehandlung, Teil 14 (11/2001); in „Materialien z. Altlastenbehandlung in Sachsen“:
<http://www.smul.sachsen.de/de/wu/umwelt/lfug/lfug-internet/Veroeffentlichungen/Verzeichnis/Abfall-Altlasten/SalfaWeb/salfaweb-nt/berichte/brabl14/brabl14.html>
- [38] Keramik, Allgemeine Information:
<http://de.wikipedia.org/wiki/Keramik>
- [39] Kurzfassung Geschichte Porzellan:
http://www.planet-wissen.de/alltag_gesundheit/werkstoffe/porzellan/index.jsp
- [40] Porzellan, Allgemeine Information:
<http://de.wikipedia.org/wiki/Porzellan>

- [41] Porzellanglasur und Einfluss von Speisesäuren:
http://www.seltmann-weiden.com/sw_de/sw/service/index.htm
- [42] Porzellanherstellung, übersichtlich:
<http://www.kaiser-porzellan.com>
- [43] Porzellanherstellung: Glasur und Dekor:
<http://www.herend.com/herald>
- [44] Schamotte, Allgemeine Information:
<http://de.wikipedia.org/wiki/Schamotte>
- [45] Siebdruck; übersichtliche Information und weiterführende Literatur:
<http://de.wikipedia.org/wiki/Siebdruck>
- [46] Sintern, Allgemeine Information:
<http://de.wikipedia.org/wiki/Sintern>

Index

A

Abfall	19, 27, 28, 45, 46, 47, 48, 49, 53, 54
Ablagerung	11, 35, 36, 37, 46, 47, 48, 49, 50, 51, 55, 56
Abluftsystem	38, 44, 55
Abziehbild	24, 25
Ammoniakwasser	28, 46
Arsen	17, 34, 42, 47, 49
Asbest	36, 38, 40, 43, 44, 51, 52
Asche	19, 20, 42, 47, 49, 55, 56
Aschen	50
Auffüllung	48
Aufglasur	23, 24, 25

B

Bahngleis	31
Barometer	22, 34, 38
Bauabteilung	30
Bauschutt	47, 48, 49, 55
Betriebsdeponie	19, 24, 27, 35, 39, 45, 47, 48, 49, 55, 56
Betriebsdeponien	50
Blei	27, 47, 49
Boden	11, 20, 34, 36, 39, 45, 46, 47, 48, 49, 52, 54, 55, 57, 60
Bodenplatte	21, 32, 33, 34, 35, 39, 41, 45, 51, 52, 54
Bomsen	20
Braunkohle	12, 20, 28, 29
Brennhilfsmittel	18, 19
Brennmedien	23, 29, 39, 56
Brennröhre	21, 22
Brennzone	19, 21, 22, 35, 36, 37, 38, 54

C

Cadmium	26, 27
---------	--------

D

Dach	28, 39, 41, 42, 43, 54
Dachpappe	41, 42
Dämmmaterial	21, 35, 44
Dekontamination	57
Dekoration	20, 23, 24, 25, 34, 50, 51, 53, 61

Dekorbrand	14, 19, 20, 24, 61
Dekorfarbe	25
Dekorofen	20, 34, 37, 38, 61
Drehen	16, 18
Druckerei	25, 27
Druckpapier	25

E

Elektrowerkstatt	27, 30, 41
Erdgas	23, 27, 29

F

Farbe	24, 25, 42, 53, 62
Fehlböden	42
Fertigbrand	20
Flussmittel	15, 23, 25, 32, 56, 63
Formenbruch	17, 19
Formenherstellung	32, 33
Formgebung	16, 18, 49, 51, 56
Füchse	20, 22, 30, 36, 38, 40, 44, 45, 46, 51, 52, 55
Fundament	32, 33, 45, 51, 52

G

Gemengelager	51
Generatoren	27, 28, 39, 54, 56
Generatorgas	23, 27, 30, 35, 39, 40, 45, 46, 47, 48, 49, 52, 54, 55, 56
Gießen	16, 17
Gips	17, 46, 56
Gipsform	16, 17, 19, 54
Glasur	12, 15, 16, 18, 20, 23, 24, 25, 27, 36, 53, 55, 61
Glattbrand	14, 19, 20, 21, 23, 37, 61
Glattofen	20, 33, 36, 37, 38, 61
Glühbrand	14, 20, 21, 61
Glühofen	20, 36, 37, 38, 61
Grundwasser	45, 46, 54, 55, 56, 57

H

Hausschwamm	43
Heizöl	29, 30, 39
Heterozyklen	46, 52, 55
Hilfsbetrieb	27, 30, 56

Hilfsstoff	17, 56
Holz	12, 29, 41, 42, 43
Hydrauliköl	22, 32, 33, 34, 45
Hydraulikstempel	22, 33, 38

I

Infiltration	36, 38, 40, 51, 52
Inglasur	24, 25
Inkrustation	36, 40, 51

K

Kammerfilterpresse	16
Kapseln	18, 19, 21, 33, 51, 55
Keramik	12, 14, 59, 60
Kesselhaus	29, 30, 39, 40, 44, 47, 49, 52, 56
Kieselgur	21, 36, 37, 38, 52
Kohle	19, 27, 28, 29, 30, 52
Kondensat	28, 35, 46, 47
Kratzteer	35, 39
Kupfer	47, 49

M

Malerei	12, 25, 53, 56
Masseaufbereitung	15, 32, 51
Massemühle	15, 16, 17, 27, 32, 45, 51
Mono	22, 34

O

Oberlichter	22, 28, 29, 39
Öl	29, 53
Oxidkeramik	14, 19, 59

P

PAK	28, 31, 39, 40, 42, 46, 47, 48, 49, 51, 52, 55
Phenol	28, 40, 42, 46, 48, 49, 52, 55, 56
Phenolgrube	28
Phenolwasser	28, 46
Pigment	12, 25, 26, 53, 56
Plastifizierungsmittel	17
Porzellan	11, 12, 14, 15, 16, 18, 19, 20, 21, 23, 24, 31, 46, 59, 60, 62, 63, 64
Porzellanarten	15
Pressen	16, 17, 18, 55

R

Rekuperator	22, 35, 36
Rohrleitung	40, 46, 54
Rohstoff	12, 15, 16, 31, 59, 64
Rückbau	11, 33, 35, 42, 48, 52, 53, 54
Rundofen	11, 15, 18, 19, 20, 21, 27, 29, 33, 45, 49, 51

S

Sanierung	11
Schamotte	15, 18, 19, 20, 22, 59, 63
Scherben	16, 23, 24, 61, 62
Scherbenhaufen	17, 19, 20, 27, 33, 46, 49, 56
Schikanekies	36, 38
Schlacke	42, 47, 49, 55
Schlacken	50
Schlämme	46, 47
Schleifen	23, 46
Schlicker	16, 17
Schlosserei	27, 30, 41, 46, 55, 56
Schmelz	20, 24, 61
Schmelztemperatur	25, 63
Schmieröl	32, 45
Schornstein	22, 29, 30, 33, 35, 40, 51, 52
Schreinerei	27
Schubwagen	19, 21, 22
Schubzylinder	22, 34, 44
Schweröl	23, 29, 39, 52, 56
Silikatkeramik	14, 59
Sortieren	23
Sparkapsel	19
Stapelhilfe	19
Stäube	18, 22, 33, 36, 37, 38, 39, 40, 43, 51, 52
Steinkohle	20, 28, 29

T

Tankstelle	30, 52, 55, 56
Teer	28, 54, 56
Teerbecken	28, 45, 52
Teerkondensat	28, 30, 35, 39, 42, 45, 46, 47, 48
Teeröl	56
Teerschiffchen	35, 51
Teerteich	47, 55
Tunnelofen	19, 21, 22, 23, 27, 29, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 44, 45, 49, 51, 52, 54, 55, 56

U

Unterfahrt 21, 34, 36, 44
Unterglasur 24

V

Verflüssigungsmittel 17

W

Wärmetauscher 30, 40, 44

Wasserglas 17
Weißbetrieb 32, 45
Weißgeschirr 23, 24, 25
Weißporzellanbruch 15
Weißschlamm 32, 46, 47, 49, 51, 55

Z

Zuschlagsstoff 15, 20, 32, 63

