

TEXTE

78/2018

Innovative Techniken: Festlegung von besten verfügbaren Techniken (BVT) in Europa für die Bereiche der Keramik-, Zement-, Nahrungsmittel- und in der chemischen Industrie

Teilvorhaben 1: Keramikindustrie
Abschlussbericht

TEXTE 78/2018

Umweltforschungsplan des
Bundesministeriums für Umwelt,
Naturschutz und nukleare Sicherheit

Forschungskennzahl 3714 43 312 1
UBA-FB 002716

Innovative Techniken: Festlegung von besten verfügbaren Techniken (BVT) in Europa für die Bereiche der Keramik-, Zement-, Nahrungsmittel- und in der chemischen Industrie

Teilvorhaben 1: Keramikindustrie.
Abschlussbericht

von

Sonja Bauer, Elisabeth Zettl

Ramboll Environment & Health GmbH, München

Im Auftrag des Umweltbundesamtes

Impressum

Herausgeber:

Umweltbundesamt
Wörlitzer Platz 1
06844 Dessau-Roßlau
Tel: +49 340-2103-0
Fax: +49 340-2103-2285
info@umweltbundesamt.de
Internet: www.umweltbundesamt.de

 /umweltbundesamt.de

 /umweltbundesamt

Durchführung der Studie:

Ramboll Environment & Health GmbH
Werinherstraße 79
81541 München

Abschlussdatum:

Juli 2018

Redaktion:

Fachgebiet III 2.2 Ressourcenschonung, Stoffkreisläufe, Mineral- und
Metallindustrie
Mirco Baronick

Publikationen als pdf:

<http://www.umweltbundesamt.de/publikationen>

ISSN 1862-4359

Dessau-Roßlau, Oktober 2018

Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den
Autorinnen und Autoren.

Kurzbeschreibung

Im Zuge des Forschungsprojekts wurden in ausgewählten Teilsektoren der Keramikindustrie, namentlich Ziegel, Wand- und Bodenfliesen, Feuerfeste Produkte, Sanitär- und Geschirrkераmik, Maßnahmen zur Steigerung der Materialeffizienz identifiziert. Dabei wurde der Produktionsprozess von der Aufbereitung der Rohstoffe bis hin zur Nachbereitung der Produkte berücksichtigt.

Diese Maßnahmen zur Steigerung der Materialeffizienz umfassen die Einsparung von Rohstoffen durch innovative Technologien und Produktentwicklungen, die Substitution von primären Rohstoffen mit Recyclingstoffen, die direkte innerbetriebliche Kreislaufführung (Recycling) sowie die Substitution von konventionellen Brennstoffen. Zur Identifizierung der Maßnahmen wurden umfangreiche Literaturrecherchen sowie Expertenbefragungen durchgeführt.

Die identifizierten Maßnahmen wurden den jeweiligen Teilsektoren und Produktionsprozessen zugeordnet und mit Experten aus Industrie und Forschung diskutiert. Es wurden unter anderem Informationen zur Umsetzungsrate, der Höhe des Potentials zur Steigerung der Materialeffizienz und existierenden Hemmnisse ermittelt. Basierend auf diesen Informationen wurden Handlungsempfehlungen für Industrie und öffentliche Institutionen abgeleitet.

Abstract

Throughout this research project, measures for increasing material efficiency were identified in selected subsectors of the ceramic industry, namely, bricks, wall and floor tiles, refractory products, sanitary ware and tableware ceramics. For this purpose, the production process from the preparation of raw materials to the postprocessing of the products was considered.

These measures for increasing material efficiency encompass the saving of raw materials through innovative technologies and product developments, the substitution of primary raw materials with recycled materials, the direct internal reutilization (recycling), as well as the substitution of conventional fuels. Extensive literature research and consultations with experts were carried out for the identification of these measures.

The identified measures were assigned to the corresponding subsectors and production processes and discussed with experts from industry and research. Information regarding the conversion rate, the potential for increasing material efficiency and existing obstacles, among others, was identified. Based on this information, recommendations for the industry and public institutions were derived.

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	11
Tabellenverzeichnis	12
Abkürzungsverzeichnis	15
Zusammenfassung	17
Summary	24
1 Hintergrund und Zielsetzung	31
2 Was ist Materialeffizienz?	33
3 Informationsermittlung und -evaluierung	35
3.1 Internet- und Literaturrecherche	35
3.2 Experten-Befragung	36
3.3 Workshops und weitere Projektgespräche	36
4 Allgemeine Beschreibung des Herstellungsprozesses und mögliche Ansatzpunkte bezüglich der Materialeffizienz	38
4.1 Masseaufbereitung	38
4.2 Formgebung	39
4.3 Glasieren/Engobieren	39
4.4 Trocknung	40
4.5 Brennen	40
4.6 Nachbehandlung	40
4.7 Zusammenfassung und Bezug zum BVT-Merkblatt 2007	41
5 Übersicht der Ergebnisse zu den einzelnen Keramik-Teilsektoren	42
5.1 Ziegel und Dachziegel	43
5.1.1 Allgemeine Informationen	43
5.1.1.1 Produktbeschreibung	43
5.1.1.2 Produktionskennzahlen und -prozesse	43
5.1.2 Masseaufbereitung	45
5.1.2.1 Spezifische BVT 2007	45
5.1.2.2 Stand der Technik 2016	46
5.1.2.3 Maßnahmen, Weiterentwicklungen und Potentiale in Bezug auf das BVT-Merkblatt 2007	47
5.1.3 Produktdesign/Formgebung	52
5.1.3.1 Spezifische BVT 2007	52
5.1.3.2 Stand der Technik 2016	52
5.1.3.3 Maßnahmen, Weiterentwicklungen und Potentiale	53

5.1.4	Trocknung/Brand	55
5.1.4.1	Spezifische BVT 2007	55
5.1.4.2	Stand der Technik 2016	55
5.1.4.3	Maßnahmen, Weiterentwicklungen und Potentiale	56
5.1.5	Glasieren/Engobieren	56
5.1.5.1	Spezifische BVT 2007	56
5.1.5.2	Stand der Technik 2016	56
5.1.5.3	Maßnahmen, Weiterentwicklungen und Potentiale	57
5.1.6	Nachbearbeitung	57
5.1.6.1	Spezifische BVT 2007	57
5.1.6.2	Stand der Technik 2016	57
5.1.6.3	Maßnahmen, Weiterentwicklung und Potentiale	57
5.1.7	Verwertung/Beseitigung	58
5.1.7.1	Spezifische BVT 2007	58
5.1.7.2	Stand der Technik 2016	58
5.1.7.3	Maßnahmen, Weiterentwicklungen und Potentiale	58
5.1.8	Zusammenfassung	61
5.2	Wand- und Bodenfliesen	64
5.2.1	Allgemeine Informationen	64
5.2.1.1	Produktbeschreibung	64
5.2.1.2	Produktionskennzahlen und -prozesse	64
5.2.2	Masseaufbereitung	66
5.2.2.1	Spezifische BVT 2007	66
5.2.2.2	Stand der Technik 2016	67
5.2.2.3	Maßnahmen, Weiterentwicklungen und Potentiale	68
5.2.3	Produktdesign/Formgebung	72
5.2.3.1	Spezifische BVT 2007	72
5.2.3.2	Stand der Technik 2016	72
5.2.3.3	Maßnahmen, Weiterentwicklungen und Potentiale	72
5.2.4	Trocknung/Brand	75
5.2.4.1	Spezifische BVT 2007	75
5.2.4.2	Stand der Technik 2016	75
5.2.4.3	Maßnahmen, Weiterentwicklungen und Potentiale	76
5.2.5	Glasieren/Engobieren	76
5.2.5.1	Spezifische BVT 2007	76

5.2.5.2	Stand der Technik 2016.....	76
5.2.5.3	Maßnahmen, Weiterentwicklungen und Potentiale	77
5.2.6	Nachbearbeitung.....	79
5.2.6.1	Spezifische BVT 2007.....	79
5.2.6.2	Stand der Technik 2016.....	79
5.2.6.3	Maßnahmen, Weiterentwicklungen und Potentiale	79
5.2.7	Verwertung/Beseitigung	80
5.2.7.1	Spezifische BVT 2007.....	80
5.2.7.2	Stand der Technik 2016.....	80
5.2.7.3	Maßnahmen, Weiterentwicklungen und Potentiale	81
5.2.8	Zusammenfassung.....	83
5.3	Feuerfeste Produkte	85
5.3.1	Allgemeine Informationen	85
5.3.1.1	Produktbeschreibung	85
5.3.1.2	Produktionskennzahlen und -prozesse	87
5.3.2	Masseaufbereitung	89
5.3.2.1	Spezifische BVT 2007.....	89
5.3.2.2	Stand der Technik 2016.....	89
5.3.2.3	Maßnahmen, Weiterentwicklungen und Potentiale	90
5.3.3	Produktdesign/ Formgebung	93
5.3.3.1	Spezifische BVT 2007.....	93
5.3.3.2	Stand der Technik 2016.....	93
5.3.3.3	Maßnahmen, Weiterentwicklungen und Potentiale	94
5.3.4	Trocknung/Brand	96
5.3.4.1	Spezifische BVT 2007.....	96
5.3.4.2	Stand der Technik 2016.....	96
5.3.4.3	Maßnahmen, Weiterentwicklungen und Potentiale	97
5.3.5	Nachbearbeitung.....	97
5.3.5.1	Spezifische BVT 2007.....	97
5.3.5.2	Stand der Technik 2016.....	97
5.3.5.3	Maßnahmen, Weiterentwicklungen und Potentiale	98
5.3.6	Verwertung/Beseitigung	99
5.3.6.1	Spezifische BVT 2007.....	99
5.3.6.2	Stand der Technik 2016.....	99
5.3.6.3	Maßnahmen, Weiterentwicklungen und Potentiale	100

5.3.7	Zusammenfassung.....	102
5.4	Sanitärkeramik.....	104
5.4.1	Allgemeine Informationen	104
5.4.1.1	Produktbeschreibung.....	104
5.4.1.2	Produktionskennzahlen und -prozesse	104
5.4.2	Masseaufbereitung	107
5.4.2.1	Spezifische BVT 2007.....	107
5.4.2.2	Stand der Technik 2016.....	107
5.4.2.3	Maßnahmen, Weiterentwicklungen und Potentiale	107
5.4.3	Produktdesign/Formgebung	110
5.4.3.1	Spezifische BVT 2007.....	110
5.4.3.2	Stand der Technik 2016.....	110
5.4.3.3	Maßnahmen, Weiterentwicklungen und Potentiale	111
5.4.4	Trocknung/Brand	113
5.4.4.1	Spezifische BVT 2007.....	113
5.4.4.2	Stand der Technik 2016.....	113
5.4.4.3	Maßnahmen, Weiterentwicklungen und Potentiale	113
5.4.5	Glasieren	116
5.4.5.1	Spezifische BVT 2007.....	116
5.4.5.2	Stand der Technik 2016.....	116
5.4.5.3	Maßnahmen, Weiterentwicklungen und Potentiale	117
5.4.6	Nachbearbeitung.....	117
5.4.6.1	Spezifische BVT 2007.....	117
5.4.6.2	Stand der Technik 2016.....	117
5.4.6.3	Maßnahmen, Weiterentwicklungen und Potentiale	118
5.4.7	Verwertung/Beseitigung	119
5.4.7.1	Spezifische BVT 2007.....	119
5.4.7.2	Stand der Technik 2016.....	119
5.4.7.3	Maßnahmen, Weiterentwicklungen und Potentiale	119
5.4.8	Zusammenfassung.....	121
5.5	Geschirrkераmik.....	123
5.5.1	Allgemeine Informationen	123
5.5.1.1	Produktbeschreibung.....	123
5.5.1.2	Produktionskennzahlen und -prozesse	124
5.5.2	Masseaufbereitung	126

5.5.2.1	Spezifische BVT 2007.....	126
5.5.2.2	Stand der Technik 2016.....	126
5.5.2.3	Maßnahmen, Weiterentwicklungen und Potentiale	127
5.5.3	Produktdesign/Formgebung	130
5.5.3.1	Spezifische BVT 2007.....	130
5.5.3.2	Stand der Technik 2016.....	130
5.5.3.3	Maßnahmen, Weiterentwicklungen und Potentiale	130
5.5.4	Trocknung/Brand	132
5.5.4.1	Spezifische BVT 2007.....	132
5.5.4.2	Stand der Technik 2016.....	132
5.5.4.3	Maßnahmen, Weiterentwicklungen und Potentiale	133
5.5.5	Glasieren	134
5.5.5.1	Spezifische BVT 2007.....	134
5.5.5.2	Stand der Technik 2016.....	134
5.5.5.3	Maßnahmen, Weiterentwicklungen und Potentiale	134
5.5.6	Nachbearbeitung.....	135
5.5.6.1	Spezifische BVT 2007.....	135
5.5.6.2	Stand der Technik 2016.....	136
5.5.6.3	Maßnahmen, Weiterentwicklungen und Potentiale	136
5.5.7	Verwertung/Beseitigung	136
5.5.7.1	Spezifische BVT 2007.....	136
5.5.7.2	Stand der Technik 2016.....	137
5.5.7.3	Maßnahmen, Weiterentwicklungen und Potentiale	137
5.5.8	Zusammenfassung.....	138
5.6	Substitutionsmöglichkeiten von konventionellen Brennstoffen in der Keramikindustrie.....	140
6	Weiterentwicklungen im Vergleich zum BVT-Merkblatt 2007	144
6.1.1	Ziegelindustrie.....	144
6.1.2	Fliesenindustrie	144
6.1.3	Feuerfestindustrie	146
6.1.4	Sanitär- und Geschirrkераmik	146
6.1.5	Substitutionsmöglichkeiten von konventionellen Brennstoffen in der Keramikindustrie.....	147
7	Ableitung der Handlungsempfehlungen.....	148
8	Quellenverzeichnis.....	151

9	Anhang I - Auswertung des BVT-Merkblatts „Keramikindustrie“ 2007 im Hinblick auf Materialeffizienz	157
9.1	Materialeffizienzsteigerung durch Reduzierung von Prozessverlusten und Abfall	157
9.2	Materialeffizienzsteigerung durch optimierten Wasserverbrauch	158
9.3	Materialeffizienzsteigerung durch Reduktion des Energieverbrauchs.....	159
9.4	Materialeffizienzsteigerung durch Modifikation keramischer Massen.....	160
9.5	Techniken in Entwicklung	160
9.6	Zusammenfassung	160

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Drei Wege zur Steigerung der Materialeffizienz	33
Abbildung 2:	Übersicht Prozesskette in der Keramikindustrie	38
Abbildung 3:	Produktionsprozesse und Ansätze zur Steigerung der Materialeffizienz in der Produktion.....	41
Abbildung 4:	Betrachtete Produktionsprozesse in der Ziegelindustrie	44
Abbildung 5:	Betrachtete Produktionsprozesse in der Fliesenindustrie	65
Abbildung 6:	Endverbraucher von feuerfesten Produkten, PRE Statistik 2015	85
Abbildung 7:	Betrachtete Produktionsprozesse in der Feuerfestindustrie	87
Abbildung 8:	Beeinflussung der Lebensdauer von Feuerfestprodukten	95
Abbildung 9:	Massenbilanz der feuerfesten Produkte nach ihrer Anwendung.....	99
Abbildung 10:	Betrachtete Produktionsprozesse in der Sanitärkeramikindustrie ..	105
Abbildung 11:	Betrachtete Produktionsprozesse in der Geschirrkераmikindustrie	124

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Produktionskennzahlen für die Ziegelindustrie.....	45
Tabelle 2:	Maßnahmen und Weiterentwicklungen in der Ziegelindustrie bezüglich der Masseaufbereitung	47
Tabelle 3:	Anforderungen an Bruchmaterial zum Wiedereinsatz bei der Ziegelproduktion einer Belgischen Firma	50
Tabelle 4:	Produktionskennzahlen für die Ziegelfestindustrie.....	53
Tabelle 5:	Maßnahmen und Weiterentwicklungen in der Ziegelindustrie bezüglich des Produktdesigns/der Formgebung	54
Tabelle 6:	Maßnahme/Weiterentwicklung in der Ziegelindustrie bezüglich der Trocknung/des Brennprozesses	56
Tabelle 7:	Maßnahme/Weiterentwicklung in der Ziegelindustrie bezüglich des Glasierens/Engobierens.....	57
Tabelle 8:	Maßnahmen und Weiterentwicklungen in der Ziegelindustrie bezüglich der Verwertung	59
Tabelle 9:	Maßnahmen und Weiterentwicklungen in der Ziegelindustrie	62
Tabelle 10:	Produktionskennzahlen für die Fliesenindustrie	66
Tabelle 11:	Maßnahmen und Weiterentwicklungen in der Fliesenindustrie bezüglich der Masseaufbereitung	68
Tabelle 12:	Maßnahmen und Weiterentwicklungen in der Fliesenindustrie bezüglich des Produktdesigns.....	72
Tabelle 13:	Maßnahmen und Weiterentwicklungen in der Fliesenindustrie bezüglich des Trocknungs- und Brennprozesses	76
Tabelle 14:	Maßnahmen und Weiterentwicklungen in der Fliesenindustrie bezüglich Glasierens/Engobierens.....	77
Tabelle 15:	Maßnahme/Weiterentwicklung in der Fliesenindustrie bezüglich der Nachbearbeitung	80
Tabelle 16:	Maßnahmen und Weiterentwicklungen in der Fliesenindustrie bezüglich der Verwertung	81
Tabelle 17:	Maßnahmen und Weiterentwicklungen in der Fliesenindustrie.....	83
Tabelle 18:	Klassifizierung der feuerfesten Produkte anhand des Al_2O_3 - bzw. des SiO_2 -Gehaltes	86
Tabelle 19:	Herstellung geformter feuerfester Produkte	87
Tabelle 20:	Produktionskennzahlen für die Feuerfestindustrie	88
Tabelle 21:	Maßnahmen und Weiterentwicklungen in der Feuerfestindustrie bezüglich der Masseaufbereitung	90
Tabelle 22:	Angewandte Verfahren zur Formung von feuerfesten Produkten.....	94
Tabelle 23:	Maßnahmen und Weiterentwicklungen in der Feuerfestindustrie bezüglich des Produktdesigns.....	94

Tabelle 24:	Maßnahme/Weiterentwicklung in der Feuerfestindustrie bezüglich der Nachbearbeitung.....	98
Tabelle 25:	Maßnahmen und Weiterentwicklungen in der Feuerfestindustrie bezüglich der Verwertung	100
Tabelle 26:	Maßnahmen und Weiterentwicklungen in der Feuerfestindustrie..	103
Tabelle 27:	Produktionskennzahlen für die Sanitärkeramikindustrie	106
Tabelle 28:	Maßnahmen und Weiterentwicklungen in der Sanitärkeramikindustrie bezüglich der Masseaufbereitung.....	107
Tabelle 29:	Angewandte Verfahren zur Formung eines Rohlings	111
Tabelle 30:	Maßnahmen und Weiterentwicklungen in der Sanitärkeramikindustrie bezüglich Formgebung/Produktdesign	112
Tabelle 31:	Maßnahmen und Weiterentwicklungen in der Sanitärkeramikindustrie bezüglich der Trocknung/des Brennprozesses	114
Tabelle 32:	Maßnahmen und Weiterentwicklungen in der Sanitärkeramikindustrie bezüglich des Glasierens/Engobierens	117
Tabelle 33:	Maßnahme bzw. Weiterentwicklung in der Sanitärkeramikindustrie bezüglich der Nachbearbeitung.....	118
Tabelle 34:	Maßnahmen und Weiterentwicklungen in der Sanitärkeramikindustrie bezüglich der Verwertung.....	120
Tabelle 35:	Maßnahmen und Weiterentwicklungen in der Sanitärkeramikindustrie	121
Tabelle 36:	Produktionskennzahlen für die Geschirrkераmikindustrie.....	125
Tabelle 37:	Maßnahmen und Weiterentwicklungen in der Geschirrkераmikindustrie bezüglich der Masseaufbereitung	127
Tabelle 38:	Angewandte Verfahren zur Formung eines Rohlings	130
Tabelle 39:	Maßnahmen und Weiterentwicklungen in der Geschirrkераmikindustrie bezüglich Formgebung und Produktdesign	131
Tabelle 40:	Maßnahmen und Weiterentwicklungen in der Geschirrkераmikindustrie bezüglich des Trocknungs- und Brennprozesses.....	133
Tabelle 41:	Maßnahmen und Weiterentwicklungen in der Geschirrkераmikindustrie bezüglich des Glasierens/Engobierens ...	135
Tabelle 42:	Maßnahmen und Weiterentwicklungen in der Geschirrkераmikindustrie bezüglich der Nachbearbeitung.....	136
Tabelle 43:	Maßnahmen und Weiterentwicklungen in der Geschirrkераmikindustrie bezüglich der Verwertung.....	137
Tabelle 44:	Maßnahmen und Weiterentwicklungen in der Geschirrkераmikindustrie	139

Tabelle 45:	Maßnahmen und Weiterentwicklungen in der Keramikindustrie bezüglich der Substitution fossiler Brennstoffe 140
-------------	--

Abkürzungsverzeichnis

AiF	Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen
Al₂O₃	Aluminiumoxid
BHM	Brennhilfsmittel
BMBF	Bundesministerium für Bildung und Forschung
BVT	Beste verfügbare Technik
Ca(OH)₂	Calciumhydroxid
CaCO₃	Calciumcarbonat
CAD	computer-aided design
CAM	computer-aided manufacturing
CaO	Calciumoxid
CH₄	Methan
CO	Kohlenstoffmonoxid
CO₂	Kohlenstoffdioxid
EPD	Umwelt-Produktdeklaration (Environmental Product Declaration)
FEM	Finite Elemente Methode
FGK	Forschungsinstitut für Anorganische Werkstoffe –Glas/Keramik- GmbH
GWh	Gigawattstunde
H₂	Wasserstoff
ICT	Fraunhofer-Institut für chemische Technologie
IE-RL	Industrieemissions-Richtlinie
IGF	Industrielle Gemeinschaftsforschung
IKTS	Fraunhofer-Institut für Keramische Technologien und Systeme
IR	Infrarot
ISH	Weltleitmesse Erlebniswelt Bad, Gebäude-, Energie-, Klimatechnik, Erneuerbare Energien
IZF	Institut für Ziegelforschung
IZFP	Fraunhofer-Institut für Zerstörungsfreie Prüfverfahren
LCM	Lithography-based Ceramic Manufacturing
LED	light-emitting diode; Licht-emittierende Diode
LIBS	Laser-Emissionsspektroskopie
MgCO₃	Magnesiumcarbonat
MJ	Megajoule
MPa	Megapascal
MWh	Megawattstunde

Na	Natrium
P₂O₃	Phosphortrioxid
PT®-Keramik	Papiertechnologisch hergestellte Keramik
PRE	Europäischen Vereinigung der Hersteller feuerfester Erzeugnisse (PRE)
SdT	Stand der Technik
SiC	Siliziumcarbid
SiO₂	Siliziumoxid
SNG	Synthetisches Erdgas
Syngas	Synthesegas

Zusammenfassung

Die keramische Industrie ist eine vergleichsweise ressourcenintensive Industrie in der neben großen Mengen an natürlichen Rohstoffen wie z.B. Ton und Sand auch große Mengen an fossilen Brennstoffen benötigt werden.

Vor dem Hintergrund knapper werdender Ressourcen und dem damit verbundenen Anstieg der Kosten sowie aufgrund gesetzlicher Vorgaben hat die keramische Industrie in den letzten Jahren bereits viel investiert, um die Produktionsprozesse im Hinblick auf den Ressourceneinsatz zu optimieren. Ein effizienter und nachhaltiger Einsatz von Ressourcen reduziert nicht nur den Primärrohstoffverbrauch, sondern ist inzwischen auch Bestandteil moderner Unternehmensführung zur Steigerung der Wirtschaftlichkeit der Produktionsabläufe und somit der Wettbewerbsfähigkeit.

Ziel des Projektes war es, den aktuellen Stand im Hinblick auf die Materialeffizienz in ausgewählten Teilsektoren der Keramikindustrie (Ziegel, Wand- und Bodenfliesen, Feuerfeste Produkte, Sanitär- und Geschirrkera­mik) zu ermitteln und die noch bestehenden Potenziale zu identifizieren. Der Fokus des Projektes lag dabei insbesondere auf folgenden Aspekten der Materialeffizienz:

- ▶ Substitution von Primärrohstoffen (z.B. Kreislaufführung von Produktionsabfällen, Einsatz von Sekundärrohstoffen, Einsatz von Recyclingmaterial),
- ▶ Recycling von Produktionsabfällen und Reststoffen,
- ▶ neue Produktentwicklungen,
- ▶ Substitution fossiler Brennstoffe (z.B. durch Einsatz von Abfallbrennstoffen und nachwachsenden Rohstoffen).

Es wurde ebenfalls untersucht, warum bestehende Potentiale noch nicht umgesetzt wurden und welche Maßnahmen dafür erforderlich sind. Aufbauend auf dieser Potenzialanalyse sind Handlungsempfehlungen abgeleitet worden, die an die Industrie, Forschungseinrichtungen, Politik und Verbände gerichtet sind.

Datenerhebung

Ausgangspunkt des Projektes war das BVT-Merkblatt „Keramikindustrie“ aus dem Jahr 2007, in dem sowohl allgemeine als auch sektorspezifische BVT zur Minimierung von Prozessverlusten/Abfällen enthalten sind. Obwohl der Fokus des BVT-Merkblattes 2007 mehr auf der Minderung von Emissionen lag, wurden dennoch einige Maßnahmen zur Substitution von Rohstoffen durch die Kreislaufführung von Rohware, Bruch, Schläm­men und aufbereiteten Abfällen zum Teil sehr detailliert beschrieben.

Um den aktuellen Stand der Technik in den ausgewählten Teilsektoren zu ermitteln, wurden die einzelnen Produktionsschritte von der Rohstoffaufbereitung bis zur Produktnachbereitung in den Produktionsstätten für jeden Teilsektor untersucht und anschließend für jeden Produktionsschritt geprüft, welche Reststoffe anfallen und welche Maßnahmen zur Steigerung der Materialeffizienz bereits umgesetzt werden bzw. an welchen aktuell geforscht wird. Hierbei wurde auch die Verwertung von anfallenden mineralischen Reststoffen nach Verwendung der relevanten Keramikprodukte betrachtet.

Die Datenerhebung erfolgte über eine intensive Internet- und Literaturrecherche sowie über Expertenbefragungen. Die unter den jeweiligen Prozessschritten identifizierten Maßnahmen und Weiterentwicklungen gegenüber dem im BVT-Merkblatt 2007 beschriebenen Stand wurden mit Vertretern aus Industrie und Forschung bezüglich ihrer Aktualität, Relevanz, Realisierbarkeit und Verbreitung diskutiert und analysiert. Zusätzlich wurde der aktuelle Stand der Technik sowie relevante Kennzahlen der betrachteten Industriesektoren ermittelt.

Hierzu wurde neben zwei sektorübergreifenden Workshops mit Vertretern aus Industrie, Forschung und Behörden auch je Teilsektor ein bilateraler Workshop mit Vertretern der Unternehmen, der Verbände sowie und zum Teil auch Vertretern aus der Forschung durchgeführt.

Übersicht der Ergebnisse

Obwohl das Spektrum an keramischen Produkten sehr breit ist und die Stoffzusammensetzungen und Eigenschaften der Keramikprodukte zum Teil sehr unterschiedlich sind, sind die Produktionsschritte bei der Herstellung von keramischen Produkten relativ einheitlich. Abgesehen von einigen Besonderheiten (z.B. Zweifachbrand, Dekoration) sind die wesentlichen Prozessschritte in allen Teilsektoren überwiegend gleich:

- ▶ Masseaufbereitung,
- ▶ Produktdesign/Formgebung,
- ▶ Trocknung / Brand,
- ▶ Glasieren/Engobieren,
- ▶ Nachbearbeitung.

Materialverluste während des Herstellungsprozesses von keramischen Produkten treten vor allem durch prozessbedingte Rohstoffverluste (Staub), Bruch vor und nach dem Brand, Schleifrückstände, Schlämme, (Gips)Formen sowie Brennhilfsmittel auf.

Im Folgenden werden die wichtigsten Ergebnisse der betrachteten Sektoren kurz dargestellt.

Ziegel und Dachziegel

In der deutschen Ziegelindustrie wurden im Jahr 2015 ca. 12 Mio. t Rohmaterial (v.a. Ton und Sand) eingesetzt um daraus verschiedene Ziegelprodukte wie Vormauerziegel, Hintermauerziegel, Deckenziegel, Dachziegel, Pflasterklinker, Kanalklinker und weitere Ziegelemente zu produzieren.

Die während der Produktion anfallenden Reststoffe werden entweder wieder direkt in den Produktionsprozess eingesetzt oder einer externen Verwertung zugeführt. Anfallenden Massereste, Trockenbruch sowie Stäube aus der Absaugung oder anderen Prozessschritten können nahezu zu 100% direkt wieder in der Masseaufbereitung eingesetzt. Der jährlich anfallende Brennbruch in Höhe von ca. 220.000 t wird zu etwa einem Drittel wieder in den Prozess zurückgeführt. Der Brennbruch, der zum Teil extern bzw. über mobile Brecher aufbereitet (gemahlen) wird, wird als Magerungsmittel hauptsächlich bei den Vormauerziegeln eingesetzt und ersetzt dabei den Rohstoff Sand. Allerdings ist die Menge des einsetzbaren Brennbruchs begrenzt und hängt von der Qualität der jeweiligen Tonrohstoffe ab. Die restlichen zwei Drittel des Brennbruchs werden einer externen Verwertung zugeführt (z.B. als Pflanzensubstrat, Tennissand). Eine Deponierung des Brennbruchs findet nach Angaben der Firmen nicht statt. Der Anteil an zu deponierenden mineralischen Reststoffe/Abfälle aus der Produktion wird auf unter 1% geschätzt. In Ausnahmefällen anfallendes Abwasser wird als Anmachwasser in der Masseaufbereitung wiederverwendet.

Der Einsatz von extern anfallenden Reststoffen/Abfällen wie z.B. sortenreine Mauerziegel aus dem Rückbau und Ziegelbruch von Bauabbrucharbeiten in der Masseaufbereitung ist zwar grundsätzlich möglich, das Potenzial wird aber aktuell als sehr gering eingeschätzt. Für die Wiederverwendung im Produktionsprozess ist eine sortenreine Trennung der Abbruchfraktionen essentiell, da zu hohe Gehalte an Sulfat oder Kalk aus anderen Baumaterialien (z.B. Gips) den Wiedereinsatz in der Ziegelproduktion unmöglich machen.

Das Potenzial zum Einsatz von Recyclingstoffen aus anderen Industriebereichen (z.B. Schlamm aus der Herstellung von Haushalts-oder Sanitärkeramik) wird ebenfalls als gering angesehen. Gründe hierfür sind z.B. Transportkosten oder Qualitätsanforderungen.

Geringfügiges Materialeinsparpotenzial wird aktuell bei der Zugabe von Additiven zur Reduzierung der Trockenbruchanfälligkeit der Ziegelrohlinge gesehen. In diesem Bereich finden aktuell weitere Forschungsaktivitäten statt.

Mit Blick auf das Produktdesign konnte in den letzten Jahren vor allem durch kontinuierliche Optimierung der Ziegelprodukte eine deutliche Reduzierung der Masse pro Ziegel erreicht werden. Durch den Einsatz neuer Simulations-Software (Finite Elemente Methode, FEM) kann eine Reduktion des Gewichts pro Fläche ohne Einbußen der Festigkeit erreicht werden.

Die sektorweiten Potentiale zur Erhöhung der Materialeffizienz werden bei den meisten Maßnahmen eher als gering eingeschätzt, Potential wird noch bei der sortenreinen Trennung des Ziegelmauerwerks sowie der Verwertung von Ziegel- und Gipsabfällen in anderen Industriebereichen gesehen.

Wand- und Bodenfliesen

Im Jahr 2013 wurden in der deutschen Fliesenindustrie ca. 1 Mio. Tonnen Spezialton und 0,2 Mio. Tonnen Kaolin für die Produktion von Fliesen eingesetzt. Für das Jahr 2015 wird der Rohstoffeinsatz auf etwa 900.000 – 950.000 t/a geschätzt.

In der Fliesenindustrie können bereits über 95% der anfallenden Reststoffe bei der Steinzeug- und Steingutfliesenherstellung intern aufbereitet und größtenteils wieder in der Produktion eingesetzt werden. Die während der Produktion anfallenden Massereste, Stäube und Trockenbruch werden in der Regel direkt wieder in der Masseaufbereitung verwendet. Allerdings ist die Zugabemenge abhängig von den Qualitäts- und v.a. Farbanforderungen der zu produzierenden Fliesen, so dass entsprechende Zwischenspeicher für die Reststoffe erforderlich sind. Der während der Produktion anfallende gebrannte Fliesenbruch (ca. 5-10% der Produktionsmenge) kann bei der Herstellung von Fliesen aus Steingut und Steinzeug nach entsprechender interner Aufbereitung mit bis zu 4% wiedereingesetzt werden. Aus der Herstellung von Feinsteinzeugfliesen kann aktuell nur sehr wenig bis kein gebrannter Fliesenbruch wiederverwendet werden, da dieser aufgrund der hohen Festigkeit nicht intern aufbereitet (gemahlen) werden kann und eine externe Aufbereitung mit anschließendem Wiedereinsatz aktuell logistisch noch problematisch ist. Deshalb wird Fliesenbruch bei der Feinsteinzeugfliesenproduktion extern recycelt.

Der Anteil an zu deponierenden mineralischen Reststoffe/Abfälle aus der Produktion wird auf unter 1% geschätzt. Abwasser fällt in der Fliesenproduktion in der Regel nicht an.

Das Potential zu weiteren Materialeinsparungen durch das Design von dünneren Fliesen wird als gering angesehen, da in den letzten Jahren bereits immer dünnere Fliesen produziert wurden. Eine weitere Reduzierung würde zu Qualitätseinbußen als auch zu Problemen beim Verlegen der Fliesen führen.

Vor allem im Bereich des Dekorierens von Fliesen gab es in den letzten Jahren Änderungen. Viele Firmen haben vom Rotorcolordruck über den Siebdruck auf den Digitaldruck umgestellt. Beim Digitaldruck lassen sich anstelle von Dekorpasten keramische Tinten verwenden, wodurch nur noch ca. 20% der Einsatzstoffe benötigt wurden. Außerdem kann beim Digitaldruck die Bruchware reduziert werden, da die mechanische Belastung auf die Fliese wegfällt.

Aktuell gehen die Entwicklungsaktivitäten dahin, den Digitaldruck auch für Glasuren und Engoben anzuwenden, wodurch Materialeinsparungen durch die Verringerung von Verlusten erreicht werden können.

Nach derzeitigem Stand werden die sektorweiten Potentiale bei den meisten Maßnahmen eher als gering eingeschätzt. Grundsätzlich wird noch Potential bei der internen Wiederverwendung von Fliesenbruch bei der Herstellung von Feinsteinzeugfliesen gesehen sowie beim Einsatz von Digitaldruckverfahren für den Glasurauftrag. Des Weiteren wird noch Potential bei der Aufbereitung und Weiterverwertung des Fliesenbruchs in anderen Industriebereichen gesehen. Hierauf haben die Fliesenproduzenten allerdings keinen Einfluss.

Feuerfeste Produkte

Die deutsche Feuerfest-Industrie hat im Jahr 2015 ca. 760 kt geformte und ca. 660 kt ungeformte feuerfeste Produkte hergestellt, wobei für die Herstellung von geformten feuerfesten Produkten ca. 1. Mio. t an Rohstoffen eingesetzt wurden. In diesem Bericht wurden nur die gebrannten geformten Feuerfest-Produkte betrachtet, die ungefähr 60% der geformten Produkte darstellen.

Die während der Produktion anfallenden Massereste und der Brennbruch liegen bei ca. 5% und werden zum großen Teil (ca. 3 % der Einsatzstoffe) wieder in den Produktionsprozess rückgeführt, der Rest wird extern verwertet oder in geringen Mengen beseitigt. Der Anteil an zu deponierenden mineralischen Reststoffe/Abfälle aus der Produktion wird auf unter 1% geschätzt. In Ausnahmefällen anfallendes Abwasser wird als Anmachwasser in der Masseaufbereitung wiederverwendet.

Mit Blick auf die Materialeffizienz wird in der Feuerfest-Industrie noch Potenzial beim Einsatz von Ofenausbruchmaterial gesehen. Aktuell werden ca. 20% des Ofenausbruchmaterials (hochwertiges, wenig verunreinigtes Ausbruchsmaterial) aufbereitet und in der Feuerfest-Industrie wiedereingesetzt. Höhere Einsatzmengen wären grundsätzlich möglich, sind aber zum einen aufgrund abfallrechtlicher Randbedingungen, zum anderen aber auch aufgrund von Qualitätsanforderungen an das Material derzeit nicht realisierbar. Für einen hochwertigen Wiedereinsatz ist eine sortenreine Trennung des Ofenausbruchmaterials essential, was aber aufgrund der Vielzahl an verwendeten Einsatzstoffen und Zusammensetzungen nur bedingt möglich ist.

In geringen Mengen werden auch Recyclingstoffe aus anderen Industriebranchen eingesetzt, wie z.B. Isolatoren- und Porzellanbruch oder Ligninsulfonat (Restprodukt aus der Papierherstellung), das als Bindemittel eingesetzt wird. Das Potenzial, Recyclingstoffe aus anderen Industriebranchen einzusetzen wird aber als gering angesehen, da die Einsatzstoffe spezielle feuerfeste Eigenschaften aufweisen müssen, um die Lebensdauer und Qualität der Produkte nicht zu mindern.

Durch kontinuierliche Forschung und Entwicklungsarbeit konnte in den letzten Jahren v.a. der Verbrauch an feuerfesten Materialien in verschiedenen Industriezweigen z.B. durch höhere chemische Beständigkeit und somit längeren Standzeiten deutlich reduziert werden, was ebenfalls ein wichtiger Aspekt der Materialeffizienz ist. Hier wird auch zukünftig noch Potenzial gesehen.

Die sektorweiten Potentiale zur Erhöhung der Materialeffizienz werden in der Feuerfest-Industrie bei den meisten Maßnahmen eher als gering eingeschätzt. Sektorweite Potentiale werden bei dem Wiedereinsatz von extern anfallenden Abfällen sowie bei der Entwicklung weiterer Maßnahmen zur Verbesserung des Zusammenspiels von Chemie, Mechanik und Reaktionskinetik zur Verlängerung der Lebensdauer der feuerfesten Produkte gesehen.

Sanitärkeramik

In der deutschen Sanitärkeramikindustrie wurden im Jahr 2015 ca. ca. 34.800 t – 40.600 t Rohmaterial (v.a. Kaolin, Ton, Quarz und Feldspat) eingesetzt, um daraus ca. 29.000 t Sanitärkeramikprodukte wie WCs, Urinale, Waschbecken, Duschwannen und Bidets zu produzieren.

Die während der Produktion anfallenden Reststoffe werden entweder wieder direkt in den Produktionsprozess eingesetzt, einer externen Verwertung zugeführt oder beseitigt. Anfallende Massereste und Trockenbruch und ein Teil der Schlämme werden nahezu zu 100% direkt wieder in der Masseaufbereitung zurückgeführt. Der Rest der Schlämme und die Stäube werden extern verwertet oder beseitigt. Der jährlich anfallende Brennbruch liegt bei unter 10% der Einsatzstoffe, wobei der anfallende Weißbruch (ca. 80% des anfallenden Brennbruchs) fast zu 100% wieder stofflich verwertet (intern oder extern) wird. Buntbruch wird dagegen extern verwertet oder beseitigt. Der Anteil der Reststoffe, der während der Produktion anfällt und anschließend extern beseitigt wird, liegt bei unter 10%. Abwasser, dass während der Masseaufbereitung, des Glasierens und der Nachbearbeitung anfällt, wird zum größeren Anteil aufbereitet und in die Produktion zurückgeführt, der Rest wird der Kläranlage zugeführt.

Der Einsatz von externen Sekundärrohstoffen findet derzeit nicht statt und wird auch zukünftig aufgrund der hohen Qualitätsanforderungen als nicht wahrscheinlich angesehen.

Durch die Entwicklung neuer Rezepturen (z.B. auf der Basis von Aluminiumoxid und Titandioxid) konnten in den letzten Jahren dünnere Produkte hergestellt und somit bei einzelnen selektiven Produktgruppen (z.B. Design-Waschtische) der Materialeinsatz um bis zu 25% reduziert werden. Das Potenzial für weitere Materialeinsparungen durch die Entwicklung neuer Rezepturen zur Herstellung dünnerer Produkte wird aktuell als gering eingeschätzt, da diese Rezepturen nur für bestimmte Produkte geeignet sind. Eine Möglichkeit den Ausschuss weiter zu reduzieren wird in der weiteren Entwicklung des Einsatzes von modernen Analyseverfahren zur Verbesserung der Rohstoffmischungen gesehen, wo kontinuierlich Weiterentwicklungen stattfinden. Der Einsatz von Gipsformen konnte in den letzten Jahren erheblich reduziert werden, da überall dort, wo sich dies auch ökonomisch lohnt, auf das Druckgussverfahren umgestellt wurde. Hier wird derzeit nicht mehr viel Potential gesehen. Zur weiteren Optimierung des Trocknungs- und Brandprozesses gab es in den letzten Jahren viele Forschungsaktivitäten und neue Entwicklungen. Allerdings haben sich die meisten Ansätze (z.B. Thermographie, Mikrowellentechnik) aufgrund der sehr hohen Investitionskosten nicht durchgesetzt.

Insgesamt werden die sektorweiten Potentiale bei den meisten Maßnahmen nach derzeitigem Stand eher als gering eingeschätzt. Bezüglich der Rückgewinnung von Glasur, die derzeit nicht direkt aufgefangen, sondern mit dem Abwasser in die Kläranlage gelangt sowie bei der Verwertung von Gipsformen wird derzeit noch Potential zur Steigerung der Materialeffizienz gesehen. Weitere Potentiale müssen firmenspezifisch ermittelt und gehoben werden.

Geschirrkераmik

In Deutschland werden jährlich ca. 72.000 t Geschirrkераmik produziert. Wichtigste Rohstoffe sind Kaolin, Feldspat und Quarz, genaue Einsatzmengen der Rohstoffe sind unbekannt. In einem Beispiel wird genannt, dass 1.314 kg Kaolin und Feldspat benötigt werden, um 1.000 kg Haushaltskераmik herzustellen.

In der Geschirrkераmik hat sich in den letzten Jahren der Einsatz von fertigen Pressgranulaten sowie, zu einem geringen Anteil, der Einsatz von fertigen Gieß- und Drehmassen etabliert, die die Firmen von externen Masseherstellern beziehen. Die während der Produktion anfallenden Massereste, Stäube, Schlämme, Trocken- und Glühbruch können je nach Qualität und Reinheit und entsprechender Aufbereitung wieder in die Produktion rückgeführt bzw. an den Massehersteller zurückgegeben werden. Die genaue Menge an anfallenden Reststoffen bzw. Produktionsabfällen konnte nicht ermittelt werden. Es wurde geschätzt, dass weniger als 2% Stäube und Schlämme anfallen und der Anteil an Brennbruch unter 20% liegt. Der Anteil an Reststoffen, die während der Produktion anfallen und extern beseitigt werden wird auf kleiner 10% geschätzt. Prozessabwasser, dass während der Masseaufbereitung, des Glasierens, der Dekoration und der Nachbearbeitung anfällt, wird zum größeren Anteil aufbereitet und in die Produktion zurückgeführt. Der restliche Anteil wird der Kläranlage zugeführt.

Der Einsatz von externen Abfällen aus anderen Industriezweigen findet aufgrund der hohen Reinheitsanforderungen nicht statt. Hier wird auch zukünftig kein Potenzial gesehen.

In der Geschirrkераmikindustrie sind die Produktserien oft klein. Hier lohnt sich keine Umstellung auf den Druckguss mit dem einhergehenden Verzicht von Gipsformen. Deshalb werden weiterhin Gipsformen eingesetzt. Bei der Verwertung der Gipsformen sowie im Bereich der Trocknung und dem Brand wird noch Potential gesehen. Durch den Einsatz von Simulationsprogrammen (Finite-Elemente-Methode) und neuer Prozesssteuerungssoftware kann der Ausschuss während des Trocknungs- und Brennprozesses weiter reduziert werden. Die Optimierung der Brennhilfsmittel bezüglich des Werkstoffs und der Geometrie sowie bei der Anwendung kann sowohl die Menge an Brennhilfsmittel deutlich und als auch den Ausschuss des Brennguts reduzieren. Weiteres Potential wird ebenfalls in der Aufbereitung von Prozessabfällen zur Verwertung in anderen Industriebereichen außerhalb der Kераmikproduktion sowie in der Schulung von Personal gesehen.

Die sektorweiten Potentiale zur Erhöhung der Materialeffizienz werden bei den meisten Maßnahmen nach derzeitigem Stand eher als gering eingeschätzt. Potential wird noch in den oben genannten Bereichen gesehen. Weitere Potentiale sind möglich, sind aber derzeit aufgrund großer Hemmnisse nicht zu realisieren oder müssen firmenspezifisch ermittelt und gehoben werden.

Substitution von fossilen Brennstoffen

In vielen Bereichen werden bereits fossile Brennstoffe durch alternative Energiequellen ersetzt. Diese sind z.B. Biogas, synthetisch hergestelltes Gas und Deponiegas. Als Substitutionsmöglichkeiten von konventionellen Brennstoffen in der Keramikindustrie wurden im Rahmen des Vorhabens Biogas, sowie synthetische Gase (Syngas, Power-to-Gas) betrachtet. Aufgrund von verschiedenen Faktoren wie den variierenden Einsatzstoffen und der Qualität wird bis jetzt nur bei dem synthetisch hergestelltem Syngas Potential gesehen, in den betrachteten Teilsektoren der Keramikindustrie eingesetzt zu werden. Allerdings ist die Herstellung von Syngas derzeit zu aufwendig und teuer um deren großtechnischen Nutzung realisieren zu können.

Weiterentwicklungen im Vergleich zum BVT-Merkblatt 2007

In Bezug auf die Materialeffizienz wurde festgestellt, dass die als BVT dargestellten Technologien und Maßnahmen aus dem BVT Merkblatt 2007 auch weiterhin Stand der Technik sind bzw. weiterentwickelt wurden. Wenige in dem BVT Merkblatt 2007 betrachteten Technologien wie z.B. der Einsatz von Schlamm aus der Herstellung von Sanitärkeramik oder der Einsatz von Mikrowellentechnik haben sich nicht durchgesetzt. Neu etablierte Techniken sind z.B. der Einsatz vom Digitaldruck bei der Dekoration von Fliesen. Als neues Verfahren zur Substitution von Primärrohstoffen wurde der Einsatz von Syngas identifiziert, der technisch und qualitativ keine großen Nachteile mit sich bringen würde. Aufgrund der derzeit hohen Kosten lässt sich deren Einsatz wirtschaftlich noch nicht realisieren.

Ableitung von Handlungsempfehlungen

Aufgrund der ermittelten Maßnahmen und Weiterentwicklungen sowie der derzeitigen Hemmnisse zum vollen Ausschöpfen der Materialeffizienzpotentiale wurden folgende Handlungsempfehlungen für die Industrie, der Politik, sowie für die Verbände abgeleitet:

- ▶ Förderung und Ausweitung der Forschung, Entwicklung und Vernetzung,
- ▶ Verstärktes Marketing für nachhaltige, ressourceneffiziente Produkte,
- ▶ Verbesserung der Logistik um die Verwertung von Recyclingstoffen in anderen Produktionen und Industriesektoren zu erleichtern,
- ▶ Anpassung an bzw. Änderung der gesetzlichen Regelungen um den Wiedereinsatz von derzeit als Abfall eingestuft Reststoffen zu erleichtern,
- ▶ Entwicklung von Leitlinien für den sortenreinen Rückbau um den Wiedereinsatz der sortenrein gewonnenen Sekundärrohstoffe zu vereinfachen,
- ▶ Schärfung des Bewusstseins für Ressourceneffizienz,
- ▶ Bildungsinitiativen zur Materialeffizienz bei der Herstellung von Produkten.

Schlussfolgerung

Die Materialeffizienz in den betrachteten Teilsektoren der Keramikindustrie wird insgesamt als hoch angesehen. In vielen Bereichen fanden in den letzten Jahren kontinuierliche Weiterentwicklungen statt, um die eingesetzten Rohstoffe so effizient wie möglich einzusetzen und den Anteil an extern zu verwertenden bzw. zu entsorgenden Abfälle so gering wie möglich halten.

Während Stäube und Reststoffe, die vor dem Brennvorgang entstehen, in den meisten Teilsektoren (Ausnahme Sanitär- und Geschirrkeraimik) ohne größere Probleme und zusätzliche Aufbereitungsschritte in den Produktionsprozess (Masseaufbereitung) wiedereingesetzt werden können, ist der

Wiedereinsatz von bereits gebrannte Scherben aufgrund der Umwandlungsprozesse während des Brandes meist nur bedingt möglich. Um die Qualität der keramischen Masse nicht zu vermindern ist dafür z.T. eine sortenreine Trennung und Rückgewinnung von Stäuben und Reststoffen erforderlich.

In allen untersuchten Keramiksektoren wurden große Anstrengungen unternommen, den Anteil der intern wiederverwendeten Reststoffe zu erhöhen, um so eine möglichst hohe Effizienz der eingesetzten Rohstoffe zu erhalten.

Neben der Verwendung von internen Reststoffen wurden in fast allen Teilsektoren auch Versuche durchgeführt, um Sekundärrohstoffe aus anderen keramischen Herstellungsprozessen bzw. aus der Aufbereitung von Abbruchabfällen als Ersatz für Primärrohstoffe zu verwenden. Grundsätzlich wäre ein Einsatz von ausgewählten Sekundärrohstoffen in den meisten Teilsektoren möglich, allerdings ist das Hauptproblem, dass die Sekundärrohstoffe nicht in ausreichender Menge und Qualität für einen längerfristigen Zeitraum zur Verfügung stehen. Als weiteres Problem wurde vor allem in der Feuerfestindustrie die Abfalleinstufung der anfallenden Feuerfestabfälle genannt, die einer Aufbereitung und einem Wiedereinsatz oft im Wege stehen.

Bei der Formgebung und im Produktdesign wurde in fast allen untersuchten Teilbereichen in den letzten Jahren viel geforscht und angepasst. Aufgrund steigender Rohstoffpreise wurde in allen Bereichen versucht das Produktdesign und die Formgebung so zu optimieren, dass möglichst wenig Material pro Produkt bei gleichbleibender Qualität verbraucht wird. Beispiele hierfür sind dünnere Fliesen oder Hohllochziegel. Hier sind in vielen Fällen jedoch inzwischen die Grenzen erreicht. Eine weitere Reduzierung würde die Qualität der Produkte beeinflussen (reduzierte Festigkeit) oder aber bei der Anwendung zu Verlusten führen (Brechen der Fliesen während des Verlegens). In einigen Teilbereichen wird noch geringes Potenzial aufgrund neuer Software-Simulationsprogramme gesehen.

Durch eine kontinuierliche Optimierung des Trocknungs- und Brennprozesses wurde in allen Teilsektoren der Ausschuss in den letzten Jahren deutlich reduziert. Zukünftig wird in einigen Bereichen noch Potenzial gesehen, zum Beispiel durch den optimierten Einsatz von Brennhilfsmitteln oder der Verwendung einer Simulationssoftware. Mit der Verwendung einer Simulationssoftware können weitere Kenntnisse über das Verhalten der Einsatzstoffe, z.B. das Fließverhalten, erlangt werden.

Beim Glasieren, Engobieren oder Dekorieren wurden die meisten Potenziale bereits ausgeschöpft. In allen untersuchten Teilbereichen werden die Einsatzstoffe soweit wie möglich im Kreislauf geführt und Schlämme wieder in die Produktion zurückgeführt. Lediglich in der Sanitärkeramikindustrie wurde noch etwas Potential bezüglich der Rückgewinnung von Glasur gesehen. In der Fliesenindustrie gab es im Bereich des Dekorierens in den letzten Jahren neue Entwicklungen. Die klassischen Auftragsverfahren (Rotorcolordruck, Siebdruck) wurden in vielen Fällen durch Digitaldruckverfahren ersetzt, was zu entsprechenden Materialeinsparungen geführt hat. Bei der Anwendung des Digitaldruckverfahren im Glasurprozess wird zukünftig noch Potential gesehen. Entsprechende Forschungen werden derzeit in diese Richtung durchgeführt.

Bei der Nachbereitung wird in manchen Teilsektoren noch Potential hinsichtlich der Steigerung der Materialeffizienz durch die Anwendung des Trockenschliffs gesehen. Hier handelt es sich jedoch um sehr geringe Mengen.

Hinsichtlich der sortenreinen Erfassung und höherwertigen Verwertung anfallender Abbruchabfälle in anderen Industriebereichen wurde das meiste Potential gesehen. Dies liegt allerdings außerhalb der Produktion.

Bei der Substitution von konventionellen Brennstoffen wird weiterer Forschungsbedarf gesehen, um hier in Zukunft alternative Brennstoffe einsetzen und somit konventionelle Brennstoffe einsparen zu können.

Insgesamt wurde bei wenigen Maßnahmen Firmenübergreifend Potential zur Steigerung der Materialeffizienz identifiziert. Weitere Potentiale sind oftmals möglich, sind aber derzeit aufgrund großer Hemmnisse nicht zu realisieren oder müssen firmenspezifisch ermittelt und gehoben werden.

Daher wurden Handlungsempfehlungen für die Industrie, der Politik, sowie für die Verbände abgeleitet, durch deren Umsetzung das Potential zur Steigerung der Materialeffizienz in der Keramikindustrie noch weiter ausgeschöpft werden kann.

Summary

The ceramic industry is a comparatively resource-intensive industry in which large amounts of fossil fuels are needed besides also large amounts of natural raw materials such as clay and sand.

In view of dwindling resources and the associated increase of costs, as well as due to legal requirements, the ceramic industry has already invested a lot in the last years to optimize the production process with respect to the utilization of resources. A more efficient and more sustainable use of resources not only reduces the consumption of primary raw materials, but is now also an element of more modern corporate management to increase the profitability of production processes and, consequently, the competitiveness.

The goal of the project was to determine the actual status of material efficiency in selected subsectors of the ceramic industry (bricks, wall and floor tiles, fireproof products, sanitary ware and tableware ceramics) and to identify the existing potentials. The focus of the project lay on the following aspects of material efficiency:

- ▶ Substitution of primary raw materials (e.g. recycling of production waste, utilization of secondary raw materials, utilization of recycled material)
- ▶ Recycling of production waste and residues
- ▶ New product developments
- ▶ Substitution of fossil fuels (e.g. through utilization of waste fuels and renewable raw materials)

It was also investigated why existing potentials have not yet been implemented and what measures are required for their implementation. Based on this potential analysis, recommendations for action have been derived that are directed to industry, research institutions, politics and associations.

Data collection

The starting point of the project was the Reference Document on Best Available Techniques (BAT) in the Ceramic Manufacturing Industry from 2007 (BREF 2007), which contains both general and sector-specific BAT for the minimization of process losses/waste. Even though the focus of the BREF 2007 lies more in the reduction of emissions, some measures for the substitution of raw materials through the recycling of starting materials, broken ware, sludge and treated waste are partly described in great detail.

In order to estimate the state of the art in the selected subsectors, the single production steps at the production sites for each subsector were investigated, from the preparation of raw materials to the postprocessing of products. It was then checked for each production step which residues were produced and which measures are already in place or are being researched for increasing material efficiency. The recovery of mineral residues generated after the utilization of relevant ceramic products was also considered at this point.

The data collection was carried out through an intensive internet and literature research, as well as through consultations with experts. The measures identified for the respective process steps and the

further developments compared to the status described in the BREF 2007 were analysed and discussed with representatives from industry and research regarding their up-to-dateness, relevance, feasibility and prevalence. Additionally, the state of the art and relevant key figures of the industrial sub-sectors considered were determined.

For this purpose, in addition to two cross-sectoral workshops with representatives from industry, research and the authorities, a bilateral workshop was carried out for each subsector with representatives from companies, associations and, in some cases, from research.

Overview of the results

Even though the spectrum of ceramic products is very broad and their composition and properties are sometimes very different, the steps for their production are relatively uniform. Apart from some special traits (e.g. double firing, decoration), the main process steps are mostly the same in all subsectors:

- ▶ Preparation of raw materials
- ▶ Product design/shaping
- ▶ Drying/firing
- ▶ Glazing/engobing
- ▶ Postprocessing

Material losses during the manufacturing process of ceramic products occur mainly through process-related losses of raw materials (dust), breakage before and after firing, grinding residues, sludges, (plaster) moulds and burning aids.

The most important results from the sectors considered are presented in the next sections.

Bricks and roof tiles

In the German brick industry, 12 million tons of raw materials (mostly clay and sand) were used in 2015 to produce various brick products such as facing bricks, backing bricks, ceiling tiles, roof tiles, clinker bricks, and other brick elements.

The residues produced during production are either reused directly in the production process or used in an external application. The generated mass residues, dry broken ware and dusts from the extraction or other process steps can be reused in the preparation of raw materials to almost 100%. About one third of the annual broken ware from firing, which accounts for around 220.000 tons, is returned to the process. The broken ware from firing, which is partly processed (ground) externally or via mobile crushers, is used as a tempering agent mainly in the production of facing bricks, replacing sand as raw material. However, the amount of usable broken ware from firing is limited and depends on the quality of the respective clay materials used. The remaining two thirds of this broken ware are used in external applications (e.g. as plant substrate and tennis sand). According to companies, landfilling of broken ware from firing is not carried out. The amount of mineral residues/ waste for landfilling is estimated at less than 1%. In exceptional cases generated wastewater might be reused as mixing water in the preparation of raw materials.

In principle, the use of externally-generated residues/waste such as homogeneous brick fractions and brick material from demolition works in the preparation of raw materials is possible, but the potential is currently estimated as very low. For the reutilization in the production process, a good separation of the demolition fractions is essential, since high contents of sulphate or lime from other construction materials (e.g. cement) make their reutilization in the brick-production impossible.

The potential for using recycled materials from other industry areas (e.g. sludge from the manufacture of household or sanitary ceramics) is also considered low. Some reasons for this are, for example, transport costs or quality requirements.

Minimal potential for material savings is currently seen in the addition of additives for the reduction of the susceptibility to dry-braking of brick blanks. Further research activities are ongoing in this area.

Regarding the product design, a clear reduction in the amount of material per brick has been achieved in the last years, owing to the continuous optimization of brick products. A reduction of the weight-to-surface area ratio can be achieved without compromising strength through the use of new simulation software (Finite Elemente Methode, FEM).

The sector-wide potential for increasing material efficiency is estimated as rather low for most measures. Potential is still seen in the separation of brick fractions as well as in the utilization of brick and cement waste in other industrial areas.

Wall and floor tiles

In the year 2013, the German tiles industry used around 1 million tons of specialized clay and 0,2 million tons of kaolin for the production of tiles. For 2015, raw material usage is estimated at around 900.000 – 950.000 tons per year.

In the tile industry, more than 95% of the residual materials used in the manufacture of stoneware tiles can be reprocessed internally and, for the most part, reutilized in the production. The mass residues, dusts and dry broken fractions generated during production are usually reutilized in the preparation of raw materials. However, the amount of material that can be reused depends on the quality and, mainly, on the colour requirements of the tiles to be produced, so that appropriate intermediate storage for the residues is required. Up to 4 % of the fired broken ware generated during production (around 5 – 10% of the production volume) can be reutilized in the production of earthenware and stoneware tiles after appropriate internal processing. From the manufacture of porcelain tiles only very little to nothing of the fired broken ware can be currently reused, since this fraction cannot be processed (ground) internally and an external processing with subsequent reutilization is still problematic from a logistic point of view. Therefore, the broken ware arising from the production of porcelain tiles is recycled externally.

The amount of landfillable mineral residues/waste from production is estimated at less than 1%. Wastewater is not usually generated in the production of tiles.

The potential for further material savings through the design of thinner tiles is regarded as low, since already in the last years thinner and thinner tiles have been produced. A further reduction would lead to lower quality and to problems when laying the tiles.

Particularly in the field of decoration tiles, there have been changes in the last years. Many companies have switched from rotary printing to digital printing going through screen printing. In digital printing, ceramic inks can be used instead of decorative pastes, so that only around 20% of the raw material previously needed is used. Moreover, broken ware can be reduced with digital printing because the mechanical load on the tile is eliminated.

Currently, development activities aim to apply digital printing also for glazing and engobing, whereby material savings could be achieved through the minimization of losses.

Based on the current status, the sector-wide potential for most measures is estimated as rather low. In principle, potential is still seen for the internal reutilization of broken ware in the production of porcelain tiles, as well as for the use of digital printing for glazing. Furthermore, there is also still potential for the processing and recycling of broken ware in other industry sectors. Tile manufacturers, however, have no influence on this.

Refractory products

In 2015, the German refractories industry produced approximately 760.000 and 660.000 tons of shaped and unshaped refractory products, respectively, whereby around 1 million tons of raw materials were used in the production of the shaped refractory products. In this report, only the fired shaped refractory products are considered, which represent approximately 60% of the total shaped products.

The residual mass material arising during production and the broken ware from firing represent around 5% of the material used. A large portion is returned to the production process (around 3% of the used material), and the remainder is processed externally or disposed of in small quantities. The amount of landfillable mineral residues/waste from the production is estimated at less than 1 %. In exceptional cases, the wastewater produced is reused as mixing water in the preparation of raw materials.

With regard to material efficiency in the refractories industry, potential is still seen in the utilization of furnace lining material. Currently, around 20% of the furnace lining material (high-quality refractory material with low levels of impurities) is recycled and reused in the refractories industry. Higher quantities would be possible in principle, but are not feasible due to, on the one hand, ancillary legal conditions related to waste management and, on the other, to quality requirements of the material. A good separation of the furnace lining material is essential for a high-quality reutilization, but this is still only possible to a limited extent due to the variety of starting materials used and their compositions.

Recycled materials from other industry branches are also used in small quantities, like, for example, insulation and porcelain broken ware or lignin sulfonate (a byproduct of paper production). These are used as binding material. However, the potential of using recycled materials from other industry branches is low because the raw materials used must have special refractory properties so as not to reduce the lifespan and the quality of the products.

Thanks to continuous research and development efforts, the usage of refractory materials in various branches of industry could be significantly reduced in the last years through, for example, higher chemical resistance and thus higher durability. This is also an important aspect of material efficiency, and potential is still seen in this area.

The sector-wide potential for increasing the material efficiency in the refractories industry is estimated as rather low for most measures. Sector-wide potential is seen for the reutilization of external residues as well as for the development of further measures to improve the interaction of chemistry, mechanics and reaction kinetics to increase the durability of refractory products.

Sanitary ceramics

In 2014, the German sanitary industry used approximately 34.800 – 40.600 tons of raw materials (mostly kaolin, clay, quartz, and feldspar) to produce around 29.000 tons of sanitary ceramic products such as toilets, urinals, bath tubs, shower trays and bidets.

The residual materials generated during production are either reutilized directly in the production process, sent for external recycling, or disposed of. Almost 100% of the generated mass residues, dry broken ware and some of the sludges are returned to the preparation of raw materials. The remaining sludges and dusts are used externally or disposed of. The annual amount of broken ware from firing lies under 10% of the used materials, whereby the generated white broken ware (around 80% of the fired broken ware produced) is utilized almost to 100% (internally or externally). Coloured broken ware, on the other hand, is utilized externally or disposed of. The amount of residual material generated during production that is subsequently disposed of externally lies under 10%. Wastewater produced during the preparation of bulk materials, glazing and postprocessing is mostly reprocessed and reintroduced into the production line. The rest is sent to the sewage treatment plant.

The use of external secondary raw materials does not currently take place and is not considered likely in the future due to the high-quality requirements.

Thanks to the development of new formulations (e.g. based on aluminium oxide and titanium dioxide), thinner products could be produced in the last years, thereby reducing the material usage in selective single-product groups (e.g. designer washstands) by up to 25%. However, the potential for further material savings through the development of new formulations for the manufacturing of thinner products is currently regarded as low, since these formulations are only suitable for particular products.. One possibility to further reduce the amount of rejects has been identified in the use of advanced analytical techniques to improve the mixture of raw materials. Further developments are continuously carried out in this area. The use of plaster moulds could be significantly reduced in the last years thanks to the transition to the die casting process in areas where this resulted economically feasible. No further potential is seen in this area. In the last years, many research activities and new developments focused on further optimizing the drying and firing processes. However, most of these approaches (e.g. thermography and microwave technology) have not gained acceptance due to their very high investment costs.

Overall, the sector-wide potential for most measures is currently seen as low. Potential for further increasing material efficiency is still observed in the utilization of plaster moulds and in the recovery of glaze, which is currently not collected directly but instead reaches the wastewater treatment plant in wastewater. Further opportunities for increasing material efficiency must be identified and exploited in a company-specific manner.

Tableware ceramics

Around 72.000 tons of tableware ceramic products are produced in Germany annually. The most important raw materials are kaolin, feldspar, and quartz. The exact used quantities of these materials are unknown. In one example, it is mentioned that 1.324 kg of kaolin and feldspar are needed to produce 1 kg of household ceramics.

In the tableware ceramics sector, the use of ready-to-use pressed granules and, to a lesser extent, the use of prefabricated cast and moulding materials obtained by companies from external manufacturers have been widely established in recent years. Depending on the quality and purity, and after appropriate treatment, mass residues, dusts, sludges, dry and incandescent broken ware arising during production can be reintroduced into the production line or returned to the manufacturer. The exact amount of residues or production waste could not be determined. It has been estimated that less than 2% of the materials is converted to dusts or sludges and that the amount of broken ware from firing is less than 20%. The amount of residues generated during production and disposed of externally is estimated as less than 10%. Wastewater from the process that is generated during the preparation of raw materials, glazing, decoration and postprocessing is mostly reprocessed and reintroduced into the production line. The remaining amount is sent to the wastewater treatment plant.

The use of external waste from other industry branches does not usually take place due to the high purity requirements. Future potential is also seen in this area.

In the tableware industry, product size is often small. The substitution of the current plaster moulds by die casting is therefore not feasible in this case, and plaster moulds are thus still used. Potential is still seen in the reutilization of plaster moulds as well as in the area of drying and firing. The number of rejects during the drying and firing processes can be further reduced through the utilization of simulation programs (finite element methods) and new software for process control. The optimization of burning aids with respect to materials, geometry and utilization itself can contribute to reduce the amount of burning aids needed as well as the number of rejects during firing. Further potential is also seen in the reprocessing of process waste for its utilization in other industry areas outside the production of ceramics and in the training of personnel

The sector-wide potential for increasing the material efficiency is currently considered to be rather low for most measures. Potential is seen in the areas mentioned above. Further room for improvement is possible, but is not currently feasible due to significant obstacles. Potentials must be identified and implemented on a company-specific basis.

Substitution of fossil fuels

In many areas, fossil fuels have already been substituted by alternative energy sources such as biogas, synthetically-produced gas and gas from landfills. Within this project, possible alternatives to conventional fossil fuels have been identified in biogas and synthetic gas (syngas, Power-to-Gas). Due to various factors such as the variety of materials used and the quality of products, potential has been seen only in the utilization of synthetically-produced syngas in some subsectors of the ceramics industry. However, the production of syngas is currently too expensive to make its large-scale utilization feasible.

Further developments compared to the BREF 2007

Regarding the material efficiency, it was found that the technologies presented as BAT and measures from the BREF 2007 are still considered as state-of-the art or are still under development. A few technologies considered in the BREF 2007 have not gained general acceptance, such as for example the use of sludge from the manufacture of sanitary ceramics or the use of microwave technologies. Newly established technologies are, for example, the use of digital printing in the decoration of tiles. The use of syngas has been identified as a new method for the substitution of primary raw materials that would not pose major technical or qualitative disadvantages. However, its utilization is not yet economically feasible due to the current high costs.

Derivation of recommended actions

Based on the identified measures, recent developments and the current obstacles for fully exploiting the potential for material efficiency, the following recommendations for action have been derived for industry, politics and associations:

- ▶ Promotion and expansion of research, development and networking,
- ▶ Enhanced marketing for sustainable, resource-efficient products,
- ▶ Improvement of logistics to facilitate the utilization of recycled materials in other industry sectors,
- ▶ Adaptation or amendment of the legal regulations to facilitate the reutilization of residues currently classified as waste,
- ▶ Development of guidelines for the assortment of residues to simplify the reutilization of secondary raw materials recovered through separation,
- ▶ Raising awareness of resource efficiency,
- ▶ Educational initiatives on material efficiency during product manufacturing.

Conclusions

The material efficiency in the considered subsectors of the ceramics industry is regarded as overall high. Continuous developments have taken place in many areas during the last years to use raw materials as efficiently as possible and to keep the amount of materials that must be externally-processed or disposed of as low as possible.

While dusts and residues generated before firing can be reused in most sectors in the production process (preparation of raw materials) without major difficulties and without the need for additional treatment steps (except in sanitary and tableware ceramics), the reutilization of broken material that

has already been fired is only partially possible due to the transformation process that takes place during firing. An efficient separation and recovery of dusts and residues is necessary to avoid a reduction in the quality of the ceramic material.

Significant efforts have been undertaken in all the ceramic sectors investigated to increase the amount of waste that is reused internally so as to maximize raw material efficiency.

Besides the application of internal residues, tests were also carried out in almost all sectors to utilize secondary raw materials from other ceramics manufacturing processes or from the reprocessing of broken ware instead of primary raw materials. In principle, the utilization of selected secondary raw materials is possible for most sectors, but the fact that secondary raw materials are not available in sufficient quantities and with enough quality for long-term periods constitutes a major problem. Another problem which is especially relevant for the refractories industry is the classification as waste of the generated residues, which often stands in the way of reutilization and treatment.

In the last years, much research and adaptation has been carried out in the area of product design in almost all the sectors investigated. Due to the increasing prices of raw materials, product design and shaping has been optimized in almost all areas in such a way that as little material as possible is required per product while maintaining the same quality. Some examples include the production of thinner tiles or hollow bricks. In many cases, however, limits have already been reached. Further reduction would influence the quality of products (reduced strength) or lead to losses in their application (breaking of tiles during laying). There is still some potential in some areas with the utilization of new simulation software.

Thanks to a continuous optimization of the drying and firing processes in recent years, reject rates have been significantly reduced in all sectors. Future potential is seen in some sectors such as the optimized use of burning aids and the utilization of simulation software. Further knowledge about the behaviour of the materials used (e.g. flow behaviour) can be obtained with the use of simulation software.

For the glazing, engobing and decorating steps, most potential has already been exhausted. In all the areas investigated, input materials are recirculated as much as possible and sludges are returned to the production line. Only in the sanitary ceramics sector some potential was observed for the recovery of glaze. There have been recent developments in the decorating area of the tiles industry in recent years. The conventional application methods (rotary printing, screen printing) have been replaced in many cases by digital printing, which has led to material savings. Future potential for the application of digital printing in the glazing process is seen in this area. Research is currently being carried out in this regard.

For postprocessing, potential for increasing material efficiency has been identified in some sectors through the use of dry grinding. However, these savings represent very small quantities.

The highest potential was identified in the assortment and collection of demolition waste for higher-value recycling. However, this lies outside the scope of production.

Regarding the substitution of conventional fuels, further research is needed for future use of alternative fuels and the corresponding saving of conventional fuels.

Overall, potential to increase the material efficiency across various companies was identified in a few measures. Further potentials are often possible, but are currently not feasible due to major obstacles or must be determined and implemented on a company-specific manner.

Therefore, recommendations for action have been derived for industry, politics and associations, whose implementation can further exploit the potential for increasing material efficiency in the ceramics industry.

1 Hintergrund und Zielsetzung

Hintergrund

Mit Blick auf den fortschreitenden weltweiten Anstieg des Ressourcenverbrauchs und den damit verbundenen Kosten sowie der begrenzten Rohstoffe stehen vor allem ressourcenintensive Industrien vor zukünftigen Herausforderungen.

Eine sehr ressourcenintensive Industrie ist die keramische Industrie, in der große Mengen an natürlichen Rohstoffen wie z.B. Tone aber auch synthetisch hergestellte Stoffe, wie z.B. Aluminiumoxid, eingesetzt werden. Durch den erforderlichen Brennprozess werden zudem große Mengen an fossilen Brennstoffen (insbesondere Erdgas) verbraucht.

Aufgrund der geänderten Randbedingungen (z.B. steigende Energiepreise, Rohstoffknappheit, gesetzgeberische Aktivitäten) fanden in den letzten Jahren bereits verstärkt Forschungs- und Umsetzungsaktivitäten in der keramischen Industrie statt, um die Produktionsprozesse insgesamt effizienter und nachhaltiger zu gestalten. Es werden aber immer noch Innovations- und Entwicklungspotenziale im Hinblick auf Effizienz-, Substitutions- und Recyclingmaßnahmen entlang der gesamten Wertschöpfungskette gesehen. Vor allem durch die weitere Optimierung des Rohstoffeinsatzes, der internen Recyclingprozesse und den verstärkten Einsatz von Sekundärroh- und Brennstoffen kann der Ressourcenverbrauch von Primärrohstoffen weiter reduziert und somit die Auswirkungen auf die Umwelt gesenkt werden. Gleichzeitig können diese Maßnahmen auch zu Kosteneinsparungen führen, die Wettbewerbsfähigkeit erhalten und so zur Standortsicherung kleiner und mittelständischer Unternehmen in Deutschland beitragen

Zielsetzung

Wesentliches Ziel des Projektes war es, konkrete Daten und Beispiele für fortschrittliche produkt- und produktionsintegrierte Maßnahmen zur Steigerung der Materialeffizienz in ausgewählten Teilsektoren der Keramikindustrie zu recherchieren und zu dokumentieren.

Der Fokus des Projektes lag dabei insbesondere auf folgenden Aspekten der Materialeffizienz:

- ▶ Substitution von Primärrohstoffen (z.B. Kreislaufführung von Produktionsabfällen, Einsatz von Abfällen als Rohmaterialien, Einsatz von Recyclingmaterial)
- ▶ Substitution fossiler Brennstoffe (z.B. durch Einsatz von Abfallbrennstoffen und nachwachsenden Rohstoffen)
- ▶ Recycling von Produktionsabfällen und Reststoffen
- ▶ neue Produktentwicklungen.

Von besonderer Bedeutung waren dabei ganzheitliche Anlagenkonzepte und innovative Ansätze zur Steigerung des Einsatzes von Recyclingmaterial. Medienübergreifende Aspekte wurden soweit vorhanden in den Betrachtungen mitberücksichtigt.

Folgende Keramikteilsektoren wurden hierzu detailliert untersucht:

- ▶ Ziegel,
- ▶ Wand- und Bodenfliesen,
- ▶ Feuerfeste Produkte und
- ▶ Sanitär- und Geschirrkераmik.

Für jeden Teilsektor wird ein ausführlicher Überblick über die aktuelle Praxis sowie aktuelle und geplante Forschungs- und Umsetzungsaktivitäten - inklusive deren Grenzen und Entwicklungspotenziale, gegeben.

Weiterhin wurde eine sektorweite Analyse von Zukunftsperspektiven je Teilsektor durchgeführt, die die Identifikation von noch bestehenden Potenzialen zur Steigerung der Materialeffizienz als auch die Ermittlung von Hemmnissen zur Ausschöpfung der identifizierten Potenziale beinhaltet.

Abschließend wurden Handlungsempfehlungen aus den Ergebnissen der Studie abgeleitet. Die Empfehlungen können sowohl an die betroffenen Unternehmen (Anlagenbetreiber, Anlagenhersteller) oder Verbände, an Forschungseinrichtungen als auch an die Politik gerichtet sein. Die Handlungsempfehlungen beinhalten konkrete Maßnahmen, die als erforderlich angesehen werden, um die noch bestehenden Potenziale zu realisieren und die damit verbundenen Ressourcen- und soweit möglich auch Kosteneinsparungen zu erreichen.

Darüber hinaus wurde der derzeitige Stand der Technik in den betrachteten Teilsektoren in Deutschland mit den BVT-relevanten Informationen aus dem BVT-Merkblatt 2007 verglichen. Dabei wurden Maßnahmen herausgearbeitet, die sich in den letzten Jahren zum Stand der Technik entwickelt haben oder die das Potential haben, sich weiter zum Stand der Technik zu entwickeln

Die Ergebnisse des Projektes werden in die nationalen Strategien und Bemühungen zur Ressourcenschonung einfließen.

2 Was ist Materialeffizienz?

Der Begriff „Effizienz“ beschreibt das Verhältnis zwischen dem erreichten Ergebnis und den eingesetzten Ressourcen“ (ISO 9000:2000). Vereinfacht ausgedrückt versteht man somit unter Materialeffizienz das Verhältnis der im erzeugten Produkt enthaltenen Materialmenge zu der für die Herstellung eingesetzten Materialmenge.

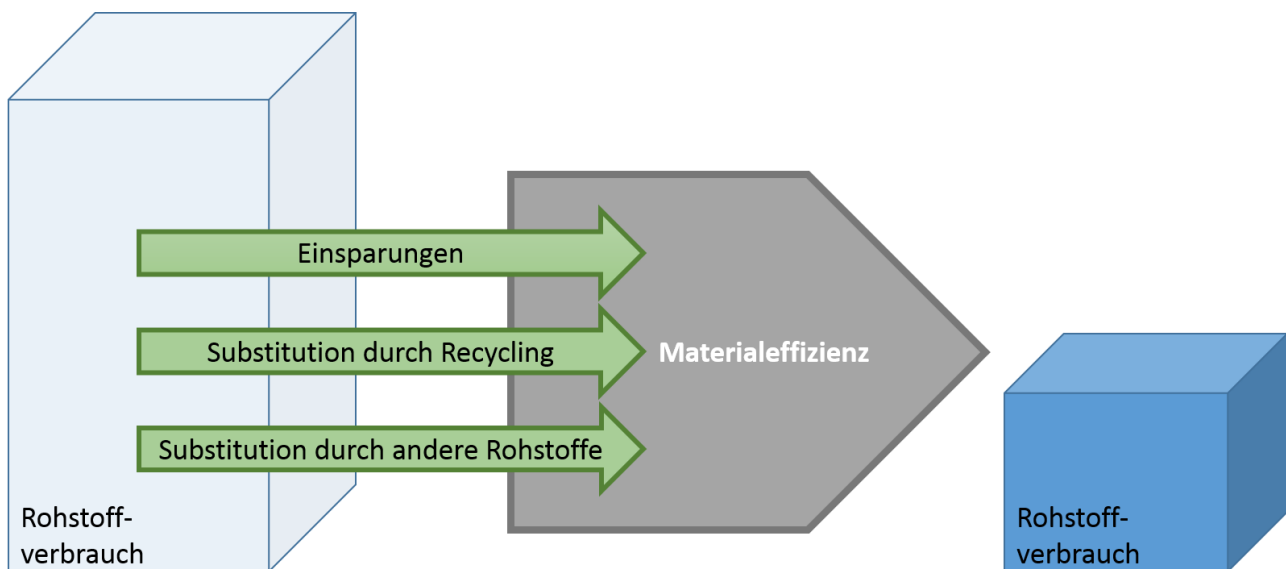
Materialeffizienz ist vor allem vor dem Hintergrund knapper werdender Ressourcen und den damit einhergehenden steigenden Rohstoffpreisen ein wichtiger Aspekt in der modernen Unternehmenspolitik. Nach Angaben des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMUB) beträgt der Kostenanteil für Roh-, Hilfs- und Betriebsstoffe durchschnittlich etwa 40 Prozent des Bruttoproduktionswertes für produzierende Unternehmen in Deutschland. Untersuchungen zeigen zudem, dass im Durchschnitt bis zu 20 Prozent der Materialkosten durch technische Modernisierung eingespart werden können¹.

Eine Erhöhung der Materialeffizienz kann durch verschiedene Maßnahmen erreicht werden wie zum Beispiel durch Verringerung des Ausschusses, durch reduzierten Einsatz von Hilfsstoffen oder durch die Optimierung des Produktes bzw. Produktionsprozesses.

Nach Biebeler (2014) können die Maßnahmen zur Steigerung der Materialeffizienz in folgende drei Kategorien eingeteilt werden:

- ▶ Einsparungen
- ▶ Substitution durch Recycling
- ▶ Substitution durch andere Stoffe

Abbildung 1: Drei Wege zur Steigerung der Materialeffizienz



abgeändert nach Biebeler (2014)

¹ <http://www.umweltinnovationsprogramm.de/foerderschwerpunkte/materialeffizienz-in-der-produktion>, aufgerufen am: 19.8.2016

Sowohl die Einsparung von Rohstoffen durch innovative Technologien und Produktentwicklungen als auch die Substitution von primären Rohstoffen durch Recyclingstoffe sowie die direkte innerbetriebliche Kreislaufführung (Recycling) tragen zur Steigerung der Materialeffizienz bei und führen zu einem verringerten Verbrauch an Primärrohstoffen.

Die Substitution von Rohstoffen mit anderen Stoffen führt nicht immer zu einer direkten Steigerung der Materialeffizienz, aber sie kann durch geeignete Alternativstoffe die Nachhaltigkeit des Produkts erhöhen und z.B. durch eine erhöhte Lebensdauer auch indirekt zur Materialeffizienz beitragen. Hierzu zählt ebenfalls die Substitution von fossilen Brennstoffen durch erneuerbare Brennstoffe. Folglich kann über diese Faktoren die Materialeffizienz direkt und indirekt gesteuert und damit auch gesteigert werden.

Ziele zur Steigerung der Materialeffizienz (z.B. Senkung der Ausschussrate, Erhöhung des Anteils an Recyclingmaterial pro Tonne produziertes Produkt) sind inzwischen auch fester Bestandteil von Unternehmensstrategien und Nachhaltigkeitsberichten, die v.a. größere Unternehmen jährlich veröffentlichen. Dabei beschränken sich immer mehr Firmen nicht nur auf die eigenen Produktionsprozesse, sondern betrachten die gesamte Lieferkette.

Ein effizienterer Materialeinsatz in der Produktion ist somit nicht nur ein wichtiger Beitrag zur Schonung der natürlichen Ressourcen – welcher demzufolge zu einer Umweltentlastung führt - sondern auch zur Wirtschaftlichkeit von Produktionsabläufen. Darüber hinaus können Maßnahmen zur Steigerung der Materialeffizienz auch aus der Kundenperspektive interessant sein, wenn durch optimierte Produktionsprozesse die Eigenschaften und die Qualität der Produkte verbessert bzw. neue Produkte entwickelt werden.

3 Informationsermittlung und -evaluierung

Um die in Kapitel 1 beschriebenen Ziele zu erreichen, wurden im Rahmen des Projektes folgende Schritte durchgeführt:

- ▶ Bestandsanalyse,
- ▶ Recherche und Identifizierung von technologischen Weiterentwicklungen in der Materialeffizienz,
- ▶ Diskussion und weitere Datenermittlung in zwei Workshops und vier bilateralen Gesprächen,
- ▶ sektorweite Perspektivanalyse; Aufzeigen von Potenzialen und Hemmnissen,
- ▶ Identifikation von Weiterentwicklungen im Vergleich zum Stand des BVT-Merkblattes 2007.

Im ersten Schritt wurde eine Bestandsanalyse der angewandten Technologien/Maßnahmen im Hinblick auf die Materialeffizienz in den ausgewählten Teilsektoren der Keramikindustrie durchgeführt. Als Ausgangspunkt zur Ermittlung des Standes der Technik diente das BVT-Merkblatt des Jahres 2007, in dem sowohl allgemeine als auch sektorspezifische BVT zur Minimierung von Prozessverlusten/Abfällen enthalten sind. Weiterhin wurden über entsprechende Fragebögen und Expertengespräche Informationen ermittelt, inwieweit sich der Stand der Technik in den letzten Jahren verändert hat.

Die gewonnenen Informationen dienten als Ausgangsbasis zur Bestimmung von weiteren Materialeffizienzsteigerungspotentialen durch Entwicklungen innerhalb der letzten 5-10 Jahre. Dies beinhaltete die Recherche von bereits abgeschlossenen, zurzeit laufenden und geplanten Forschungsvorhaben und Pilotprojekten.

Wesentliche Informationsquellen für dieses Projekt waren

- ▶ verfügbare Fach- und wissenschaftliche Literatur,
- ▶ Internet, insb. Internetplattformen zu Ressourceneffizienz und
- ▶ Expertenwissen von relevanten Industrieunternehmen, Industrieverbänden und Forschungsinstitutionen und sonstigen Experten.

3.1 Internet- und Literaturrecherche

Im Rahmen einer systematischen Internet- und Literaturrecherche wurden zahlreiche Universitäten, Institute, Behörden, Technologiehersteller und Internetplattformen identifiziert, die relevante Informationen in Hinblick auf eine Steigerung der Materialeffizienz in der keramischen Industrie veröffentlichen. Der Schwerpunkt lag im deutschsprachigen Raum. Aber auch europäische und internationale Publikationen und Internet-Plattformen auf aktuelle Entwicklungen im Bereich neuer Technologien, Optimierung von Prozessabläufen zur Steigerung der Materialeffizienz sowie des Einsatzes von nicht fossilen Brennstoffen sind hinzugezogen worden. Relevante Institute und andere Experten (z.B. Technologiehersteller) wurden ebenfalls identifiziert, die über Informationen zum aktuellen Stand der Technik in den jeweiligen Teilbereichen verfügen.

Industrieverbände, Unternehmen und Institute sind intensiv in die aktuelle Forschung eingebunden und veröffentlichen auf ihren Webseiten Informationen über Publikationen, Forschungsprojekte sowie den entsprechenden Verbundpartnern. Daher standen auch diese Akteure im Fokus der Recherche..

So fördern z.B. das BMBF und das Institut für Ziegelforschung Essen e.V. (IZF) viele Forschungsprojekte und liefern eine Vielzahl an Informationen über Projekte zur Materialeffizienz. Des Weiteren waren Verbundprojekte von besonderem Interesse, da neben Forschungseinrichtungen auch Hersteller der Keramikindustrie und Anlagenbauer involviert sein können.

Im Zuge der Recherche wurden auch Nachhaltigkeitsberichte und Umwelt-Produktdeklarationen von

Firmen der relevanten Teilsektoren mit aufgenommen, welche zusätzlich zu den Forschungsergebnissen der Projekte als Informationsquelle für die Darstellung des Standes der Technik sowie für realisierte und geplante Techniken und Methoden zur Effizienzsteigerung dienten. Weiterhin waren auch Hersteller von Brennöfen, Glasuren, Pressen oder Trocknungsanlagen für die keramische Industrie von Interesse, da diese ebenfalls Auskunft über aktuelle und zukünftige Entwicklungen hinsichtlich der Materialeffizienz in ihrem Bereich geben können.

Die identifizierten Informationsquellen wurden auf den Stand der Technik und die derzeitigen und zukünftigen Entwicklungen in der Materialeffizienz in den ausgewählten Sektoren der Keramikindustrie auf ihre Relevanz geprüft und ausgewertet.

Die Literaturrecherchen wurde über den gesamten Projektzeitraum fortgesetzt.

3.2 Experten-Befragung

Um das Wissen zum aktuellen Stand der Technik, Implementierungsgrad neuer Techniken sowie zukünftig geplante Maßnahmen in der Industrie zu erweitern, wurden zusätzlich Experten-Befragungen durchgeführt. Hierzu ist ein Fragebogen für Keramikproduzenten sowie ein Fragebogen für Forschungsinstitute erstellt worden.

Die Fragebögen umfassen u.a. Fragen zu:

- ▶ verwendeten Rohstoffen,
- ▶ anfallenden Abfällen,
- ▶ bereits implementierten bzw. geplanten Techniken/Maßnahmen zur Materialeffizienzsteigerung,
- ▶ bereits implementierten bzw. geplanten Forschungsvorhaben
- ▶ Hemmfaktoren,
- ▶ Umsetzungsmotivationen sowie zu
- ▶ noch bestehenden Materialeffizienzpotentialen.

Der Fragebogen für die Zielgruppe „Keramikproduzenten“ wurde an die relevanten Industrieverbände verschickt mit der Bitte um Weiterleitung an die entsprechenden Produzenten. Die Verteilung des Fragebogens an die Zielgruppe „Forschungsinstitute“ erfolgte an relevante Institute, Forschungsgemeinschaften und Universitäten, die sich mit Keramik, Materialeffizienz und neuen Werkstofftechniken beschäftigen. Diese Vorgehensweise war allerdings nicht sehr erfolgreich, was sich durch geringe Rückläufe der Fragebögen bemerkbar machte. Insgesamt wurden zwei Fragebögen von Produzenten und ein Fragebogen von einer Forschungseinrichtung beantwortet. Um dennoch einen möglichst vollständigen Überblick über den Status quo in den relevanten Teilsektoren der Keramikindustrie zu erhalten, wurde eine sehr detaillierte Literaturrecherche ausgeführt und die Verbände noch stärker mit einbezogen.

3.3 Workshops und weitere Projektgespräche

Nach einer Darstellung der ersten Ergebnisse im 1. Zwischenbericht wurden die betroffenen Verbände und Institute zu einem **ersten Workshop** eingeladen um dort die Ergebnisse zu diskutieren und gemeinsam nach Lösungen zu suchen, wie die Industrie und weitere Interessensvertreter besser in das Projekt einbezogen werden können ohne die einzelnen Experten mit zu großem Aufwand zu belasten.

Auf dem Workshop wurden die identifizierten Informationen zum Stand der Technik sowie Techniken und Maßnahmen zur Steigerung der Materialeffizienz den Teilnehmern vorgestellt. Anschließend wurde über den aktuellen Stand der Technik, der Eignung vorhandener sowie neuer Maßnahmen zur Steigerung der Materialeffizienz, die Vor- und Nachteile und die Akzeptanz dieser diskutiert.

Referenzanlagen konnten weder durch die Literaturrecherche noch durch die Expertenbefragung ermittelt werden. Dafür wurde vereinbart, bilaterale Gespräche mit Vertretern der relevanten Verbände, Firmen und angewandter Forschung durchzuführen, um so noch detailliertere Informationen zu Maßnahmen, Materialeffizienzsteigerungspotentialen, Hemmnissen und Lösungsansätzen zu erhalten bzw. diese zu diskutieren.

Daraufhin erfolgten **4 bilaterale Fachgespräche**, auf denen die Ergebnisse mit all den soweit identifizierten Informationen weiter diskutiert und zusätzliche Informationen erhalten wurden.

Folgende Verbände bzw. Firmen waren bei diesen Fachgesprächen vertreten:

- ▶ Ziegel: Bundesverband der Deutschen Ziegelindustrie
- ▶ Wand- und Bodenfliesen: Bundesverband Keramische Fliesen e.V. und 6 Firmenvertreter aus der Fliesenindustrie
- ▶ Feuerfeste Produkte: Verband der Deutschen Feuerfest-Industrie e.V. (VDFFI), Forschungsgemeinschaft Feuerfest, Hochschule Koblenz
- ▶ Sanitär- und Geschirrkераmik: Verband der keramischen Industrie e.V. (BVKI), Fachgruppe Geschirr- & Zierporzellan, Fachverband Sanitärkeramik (FSKI) und zwei Firmenvertreter aus der Geschirrkераmikindustrie

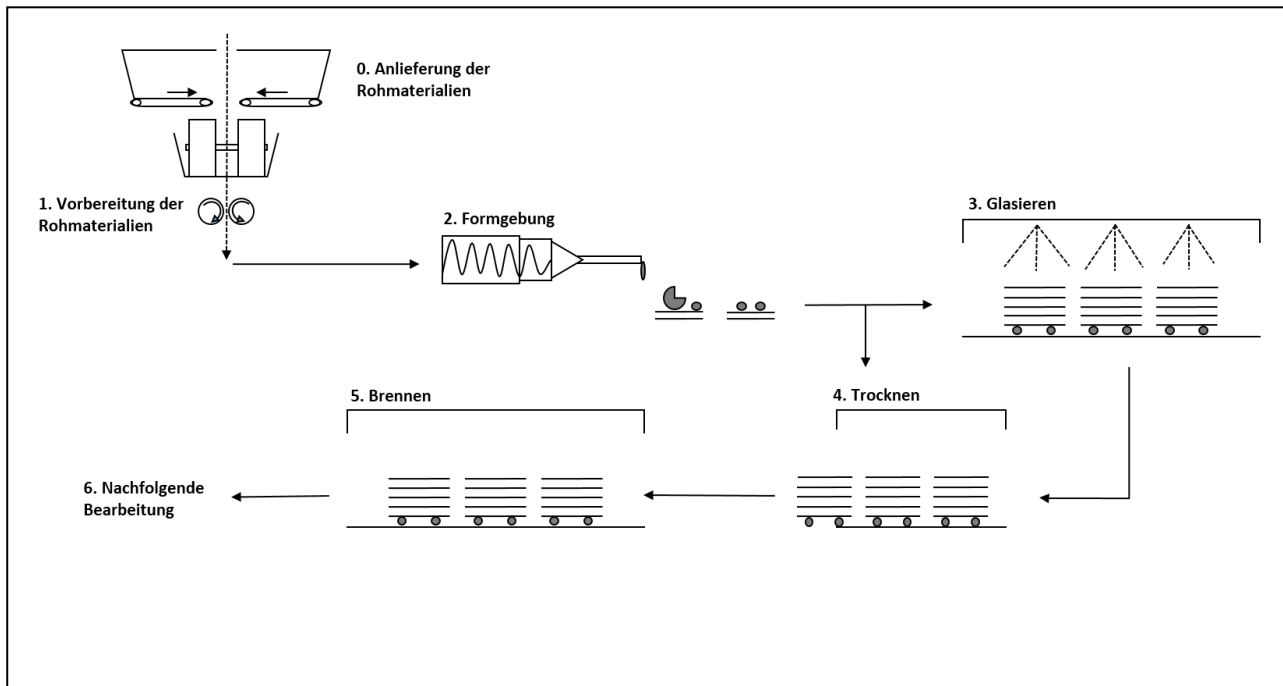
Die zusätzlich erhaltenen Informationen und Literaturquellen wurden ausgewertet und in die Informationssammlung und Ergebnisdarstellung eingearbeitet.

Die so gewonnenen Ergebnisse wurden auf einem **zweiten Workshop** vorgestellt und diskutiert. Ziel dieses Workshops war es vor allem die noch vorhandenen Potentiale zur Steigerung der Materialeffizienz, Hemmnisse sowie mögliche Lösungsansätze zur besseren Ausschöpfung der Potentiale zu diskutieren. Die in dem Workshop gewonnenen zusätzlichen Informationen wurden in den Bericht eingearbeitet. Die Ergebnisse werden in Kapitel 5 dargestellt.

4 Allgemeine Beschreibung des Herstellungsprozesses und mögliche Ansatzpunkte bezüglich der Materialeffizienz

Obwohl die Bandbreite an keramischen Produkten sehr groß ist und die Stoffzusammensetzungen und Eigenschaften der Keramikprodukte teils sehr unterschiedlich sind, ist der allgemeine Herstellungsprozess von keramischen Produkten relativ einheitlich. Abgesehen von einigen Besonderheiten (z.B. Zweifachbrand, Dekoration) sind die wesentlichen Prozessschritte überwiegend gleich:

Abbildung 2: Übersicht Prozesskette in der Keramikindustrie



eigene Darstellung, abgeändert aus [Umweltbundesamt, 2007]

Der wichtigste Prozess in der keramischen Industrie ist das Brennen der Produkte. Das Brennen keramischer Scherben führt zu einer zeit- und temperaturbestimmten Umwandlung der mineralischen Bestandteile, in der Regel zu einem Verbund aus neuen Mineralien und Glasphasen.

Materialverluste während des Herstellungsprozesses von keramischen Produkten treten vor allem durch prozessbedingte Rohstoffverluste (Staub), Bruch vor und nach dem Brand, Schleifrückstände, Schlämme, (Gips)Formen sowie Brennhilfsmittel auf.

Im Folgenden werden die einzelnen Prozessschritte zur Herstellung von keramischen Produkten kurz beschrieben und mögliche Ansatzpunkte zur Materialeffizienzsteigerung aufgezeigt.

4.1 Masseaufbereitung

Im ersten Schritt werden alle Rohmaterialien aufbereitet und homogenisiert. Während dieser Masseaufbereitung können je nach Formgebungsverfahren Pressmassen, bildsame Massen für Extrusion oder Spritzgießen oder Suspensionen für Gießmassen hergestellt werden.

In der keramischen Industrie werden große Mengen an natürlichen Rohstoffen wie Ton, Kaolin oder Quarz eingesetzt. Daneben werden aber auch verschiedene synthetische Rohstoffe, wie Aluminiumoxid sowie Zusatzstoffe (Additive), Bindemittel und dekorative Oberflächenbeschichtungen, die in geringerer Menge eingesetzt werden, verwendet. Für die Aufbereitung der Massen werden z.T. auch große Mengen an Wasser eingesetzt. Wasser ermöglicht die Herstellung einer formbaren Masse aus

den Rohstoffen, während organische Additive durch hohe Zusatzmengen den Trocknungsaufwand reduzieren sollen und dadurch die für die Formgebung benötigten Eigenschaften erreicht werden.

Prozessreststoffe bzw. Staub, die während der Aufbereitung anfallen können in der Regel direkt wieder in den Prozess zurückgeführt werden, da diese thermisch noch nicht verändert wurden.

Aber auch Stäube und Reststoffe aus anderen Produktionsschritten können hier z.T. direkt wieder in den Prozess zurückgeführt werden. Um die Qualität der keramischen Masse nicht zu vermindern ist jedoch z.T. eine sortenreine Trennung und Rückgewinnung von Stäuben und Reststoffen erforderlich.

Während Stäube und Reststoffe, die vor dem Brennvorgang anfallen, typischerweise ohne größere Probleme in den Produktionsprozess wieder eingesetzt werden können (Probleme können hier eventuell verwendete Farbpigmente für bestimmte Massen darstellen), können bereits gebrannte Scherben aufgrund der Umwandlungsprozesse während des Brandes meist nur bedingt wieder in den Produktionsprozess zurückgeführt werden.

Neben der Verwendung von internen Reststoffen können aber auch Sekundärrohstoffe aus anderen keramischen Herstellungsprozessen bzw. aus der Aufbereitung von Abbruchabfällen (z.B. Feinkornfraktion aus Recyclingabfällen) eine Alternative zum Einsatz von Primärrohstoffen in der Keramikindustrie darstellen.

Auch eine optimierte Rohstoffauswahl bzw. Modifikation der keramischen Masse kann Auswirkungen auf die Materialeffizienz haben. So kann z.B. durch den Zusatz von bestimmten Additiven die Bruchfestigkeit/Stabilität der Grünlinge erhöht werden und somit die Produktionsabfälle reduziert werden. Aber auch durch die Vermeidung von bestimmten Rohstoffen/Verunreinigungen (z.B. schwefelhaltige Rohstoffen) kann z.B. die Verwendung von bereits gebrannten Scherben in andere Industriebereichen verbessert werden.

4.2 Formgebung

Abhängig vom Produkt und keramischer Masse werden verschiedene Verfahren zur Formgebung eingesetzt wie z.B.:

- ▶ Pressen (z.B. uniaxiales Pressen, Vibrationspressen),
- ▶ Stampfen,
- ▶ Extrudieren,
- ▶ Drehen und
- ▶ Gießen (z.B. Schlickergießen, Druckgießen, Spritzgießen).

In diesem Prozessschritt besteht, vor allem bei der Auswahl der Formen, ein Potenzial zur Reduzierung der Abfallmengen. Verfahren wie der Schlickerguss in Gipsformen können durch den Schlickerdruckguss mit Polymerformen ersetzt werden. Hierbei wird auf die Verwendung von Gipsformen verzichtet. Außerdem kann eine Rohmaterialeinsparung von bis zu 20% erreicht werden. Bei Verwendung isostatischer Pressen mit Polymerformen entfällt ebenfalls der Bedarf für Gipsformen [Umweltbundesamt, 2007].

Materialeinsparungen können aber auch durch Anpassungen des Produktdesigns wie z.B. dünnere Fliesen, Leichthochlochziegeln oder dünnwandigere Blöcken erreicht werden.

4.3 Glasieren/Engobieren

Glasieren/Engobieren wird bei der Produktion von Ziegeln, Fliesen, Geschirr und Sanitärkeramik angewendet. Bei hochwertigen Glasuren wird häufig ein Zweimalbrand angewandt. Durch Veränderung der Rezepturen oder Brennkurven kann die Anzahl der notwendigen Brände zum Teil reduziert werden.

Um die Materialeffizienz beim Glasieren zu erhöhen, werden z.B. die verwendeten Glasuren im Kreislauf geführt werden.

Aber auch neue Produktionstechniken wie z.B. die Verwendung von keramischen Druckern und Tinten können die Materialeffizienz (und zugleich auch die Energieeffizienz) steigern.

4.4 Trocknung

Nach der Formgebung (und Glasieren) folgt die thermische Behandlung der Rohlinge (Grünlinge). Diese beginnt in der Regel mit der Trocknung zur kontrollierten Entfernung des Wassers und/oder einer Entbinderung, um organische Bestandteile auszutreiben.

Bei der Trocknung kann es vorkommen, dass noch Feuchte im Grünling verbleibt. Im folgenden Brennprozess würde dies zu Brennbruch führen. Durch eine optimierte Prozessführung kann Trocknung optimiert und der somit der Ausschuss reduziert werden.

4.5 Brennen

Der Brand ist der Kernprozess der keramischen Produktion. Abhängig vom Produkt werden die Formkörper (Grünlinge) entweder direkt über entsprechende Fördersysteme (Laufbänder) in den Brennofen befördert oder auf Platten positioniert, die durch den Aufbau als Stapelsystem den Raum des Ofens optimal ausnutzen. Es kommen sowohl periodische Öfen (Kammer- und Ringofen), die kalt bestückt und nach dem Abkühlen wieder ausgeräumt werden, als auch kontinuierliche Öfen (Tunnel- und Rollenofen), die fortlaufend betrieben werden, zum Einsatz. Der Brennprozess findet nach einer genau festgelegten Brennkurve statt beginnend mit einer Aufheizzone, darauffolgend eine Brennzone und abschließend eine Kühlzone. Dieser Prozess ist der energieintensivste der Keramikproduktion.

Einige keramische Produkte benötigen für den Brennvorgang Brennhilfsmitteln (BHM) wie z.B. Abstandhalter. Durch entsprechende Optimierung/ Modifikation von BHM kann ebenfalls der Energie- und Materialverbrauch reduziert werden.

Weitere Ansatzpunkte im Hinblick auf die Materialeffizienz sind z.B. optimierte Beschickungsverfahren oder eine optimierte elektronische Steuerung des Brennprozesses, um den Ausschuss möglichst gering zu halten. Aber auch der Einsatz von Sekundärbrennstoffen liefert einen Beitrag zur Erhöhung der Materialeffizienz.

Während des Brennprozesses findet eine Umwandlung der mineralischen Bestandteile, in der Regel zu einem Verbund aus neuen Mineralien und Glasphasen statt. Eine interne Verwertung des während bzw. nach dem Brennprozess anfallenden Bruchs im Produktionsprozess ist deshalb meist nur bedingt möglich.

4.6 Nachbehandlung

Einige der keramischen Produkte werden nach dem Brand noch nachbehandelt (z.B. auf Maß schleifen (rektifizieren) von Fliesen). Bei diesen Prozessen entstehen ebenfalls Abfälle wie z.B. Schleifschlämme und -stäube oder Ausschuss. Abhängig von der anfallenden Menge werden diese zum Teil intern wiederverwendet (Zugabe zur keramischen Masse) bzw. extern verwertet/beseitigt.

Eine Möglichkeit der Materialeinsparung in diesem Bereich wäre z.B. die Anpassung des Produktionsprozesses, so dass eine Nachbehandlung nicht mehr erforderlich ist bzw. minimiert werden kann.

4.7 Zusammenfassung und Bezug zum BVT-Merkblatt 2007

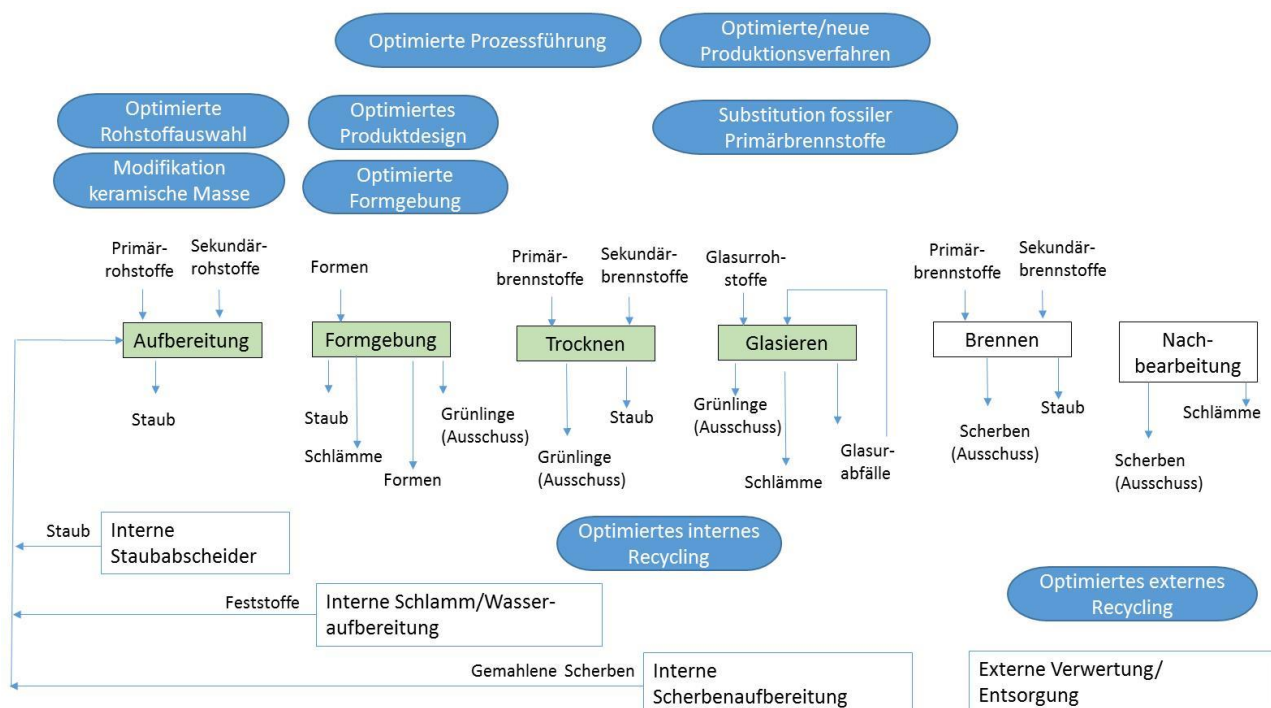
Prozessverluste aus der Herstellung von keramischen Produkten umfassen hauptsächlich unterschiedliche Arten von Schlämmen, Ausschuss (ungebrannt/gebrannt), gebrauchte Gipsformen und feste Rückstände (z.B. Staub).

Je nach Produktspezifikationen und Prozessanforderungen können Prozessverluste häufig innerhalb der Anlage aufbereitet und direkt wiederverwendet werden. Für Materialien, die nicht innerhalb der Anlage wiederverwendet werden können (z.B. gebrannter Bruch), besteht zum Teil die Möglichkeit diese nach entsprechender Aufbereitung (intern oder extern) in anderen Industriezweigen einzusetzen. Die wichtigsten Produktionsprozesse und Ansätze zur Steigerung der Materialeffizienz sind in Abbildung 3 dargestellt.

Im BVT-Merkblatt 2007 werden dabei am ausführlichsten Maßnahmen zur Substitution von Rohstoffen durch die Kreislaufführung von Rohware, Bruch und aufbereiteten Abfällen beschrieben.

Aufgrund der Vielfältigkeit der eingesetzten Rohstoffe und produzierten Produkte sind die meisten Maßnahmen sehr allgemein beschrieben, ohne spezifische Zielgrößen. Nur im Bereich der Prozessabwässer und Wiederverwertung von Schlämmen werden für einige Sektoren spezifische Kenngrößen als BVT formuliert (z.B. für Boden- und Wandfliesen). Dies ist darauf zurück zu führen, dass im BVT-Merkblatt 2007 nicht die Materialeffizienz, sondern die Minderung von Emissionen im Vordergrund steht. In Anhang I sind alle im BVT-Merkblatt 2007 genannten Maßnahmen zur Steigerung der Materialeffizienz aufgeführt.

Abbildung 3: Produktionsprozesse und Ansätze zur Steigerung der Materialeffizienz in der Produktion



Quelle: Ramboll Environment & Health GmbH

5 Übersicht der Ergebnisse zu den einzelnen Keramik-Teilsektoren

Die folgenden Abschnitte sind in die einzelnen zu betrachtenden Keramik-Teilsektoren gegliedert. Sie beinhalten jeweils

- ▶ eine kurze Beschreibung der Produkte, Produktionsprozesse und Produktkennzahlen,
- ▶ für jeden Produktionsprozess:
 1. die im BVT-Merkblatt 2007 genannten spezifischen Potentiale zur Materialeinsparung, soweit vorhanden (im BVT-Merkblatt 2007 werden auch die einzelnen Prozessschritte erläutert; diese werden hier nicht mehr wiederholt),
 2. den aktuellen Stand der Technik;
 3. Maßnahmen und Weiterentwicklungen seit 2007 sowie neuere Entwicklungen zur Steigerung der Materialeffizienz, jeweils mit Angabe von Potentialen, Hemmnissen und Lösungsansätzen (soweit vorhanden),
 4. eine Zusammenfassung der Maßnahmen und Potentiale,
 5. eine Ableitung von Empfehlungen.

Die Übersicht der Produktionskennzahlen enthält neben Mengenangaben zu eingesetzten Rohmaterialien, produzierten Produkten und anfallenden Reststoffen / Abfällen auch Angaben zum Energieverbrauch, zum Wasserbedarf sowie zum Umsatz, der Anlagenanzahl und der Anzahl der Mitarbeiter je untersuchtem Teilsektor. Genaue Angaben zum Wasserbedarf in der Produktion konnten allerdings zu keinem Teilsektor getroffen werden. Zwar sind Angaben zum Einsatz von Süßwasserressourcen in den EPDs für Ziegel, Fliesen und Sanitärkeramik enthalten, diese beziehen sich aber neben dem Produktionsprozess an sich auch auf die Rohstoffversorgung und den Transport. Außerdem wurde festgestellt, dass die angegebenen Mengen aufgrund unterschiedlicher Auslegung des Begriffs „Wassereinsatz“ und unterschiedlichem Einbezug von verwendeten bzw. anfallendem Wasser (z.B. Einbezug von Kühlwasser, Einbezug von Regenwasser, nur Berücksichtigung des tatsächlichen Wasserverbrauchs) sehr stark differieren. Daher war es nicht möglich, aussagekräftige Daten heranzuziehen.

Bei der Identifikation der Neu- und Weiterentwicklungen von Verfahren und Techniken entlang der gesamten Produktionskette wurde ein besonderer Fokus auf

- ▶ die Steigerung der Materialeffizienz durch Rohstoffeinsparung (z.B. Einsatz neuer Techniken, die weniger Rohstoffe benötigen bzw. weniger Ausschuss produzieren; neue Produktentwicklungen) sowie
- ▶ die Substitution von Primärrohstoffen (z.B. Kreislaufführung von Produktionsreststoffen, Einsatz von externen Abfällen (Sekundärrohstoffe), Einsatz von Recyclingmaterial oder anderen Rohstoffen)

gelegt (siehe Kapitel 5.1 bis 5.5).

Die Substitution fossiler Brennstoffe (z.B. durch den Einsatz von Abfallbrennstoffen oder nachwachsenden Rohstoffen) wird in einem gesonderten Kapitel sektorübergreifend für alle 5 Teilsektoren betrachtet (siehe Kapitel 5.6).

5.1 Ziegel und Dachziegel

5.1.1 Allgemeine Informationen

5.1.1.1 Produktbeschreibung

Ziegel sind Produkte aus gebranntem Ton, Sand (als Magerungsmittel) und Zuschlagstoffe (z.B. Porosierungsmittel) werden bei Bedarf zugegeben.

Ziegel lassen sich unterteilen in

- ▶ Mauerziegel (Vormauerziegel und Hintermauerziegel) für die Errichtung von Wänden (Mauern),
- ▶ Deckenziegel für die Herstellung von waagerechten Decken oder Gewölben,
- ▶ Dachziegel zur Dacheindeckung,
- ▶ Pflasterklinker zur Anlegung von Pflasterungen,
- ▶ Kanalklinker für den Tiefbau,
- ▶ und weitere Ziegelemente.

Die am häufigsten eingesetzten Ziegelprodukte sind Vormauerziegel, Hintermauerziegel und Dachziegel².

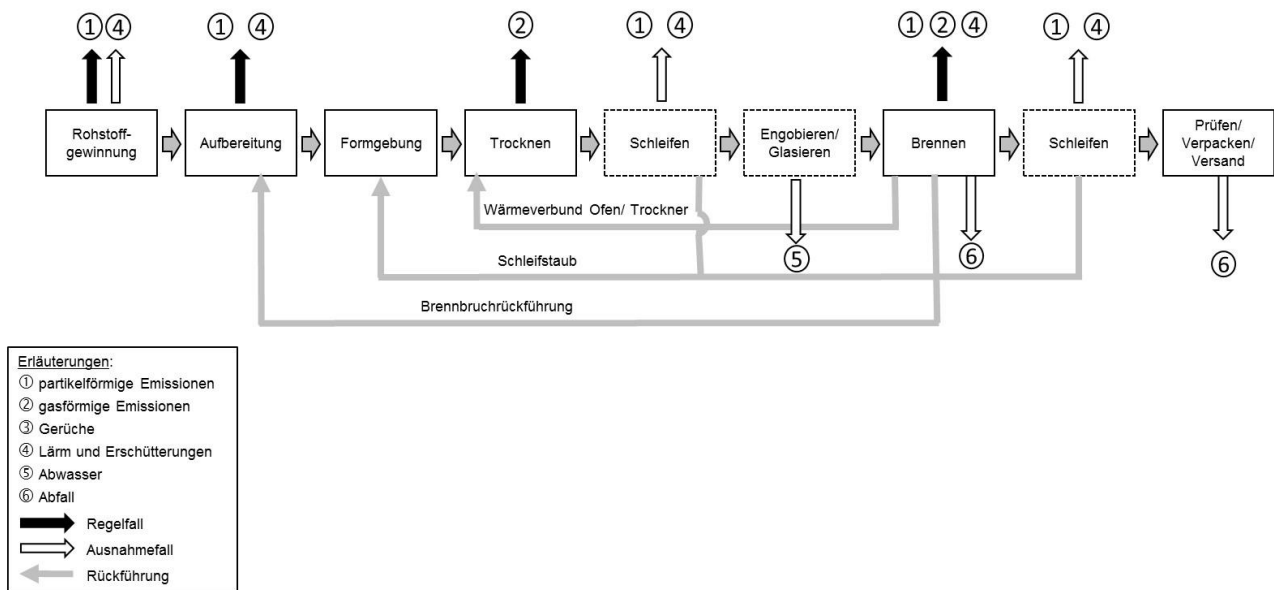
5.1.1.2 Produktionskennzahlen und -prozesse

In der deutschen Ziegelindustrie werden jährlich ca. 12 Mio. t Rohmaterial eingesetzt (Daten abgeleitet aus [BBS 2016], [Fachgespräch Ziegelverband 2017], Daten von 2015). Diese setzen sich zusammen aus Ton (ca. 10,2 Mio. t), Spezialton (ca. 1,8 Mio. t) und Sand (ca. 0,2 Mio. t). Sand wird als Magerungsmittel zum Ausgleich der natürlichen Schwankungen der mineralogischen Zusammensetzung des Rohtons bei sehr fetten (feinkörnigen) Tonen, hauptsächlich bei der Produktion von Vormauerziegeln (hier ca. 8%), zugesetzt [Fachgespräch Ziegelverband 2017]). Zusätzlich werden Hilfsstoffe wie z.B. Additive und Porosierungsmittel eingesetzt.

Die Rohstoffe werden aufbereitet und anschließend geformt, getrocknet und gebrannt. Bei Bedarf werden sie noch geschliffen und/oder engobiert bzw. glasiert (siehe Abbildung 4). In den Kapiteln 5.1.2 bis 5.1.6 sind die einzelnen Produktionsprozesse genauer beschrieben.

² <http://ziegel.de/>, aufgerufen am 20.06.2017

Abbildung 4: Betrachtete Produktionsprozesse in der Ziegelindustrie



Quelle: VDI 2585, Druck in Vorbereitung 2018

In 2015 wurden insgesamt ca. 10,8 Mio. t Ziegelprodukte hergestellt. Davon entfielen ca. 8,9 Mio. t auf Mauerziegel (ca. 2,7 Mio. t auf Vormauerziegel und ca. 6,2 Mio. t auf Hintermauerziegel (Hochlochziegel)) und 1,9 Mio. t auf Dachziegel [Fachgespräch Ziegelverband 2017].

Der jährliche Energieverbrauch bei der Herstellung von Ziegeln in Deutschland konnte nicht ermittelt werden. Für die EU wurde ein Energieverbrauch von 2,2 GJ/t (0,6 MWh/t) angegeben [Kollenberg 2013]. Als Energiequelle wird hauptsächlich Erdgas eingesetzt. Wasserbedarf besteht hauptsächlich zur Formgebung des Tons und zur Reinigung der Auftragsvorrichtungen im Glasur- bzw. Engobierprozess. Genaue Mengenangaben zum Wasserverbrauch in der Produktion waren nicht verfügbar.

Jährlich fallen ca. 220.000 t Brennbruch bei der Ziegelproduktion an [Rosen 2008], [Fachgespräch Ziegelverband 2017], davon wird ca. ein Drittel wieder rückgeführt, der Rest wird extern verwertet. Eine Firmenbefragung in 2008 hat ergeben, dass kein Brennbruch beseitigt wird [Rosen 2008]. Zusätzlich fallen während der Ziegelproduktion Stäube aus der Absaugung, Feinstäube von Schleifanlagen aus der Planziegelherstellung sowie Massereste und Trockenbruch an, die umgehend in die Produktion zurückgeführt werden. Der Anteil an mineralischen Abfällen, der während der Produktion anfällt und extern beseitigt (deponiert) werden muss, liegt aktuell bei <1% [Fachgespräch Ziegelverband 2017]. Auch Prozessabwasser, das bei der Reinigung der Auftragsvorrichtungen beim Glasieren bzw. Engobieren anfällt, wird in der Regel rückgeführt und als Anmachwasser in der Masseaufbereitung verwendet. Lediglich wenn der Ton sehr feucht ist (z.B. im Winter) und kein Anmachwasser benötigt wird, wird das Waschwasser aufbereitet. Die Schlämme werden extern entsorgt, das Wasser gelangt in den Vorfluter.

Aus dem Bauabbruch fallen jährlich ca. 11 Mio. t Ziegelabbruchabfälle an (20% des Bauschutts, abgeleitet aus [KWTB 2014] und [Müller 2016]³). Im Jahr 2014 wurden ca. 8% des Bauschutts auf Depo-nien beseitigt. Bezogen auf den Ziegelanteil entspricht dies ca. 0,9 Mio. t [KWTB 2014], [Müller 2016].

In Deutschland gibt es derzeit ca. 111 Ziegeleien (Betriebsgröße: Mitarbeiter ≥ 20) mit ca. 8.224 Mitarbeitern (Stand 2015) [DESTATIS 2016d].

³ Laut [KWTB 2014] fallen jährlich 54 Mio. t Bauschutt an (2014). Laut [Müller 2016] entfallen 20% des jährlich anfallenden Bauschutts auf Ziegel.

In Tabelle 1 sind einige relevante Kennzahlen der Ziegelindustrie dargestellt.

Tabelle 1: Produktionskennzahlen für die Ziegelindustrie

Produktionsparameter	Kennzahlen für das Jahr 2015
Einsatz Rohmaterial	Ca. 12 Mio. t (10,2 Mio. t Ton, 1,8 Mio. t Spezialton und 0,2 Mio. t Sand)
Produkt	Hintermauerziegel: ~6,2 Mio. t Vormauerziegel: ~2,7 Mio. t Dachziegel: ~1,9 Mio. t
Energieverbrauch	2010: 2,2 GJ/t (0,6 MWh/t) in EU
Wasserbedarf	Wasserbedarf besteht hauptsächlich zur Formgebung des Tons und zur Reinigung der Auftragsvorrichtungen im Glasur- bzw. Engobierprozess. Genaue Mengenangaben zum Wasserverbrauch in der Produktion waren nicht verfügbar.
Reststoffe, die während der Produktion anfallen	Ca. 220.000 t Brennbruch (davon wird ca. ein Drittel wieder rückgeführt, der Rest wird extern verwertet; Stäube, Massereste und Trockenbruch werden in der Regel sofort wieder eingesetzt)
Reststoffe, die während der Produktion anfallen und extern entsorgt werden	<1% (Deponierung)
Abwasser	Abwasser fällt nur in Ausnahmefällen an, in der Regel wird anfallendes Abwasser als Anmachwasser in der Masseaufbereitung wiederverwendet.
Mineralische Abfälle, die extern anfallen (Abbruchabfälle)	Ca. 11 Mio. t
Mineralische Abfälle, die extern anfallen (Abbruchabfälle) und entsorgt werden	Ca. 0,9 Mio. t (Deponierung; 2014)
Umsatz (€)	1,4 Mrd. € [DESTATIS 2016d]
Anzahl Anlagen	111
Anzahl Mitarbeiter	8.224

5.1.2 Masseaufbereitung

5.1.2.1 Spezifische BVT 2007

Allgemein beschreibt das BVT-Merkblatt 2007 die Rückführung ungemischter Rohstoffe sowie die Rückführung beschädigter Scherben in den Herstellungsprozess als Stand der Technik. Außerdem kann Bruchware als Ausgangsmaterial in anderen Industrien dienen.

Speziell zu Ziegeln wird im BVT-Merkblatt 2007 bereits erwähnt, dass der Einsatz von Porosierungsmitteln bei der Ziegelherstellung den Primärrohstoffbedarf reduziert. Porosierungsmittel, wie z.B. Sägemehl, Polystyrol (Styropor), Papierfangstoffe, Kieselgur oder Perlit werden vor allem verwendet, um die Wärmeleitfähigkeit von Hintermauerziegeln durch die Bildung von Mikroporen zu vermindern. Die Porosierungsmittel verglühen im Brennvorgang und hinterlassen unzählige kleine Hohlräume [Jochem et al. 2004]. Auf diese Weise wird die wärmespeichernde Masse und somit auch insgesamt die Masse der Hintermauerziegel reduziert. Besitzen die Porosierungsmittel dazu einen hohen Energiegehalt,

wird weniger Energie für das Brennen benötigt. Porosierungsmittel können bis zu 25% der Gesamtenergie in Form von sekundärer Energie in der Hintermauerziegelproduktion liefern [UBA 2007]. Die Verwendung von Porenbildnern bei der Produktion von Vormauerziegeln ist wegen ihrer Wirkung auf die technischen Eigenschaften der Ziegel (z.B. Dichte, Farbe) nicht möglich. Schlamm aus der Herstellung von Haushalts- oder Sanitärkeramik kann als Rohmaterial/Zusatzstoff zur Herstellung von Ziegeln verwendet werden um den Primärrohstoffbedarf zu reduzieren.

5.1.2.2 Stand der Technik 2016

Bei der Herstellung von Ziegeln werden die Rohstoffe Ton und, je nach zu fertigendem Produkt, Sand (als Magerungsmittel) sowie je nach Anforderungen des Endprodukts evtl. bestimmte Zusatzstoffe wie z.B. Additive oder Porosierungsmittel zu einer Masse aufbereitet.

Additive werden zur Verbesserung der Produkteigenschaft wie z.B. vermindertes Ausblühen, bessere Bruchfestigkeit eingesetzt. Ein typisches Additiv in der Ziegelindustrie ist z.B. Bariumkarbonat.

Porosierungsmittel, deren Einsatz bereits im BVT-Merkblatt 2007 als Stand der Technik beschrieben wurde, werden vor allem bei der Masseaufbereitung von Hintermauerziegeln zugefügt, um die Wärmeleitfähigkeit dieser Ziegel durch die Bildung von Mikroporen zu vermindern. Die Trockenempfindlichkeit der Ziegel wird neben der Zugabemenge auch durch Form und Konsistenz des Porosierungsmittels bestimmt. Durch eine Optimierung der Zusatzstoffe kann die Trocknungsgeschwindigkeit erhöht werden [Institut für Ziegelforschung 2002]. Als positiver Nebeneffekt kann auch der Energieeinsatz reduziert werden, da die meisten Porosierungsmittel einen eigenen Energiegehalt haben. Je höher der Energiegehalt der Porosierungsmittel ist, desto weniger Energie wird für das Brennen benötigt. Energiehaltige Porosierungsmittel wie z.B. Sägemehl können bis zu 25% der Gesamtenergie in Form von sekundärer Energie in der Hintermauerziegelproduktion liefern [UBA 2007]. Die Verwendung von Porenbildnern bei der Produktion von Vormauerziegeln und Dachziegeln ist wegen ihrer Wirkung auf die technischen Eigenschaften der Ziegel (z.B. Dichte, Wasseraufnahme, Frostbeständigkeit) nicht möglich [UBA 2007], [Fachgespräch Ziegelverband 2017].

Die Aufbereitung der Einsatzstoffe erfolgt halb nass oder in seltenen Fällen trocken, wobei die Einsatzstoffe zerkleinert, gemischt und in der Regel noch befeuchtet werden. Das Abwasser aus der Glasur- und Engobeanwendung wird in der Regel als Anmachwasser genutzt. Nur wenn der Ton zu feucht ist, was im Winter vorkommen kann, muss er getrocknet werden [Fachgespräch Ziegelverband 2017]. Das Zerkleinern und Mischen erfolgt in der Regel im Kollergang und den Walzwerken [IBU 2015a].

Bei der Aufbereitung der Masse fallen Stäube aus der Absaugung an. Diese werden in der Regel zu 100% wieder eingesetzt.

Des Weiteren werden Feinstäube von Schleifanlagen aus der Planziegelherstellung sowie Massereste und Trockenbruch in die Masseaufbereitung zurückgeführt. Sortenreiner, gemahlener Brennbruch und gemahlene sortenreine Ziegel aus dem Rückbau können, abhängig von der Tonqualität, ebenfalls der aufzubereitenden Masse in einer gewissen Menge als Magerungsmittel zur Produktion der Vormauer- und Dachziegel beigelegt werden.

In der Ziegelindustrie wird tendenziell magerer Ton eingesetzt, deswegen ist der Anteil an Brennbruch, der als Magerungsmittel zugefügt werden kann, limitiert. Mit Brennbruch wird in der Regel der Sandanteil ersetzt [Fachgespräch Ziegelindustrie 2017, BBS 2016, IBU 2015a].

Der Zusatz von Schlamm aus der Herstellung von Haushalts- oder Sanitärkeramik, wie er im BVT-Merkblatt 2007 beschrieben wird, ist theoretisch möglich, hat sich allerdings in der Praxis aufgrund von langen Transportwegen nicht flächendeckend durchgesetzt [Fachgespräch UBA 2016], [Fachgespräch Ziegelverband 2017].

Wie schon im BVT-Merkblatt 2007 erwähnt, hängt die Form und Zusammensetzung der Produkte im Allgemeinen stark von den Marktanforderungen ab. Daher ist die Änderung der Zusammensetzung keramischer Massen nur in einem begrenzten Umfang möglich.

5.1.2.3 Maßnahmen, Weiterentwicklungen und Potentiale in Bezug auf das BVT-Merkblatt 2007

Die identifizierten Maßnahmen und Weiterentwicklungen zur Steigerung der Materialeffizienz in der Masseaufbereitung (siehe Tabelle 2) werden im Nachfolgenden jeweils unter Angabe von Potentialen, Hemmnissen und Lösungsansätzen beschrieben.

Tabelle 2: Maßnahmen und Weiterentwicklungen in der Ziegelindustrie bezüglich der Masseaufbereitung

Nr.	Maßnahme	Material-effizienz-steigerung durch	Umset-zungsrate (hoch, mittel, gering)	Reduktion der Primär-rohstoff-menge (%) ⁴	Poten-tial (0, +, ++, +++)	Bemerkung
ZM1	Einsatz von intern anfallenden Reststoffen während der Produktion (Stäube, Massereste, Trockenbruch)	Substitu-tion	hoch		0/+	SdT, nahezu 100% der anfallenden Reststoffe werden wieder einge-setzt
ZM2	Einsatz von intern anfallendem Brennbruch	Substitu-tion	mittel		0/+	SdT, ein Drit-tel des anfallenden Brennbruchs wird wieder eingesetzt, die restl. Mengen wer-den extern verwertet (aufgrund der gegebenen Nachfrage)
ZM3	Einsatz von extern anfallenden Reststoffen/Abfällen wie z.B. sortenreine Mauerziegel aus dem Rückbau und Baubruhabfälle	Substitu-tion	gering		0/+	

⁴ Angaben erhalten in dem Fachgespräch (2017)

Nr.	Maßnahme	Material-effizienz-steigerung durch	Umset-zungsrate (hoch, mittel, gering)	Reduktion der Primär-rohstoff-menge (%) ⁴	Poten-tial (0, +, ++, +++)	Bemerkung
ZM4	Einsatz von Recyclingstoffen aus anderen Industriebereichen	Substitution	sehr gering		0/+	Laut Aussage des Bundesverbandes der deutschen Ziegelindustrie momentan nicht möglich
ZM5	Zusatz von Additiven zur Reduzierung der Trockenbruchanfälligkeit der Ziegelrohlinge	Einsparung	hoch		0/+	

ZM= Ziegel, Masseaufbereitung

ZM1: Einsatz von intern anfallenden Reststoffen während der Produktion (Stäube, Massereste, Trockenbruch)

Während der Produktion fallen Stäube, Massereste und Trockenbruch an, die in der Regel direkt wieder in den Prozess zurückgeführt werden.

Wie in einem Forschungsvorhaben gezeigt, kann durch die Zugabe von Ziegelmehl (in diesem Fall von Planschleifanlagen) als Additiv zur Rohmasse zusätzlich die Trockenbruchanfälligkeit der Ziegelrohlinge und somit die anfallende Bruchware beim Trocknungsvorgang reduziert werden. Grund sind die puzzolanen Eigenschaften des Ziegelmehls, welche zur Erhöhung der Biegezug- und Druckfestigkeiten der Rohlinge führen. Ziegelmehl enthält reaktive Kieselsäure und Aluminiumhydroxid, die in Reaktion mit Kalk und Wasser hydraulische Verbindungen bilden. Im Vergleich zu Puzzolanen, die mindestens 650 mg Ca(OH)₂/g binden, liegt der Wert bei Ziegelmehle etwa bei 1.000 mg Ca(OH)₂/g. Das kalterhärtende System führt zur Verdreifachung der Feuchteleitfähigkeit und damit zur Minimierung der Feuchteprofile. Der Binderanteil sollte allerdings so gering wie möglich gewählt werden, da es bei Produktionsstillstand auch zur Erhärtung im Extruder kommt [Institut für Ziegelforschung 2013].

Um die Qualität der keramischen Masse nicht zu vermindern, ist immer eine sortenreine Trennung und Rückgewinnung der Prozessreste und -abfälle erforderlich.

Potential: Intern anfallende Reststoffe werden in der Regel wieder rückgeführt. Hier wird kein großes Potential mehr gesehen.

Hemmnisse: Qualitätsanforderungen bei verunreinigten Chargen.

Lösungsansatz: --

ZM2: Einsatz von intern anfallendem Brennbruch

Während der Ziegelproduktion fällt Brennbruch an. Sortenreiner Brennbruch, kann nach einer Mahlung der erneuten Ziegelproduktion zugeführt werden. Dies erfolgt oft extern oder über mobile Brecher. Nach Umfragen wird ca. ein Drittel des insgesamt anfallenden Brennbruchs von 220.000 t/a wie-

der für die Ziegelproduktion eingesetzt [Rosen 2008], [Fachgespräch Ziegelverband 2017]. Der gemahlene Brennbruch wird als Magerungsmittel hauptsächlich bei den Vormauerziegeln eingesetzt. Dabei ersetzt er den Rohstoff Sand.

Die Menge des einsetzbaren aufbereiteten Brennbruchs hängt von der Qualität der jeweiligen Tonrohstoffe ab. Im Rahmen eines Forschungsprojekts des Unternehmens Wienerberger AG „Rohstoffreduktion in der Baustoffproduktion – Einsatz von Recyclingmaterial in der Ziegelindustrie“ 2012 wurden Ziegelrecyclate wieder der Masseaufbereitung zur Ziegelproduktion zugeführt. Dazu wurde Ziegelbruch durch externe Partner aufbereitet und dessen mögliche Zugabemengen in der Arbeitsmasse untersucht. Es konnten bis zu 20 % eingesetzt werden, ohne dass sich die Produkteigenschaften verschlechterten⁵. In Müller (2016) ist ein weiteres Beispiel genannt, in dem sehr plastische Tone wie beispielsweise Westerwälder Tone bis zu 60 Masse-% des fein gemahlten Füllers aufnehmen konnten und daraus qualitativ hochwertige Produkte mit geringer Porosität herstellbar waren. Plastische Tone, wie beispielsweise Westerwälder Tone sind allerdings sehr teuer, begrenzt verfügbar und auch aus Logistikgründen nicht überall leicht verfügbar.

Der von den Ziegeleien eingesetzte „Hauston“, der von Natur aus eher mager ist, kann allerdings nicht beliebig abgemagert werden. Hintermauerziegelton enthält in der Regel viel Kalk und kann aus diesem Grund nicht mehr viel weiter abgemagert werden. Um mehr Magerungsmittel einsetzen zu können, müssten fettere Tone wie z.B. oben genannte Westerwälder Tone verwendet werden. Manche Ziegelhersteller (vor allem Dachziegelhersteller) verkaufen den Bruch an andere Industriebereiche, z.B. für die Herstellung von Tennismehl, da dies wirtschaftlicher ist und kaufen als Magerungsmittel, falls benötigt, Sande zu. Um die Qualität der keramischen Masse nicht zu vermindern, ist immer eine sortenreine Trennung und Rückgewinnung der Prozessreste und -abfälle erforderlich.

Potential: Brennbruch wird zwar nur zu ca. einem Drittel in die Ziegelproduktion rückgeführt, da aber der Bedarf an Magerungsmitteln in der Masseaufbereitung begrenzt ist und Ziegelbruch gut in anderen Bereichen eingesetzt werden kann, wird hier das Potential als eher gering angesehen.

Hemmnisse: Qualitätsanforderungen, Brennbruch als Magerungsmittel nicht beliebig einsetzbar.

Aus den Ergebnissen des Forschungsprojektes der Firma Wienerberger AG können als Hemmnis die langen Transportwege von der Aufbereitungsanlage zum Ziegelwerk abgeleitet werden⁵. Auch aus ökologischer Sicht rechnet sich der Einsatz in der Regel nicht, da der Nutzen durch die Verwendung von Sekundärrohstoffen geringer sein kann als der Nachteil durch den zusätzlichen Transportaufwand. [Fachgespräch Ziegelverband 2017].

Lösungsansatz: Verbesserung der Logistik.

ZM3: Einsatz von extern anfallenden Reststoffen/Abfällen wie z.B. sortenreine Mauerziegel aus dem Rückbau und Bauabbruchabfällen

Auch sortenreine Ziegel aus dem Rückbau können nach einer Mahlung der erneuten Ziegelproduktion zugeführt werden [Müller 2016]. Eine Rückführung von gebrauchten Altdachziegeln zur Aufbereitung und Zumischung als Rohstoffersatz für die Neuproduktion ist in der Regel nicht üblich [Fachgespräch Ziegelverband 2017]. Für gebrauchte Altdachziegel existiert ein breiter Markt, weswegen die Altdächer bzw. sortenrein rückgewonnene Ziegel eher an andere Industriebereiche verkauft werden (siehe 5.1.6).

⁵ http://www.zi-online.info/de/artikel/artikel_1416309.html, aufgerufen am 20.02.2017

In manchen Fällen können manuell abgedeckte Ziegeldächer nach der sorgfältigen Entfernung von anhaftendem Mörtel und Verunreinigungen auch wieder direkt zur Eindeckung verwendet werden [Fachgespräch Ziegelverband 2017]. Sorgfältig rückgebaute Mauerziegel können, insbesondere im Bereich der Denkmalpflege, erneut als Mauersteine zum Einsatz kommen [Rübner und Schneider 2013].

Es gibt bereits einige Forschungsprojekte, die das Recycling von Mauerwerkbruch untersuchen. Von den verschiedenen Wandbaustoffen hat die Ziegelherstellung am ehesten das Potenzial, Mauerwerkbruch rohstofflich zu verwerten, wobei natürlichen Rohstoffe (wie Ton oder Lavagestein durch Ton-Pflanzsubstrate) zumindest teilweise ersetzt werden können. Produkte auf keramischer Basis haben dabei günstigere Voraussetzungen als andere Recycling-Baustoffe. Begrenzende Faktoren könnten hier die für die Formgebung erforderliche Plastizität, der Gehalt an freiem Kalk sowie der Schwefelgehalt sein. Um negative Auswirkungen zu verhindern, ist eine sorgfältige Abstimmung zwischen den Eigenschaften und der Menge des zugegebenen Mauerwerkbruchs einerseits und den Merkmalen der Tonrohstoffe, der Art der hergestellten Ziegel und den technologischen Möglichkeiten andererseits erforderlich [Müller 2016].

In Müller (2016) wird eine Orientierung zu Anforderungen an Abbruchmaterial bezüglich seiner Qualität genannt. Die Orientierungshilfe stammt von einer belgischen Firma, die ein Produkt namens „Cerafill“ aus der „roten“ Fraktion von Bauabfällen herstellt, das als Sekundärrohstoff für die Ziegelproduktion eingesetzt werden kann (siehe Tabelle 3). Diese Angaben müssten allerdings noch weiter verifizieren werden.

Tabelle 3: Anforderungen an Bruchmaterial zum Wiedereinsatz bei der Ziegelproduktion einer Belgischen Firma

Komponente	Anforderung	Begründung/Auswirkung
Partikelgröße	< 150 µm	Aufrechterhaltung der für die Formgebung erforderlichen Plastizität. Möglichst homogene Verteilung des Ziegelmehls in der Masse.
Glühverlust	< 3 Masse-%	
Gesamtschwefel	< 0,5 Masse-%	Lösliche Sulfate können Ausblühungen verursachen.
CaCO ₃	< 10 Masse-% (könnte Problem für Vormauerziegel/Dachziegelproduktion sein, Kalkabplatzungen äußerlich nicht gewünscht)	Beeinflussung von Sinterverhalten und Farbe Anforderungen an Partikelgröße und an den CaCO ₃ -Gehalt stellen sicher, dass keine Kalkabplatzungen beispielsweise durch grobe Partikel aus Kalkputzen auftreten.

Quelle: [Müller 2016]

Ausschlaggebend für den Wiedereinsatz von Abbruchabfällen sind der Schwefel- und der Kalkgehalt. Kalk kann bei sehr geringer Partikelgröße enthalten sein, allerdings verändert er die Produktfarbe, was sich negativ auf das Produkt auswirkt. Auch kann übermäßiger Kalk zu Kalkabplatzungen führen, was die Qualität und ebenfalls die Optik der Ziegelprodukte beeinträchtigt.

Da Bauabbruchabfälle (Feinkornfraktion) in der Regel Gips als Störstoff enthalten, eignen sich diese derzeit aufgrund des zu hohen Sulfatgehaltes nicht als Zusatzstoff in der Ziegelproduktion [Fachgespräch Ziegelverband 2017].

Potential: Das Potenzial für den Einsatz von Abbruchabfällen in der Ziegelproduktion wird aktuell als sehr gering bewertet.

Hemmnisse: Qualität, Sulfatgehalt, Kalkgehalt, reine Abbruchabfälle würden auch nur die Sandfraktion ersetzen (Magerung), Logistik, Abfallregelungen.

Lösungsansatz: Forschung, Änderung der Abfallregelungen.

ZM4: Einsatz von Recyclingstoffen aus anderen Industriebereichen

Es laufen bereits mehrere Forschungsprojekte, die sich damit beschäftigen, Reststoffe aus anderen Industrieproduktionen in der Herstellung von Ziegeln einzusetzen. So könnte z.B. Rotschlamm aus der Aluminiumindustrie als zusätzliches Rohmaterial in der Ziegelproduktion eingesetzt werden. Mengemäßig wäre das Potential groß, allerdings verhindern Umwelt- und Sicherheitsaspekte, wie z.B. im Rotschlamm enthaltenes Natrium oder die Radioaktivität des Rotschlammes die Umsetzung in der Praxis [Müller und Mayer 2014]. Trotz der unerwünschten Begleitstoffe widmen sich einige Untersuchungen der Verwertung von Rotschlamm. Die Verfahren befinden sich jedoch zumeist im Versuchsstadium. Wirtschaftlichkeits- und Umweltverträglichkeitsprüfungen stehen meist noch aus [Müller und Mayer 2014].

Schlamm aus der Herstellung von Haushalts- oder Sanitärkeramik kann als Rohmaterial/Zusatzstoff zur Herstellung von Ziegeln verwendet werden, um den Primärrohstoffbedarf zu reduzieren. Allerdings liegen in den meisten Fällen Anfallort und Einsatzort räumlich weit auseinander, so dass dies aus ökologischen und ökonomischen Gründen selten praktiziert wird. In manchen Fällen, vor allem, wenn dies logistisch praktikierbar ist, werden auch Schlämme und Brennbruch aus der Fliesenproduktion zur Herstellung von Ziegeln eingesetzt [Fachgespräch UBA 2016], [Fachgespräch Fliesen 2017], [Fachgespräch Ziegelverband 2017].

Bei dem Einsatz von Recyclingstoffen in der Produktion sollte es immer das Ziel sein, eine ordnungsgemäße und schadstofffreie Verwertung der Recyclingstoffe durchzuführen.

Potential: Nach derzeitigem Stand wird das Potential als gering angesehen.

Hemmnisse: Umwelt- und Sicherheitsaspekte (z.B. Radioaktivität, Schwermetalle, Schadstoffeintrag ins Produkt möglich); Qualitätsanforderungen; externe Reststoffe gelten als Abfall, somit greifen rechtliche Abfallregelungen; Akzeptanz bei den Kunden; bevor Fremdstoffe eingesetzt werden, werden interner Ziegelbruch oder sortenreine Ziegelabbruchabfälle eingesetzt; gebrannte Recyclingstoffe aus anderen Bereichen ersetzen fast ausschließlich das Magerungsmittel, von dem nur begrenzte Mengen benötigt werden; lange Transportwege.

Lösungsansatz: Forschung, Verbesserung der Logistik, Änderung/Anpassung der Abfallregelungen bzw. Aufnahme des Einsatzes von bestimmten Sekundärrohstoffen als gleichwertig zu den Primärrohstoffen in vorhandenen oder neuen Industrienormen (bei Erfüllung definierter Parameter).

ZM5: Zusatz von Additiven zur Reduzierung der Trockenbruchanfälligkeit der Ziegelrohlinge

Durch den Einsatz von bestimmten Additiven kann bei der Ziegelherstellung die Qualität der Rohlinge verbessert und so der Ausschuss minimiert werden, während gleichzeitig der Anmachwassergehalt und der Energieeinsatz in vielen Fällen reduziert werden können. Dies ist bereits gängige Praxis bei den Ziegelherstellern. Übliche Additive sind spezielle Tone und Polymere, z.B. Natriumpolyphosphat. Da Natriumsalze wasserlöslich sind können diese an die Oberfläche gelangen und es kann somit zu Ausblühungen kommen. In diesem Bereich wurde und wird kontinuierlich weiter geforscht, um die Produktqualität weiter zu verbessern.

In einem Forschungsvorhaben zur Niedertemperaturtrocknung konnte gezeigt werden, dass bereits bei sehr geringen Zugabemengen bestimmter Additive (z.B. kationische Tenside, anionische Tenside,

Natriumpolyphosphat) zu verschiedenen Ziegeltonen die Rohlingsfestigkeit über den gesamten Trocknungsverlauf nach einwöchiger Lagerung gesteigert und der Anmachwassergehalt verringert werden konnte. Es wurde allerdings deutlich, dass sich aufgrund der verschiedenen mineralogischen Zusammensetzung der Einfluss der Zusatzstoffe auf die Rohlingsfestigkeit zwischen den Tonen unterscheidet [Institut für Ziegelforschung 2012].

Ein weiteres Forschungsvorhaben beschäftigte sich mit der Vermeidung von Schäden aufgrund festigkeitsmindernder Reaktionsabläufe in der Aufheizzone von Tunnelöfen. Auch hier konnte gezeigt werden, dass anorganische Bindemittel, deren Zusammensetzung hohe Gehalte an Natrium (Na) und Polyphosphat (P_2O_3) beinhalten, den Festigkeitsverlust von Ziegelrohlingen im Temperaturbereich von 500 bis 800 °C (900 °C) begrenzen. Die hierfür erforderliche Zugabemenge an Bindemittel hängt maßgeblich von den im Ausgangsrohstoff befindlichen Reaktionspartnern ab. Bei einer Zugabe von zwei Massen-% waren maximale Effekte zu erwarten. Rohstoffe, die carbonathaltige Minerale wie Calcit oder Dolomit beinhalten, zeigten schon bei einer Zugabemenge von einem Massen-% deutliche Festigkeitssteigerungen der unter Druck-, Biegezug- und Zugbeanspruchung belasteten Rohlinge bzw. Scherben [Institut für Ziegelforschung 2014].

Auch Ziegelmehl von Planschleifanlagen, das wieder der Masseaufbereitung zugeführt wird, kann als Additiv angesehen werden (siehe 5.2.2).

Potential: Nach derzeitigem Stand wird hier noch geringfügiges Potential gesehen.

Hemmnisse: Produktanforderungen (z.B. Ausblühen durch den Einsatz von Natriumsalzen).

Lösungsansatz: Forschung.

5.1.3 Produktdesign/Formgebung

5.1.3.1 Spezifische BVT 2007

In dem BVT-Merkblatt 2007 wurde festgehalten, dass durch die Umgestaltung keramischer Produkte – z.B. Leichthochlochziegel, dünnwandigere Blöcke – die Masse reduziert werden kann. Wo technisch machbar, können diese Änderungen den Materialeinsatz, den Energieverbrauch und die Emissionen reduzieren.

5.1.3.2 Stand der Technik 2016

Der aufbereitete Ton wird in verschiedenen Verfahren je nach gewünschtem Endprodukt durch Pressen zu Rohlingen weiterverarbeitet (siehe Tabelle 4). Anfallende Reststoffe (Massereste) werden in der Regel sofort wieder in die Produktion zurückgeführt.

Zur Formgebung der Produkte werden je nach gewünschtem Produkt unterschiedliche Formgebungsverfahren herangezogen (siehe Tabelle 4). Bei der Herstellung von Mauerziegeln wird in der Regel nur das Strangpressverfahren mit anschließender Teilung der Rohlinge anhand eines messerscharfen Drahts eingesetzt. In wenigen Fällen wird aufgrund bestimmter Produktanforderungen anschließend noch das Handstrich- bzw. Wasserstrichverfahren angewendet. Bei diesen Verfahren werden zur Formgebung Metallformen genutzt.

Zur Herstellung von Dachziegeln folgt nach dem Strangpressen und dem Teilen des Endlosstrangs in einzelne Ziegelvorformen das Stempel- oder Revolverpressen zur endgültigen Formgebung. Bei Biberschwänzen (bestimmter Typ von Dachziegeln) wird nur das Strangpressverfahren angewendet. Bei Anwendung des Stempelpressverfahrens oder Revolverpressverfahrens wird der aufbereitete Ton in Formen gepresst, die aus Gips bestehen. Gips eignet sich aufgrund seiner Materialeigenschaften (gleichmäßiger Wasserentzug, Bildung eines Wasserfilms zwischen Form und Rohling, Erzeugung einer gleichmäßigen, ebenen Sichtoberfläche) sehr gut für das Formen von Dachziegeln.

Aufgrund von schnellen Verschleißerscheinungen müssen die Gipsformen regelmäßig (teils mehrmals täglich) ausgetauscht werden, wodurch Gipsabfälle anfallen [Fachgespräch Ziegelverband 2017], ⁶.

Tabelle 4: Produktionskennzahlen für die Ziegelfestindustrie

Verfahren	Formen	Dachziegel	Mauerziegel
Strangpressverfahren	Metallformen	x	x
Stempelpressverfahren	Gipsformen	x	
Revolverpressverfahren	Gipsformen	x	
Handstrich-/Wasserstrichverfahren	Metallformen		x

Bezüglich des Produktdesigns bzw. der spezifischen Masse der Ziegelprodukte hat sich in den letzten Jahren einiges getan. So konnte die Rohstoffmasse je fertigem Ziegelprodukt reduziert werden, wodurch der Rohstoffeinsatz weiter gesenkt werden konnte. Bei den Hintermauerziegeln für Außenwände hat sich beispielsweise die Rohdichte von ca. 0,9 bis 1,2 kg/m³ auf ca. 0,7 kg/m³ heute reduziert [Fachgespräch Ziegelverband 2017].

Hintermauerziegel werden in der Regel als Hochlochziegel hergestellt (Wärmedämmfunktion). Das Design der Hochlochziegel wurde bereits immer weiter optimiert, und somit der Materialeinsatz immer weiter reduziert (bis zu einer Stegdicke von 8 mm). Eine weitere Reduzierung der Masse hätte derzeit eine Verschlechterung der Produkteigenschaften, insbesondere der Druckfestigkeit, zur Folge [Fachgespräch Ziegelverband 2017].

Derzeit werden immer mehr Hintermauerziegel hergestellt, deren Hohlräume zur weiteren Wärmedämmung nach dem Brand verfüllt werden. Füllstoffe sind z.B. Perlitkugeln, Mineralwollstecklinge, Mineralwollgranulat oder Polystyrol [IBU 2015a]. Haupteinsatzort für verfüllte Mauerziegel sind Außenwände von Gebäuden. Die ersten patentierten perlitverfüllten Ziegel kamen vor ca. 15 Jahren auf den Markt [Fachgespräch Ziegelverband 2017]. Perlitverfüllte Ziegel können in gemahlener Form wieder in den Produktionsprozess zurückgeführt werden. Des Weiteren ist eine Trennung des Füllmaterials und der Ziegel durch Zerkleinerung und anschließender Windsichtung möglich. Sortenreine Mineralwolle kann dem Herstellungsprozess wieder zugeführt werden. Verwertungsmöglichkeiten von Polystyrol sind die Nutzung als Porosierungsmittel, anteiliger Wiedereinsatz als Füllstoff oder Energieerzeugung durch Verstromung [IBU 2015a].

5.1.3.3 Maßnahmen, Weiterentwicklungen und Potentiale

Die identifizierten Maßnahmen und Weiterentwicklungen zur Steigerung der Materialeffizienz bezüglich der Formgebung/des Produktdesigns (siehe Tabelle 5) werden im Nachfolgenden jeweils unter Angabe von Potentialen, Hemmnissen und Lösungsansätzen erläutert.

⁶ <https://www.creaton.com/at/unternehmen/produktion/produktionsablauf/formgebung/>, aufgerufen am 21.04.2017

Tabelle 5: Maßnahmen und Weiterentwicklungen in der Ziegelindustrie bezüglich des Produktdesigns/der Formgebung

Nr.	Maßnahme	Material-effizienz-steigerung durch	Um-setzungs-rate (hoch, mittel, gering)	Reduktion der Primär-rohstoff-menge (%)	Poten-tial (0, +, ++, +++)	Bemerkung
ZP6	Ersatz der Gipsformen	Substitu-tion	gering		0/+	Betrifft Gipsformen
ZP7	Reduktion des Dachziegelge-wichts pro Fläche	Einsparung	hoch		0/+	Betrifft Dachziegel

ZP= Ziegel, Produktdesign/Formgebung

ZP6: Ersatz der Gipsformen

Durch den Ersatz von Gipsformen mit Kunststoff- oder Metallformen können Abfälle, die durch den regelmäßigen Austausch aufgrund des hohen Verschleißes von Gipsformen entstehen, reduziert werden. In der Ziegelindustrie wurde dies schon mehrfach erprobt, allerdings hat sich der Ersatz von Gipsformen mit Metall- oder Polymerformen in Deutschland bisher nicht bewährt. Dies ist auf Qualitätsprobleme (z.B. Herstellung einer gleichmäßigen ebenen Sichtoberfläche), insbesondere bezüglich der Frostbeständigkeit, zurückzuführen. In anderen wärmeren Ländern ist der Einsatz von Polymer- oder Metallformen bei der Herstellung von Dachziegeln anhand der Stempel- oder Revolverpressverfahren bekannt [Fachgespräch Ziegelverband 2017].

Potential: Nach derzeitigem Stand wird das Potential als gering angesehen.

Hemmnisse: Die hohen Qualitätsanforderungen der Kunden werden nicht erreicht; insbesondere bezüglich der Frostschutzbeständigkeit können mit anderen Formen die hohen Qualitätsansprüche in Deutschland derzeit nicht erreicht werden. Bei der Umstellung der Formen muss auch das Formgebungsverfahren geändert werden.

Lösungsansatz: Forschung.

ZP7: Reduktion des Dachziegelgewichts pro Fläche

Durch die Entwicklung neuer Modelle kann das Dachziegelgewicht pro definierter Fläche reduziert werden. Dies wurde in den letzten Jahren bereits von einigen Ziegelherstellern praktiziert und kann durch Betrachtung der Flächengewichtsangaben der produzierenden Firmen auf ihren Internetseiten beobachtet werden. Hier zeigt sich ein Trend in Richtung weniger größerer Ziegel mit insgesamt geringerem Gewicht pro definierter Fläche [Fachgespräch UBA 2017].

Eine Methodik zur Reduzierung des Produktgewichts ist die „Finite Elemente Methode“ (FEM). Die FEM wird in anderen Bereichen, wie z.B. der Luft- und Raumfahrt-, der Medizintechnik und im Fahrzeugbau bereits angewendet.

Mit der FEM können physikalische Vorgänge (beispielsweise Kraftwirkungen auf deformierbare Festkörper) simuliert werden, deren Verlauf sich nicht oder nur sehr aufwendig mit anderen Mitteln bestimmen lässt. Bei Kenntnis über die physikalischen Randbedingungen einer Konstruktion (Geometrie, Material, sowie die Lasten) kann mittels FEM-Berechnungen das Verhalten eines Bauteils vorhergesagt werden. Dadurch kann bei gleichbleibender Festigkeit (Biegetragfähigkeit) der Ziegel optimiert und das Ziegelgewicht und somit der Rohstoffeinsatz reduziert werden. Eine Schweizer Firma, die die

Finite Elemente Methode eingesetzt hat, konnte bei zwei exemplarischen Dachziegeltypen den Materialeinsatz um bis zu 13% reduzieren, ohne dass die Dachziegel an Festigkeit einbüßen oder an Stapelhöhe zunehmen [Quo 2016]. Als positiver Nebeneffekt wird auch der Energiebedarf reduziert [Wienberger 2012].

Eine weitere Maßnahme, die zur Reduzierung des Dachziegelgewichts pro definierte Fläche beiträgt, ist die Herstellung größerer Ziegel. Dies ist allerdings nicht beliebig machbar, da die Stabilität und die Verlegbarkeit gewährleistet bleiben müssen.

Die Finite Elemente Methode wird bereits in mehreren Ziegeleien eingesetzt **Error! Bookmark not defined.**, [Bohle 2016]. Auch in Deutschland ist die FEM heutzutage Standard bei der Entwicklung von Dachziegelmodellen [Fachgespräch Ziegelverband 2017]. Die Materialeffizienzsteigerung ist abhängig von den technischen Eigenschaften des jeweiligen Ziegelmodells.

Bei Mauerziegeln ist diese Methode aufgrund des anderen Aufbaus der Ziegel nicht möglich [Fachgespräch Ziegelverband 2017].

Potential: Hier könnte noch geringfügig Potential vorhanden sein. Allerdings ist unklar, wie viele Produzenten dieses Potential bereits ausgeschöpft haben. Die FEM ist in deutschen Dachziegelwerken bereits Stand der Technik, es wird kein großes Potential mehr gesehen.

Hemmnisse: Stabilität, Kundenakzeptanz, Verlegbarkeit.

Lösungsansatz: Forschung, Marketing.

5.1.4 Trocknung/Brand

5.1.4.1 Spezifische BVT 2007

Im BVT-Merkblatt 2007 werden keine spezifischen Potentiale zur Materialeffizienzsteigerung bei der Trocknung oder dem Brand aufgeführt.

5.1.4.2 Stand der Technik 2016

Die Rohlinge werden nach der Formgebung in Kammer-, Durchlauf- oder Schnelltrocknern getrocknet. Die Trockner werden oft schon mit der Abwärme des Brennofens betrieben. Die Trocknungszeit variiert je nach Format und Rohdichte und kann in der Regel je nach Endprodukt zwischen 24 und 48 Stunden dauern. Bei Hintermauerziegeln beträgt die Trocknungsdauer in der Regel 24 Stunden, bei Vormauerziegeln variiert die Trocknungszeit und kann beispielsweise 48 Stunden betragen [IBU 2015a; IBU 2016b]. Neben den getrockneten Rohlingen kann bei der Trocknung Trockenbruch anfallen.

Die getrockneten (und, je nach Endprodukt, glasierten oder engobierten) Rohlinge werden in Tunnelöfen, Rollenöfen oder Herdwagenöfen je nach Endprodukt zwischen 24 und 48 Stunden bei ca. 900 – 1250 °C zu Ziegeln gebrannt. Bei Hintermauerziegeln beträgt die Brenndauer ca. 24 Stunden, bei Vormauerziegeln zwischen 24 und 48 Stunden [IBU 2015a], [IBU 2016b].

Während des Brennprozesses fällt hauptsächlich Brennbruch an. Der Brennbruch wird extern oder über einen mobilen Brecher aufbereitet und wieder als Magerungsmittel in die Produktion eingesetzt oder in anderen Industriebereichen verwendet. Weiterhin wird Ziegelbruch in Gruben zur Befestigung der Fahrwege verwendet [IBU 2015b], [Fachgespräch Ziegelverband 2027].

Als Energiequelle wird hauptsächlich Erdgas und in geringem Maße Öl und Flüssiggas eingesetzt. Der Einsatz von computergesteuerten Prozessregelungen ist bereits Stand der Technik. Aus Kostengründen sind die Ziegeleien daran interessiert, eine optimale Brennkurve zu erzeugen. Hier wird nach derzeitigem Stand der Technik kein weiteres Potential zur Steigerung der Materialeffizienz gesehen [Fachgespräch Ziegelverband 2017].

5.1.4.3 Maßnahmen, Weiterentwicklungen und Potentiale

Die identifizierten Maßnahmen und Weiterentwicklungen zur Steigerung der Materialeffizienz während der Trocknung bzw. des Brennprozesses (siehe Tabelle 6) werden im Nachfolgenden jeweils unter Angabe von Potentialen, Hemmnissen und Lösungsansätzen erläutert.

Tabelle 6: Maßnahme/Weiterentwicklung in der Ziegelindustrie bezüglich der Trocknung/des Brennprozesses

Nr.	Maßnahme	Material-effizienz-steigerung durch	Um-setzungs-rate (hoch, mittel, gering)	Reduktion der Primär-rohstoff-menge (%)	Poten-tial (0, +, ++, +++)	Bemerkung
ZT8	Optimierung des Trocknungs-/Brennprozesses zur Reduktion des Ausschusses durch die Zugabe von Additiven	Einsparung	mittel		0/+	

ZT= Ziegel, Trocknungs- bzw. Brennprozess

ZT8: Optimierung des Trocknungsprozesses/Brennprozesses zur Reduktion des Ausschusses durch die Zugabe von Additiven

Die Zugabe von Additiven zur Optimierung des Trocknungs- und Brennprozesses wurde bereits in Kapitel 5.1.2 beschrieben.

5.1.5 Glasieren/Engobieren

5.1.5.1 Spezifische BVT 2007

Im BVT-Merkblatt 2007 werden keine spezifischen Potentiale zur Materialeffizienzsteigerung beim Glasieren/Engobieren aufgeführt.

5.1.5.2 Stand der Technik 2016

Nach Bedarf werden die getrockneten Dachziegel/Vormauerziegel mit Glasur, Engoben oder Edelengoben beschichtet. Engoben werden z.B. bei Dachziegeln eingesetzt um bestimmte Farbtöne zu erzielen [IBU 2016b]. Nach Schätzung des Bundesverbands der Deutschen Ziegelindustrie werden ca. 80% der Dachziegel engobiert (Ton-basierter Überzug) bzw. glasiert (Glas-basierter Überzug). Bei den Vormauerziegeln werden im geringen Maße die Sichtflächen engobiert bzw. glasiert, Hintermauerziegel werden nicht behandelt [Fachgespräch Ziegelindustrie 2017].

Die Dichte der Glasur/Engoben sowie die Auftragsstärke werden regelmäßig kontrolliert. Anfallende Glasur- und Engobereste werden in der Regel zurückgeführt. Teils werden sie auch extern aufbereitet und verwertet oder beseitigt. Das Waschwasser zur Reinigung der Auftragsvorrichtungen wird dem Rohstoffkreislauf als Anmachwasser zur Aufbereitung des Tons zurückgeführt. Es fällt in der Regel kein Produktionsabwasser an, solange es als Anmachwasser eingesetzt werden kann [Fachgespräch Ziegelverband 2017], [IBU 2015b], [IBU 2015a].

5.1.5.3 Maßnahmen, Weiterentwicklungen und Potentiale

Die identifizierte Maßnahme und Weiterentwicklung zur Steigerung der Materialeffizienz bezüglich des Glasierens/Engobierens (siehe Tabelle 7) wird im Nachfolgenden jeweils unter Angabe von Potential, Hemmnis und Lösungsansatz erläutert.

Tabelle 7: Maßnahme/Weiterentwicklung in der Ziegelindustrie bezüglich des Glasierens/Engobierens

Nr.	Maßnahme	Material-effizienz-steigerung durch	Um-setzungs-rate (hoch, mittel, gering)	Reduktion der Primär-rohstoff-menge (%)	Poten-tial (0, +, ++, +++)	Bemerkung
ZG9	Rückgewinnung und Wiedereinsatz von Glasur/Engobe	Ein-sparung	hoch		0/+	SdT

ZG= Ziegel, Glasieren/Engobieren

ZG9: Rückgewinnung und Wiedereinsatz von Glasur/Engobe

Die Glasur bzw. Engobe kann anhand spezieller Vorrichtungen aufgefangen und wieder eingesetzt werden, was in der Regel auch getan wird. Glasur- bzw. Engobewaschwasser wird in der Regel bei der Masseaufbereitung zur Befeuchtung der Masse eingesetzt. Lediglich wenn der Ton sehr feucht ist (z.B. im Winter) und kein Anmachwasser benötigt wird, wird das Engobewaschwasser extern aufbereitet und verwertet oder beseitigt.

Potential: Nach derzeitigem Stand wird das Potential als gering angesehen.

Hemmnisse: Farben müssen immer gleich sein für eine Anwendung.

Lösungsansatz: --

5.1.6 Nachbearbeitung

5.1.6.1 Spezifische BVT 2007

Im BVT-Merkblatt 2007 werden keine spezifischen Potentiale zur Materialeffizienzsteigerung während der Nachbearbeitung aufgeführt.

5.1.6.2 Stand der Technik 2016

Die gebrannten Ziegel werden nach dem Brand nass oder trocken geschliffen (z.B. bei der Herstellung von Planziegeln), geprüft und sortiert. Die dabei anfallenden Stäube bzw. kaputten Ziegel werden, soweit möglich, wieder für die Produktion aufbereitet. Dabei werden Stäube in der Regel direkt als Magerungsmittel in die Produktion rückgeführt. Brennbruch wird, wie bereits in 1.2.4 erläutert, extern oder über einen mobilen Brecher aufbereitet und ebenfalls wieder als Magerungsmittel in die Produktion eingesetzt oder in anderen Industriebereichen verwendet.

5.1.6.3 Maßnahmen, Weiterentwicklung und Potentiale

Bezüglich der Nachbearbeitung wurden keine weiteren Maßnahmen und Weiterentwicklungen zur Steigerung der Materialeffizienz identifiziert.

5.1.7 Verwertung/Beseitigung

5.1.7.1 Spezifische BVT 2007

Im BVT-Merkblatt wird beschrieben, dass gebrochene Ziegelsteine zum Beispiel als Substrat für die Dachbegrünung, für Tennisplätze oder als Zuschlagstoff für Spezialbeton verwertet werden können.

5.1.7.2 Stand der Technik 2016

Während der Produktion anfallende Reststoffe (Massereste, Bruch, Stäube) werden weitgehend wieder in die Produktion zurückgeführt, während Brennbruch z.T. auch in anderen Industriesektoren wieder eingesetzt wird. Laut Rosen wird ca. ein Drittel des Brennbruchs wieder in die Produktion zurückgeführt, gut ein Viertel wird zur Füll- und Wegebefestigung in der Grube verwendet, ein weiteres Viertel findet in der Tennissandherstellung Anwendung und der Rest wird als Pflanzensubstrat oder sonstiges genutzt. Abfälle, die nach der Verwendung des Produkts anfallen, können je nach Sortenreinheit wieder für die Produktion aufgearbeitet werden, oder als Zuschlagstoff für Ziegelsplittbeton, Pflanzsubstrat, als Füll- oder Schüttmaterial im Wege- und Tiefbau, Material für die Wiederverfüllung von Gruben und Brüchen, beim Bau von Lärmschutzwällen sowie als Tennismehl und Tennissand eingesetzt werden [Rosen 2008], [Rosen 2016].

Reine Mengenangaben für in Deutschland anfallende Ziegelabfälle aus Abbruch bzw. Rückbau gibt es nicht. Ziegel wird zusammen mit Bauschutt gesammelt. In Deutschland fielen im Jahr 2014 54,6 Mio. t Bauschutt an. Davon wurden ca. 8% beseitigt. Bezogen auf den Ziegelanteil von ca. 20% (ca. 11 Mio. t) entspricht dies ca. 0,9 Mio. t [KWTB 2014], [Müller 2016].

Die Verwertung von Bauschutt als mineralischer Ersatzbaustoff wird aktuell noch in der LAGA M 20 (Stand 2003) geregelt, die sich hauptsächlich auf die Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung bezieht. Zukünftig soll die Verwertung von Bauschutt von der Ersatzbaustoffverordnung geregelt werden, die erstmalig bundeseinheitlich und rechtsverbindlich Anforderungen an die Herstellung und den Einbau mineralischer Ersatzbaustoffe festlegt. Im Februar 2017 wurde ein Referentenentwurf der Verordnung zur Einführung einer Ersatzbaustoffverordnung (EBV), zur Neufassung der Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung und zur Änderung der Deponieverordnung und der Gewerbeabfallverordnung veröffentlicht, aber noch nicht innerhalb der Bundesregierung abgestimmt⁷.

5.1.7.3 Maßnahmen, Weiterentwicklungen und Potentiale

Das Aufbereiten und Recyceln der verwendeten Ziegelprodukte findet zwar nicht innerhalb der Produktion der Ziegel statt, kann aber dazu beitragen die Ressourceneffizienz im Bauwesen zu erhöhen. Hier werden Maßnahmen zur Weiterverwendung von Ziegelbruch außerhalb der Keramikindustrie aufgeführt (siehe Tabelle 8) und jeweils unter Angabe von Potentialen, Hemmnissen und Lösungsansätzen erläutert.

⁷ <http://www.ersatzbaustoffverordnung.de/>, aufgerufen am 28.06.2017

Tabelle 8: Maßnahmen und Weiterentwicklungen in der Ziegelindustrie bezüglich der Verwertung

Nr.	Maßnahme	Material-effizienz-steigerung durch	Umsetzungs-rate (hoch, mittel, gering)	Reduktion der Primär-rohstoff-menge (%)	Poten-tial (0, +, ++, +++)	Bemerkung
ZV10	Sortenreine Trennung der Abfälle zur Wiederverwertung in anderen Industriebereichen		Mauerwerk: gering		++	
			Dachziegel: hoch		0	
			Pflasterk-linker: hoch		0	
ZV11	Wiederverwertung in anderen Industrieproduktionen/Bereichen		Mauerwerk: gering		++	Das Potential bezieht sich auf ein höherwertiges Recycling.
			Dachziegel: hoch		0	
			Pflasterk-linker: hoch		0	
ZV12	Verwertung der Gipsformen		Gering		+	

ZV= Ziegel, Verwertung

ZV10: Sortenreine Trennung der Abfälle zur Wiederverwertung in anderen Industriebereichen

Jährlich fallen ca. 54 Mio. t Bauschutt an [KWTB 2014]. Laut Müller entfallen 20%, ca. 11 Mio. t, des jährlich anfallenden Bauschutts auf Ziegel. Der größte Teil wird gegenwärtig bereits verwertet [Müller 2016]. Die Recycling-Baustoffe werden überwiegend im Straßenbau, Erdbau, Deponiebau und als Gesteinskörnung in der Asphalt- und Betonherstellung eingesetzt [KWTB 2012; BMBF 2013].

Laut einer Studie der BAM und der Universität Stuttgart fallen jährlich bis zu 10 Mio. t. vorwiegend nicht homogener Mauerwerkbruch an [Rübner und Schneider 2013]. Dachziegel und Pflasterklinker werden häufig auf der Baustelle sortenrein erfasst und verwertet.

Um einen Einsatz des anfallenden Recycling-Ziegelbruchs in der eigenen Produktion zu ermöglichen, muss ein sortenreiner Rückbau mit hoher Qualität gewährleistet sein. Eine Rückführung von gebrauchtem Ziegelbruch zur Aufbereitung und Zumischung als Rohstoffersatz für die Neuproduktion ist in der Regel aus Qualitätsgründen nicht üblich [Rosen 2016].

Beim selektiven Abbruch werden in der Regel Kombinationen unterschiedlicher Rückbauverfahren angewandt. Demontagetechniken können beispielsweise mit gängigen Abbruchverfahren für den Rückbau der Materialhauptströme, in der Regel Beton oder Ziegel, gekoppelt werden. Durch sie kann im Zuge des Rückbaus eine sofortige Trennung der Abbruchmassen erfolgen, wodurch sich hohe Recyclingquoten der Baurestmassen erreichen lassen. Die verschiedenen Abbruchfraktionen werden in den einzelnen Demontagestufen gewonnen und in den Stoffkreislauf rückgeführt [Weimann et al. 2013].

Heutige Rückbau- und stationäre Bauschuttaufbereitungskonzepte sind in der Praxis nur in wenigen Fällen in der Lage, hochwertig einsetzbare rezyklierte Gesteinskörnungen aus Mauerwerk herzustellen. Eine Forderung heute ist, dass das Mauerwerk nach Arten getrennt rückgebaut und aufbereitet wird, um die Nachhaltigkeit der Vorgehensweise zu verbessern [Bischof et al 2014].

Eine zukünftige Lösung könnte darin bestehen, grob vorzerkleinerten Mauerwerksbruch mittels sensorgestützter Sortierung in seine Bestandteile zu trennen. Als Sortiermerkmale können die Farbe und/oder Spektren im Nahinfrarotbereich (NIR) dienen [Müller 2016]. Für die Anwendung in der Recyclingpraxis gibt es bisher wenige Beispiele bzw. Berichte darüber. In Spanien wird Gips aus Bauschutt mittels NIR-Sensorik ausgeschleust. In der Schweiz wird ebenfalls eine entsprechend ausgerüstete Recyclinganlage betrieben. Eine direkte chemische Analyse als Grundlage der Sortierung ist mit dem Verfahren der Laser-Emissionsspektroskopie (LIBS) möglich und für Feuerfestmaterialien bereits in der Anwendung [Müller 2016]. Ob sensorgestützte Verfahren zukünftig auch für die Sortierung von mineralischem Bauschutt zur Anwendung kommen werden, wird weniger von der technischen als von der wirtschaftlichen Machbarkeit abhängen [Müller 2016]. Sensorgestützte Sortierverfahren wurden bereits in der Ziegelindustrie ausprobiert und erforscht. Obwohl sie für Gips gut geeignet sind, eignen sie sich derzeit nicht für die sortenreine Sortierung von Ziegeln, da nicht alle Ziegel ein NIR Spektrum haben [Fachgespräch Ziegelverband 2017].

Potential: Hier wird bezüglich der Mauerziegel noch Potential gesehen, die Recyclingstoffe besser zu trennen um sie dann, falls aufgrund des Sulfatgehalts in der Ziegelproduktion nicht erwünscht, in anderen Industriebereichen besser wiederverwenden zu können.

Hemmnisse: technische Machbarkeit, Wirtschaftlichkeit.

Lösungsansatz: Forschung.

ZV11: Wiederverwertung in anderen Industrieproduktionen/Bereichen

Für die Weiterverwertung von Ziegelbruch gibt es schon zahlreiche Möglichkeiten wie z.B. Zuschlagstoff für Ziegelsplittbeton, als Füll- oder Schüttmaterial im Wege- und Tiefbau, Material für die Wiederverfüllung von Gruben und Brüchen, sowie beim Bau von Lärmschutzwällen [IBU 2015a], [Rosen 2016]. Für den Einsatz bei Sportanlagen mit Tennenflächen wie beispielsweise Sandtennisplätze, Hartfußballplätze oder auch Reitplätze eignen sich aufbereitetes Bruchmaterial oder auch sortenrein vorliegende Gemische aus dem Rückbau von Vormauerklinkern und Dachziegeln. Der Bedarf an Ziegelsplitt für diese Einsatzgebiete ist allerdings gering und wird hauptsächlich mit Bruchmaterial aus Ziegelwerken gedeckt [Müller 2016]. Hintermauerziegelbruch ist häufig zu weich zur Wiederverwertung als Tennismehl und Tennissand.

Keramischer Ziegelbruch kann auch für die Herstellung von Kultursubstraten für Dachbegrünungen, Baum- und Pflanzsubstraten sowie im Garten- und Landschaftsbau verwendet werden. Er wird hierfür in der Regel in spezialisierten und güteüberwachten Betrieben aufbereitet [BMUB 2016], [Müller 2016].

Um dieses hohe Marktinteresse flächendeckend in Deutschland bekannt zu machen und den schon etablierten Stoffkreislauf zu optimieren, hat der Bundesverband der Deutschen Ziegelindustrie e.V. damit begonnen, den Stoffkreislauf am Beispiel der keramischen Tondachziegel zu erfassen, zu dokumentieren und im Sinne eines stofflich hochwertigen Recyclings bekannt zu machen. Das Netzwerk soll mit Unternehmen (Veredler) ergänzt werden, die den Ziegelbruch zu Produkten wie Substrate für die Dachbegrünung, Schotterrasen, GaLaBau-Erden, RC-Baustoffe für den Wegebau und Gesteinskörnungen für den Tennendeckenbau weiter verarbeiten [BMUB 2016]. Eine ausführliche Darstellung findet sich in der „Neuen Landschaft“, Februar 2018 [Roth-Kleyer 2018]. Auch im Rahmen eines gemeinschaftlichen Forschungsprojektes „Stoffkreislauf im Mauerwerksbau – SiM“ der deutschen Mauersteinindustrie wird die Herstellung von Vegetationssubstraten als Möglichkeit des Recyclings von Gesteinskörnungen aus hochwertigem rückgebauten Ziegelmauerwerk genannt. Aufgrund der Porosität und des damit verbundenen Wasser- und Luftspeicherpotentials sind sie optimal einsetzbar und können somit die nur regional in Deutschland vorkommenden natürlichen Gesteine Lava und Bims ersetzen. [Bischoff et al 2014].

Eine weitere Einsatzmöglichkeit von sortenreinem Ziegelbruch stellt die Herstellung von Kalksandsteinen mit aufbereitetem Ziegelbruch als Sandersatz dar [Müller 2016]. Dies wurde bereits erprobt. Da der Kalksandstein dann allerdings eine ungewöhnliche rosa Farbe aufwies, fand sich bisher kein Absatz für diese Produkte [Fachgespräch Ziegelverband 2017].

Die zahlreichen Verwertungsmöglichkeiten sind hauptsächlich bei sortenreinem Ziegelbruch anwendbar. Die Erzeugung sortenreiner Körnungen aus dem Abbruch/Rückbau stellt noch eine technologische Herausforderung dar, die bisher nicht gelöst ist [Müller 2016]. Heute lassen sich nur aus selektiv gewonnenen Mauerwerksarten RC-Baustoffe mit hohen Sortenreinheitsgraden > 80 M.-% produzieren, die hochwertig im Vegetationsbereich verwendbar sind [Bischoff et al 2014].

Von den Ziegelherstellern werden derzeit schon unterschiedliche Rücknahmesysteme angeboten. Dabei werden z.B. komplette Ziegel mit Dämmstoff-Füllung gesammelt (Baustellenabfälle) und im Rahmen der nächsten Lieferung an den Ziegelhersteller zurückgegeben [AMZ 2014].

Wichtig ist dabei auch hier die sortenreine Sammlung des Ziegelbruchs.

Potential: Hier wird noch Potential gesehen, den Ziegelbruch höherwertig zu recyceln wie z.B. für Pflanzsubstrate oder Tennissand.

Hemmnisse: Qualität, Skepsis der Kunden.

Lösungsansatz: Forschung, Marketing.

ZV12: Verwertung der Gipsformen

Die bei der Ziegelherstellung anfallenden Gipsformen (siehe Kapitel 5.1.3) können recycelt und wieder eingesetzt werden. Es sind derzeit drei Recyclinganlagen in Betrieb, die vorrangig Gipskartonplattenabfälle und auch Gipsformen aus der Industrie wieder aufbereiten. Weitere Anlagen sind in Planung. Allerdings ist die Abgabe von Gipsabfällen nur für Ziegeleien ökonomisch günstig, deren Produktionsstandorte in der Nähe dieser Aufbereitungsanlagen liegen. Dies ist bei den aktuellen Standorten nicht gegeben. Es ist allerdings geplant, die Gipsverwertungskapazitäten in Deutschland zu erweitern [Fachgespräch UBA 2017]. Es ist davon auszugehen, dass mit einer Erhöhung der Kapazitäten und einer guten geographischen Verteilung, die Gipsverwertung erleichtert und somit erhöht werden wird. Recyclingfähige gipshaltige Abfälle die nicht die vorhandenen Recyclinganlagen erreichen, werden von den Entsorgungsfirmen über billigere und teilweise sehr fragwürdige Wege (Deponierung, Export z.B. nach Tschechien) beseitigt und gehen der heimischen Sekundärrohstoffwirtschaft verloren. [Fachgespräch UBA 2017].

Potential: Hier wäre Potential vorhanden, wenn es mehr Aufbereitungsanlagen und eine bessere Logistik gäbe.

Hemmnisse: Wenige Aufbereitungsanlagen, lange Wege, daher kostenaufwendiger als Deponierung.

Lösungsansatz: Bessere Logistik, höhere Deponiepreise, Schließen von fragwürdigen Entsorgungswegen.

5.1.8 Zusammenfassung

In der Ziegelindustrie wurden 12 Maßnahmen und neue Entwicklungen zur Steigerung der Materialeffizienz in der Ziegelproduktion identifiziert. Diese betreffen vor allem die Masseaufbereitung, die Formgebung und das Produktdesign und die Verwertung gebrauchten Ziegelbruchs, die sich zwar nicht mehr direkt auf die Produktion bezieht, aber dazu beitragen kann, die Materialeffizienz in der Produktion zu erhöhen. Die sektorweiten Potentiale werden bei den meisten Maßnahmen eher als gering eingeschätzt, Potential wird noch bei der sortenreinen Trennung des Ziegelmauerwerks sowie der Verwertung von Ziegel- und Gipsabfällen in anderen Industriebereichen gesehen. Auf diese zwei Maßnahmen haben die Ziegelproduzenten allerdings keinen Einfluss. **Zur weiteren Verbesserung**

der Materialeffizienz in der Ziegelproduktion müssten die einzelnen Prozessschritte in den Werken individuell analysiert werden.

Insgesamt wird die Materialeffizienz in der Ziegelindustrie schon als relativ hoch eingeschätzt. Dies hängt auch mit den hohen Materialkosten und den verpflichtenden Energiemanagementsystemen zusammen, durch die die Ziegelhersteller schon jetzt gezwungen sind, eine jährliche Verbesserung darzustellen.

In Tabelle 9 sind alle Maßnahmen und Weiterentwicklungen zur Steigerung der Materialeffizienz in der Produktion der Ziegelindustrie übersichtlich dargestellt.

Tabelle 9: Maßnahmen und Weiterentwicklungen in der Ziegelindustrie

Nr.	Maßnahme	Material-effizienz-steigerung durch	Umset-zungsrate (hoch, mittel, gering)	Reduk-tion der Primär-rohstoff-menge (%)	Poten-tial (0, +, ++, +++)	Bemerkung
ZM1	Einsatz von intern anfallenden Reststoffen während der Produktion (Stäube, Massereste, Trockenbruch)	Substitu-tion	hoch		0/+	SdT, nahezu 100% der anfallenden Reststoffe werden wieder eingesetzt
ZM2	Einsatz von intern anfallendem Brennbruch	Substitu-tion	mittel		0/+	SdT, ein Drittel des anfallenden Brennbruchs wird wieder eingesetzt, die restl. Mengen werden extern verwertet (aufgrund der gegebenen Nachfrage)
ZM3	Einsatz von extern anfallenden Reststoffen/Abfällen wie z.B. sortenreine Mauerziegel aus dem Rückbau und Baubrachabfälle	Substitu-tion	gering		0/+	
ZM4	Einsatz von Recyclingstoffen aus anderen Industriebereichen	Substitu-tion	sehr gering		0/+	Laut Aussage des Bundesverbandes der deutschen Ziegelindustrie momentan nicht möglich

Nr.	Maßnahme	Material-effizienz-steigerung durch	Umset-zungsrate (hoch, mit-tel, gering)	Reduk-tion der Primär-rohstoff-menge (%)	Poten-tial (0, +, ++, +++)	Bemerkung
ZM5	Zusatz von Additiven zur Reduzierung der Trocken-bruchanfälligkeit der Zie-gelrohlinge	Einsparung	hoch		0/+	
ZP6	Ersatz der Gipsformen	Substitu-tion	gering		0/+	Betrifft Gipsfor-men
ZP7	Reduktion des Dachziegel-gewichts pro Fläche	Einsparung	hoch		0/+	Betrifft Dachzie-gel
ZT8	Optimierung des Trock-nungs-/Brennprozesses zur Reduktion des Ausschusses durch die Zugabe von Addi-tiven	Einsparung	mittel		0/+	
ZG9	Rückgewinnung und Wie-dereinsatz von Gla-sur/Engobe	Einsparung	hoch		0/+	SdT
ZV10	Sortenreine Trennung der Abfälle zur Wiederverwer-tung in anderen Industrie-bereichen		Mau-erwerk: gering		++	
			Dachziegel: hoch		+	
			Pflasterk-linker: hoch		+	
ZV11	Wiederverwertung in ande-ren Industrieproduktio-nen/Bereichen		Vormau-erklinker: hoch		+	Das Potential bezieht sich auf ein höherwertiges Recycling.
			Dachziegel: hoch		+	
			Hintermau-erziegel: gering		++	
ZV12	Verwertung der Gipsfor-men		Gering		+	

5.2 Wand- und Bodenfliesen

5.2.1 Allgemeine Informationen

5.2.1.1 Produktbeschreibung

Wand- und Bodenfliesen sind gebrannte feinkeramische Produkte. Sie werden überwiegend als Wand- und Bodenbeläge im Innen- wie im Außenbereich eingesetzt und finden Anwendung im Bad, in der Küche, in Fluren und Dielen sowie in Wohn- und Schlafzimmer, Balkonen und Terrassen. Sie finden außerdem Anwendung in gewerblichen und industriellen Bereichen, in öffentlichen Bauten, in Schwimmbädern und Fassaden usw. Darin enthalten sind Fliesen aller Formate, vom 1 x 1 cm Mosaik bis hin zur XXL-Fliese im Format von über 120 cm x 120 cm sowie in dicken von ca. 5 mm bis hin zu überstarken Fliesen für den Schwerlastbereich von gut 20 mm. Hinzu kommen spezielle Formteile, Schwimmbadfliesen und Fassadenelemente in jedweder Form und Größe bzw. Gewicht [IBU 2011], [IBU 2016a].

Je nach Stoffzusammensetzung, Herstellungsmethode und Wasseraufnahmekapazität lassen sich die Wand- und Bodenfliesen unterteilen in

- ▶ Steingut
- ▶ Steinzeug
- ▶ Feinsteinzeug und
- ▶ Spaltplatten

Die klassische Wandfliese aus **Steingut** ist in der Regel trocken gepresst und porös. Sie hat eine Wasseraufnahme von über 10%, teilweise bis zu 18% und 19%. Dementsprechend ist sie leichter, jedoch auch, im Vergleich zu Stein- und Feinsteinzeug Fliesen, weniger fest, nicht frostresistent und daher nur für den Innenbereich geeignet. **Steinzeug** sowie **Feinsteinzeug** nehmen dagegen wesentlich weniger Wasser auf. Sie haben eine Wasseraufnahmekapazität von maximal 3% bzw. 0,5%. Sie sind extrem dicht gesintert, besonders hart, robust und frostbeständig. Damit eignen sie sich insbesondere für die Verlegung auf den Boden und im Schwerlastbereich, innen wie außen. Das trifft auch auf **Spaltplatten**, also stranggepresste Produkte, zu [IBU 2011]. Moderne Fliesenkleber ermöglichen inzwischen auch eine Verlegung der Steinzeug- und Feinsteinzeugplatten an der Wand [Fachgespräch Fliesen 2017].

5.2.1.2 Produktionskennzahlen und -prozesse

Für die Herstellung von keramischen Fliesen wird in der deutschen Keramikindustrie ein Rohstoffge-
menge eingesetzt, das sich, je nach Produktgattung, aus

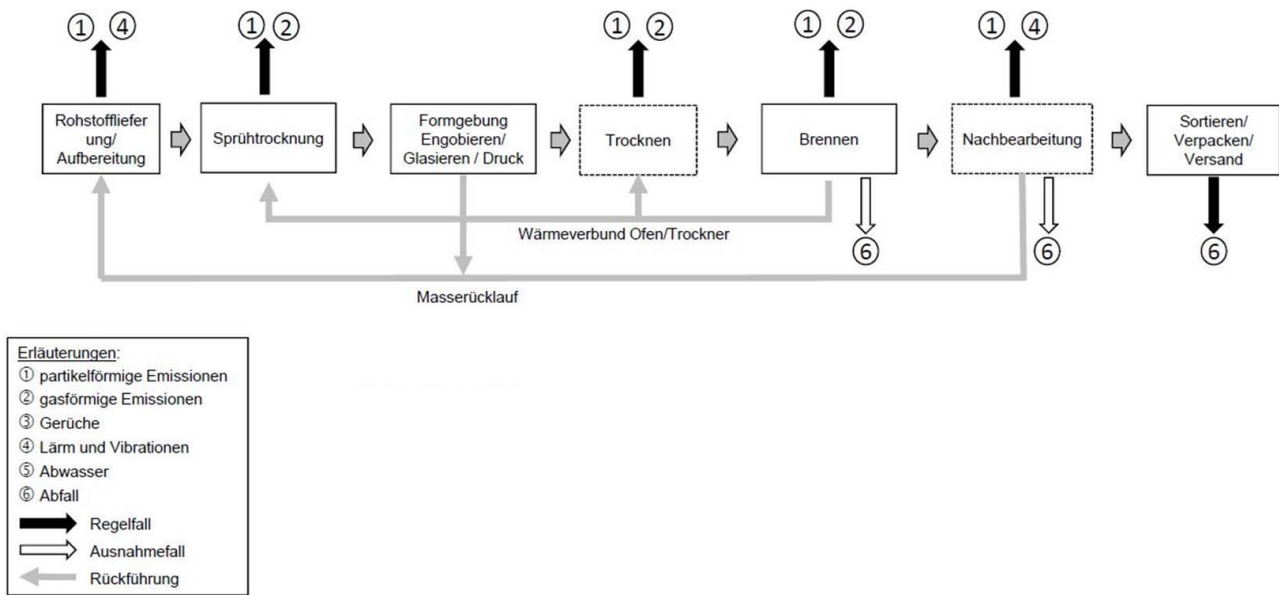
- ▶ ca. 45-60% Tonen,
- ▶ ca. 25% Feldspat,
- ▶ ca. 7% Kaolin,
- ▶ ca. 3% Kalkstein,
- ▶ ca. 3% Sand (als Magerungsmittel) und
- ▶ ca. 4% Glasuren/Engoben, Dekorfarbe und Additiven (z.B. Vergütungen)

zusammensetzt [IBU 2016a].

In 2013 wurden ca. 1 Mio. t Spezialton und 0,2 Mio. t Kaolin für die Produktion von Fliesen verwendet [BBS 2016]. Für das Jahr 2015 wird der Rohstoffeinsatz auf etwa 900.000 – 950.000 t/a geschätzt [Fachgespräch Fliesen 2017].

Die Rohstoffe werden aufbereitet, sprühgetrocknet und anschließend geformt, engobiert bzw. glasiert und gebrannt. Bei Bedarf werden sie noch getrocknet und/oder nachbearbeitet (siehe Abbildung 5). In den Kapiteln 5.2.2 bis 5.2.6 sind die einzelnen Produktionsprozesse genauer beschrieben.

Abbildung 5: Betrachtete Produktionsprozesse in der Fliesenindustrie



Quelle: VDI 2585, Druck in Vorbereitung 2018

In 2015 wurden ca. 47,2 Mio. m² Fliesen produziert (im Vergleich: im Jahr 2007 waren es 66,7 Mio. m²). Dies entspricht einer Masse von ca. 0,85 Mio. t [Fachgespräch Fliesen 2017].

Von den 0,85 Mio. t produzierten Fliesen entfallen nach verbandsinternen Schätzungen knapp unter 50% auf Steingut, 10-15% auf Steinzeug und ca. 40% auf Feinsteinzeug (mit steigender Tendenz) [Fachgespräch Fliesen 2017].

Der jährliche Energieverbrauch beträgt laut Institut Bauen und Umwelt e.V. (IBU) für die Fliesenherstellung ca. 125 MJ pro produzierten m² Fliese in Deutschland [IBU 2011]. Wasser wird für die Nassaufbereitung der Masse sowie in geringen Mengen für den Glasur- bzw. Engobierprozess benötigt. Genaue Mengenangaben zum Wasserbedarf in der Produktion sind nicht verfügbar.

Während der Produktion anfallende Massereste, Stäube und Trockenbruch können in der Regel direkt wieder in die Produktion zurückgeführt werden [Fachgespräch Fliesen 2017] und ist Stand der Technik. Abhängig vom Produkt und den damit verbundenen Qualitäts- und Farbanforderungen können zwischen 0 und 100% - je nach anfallenden Reststoffen - direkt wieder eingesetzt werden.

Bei der Fliesenproduktion fällt ca. 5-10% gebrannter Fliesenbruch an, der nach entsprechender interner Aufbereitung entweder in die Produktion rückgeführt oder extern verwertet bzw. in sehr geringem Maße, beseitigt (deponiert) wird. Bei der Herstellung von Fliesen aus Steingut und Steinzeug können der Masse bis zu 4% des gebrannten Fliesenbruchs zugefügt werden. Bei der Herstellung von Feinsteinzeugfliesen wird wenig bis kein gebrannter Fliesenbruch wiederverwendet, da dieser aufgrund der hohen Festigkeit nicht intern aufbereitet (gemahlen) werden kann. Er wird deshalb extern recycelt [Fachgespräch Fliesen 2017].

Anfallende Verunreinigungen aus der Aufbereitung der Rohstoffe werden typischerweise extern entsorgt. In der Regel können bereits über 95% der anfallenden Reststoffe und Abfälle bei der Steinzeug- und Steingutfliesenherstellung intern aufbereitet und größtenteils wieder in der Produktion eingesetzt werden. Bei der Feinsteinzeugherstellung erfolgt ein externes Recycling des Fliesenbruchs. Der Anteil an Reststoffen, der während der Produktion anfällt und extern beseitigt (deponiert) werden muss, liegt aktuell bei <1% [Fachgespräch Fliesen 2017]. Abwasser fällt bei der Fliesenproduktion nur in Ausnahmefällen an. Für die Nassaufbereitung eingesetztes Wasser entweicht während der Trocknung und des Brennprozesses, anfallende Reinigungswässer und Schlämme werden in der Regel in den Aufbereitungsprozess zurückgeführt.

Fliesenabfälle werden zusammen mit Baubrachabfällen verwertet (insbesondere im Straßenbau) oder beseitigt. Die genaue Menge ist nicht bekannt. Da im Jahr 2014 ca. 8% des Bauschutts beseitigt wurden, kann davon ausgegangen werden, dass auch ungefähr 8% des Fliesenabfalls beseitigt wurde [KWTB 2014], [Fachgespräch UBA 2017]. In Deutschland gibt es derzeit ca. 29 Produktionsanlagen (Betriebsgröße: Mitarbeiter ≥ 50), die ca. 4.311 Mitarbeiter beschäftigen [DESTATIS 2016a], [DESTATIS 2016c].

In Tabelle 10 sind einige relevante Kennzahlen der Fliesenindustrie dargestellt.

Tabelle 10: Produktionskennzahlen für die Fliesenindustrie

Produktionsparameter	Kennzahlen für das Jahr 2015 (neuestes Jahr)
Einsatz Rohmaterial	ca. 900.000 – 950.000 t
Produkt	47 Mio. m ² (Fachgespräch Fliesen 2017) entspricht ungefähr 0,85 Mio. t
Energieverbrauch	Ca. 125 MJ (nur Produktion) pro produzierten m ² Fliese
Wasserbedarf	Wasser wird hauptsächlich für die Nassaufbereitung der Masse sowie in geringen Mengen für den Glasur- bzw. Engobierprozess benötigt. Genaue Mengenangaben zum Wasserbedarf in der Produktion sind nicht verfügbar.
Reststoffe, die während der Produktion anfallen	Stäube, Massereste, Trockenbruch, Verunreinigungen, Abwasser, Schlämme (der Großteil davon wird wieder unmittelbar oder nach Aufbereitung der Produktion zugeführt). Ca. 5-10% Brennbruch. Bei der Steigut- und Steinzeugfliesenherstellung wird der größte Teil nach interner Aufbereitung wieder rückgeführt, der Rest wird größtenteils extern verwertet; bei der Feinsteinzeugfliesenherstellung wird der größte Teil extern verwertet.
Reststoffe, die während der Produktion anfallen und extern entsorgt werden	<1% (Deponierung)
Abwasser	Abwasser fällt bei der Fliesenproduktion in der Regel nicht an.
Mineralische Abfälle, die extern anfallen (Abbruchabfälle)	Keine aktuellen Informationen verfügbar
Mineralische Abfälle, die extern anfallen (Abbruchabfälle) und entsorgt werden	Ca. 8% (Deponierung)
Umsatz	513 Mio. [DESTATIS 2016a]
Anzahl Anlagen	24
Anzahl Mitarbeiter	4311

5.2.2 Masseaufbereitung

5.2.2.1 Spezifische BVT 2007

Allgemein beschreibt das BVT-Merkblatt 2007 die Rückführung ungemischter Rohstoffe sowie die Rückführung beschädigter Scherben in den Herstellungsprozess als Stand der Technik. Gebrannte Produkte wie Bruchware können in manchen Fällen nach Mahlung als Rohmaterial verwertet werden.

Als BVT ist festgelegt, den bei der Prozessabwasseraufbereitung anfallenden Schlamm bei der Herstellung der Scherben mit einem Anteil von 0,4 bis 1,5 Gewichtsprozent (hinzugegebenen trockenen Schlamms bezogen auf die Scherbenmasse) durch Einsatz eines Schlammaufbereitungssystems wiederzuverwenden, soweit möglich.

5.2.2.2 Stand der Technik 2016

Einsatzstoffe

Bei der Herstellung von Wand- und Bodenfliesen werden vor allem die Rohstoffe Ton, Kaolin, Feldspat, Quarz, Wasser, Dolomit, Speckstein, Schamott, Kalk oder Calcit eingesetzt [IBU 2016a], [Kollenberg 2013], [Fachgespräch Fliesen 2017].

Die Verwendung von intern anfallenden Reststoffen wie Schlämme (ohne Flockungsmittel), Stäube, Massereste, Trockenbruch und Abwasser aus der Produktion ist Stand der Technik und beträgt je nach Qualitäts- und Farbanforderungen der einzelnen Fliesenprodukte und je nach anfallenden Reststoffen zwischen 0 und 100%. Bei der Herstellung von weißen Fliesen können z.B. keine Reststoffe aus der Herstellung von dunklen Fliesen verwendet werden („Salz und Pfeffer“ Effekte). Um eine möglichst hohe interne Wiederverwendungsquote zu erreichen werden die anfallenden Reststoffe, die nicht sofort wieder in den Produktionsprozess zurückgeführt werden können z.T. zwischengelagert und nach Farben sortiert. Bei Feinsteinzeug ist die Verwendung von farbreinen Einsatzstoffen besonders wichtig, da die Farbe durch den Scherben definiert wird.

Der Wiedereinsatz von gebrannten Fliesenbruch hängt u.a. von der produzierten Fliesenart (Steingut, Steinzeug oder Feinsteinzeug), den für die Aufbereitung des Fliesenbruchs zur Verfügung stehenden Anlagen, der Menge des im Betrieb anfallenden Fliesenbruchs sowie den Möglichkeiten, diesen einer hochwertigen externen Verwertung zuzuführen, ab. Produktionsbruch wird schon seit Jahrzehnten in gemahlener Form als Magerungsmittel in der Produktion wiederverwertet [IBU 2016a]. Dies ist Stand der Technik.

Bei Steinzeug und Steingut kann gebrannter Bruch meist ohne größere Probleme wieder eingesetzt werden. 3-4% der Primäreinsatzstoffe können in der Regel durch gebrannten Bruch bzw. Stäuben aus gebrannten Bruch aus der Nachbereitung oder aufbereiteten Schlämmen ersetzt werden. Höhere Anteile können die Eigenschaften der Masse verändern und somit zu höherem Ausschuss führen [Fachgespräch Fliesen 2017].

Aufgrund der besonderen Anforderungen an die Masse bei Feinsteinzeug (sehr fein gemahlene Rohstoffe) hängt in diesem Bereich der Wiedereinsatz von gebrannten Bruch v.a. von den im Betrieb zur Verfügung stehenden Aufbereitungsmöglichkeiten (Brech- und Mahlanlagen) für den gebrannten Bruch ab. Aufgrund der sehr hohen Investitionskosten für diese Anlagen ist es für die Firmen wirtschaftlich nicht sinnvoll den gebrannten Bruch intern aufzubereiten. Er wird stattdessen in anderen Industriesektoren recycelt oder im Straßenbau verwendet.

In sehr geringen Mengen werden auch extern anfallende Reststoffe/Recyclingstoffe (z.B. Glasmehl) eingesetzt. Dies ist aber eher die Ausnahme, weil diese in hinreichender Qualität und Menge meist nicht verfügbar sind [Fachgespräch Fliesen 2017].

Zusätzlich werden Additive als Verflüssigungshilfsmittel bei der Nassaufbereitung eingesetzt. Diese betragen ca. 0,3% (bezogen auf die Trockenmasse der Einsatzstoffe) [Fachgespräch Fliesen 2017].

Masseaufbereitung

Die Ausgangsmaterialien werden zunächst zerkleinert und gemahlen und nach Rezept verwogen. Anschließend werden alle Stoffe in einer Trommel zu einer keramischen Masse homogenisiert, dies kann entweder trocken oder nass erfolgen. Bei der Trockenaufbereitung wird die Masse lediglich befeuchtet, um Staubemissionen zu reduzieren. Bei der Nassaufbereitung wird der Masse Wasser zugegeben,

welches anschließend z.B. durch Sprühtrocknung auf einen definierten Feuchtegrad reduziert wird. Derzeit wird die Masse bei den meisten Standorten nass aufbereitet, da mit der Nassaufbereitung die erforderliche Homogenität und hohe Qualität des Rohstoffs besser gesteuert und gewährleistet werden kann. Abhängig vom anschließenden Produktionsverfahren sind in Einzelfällen auch Trockenaufbereitungsverfahren im Einsatz.

Bei der Masseaufbereitung fallen Massereste, Stäube, Schlämme und Abwasser an, die in der Regel bis zu 100% wieder eingesetzt werden. Werden bei Schlämmen Flockungsmittel eingesetzt, können diese nur bedingt oder gar nicht weiter verwendet werden. Sie werden dann extern verwertet bzw. beseitigt.

Die verwendeten Tone beinhalten je nach Qualität und Abbaugbiet unterschiedliche Mengen an Verunreinigungen. Je nach Qualitätsanforderungen an das Produkt können diese mitverarbeitet werden oder müssen abgesiebt werden. Die Absiebung der Verunreinigungen, die der Vermeidung von späteren Qualitätseinbußen und unerwünschten Verfärbungen dient, erfolgt bei der Nassaufbereitung in der Suspension des Tons. Die abgetrennten Verunreinigungen (bei Feinsteinzeug ca. 1% des eingesetzten Tons) werden entsorgt. Bei der Trockenaufbereitung und bei Produkten, bei denen die Qualitäts- und Farbanforderungen nicht so hoch sind, werden die Verunreinigungen mitverarbeitet.

5.2.2.3 Maßnahmen, Weiterentwicklungen und Potentiale

Die identifizierten Maßnahmen und Weiterentwicklungen zur Steigerung der Materialeffizienz in der Masseaufbereitung (siehe Tabelle 11) werden im Nachfolgenden jeweils unter Angabe von Potentialen, Hemmnissen und Lösungsansätzen erläutert.

Tabelle 11: Maßnahmen und Weiterentwicklungen in der Fliesenindustrie bezüglich der Masseaufbereitung

Nr.	Maßnahme	Material-effizienz-steigerung durch	Umsetzungsrate (hoch, mittel, gering)	Reduktion der Primärrohstoffmenge (%)	Potential (0,+,++,+++)	Bemerkung
FM1	Einsatz von intern anfallenden Reststoffen während der Produktion (Stäube, Schlämme, Massereste, Trockenbruch)	Substitution	hoch		0/+	SdT
FM2	Einsatz von intern anfallendem Brennbruch	Substitution, Einsparung	hoch/gering		0/+	Steinzeug und Steingut: SdT; Feinsteinzeug: gering bzw. nicht möglich
FM3	Einsatz von extern anfallenden Reststoffen/Abfällen wie z.B. sortenreine Fliesen aus dem Rückbau oder Baubrauch	Substitution	gering		0/+	

Nr.	Maßnahme	Material-effizienz-steigerung durch	Umsetzungsrate (hoch, mittel, gering)	Reduktion der Primärrohstoffmenge (%)	Potential (0,+,++,+++)	Bemerkung
FM4	Einsatz von Abfällen/Reststoffen aus anderen Industriesektoren in der Produktion, z.B. Glas-mehl	Substitution, Einsparung	gering		0/+	

FM= Fliesen, Masseaufbereitung

FM1: Einsatz von intern anfallenden Reststoffen während der Produktion (Stäube, Schlämme, Masse- reste, Trockenbruch)

Bei der Produktion von keramischen Fliesen werden anfallende Reststoffe am Entstehungsort gesammelt und teils wieder in die Masseaufbereitung eingespeist (siehe Stand der Technik). Dies ist vor allem bei ungebrannten Reststoffen möglich, da sie keine spezielle Aufbereitung benötigen. Um die Qualität der keramischen Masse nicht zu vermindern ist jedoch z.T. eine sortenreine Trennung und Rückgewinnung der Prozessverluste und Stäube erforderlich.

Bei der Wiederverwendung von Schlämme, die bestimmte Additive (z.B. Flockungsmittel) enthalten, können nicht wiederverwendet werden. Außerdem führt die Schlammzugabe zu Schwankungen in den Produkten. Je mehr Schlämme eingesetzt werden, desto mehr muss nachkalibriert werden. Zu hohe Mengen an Recyclingstoffen können die Qualität beeinflussen und den Ausschuss erhöhen.

Potential: Hier wird das Potenzial als gering angesehen, da bereits der Großteil der anfallenden internen Reststoffe in die Produktion zurückgeführt wird.

Hemmnisse: Qualitätsanforderungen, Verunreinigungen.

Lösungsansatz: Forschung.

FM2: Einsatz von intern anfallendem Brennbruch

Bei Steinzeug und Steingut können 3-4% der Primäreinsatzstoffe in der Regel durch gebrannten internen Bruch bzw. Stäube aus gebranntem Bruch aus der Nachbereitung ersetzt werden. Höhere Anteile können die Eigenschaften der Masse verändern und somit zu höherem Ausschuss führen.

Eine Herstellung von Fliesen aus höherem Recyclingmaterial-Anteil ist der deutschen Fliesenindustrie nicht bekannt und kann in der derzeitigen Produktion auch nicht angewendet werden, da die hohe Qualität der Fliesen nicht mehr gewährleistet werden könnte [Fachgespräch Fliesen 2017].

Bei Feinsteinzeugfliesen ist der Wiedereinsatz von intern anfallendem gebrannten Bruch aktuell nicht bzw. nur sehr bedingt (z.B. Schleifstäube aus der Nachbearbeitung) möglich. Der anfallende Brennbruch wird deshalb extern weiterverwertet.

Potential: Bei der Herstellung von Steinzeug- und Steingutfliesen wird das Potenzial als gering angesehen, da der Fliesenbruch bereits intern aufbereitet und wiederverwendet wird. Bei der Herstellung von Feinsteinzeugfliesen ist zwar grundsätzlich Potenzial vorhanden, aufgrund der u.a. Hemmnisse kann dieses Potenzial aktuell jedoch nicht genutzt werden.

Hemmnisse: Verfügbarkeit von geeigneten interner Aufbereitungsanlagen (Keramikmühlen), Investitionskosten, Qualitätsanforderungen, Wirtschaftlichkeit.

Aufgrund der besonderen Anforderungen an die Masse bei Feinsteinzeug (sehr fein gemahlene Rohstoffe) hängt in diesem Bereich der Wiedereinsatz von gebranntem Bruch v.a. von den im Betrieb zur Verfügung stehenden Aufbereitungsmöglichkeiten (Brech- und Mahlanlagen) des gebrannten Bruchs ab. Aufgrund der sehr hohen Investitionskosten für diese Anlagen ist es für die Firmen wirtschaftlich nicht sinnvoll den gebrannten Bruch intern aufzubereiten. Auch eine externe Aufbereitung mit anschließendem Wiedereinsatz des Fliesenbruchs in der Fliesenproduktion ist sowohl aus wirtschaftlicher als auch ökologischer Sicht (zusätzliche Transportwege) meist nicht sinnvoll [Fachgespräch Fliesen 2017].

Lösungsansatz: Forschung, Verbesserung der Logistik, Einsatz von mobilen Brechern (allerdings besteht hier die Gefahr des Fremdstoffeintrags durch mangelhafte Sauberkeit oder Abrieb des mobilen Brechers).

FM3: Einsatz von extern anfallenden Reststoffen/Abfällen wie z.B. sortenreine Fliesen aus dem Rückbau oder Bauabbruch

Der Primärrohstoffeinsatz kann reduziert werden, indem externe Reststoffe wie z.B. sortenreine Fliesen aus dem Rückbau verwendet werden. Dadurch können die Abfallströme reduziert und die Rohstoffvorkommen geschont werden. Allerdings gibt es aktuell keine Möglichkeit sortenreine Fliesenabfälle aus dem Rückbau zu erhalten, da immer Kleber und Fugenmasse anhaften, die sich negativ auf die Qualität der daraus produzierten Fliesen bzw. auf den Produktionsprozess auswirken würden.

Bei Fliesenabfällen aus dem Bauabbruch besteht außerdem die Gefahr, dass sich in älteren Fliesen oder Fliesen aus dem EU-Ausland noch gefährliche Stoffe befinden (z.B. Blei), die nicht mehr eingesetzt werden bzw. aufgrund ihrer gefährlichen Eigenschaften verboten sind und bei Wiederverwendung dieser aufbereiteten Fliesenabfälle erneut in den Produktkreislauf eingeführt würden [Fachgespräch Fliesen 2017].

Laut einer Studie von Teipel u. Hefele stellt die Fliesenherstellung einen möglichen Abnehmer für Recyclingmaterial aus Produktionsausschuss im Baustoffgewerbe oder von Bauabfällen dar, da hier ein hoher Bedarf an mineralischen und keramischen Materialien besteht. In einem Forschungsprojekt wurde aus dem Hybridwertstoff Keramik- und Ziegelbruch ein gießfähiger Schlicker hergestellt. Durch die selektive Zerkleinerung wurde außerdem eine Möglichkeit geschaffen, das in den typischen Baustoffen Hochlochziegel, Porenbeton und Kalksandstein enthaltene, schädliche Sulfat auszuwaschen oder aus dem Prozess auszuschleusen. Bei der Formgebung und dem damit verbundenen Trocknen kam es jedoch aufgrund des enthaltenen Ziegelbruchs immer wieder zu Problemen, sodass kein stabiles Keramikprodukt entstehen konnte. Hier besteht weiterer Forschungs- und Entwicklungsbedarf [Teipel u. Hefele 2017].

Bei der Auswahl alternativer Rohstoffe muss auf hohe Qualität und Sortenreinheit geachtet werden, um den Ausschuss zu minimieren. Daher konzentrieren sich die Fliesenhersteller generell zuerst auf den Einsatz ihrer eigenen Produktionsreststoffe bevor sie versuchen, Abfälle aus anderen Industriesektoren einzusetzen. Dies erhöht auch die Wirtschaftlichkeit des Prozesses, da zum einen weniger Einsatzstoffe benötigt werden und zum anderen Reststoffe nicht kostenpflichtig entsorgt werden müssen. Die Marktakzeptanz spielt hierbei auch eine sehr wichtige Rolle. Die Anforderungen an die Produkte werden immer höher und somit die Toleranzen immer geringer [Fachgespräch Fliesen 2017].

Bei der Verwendung von neuen Einsatzstoffen (intern sowie extern) ist zusätzlich darauf zu achten, dass diese auch auf längere Zeit kontinuierlich zur Verfügung stehen, da bei der Änderung der Einsatzstoffe auch jedes Mal der Prozess aufgrund der sich ändernden Eigenschaften der Masse (z.B. anderes Schwindungsverhalten der Masse) angepasst werden muss.

Aufgrund der hohen Anforderungen an das Produkt Fliese wird der Einsatz von Recyclingstoffen (z.B. aufbereiteter Bauschutt) in der Fliesenindustrie sehr kritisch gesehen. Durch den Einsatz von nicht

definierten Rohstoffen kann es zu einer Destabilisierung des Produktionsprozesses kommen und somit zu höherem Ausschuss führen [Fachgespräch Fliesen 2017].

Potential: Aktuell wird das Potenzial für den Einsatz von extern anfallenden Reststoffen/Abfällen wie z.B. sortenreine Fliesen aus dem Rückbau oder Bauabbruch als gering angesehen.

Hemmnisse: Qualitätsanforderungen (alte Fliesen können auch noch asbesthaltige Fliesenkleber oder andere Stoffe enthalten, die nicht mehr erlaubt sind), Wirtschaftlichkeit, Fliesenart (nicht jede Fliesenart kann für die Herstellung einer anderen Fliesenart genutzt werden).

Die aufbereiteten Rückbau- und Bauabbruch-Fractionen können nicht in der erforderlichen Sortenreinheit zur Verfügung gestellt werden.

Lösungsansatz: Sortenreiner Rückbau, Leitlinien für den sortenreinen Rückbau, gesetzliche Regelungen zu den Qualitätsanforderungen, Forschung- und Entwicklung.

FM4: Einsatz von Abfällen/Reststoffen aus anderen Industriesektoren in der Produktion, z.B. Glasmehl

Glasmehl findet Anwendung als Sinterhilfsmittel, in Glasuren oder auch als optische Komponente an der Oberfläche und wird in der Masseaufbereitung als funktioneller Füllstoff eingesetzt. Bei speziellen Produktentwicklungen kann laut Reidt⁸ bei einer Zugabe von beispielsweise 5 Massen-% Glasmehl eine deutliche Erhöhung der Frostwiderstandsfähigkeit um mehr als 70% realisiert werden. Ebenso steigen die Scherbenfestigkeiten um bis zu 20%. Des Weiteren wird die Neigung zur Bildung von Rissen durch die Verbesserung des Brennverhaltens erheblich vermindert.

Derzeit gibt es eine Firma, die Glasmehl seit den 90er Jahren einsetzt. Allerdings muss das Glasmehl aus Klarglas hergestellt und die Qualität des Glasmehls extrem hochwertig sein. Glasmehl macht den Scherben dichter und führt zudem zu Energieeinsparung, da Glasmehl als Sekundärrohstoff eingesetzt wird. Glasmehl ist relativ teuer und auch nicht in großen Mengen in der erforderlichen Reinheit verfügbar, dass es von allen Fliesenproduzenten kontinuierlich bezogen werden könnte [Fachgespräch Fliesen 2017].

Grundsätzlich wäre auch der Einsatz von Filterstäuben aus anderen Sektoren möglich (eine Firma setzt z.B. Filterkuchen aus der Sanitärkeramik in der Masseaufbereitung ein, die Beimengung beträgt bis zu 3% (feucht gewogen)). Allerdings sind diese Sekundärrohstoffe in der erforderlichen Qualität nur sehr begrenzt verfügbar und rechnen sich auch nur, wenn keine weiten Transportwege erforderlich sind [Fachgespräch Fliesen 2017].

In einem Forschungsprojekt wurde untersucht, inwieweit bestimmte nicht gefährliche Industrieabfälle nach entsprechender Aufbereitung als Sekundärrohstoffe für die Fliesenproduktion genutzt werden können. Dazu wurden verschiedene nicht gefährliche Industrieabfälle für das Projekt ausgewählt: Schlamm aus dem Zerkleinerungsprozess von Gneis⁹, Schlamm aus dem Verarbeitungsprozess von Warvit⁹, Schlamm aus dem Filtrations-/Klärungsprozess von Trinkwasser und ein Ton, der auch als Abfall eingestuft wird. Der gesamte Abfall wurde in Kugelmøhlen getrocknet, getrennt und charakterisiert. Es wurden vier Rezepturen hergestellt und nach einer Erstprüfung daraus Fliesen hergestellt. Es konnte gezeigt werden, dass sich die entsprechenden Rezepturen für die Herstellung von Keramikfliesen gut eignen [Junkes et al. 2013].

Dieser Ansatz hat sich bisher nicht in der Praxis durchsetzen können. Aus Sicht der Fliesenindustrie macht es auch hier wirtschaftlich mehr Sinn, den Prozess zu optimieren und den Ausschuss zu reduzieren als den Prozess mit externen Stoffen möglicherweise zu destabilisieren. Aufgrund der hohen

⁸ <http://www.reidt.de/index.php/ceramelt.html>, aufgerufen am 07.07.2017

⁹ Besondere Gesteinsarten

Anforderungen an das Produkt Fliese wird deshalb der Einsatz von Recyclingstoffen (z.B. aufbereiteter Bauschutt) in der Fliesenindustrie sehr kritisch gesehen [Fachgespräch Fliesen 2017].

Potential: Das Potential für den Einsatz von Abfällen/Reststoffen aus anderen Industriesektoren in der Produktion wird aktuell als gering angesehen.

Hemmnisse: Qualitätsanforderungen, Verfügbarkeit der Sekundärrohstoffe mit der erforderlichen Qualität und Menge, Skepsis bei Kunden, mangelnde Akzeptanz, geringe wirtschaftliche Anreize aufgrund von niedrigen Rohstoffpreisen.

Lösungsansatz: Gesetzliche Regelungen, Forschung.

5.2.3 Produktdesign/Formgebung

5.2.3.1 Spezifische BVT 2007

Im Bereich des Produktdesigns kann durch die Umgestaltung keramischer Produkte z.B. zu dünneren Fliesen die Masse reduziert werden. Auf diese Weise kann der Rohstoffeinsatz reduziert werden.

5.2.3.2 Stand der Technik 2016

Die Formgebung von Fliesenrohlingen erfolgt durch Strangpressen, Extrusion oder Trockenpressen, wie Axial- oder Bandpressen. Im so genannten Trockenpress-Verfahren wird die Rohstoffmasse als Granulat in die zukünftige Fliesenform gepresst; bei der Strangpressung wird die breiig aufgearbeitete Rohstoffmasse durch Formgebungsschablonen gepresst [IBU 2011]. Beide Herstellungsmethoden werden angewendet, wobei der Anteil an trockenengepressten Fliesen mit einem Anteil von ca. 95% eindeutig überwiegt [Fachgespräch Fliesen 2017].

Eine technische Neuentwicklung in der Formgebung ist die kontinuierlich betriebene Strangpresse, die anstelle einer klassischen Strangpresse eingesetzt werden kann. Bei der kontinuierlichen Strangpresse wird die Masse kontinuierlich zwischen zwei Bändern auf einer Breite von 120 cm bis maximal 150 cm verdichtet und vor dem Trocknen bereits zum ersten Mal geschnitten. Laut Steuler sind durch dieses Verfahren nach und nach zusätzliche Formate und Fliesenstärken in weiterhin steigender Produktqualität möglich [Steuler 2017].

Die Entwicklung von dünneren Fliesen dient der Einsparung von Rohstoffen und wurde in den letzten Jahren weiter vorangetrieben [Fachgespräch UBA 2016], [Fachgespräch Fliesen 2017].

Bei der Anwendung des Trockenpressverfahrens fallen Stäube an, die entsprechend abgesaugt werden, während bei der Extrusion keine Stäube anfallen. Des Weiteren fallen Massereste an. Stäube und Massereste werden in der Regel wieder komplett in die Masseaufbereitung zurückgeführt.

5.2.3.3 Maßnahmen, Weiterentwicklungen und Potentiale

Die identifizierten Maßnahmen und Weiterentwicklungen zur Steigerung der Materialeffizienz bezüglich der Formgebung/des Produktdesigns (siehe Tabelle 12) werden im Nachfolgenden jeweils unter Angabe von Potentialen, Hemmnissen und Lösungsansätzen erläutert.

Tabelle 12: Maßnahmen und Weiterentwicklungen in der Fliesenindustrie bezüglich des Produktdesigns

Nr.	Maßnahme	Material-effizienz-steigerung durch	Umsetzungsrate (hoch, mittel, gering)	Reduktion der Primärrohstoffmenge (%)	Potential (0,+,++, +++)	Bemerkung

FP5	Entwicklung von dünneren Fliesen	Einsparung	hoch		0/+	
FP6	Einsatz eines Granuliermischers zur wirtschaftlichen Herstellung von Pressgranulaten	Einsparung	gering		0	
FP7	Erkennung, Prüfung und Steuerung von Prozessparametern zur Produktoptimierung	Einsparung	gering		0/+	
FP8	Optimierung der Formgebung zur Reduktion der Nachbearbeitung	Einsparung	mittel bis hoch		0/+	

FP= Fliesen, Produktdesign/Formgebung

FP5: Entwicklung von dünneren Fliesen

Die Entwicklung von dünneren Fliesen ermöglicht die Reduktion der eingesetzten Rohstoffe. Sie wurde in den letzten Jahren weiter vorangetrieben. Die Dicke vieler Fliesen könnte noch geringfügig ohne Qualitätseinbußen reduziert werden, allerdings ist hier die fehlende Marktakzeptanz ein Hindergrund. Es gab auch bereits Versuche, die Rückseite der Fliesen mit Hohlräumen zu versehen, um Material zu sparen. Allerdings führte dies dazu, dass beim Verlegen der Fliesen entsprechend mehr Kleber benötigt wurde. Außerdem werden für die Verringerung der Fliesendicke zusätzlich Additiven benötigt, wobei die benötigte Menge von der Art der Tone abhängig ist [Fachgespräch UBA 2016], [Fachgespräch Fliesen 2017].

Potential: Das Potential zu weiteren Materialeinsparungen durch das Design von dünneren Fliesen wird als gering angesehen.

Hemmnisse: Die Reduktion der Fliesendicke ist begrenzt, da diese ansonsten sowohl bei der Verarbeitung als auch beim Einbau schneller brechen würden und zudem bei der Verlegung mehr Kleber verbraucht wird, was insgesamt die Marktakzeptanz verringert. Weiterhin sind für die Herstellung der dünneren Fliesen zusätzliche Additive erforderlich.

Lösungsansatz: Forschung, Erhöhung der Festigkeit, Marketing.

FP6: Einsatz eines Granuliermischers zur wirtschaftlichen Herstellung von Pressgranulaten

Zur Herstellung von Pressgranulaten werden Nasstrommelmühlen und Sprühtrockner eingesetzt, die in der Regel mit Erdgas- oder Ölfeuerungen beheizt werden. Der Masseschlicker mit einem Wasseranteil von z. B. 35% wird in Sprüh- oder Zerstäubungstrocknern bei Temperaturen bis 400°C auf einen Restfeuchtegehalt von sechs bis sieben Prozent Wasser getrocknet. Es gibt auch Verfahren, in denen das Pressgranulat auf dem Wege der Aufbauagglomeration erzeugt werden kann. Es muss dann nur von Granulierfeuchte 11% auf Pressfeuchte 6-7% zurückgetrocknet werden, was deutliche energetische Vorteile bringt. Durch solche Verfahren kann der Verbrauch von Additiven und Wasser reduziert werden. Außerdem ist ein 60% geringerer Energie- und 80% geringerer Wasserverbrauch möglich.

Dieses Verfahren der Aufbauagglomeration hat sich allerdings in der Fliesenproduktion nicht durchgesetzt, da die Qualität des somit erzeugten Pressgranulats nicht so gut ist wie die des Sprühgranulats. Somit lässt sich die derzeit geforderte Qualität der Fliesen in Deutschland nicht erreichen. Außerdem lassen sich mit dem Aufbaugranulat nur Fliesen bis zu einer maximalen Flächengröße von 60x60 cm herstellen. Großformatige Fliesen können mit diesem Verfahren nicht hergestellt werden [Fachgespräch Fliesen 2017].

Potential: Aktuell wird kein Potential gesehen.

Hemmnisse: Investitionskosten, die geforderte Qualität lässt sich nicht erreichen.

Lösungsansatz: Aktuell nicht relevant.

FP7: Erkennung, Prüfung und Steuerung von Prozessparametern zur Produktoptimierung

Die Qualitätskontrolle der Rohstoffe, Rohlinge, Halb- und Fertigprodukte sowie die Überwachung der relevanten Technologie-Parameter spielt eine große Rolle, um Ausschuss schon vorzeitig vorzubeugen. Die Qualitätskontrolle kann, insbesondere durch zerstörungsfreie und online Messungen zur Erfassung von Kennzahlen wichtiger Materialparameter, noch verbessert werden [Laufer et al. 2007].

Potential: Aktuell wird von Seiten der Fliesenindustrie hier kein Potenzial gesehen da dies bereits schon umgesetzt wird [Fachgespräch Fliesen 2017].

Hemmnisse: --

Lösungsansatz: --

FP8: Optimierung der Formgebung zur Reduktion der Nachbearbeitung

Durch optimierte Formgebung kann die Nachbearbeitung und damit anfallendes Überschussmaterial reduziert werden. Dies wird von den Fliesenproduzenten bereits soweit wie möglich umgesetzt. Ziel ist es, sich während des Produktionsprozesses so nah am Endmaß zu bewegen wie möglich, damit so wenig wie nötig nachbearbeitet werden muss. Bei großflächigen Fliesen kann 1% Schwindung, was noch im Toleranzbereich liegt, leicht 1 cm ausmachen. Die Scherbendicke wird in der Presse entsprechend den Produktvorgaben eingestellt und anschließend in regelmäßigen Abständen manuell (Schieblehre) nachkontrolliert.

Potential: Aktuell wird von Seiten der Fliesenindustrie hier geringes Potenzial gesehen [Fachgespräch Fliesen 2017].

Hemmnisse: --

Lösungsansatz: Forschung.

5.2.4 Trocknung/Brand

5.2.4.1 Spezifische BVT 2007

Beim Brennprozess kann durch den Einsatz moderner Technologien die Menge an Brennhilfsmitteln reduziert und die Brenndauer verkürzt werden. Der Schnellbrand ist für flache Produkte, und daher besonders für die Herstellung von Wand- und Bodenfliesen geeignet. Durch die elektronische Steuerung des Temperaturprofils und durch Optimierung des Besatzes kann der Brennbruch reduziert werden.

5.2.4.2 Stand der Technik 2016

Die Rohlinge (Presslinge) müssen vorsichtig und möglichst vollständig getrocknet werden, um Trockenrisse oder Fehler während des Brennvorgangs zu vermeiden. Die Trocknungszeiten für trocken-gepresste Fliesen liegen typischerweise bei 1–2 Stunden, abhängig von der Restfeuchte und Art des Granulats und der Dicke der Fliese. Stranggezogene Produkte haben produktionsbedingt eine sehr hohe Restfeuchte. Hier dauert der Trocknungsprozess zwischen 8 Stunden für dünnere Platten und bis zu 24 Stunden für die klassische Spaltplatte.

Zur Trocknung kommen überwiegend Tunnelöfen und Rollenöfen zum Einsatz.

Die getrockneten Rohlinge werden direkt anschließend oder nach dem Glasieren gebrannt. Der Brand findet in gasbeheizten Tunnelöfen oder Rollenöfen statt, wobei überwiegend, produktbedingt, Rollenöfen eingesetzt werden. Tunnelöfen werden noch für bestimmte Produkte benötigt, um die erforderlichen Qualitäten herstellen zu können [Fachgespräch Fliesen 2017].

Fliesen werden sowohl im Einbrand- als auch im Zweibrandverfahren hergestellt, wobei sich das Einbrandverfahren in den letzten Jahren durchgesetzt hat. Beim Einbrandverfahren beträgt der Brennprozess typischerweise 40 Minuten während er beim Zweibrandverfahren zweimal 30 Minuten benötigt [Fachgespräch Fliesen 2017].

Das Einbrandverfahren eignet sich sowohl für unglasierte als auch für glasierte Fliesen. Bei glasierten Fliesen wird beim Einmalbrand die Glasur zusammen mit dem Scherben (unglasierter Fliesenrohling) gebrannt. Durch das Einbrandverfahren kann der spezifische Energiebedarf für das Brennen der Produkte reduziert werden. Der überwiegende Anteil keramischer Fliesen wird heute mit diesem Verfahren hergestellt. Aufgrund der erforderlichen hohen Brenntemperaturen beim Einbrandverfahren, ist es jedoch nicht für alle Glasuren geeignet. Glasuren, die diese hohen Temperaturen nicht vertragen, müssen in einem Doppelbrand oder Zweibrandverfahren hergestellt werden [ZBB 2017].

Allerdings hat das Einbrandverfahren auch Nachteile in Bezug auf die Materialeffizienz. Bei der Anwendung des Einbrandverfahrens können die Fliesen nicht so dünn hergestellt werden, wie das beim Zweibrandverfahren möglich ist. Als Beispiel wurde genannt, dass bestimmte Fliesen mit einer Fläche von 30X60 cm bei dem Zweibrandverfahren mit einer Dicke von 7,5 mm produziert werden können, während beim Einbrandverfahren eine Dicke von 10 mm notwendig wäre [Fachgespräch Fliesen 2017].

Die exakte Steuerung des Brennvorgangs mit optimierter Brennkurve ist Stand der Technik [Fachgespräch Fliesen 2017].

Durch die Trocknung und den Brand können Trocken- bzw. Brennbruch entstehen. Bei der Trocknung fallen keine Stäube an, die anfallenden Stäube beim Brand der Fliesen sind minimal.

Die Wärmerückgewinnung aus den Brennöfen ist Stand der Technik. Die Wärme kann für die Trocknung, den Sprühturm oder auch direkt wieder für den Ofen eingesetzt werden.

5.2.4.3 Maßnahmen, Weiterentwicklungen und Potentiale

Die identifizierte Maßnahme/Weiterentwicklung zur Steigerung der Materialeffizienz bezüglich des Trocknungs- und Brennprozesses (siehe Tabelle 13) wird im Nachfolgenden kurz erläutert.

Tabelle 13: Maßnahmen und Weiterentwicklungen in der Fliesenindustrie bezüglich des Trocknungs- und Brennprozesses

Nr.	Maßnahme	Material-effizienz-steigerung durch	Umsetzungsrate (hoch, mittel, gering)	Reduktion der Primärrohstoffmenge (%)	Potential (0,+,++,+++)	Bemerkung
FT9	Exakte Steuerung des Brennvorgangs	Einsparung	hoch		0/+	SdT

FT= Fliesen, Trocknungs- bzw. Brennprozess

FT9: Exakte Steuerung des Brennvorgangs

In den letzten Jahren wurde weiter an Möglichkeiten geforscht, in den Firmen individuell die Brennkurve noch weiter zu optimieren (ohne neue Technologien einzusetzen) und somit die Energie- und auch die Materialeffizienz zu steigern. Eine exakte Steuerung des Brennvorgangs ermöglicht eine präzisere Kontrolle der Brennkurven und eine Reduktion des Brennbruchs. Laut eines Forschungsinstituts ist hier noch Potential vorhanden [Seifert 2016].

Wie bereits in Kapitel 5.2.4.2 beschrieben ist die exakte Steuerung des Brennvorgangs bereits Stand der Technik. Bei häufigem Produktwechsel (1-2x am Tag, bei kleinen Losgrößen auch häufiger) ist die Optimierung schwieriger, da die Steuerung des Brennvorgangs immer umgestellt werden muss. Insgesamt wird in der Fliesenproduktion nur noch wenig Optimierungspotential bezüglich der Brennkurven gesehen [UBA Fachgespräch 2016].

Potential: Aktuell wird von der Fliesenindustrie nur ein geringes Potential gesehen.

Hemmnisse: häufiger Produktwechsel, individueller Prozess.

Lösungsansatz: Forschung in den Firmen individuell, ob die Brennkurve noch zu verbessern ist.

5.2.5 Glasieren/Engobieren

5.2.5.1 Spezifische BVT 2007

Das BVT Dokument von 2007 erwähnt einige mögliche Maßnahmen, die für die Materialeffizienzsteigerung beim Glasieren angewendet werden können. Diese sind auch auf die Produktion von Wand- und Bodenfliesen anwendbar.

Um die Materialeffizienz beim Glasieren zu erhöhen, können z.B. die verwendeten Glasuren im Kreislauf geführt werden.

Aber auch neue Produktionstechniken wie z.B. die Verwendung von keramischen Druckern und Tinten können die Materialeffizienz (und zugleich auch die Energieeffizienz) steigern.

5.2.5.2 Stand der Technik 2016

Die meisten der getrockneten Presslinge (Einbrandverfahren) oder gebrannten Fliesen (Zweibrandverfahren) werden je nach gewünschtem Endprodukt noch glasiert oder engobiert. Unglasierte Fliesen

sind hauptsächlich Spaltplatten, bei denen die Optik durch die Tone erzeugt wird. Die Herstellung von unglasierten Fliesen ist rückläufig [Fachgespräch Fliesen 2017].

Glasuren enthalten Glasfritten und Metalloxide, Engoben bestehen aus Ton und Pigmenten (z.B. Metalloxide). Das Glasieren/Engobieren erfolgt mittels Rotorcolordruck oder Siebdruck, wobei die Glasur in der Regel auf die Fliesen gesprüht oder geschleudert wird.

Beim Dekorieren der Fliesen konnte man über die Jahre eine Umstellung vom Rotorcolordruck über den Siebdruck auf den Digitaldruck beobachten, bei dem keramische Tinte verwendet wird. Dadurch wird deutlich weniger Farbe benötigt.

Neben den glasierten, engobierten bzw. dekorierten Presslingen oder Fliesen fallen Glasur/Engoberückstände, Trockenbruch, Brennbruch, Abwasser und Schlämme an. Die Glasur- bzw. Engobereste, die nicht auf der Fliese landen, werden aufgefangen und im Kreislauf gefahren. Etwaige Wasserreste beim Glasurwechsel werden aufbereitet, wobei das Wasser im Kreislauf gefahren wird und der Schlamm in die Masseaufbereitung zurückgeführt wird.

5.2.5.3 Maßnahmen, Weiterentwicklungen und Potentiale

Die identifizierten Maßnahmen und Weiterentwicklungen zur Steigerung der Materialeffizienz bezüglich des Glasierens/Engobierens (siehe Tabelle 14) werden im Nachfolgenden jeweils unter Angabe von Potentialen, Hemmnissen und Lösungsansätzen erläutert.

Tabelle 14: Maßnahmen und Weiterentwicklungen in der Fliesenindustrie bezüglich Glasierens/Engobierens

Nr.	Maßnahme	Material-effizienz-steigerung durch	Umsetzungs-rate (hoch, mittel, gering)	Reduktion der Primär-rohstoff-menge (%)	Poten-tial (0,+,++ ,+++)	Bemerkung
FG10	Digitaldruckverfahren - Dekoration	Einsparung Farbe	mittel bis hoch		0/+	Betrifft die Farbe, SdT
FG11	Digitaldruckverfahren - Glasur	Einsparung Glasur	0		++	Betrifft die Glasur
FG12	Kreislaufführung und Rückführung der überflüssigen Glasurpartikel und Glasurschlämme	Einsparung Glasur	hoch		0/+	Betrifft die Glasur
FG13	Thermographieverfahren zur Bestimmung und anschließenden Reduzierung der Glasurschichtdicke und Überprüfung der Fliesendekoration	Einsparung Glasur	gering		0/+	Betrifft die Glasur

FG= Fliesen, Glasieren/Engobieren

FG10: Digitaldruckverfahren - Dekoration

Das Digitaldruckverfahren¹⁰ (Injekt-Verfahren) ist eine Weiterentwicklung der Dekoration von Fliesen.

Für das InkJet-Verfahren für keramische Fliesen ist eine andere, keramische Tinte nötig als die herkömmliche Tinte, die beim Siebdruck und Rotorcolordruck verwendet wird. Der Drucker, dessen Prinzip an einen Tintenstrahldrucker erinnert, ermöglicht sogar das Bedrucken von Relief-Fliesen. In kleinen Tropfen schießt der Drucker die Tinte und somit das Motiv auf die Fliese, ohne die Oberfläche zu berühren. Ziel der neuen Technologie ist neben den offensichtlichen optischen Vorteilen die höhere Effizienz und Flexibilität schon bei der Entwicklung einer neuen Serie. Das komplette Dekor wird am PC vorbereitet und zur Kontrolle in einem virtuellen Raum eingebaut. Dadurch können sich wiederholende Muster oder zu starke Kontraste erkannt und korrigiert werden [FESPA 2015]. Beim Digitaldruck lassen sich anstelle von Dekorpasten keramische Tinten verwenden, wodurch nur noch ca. 20% der Einsatzstoffe benötigt wurden. Außerdem kann beim Digitaldruck die Bruchware reduziert werden, da die mechanische Belastung auf die Fliese wegfällt. Der Digitaldruck zur Dekoration von Fliesen ist bereits Stand der Technik [Fachgespräch Fliesen 2017]. Allerdings ist für die Gestaltung mancher Oberflächen die Anwendung des Rotorcolordrucks oder Siebdrucks weiterhin erforderlich und kann nicht durch den Digitaldruck ersetzt werden.

Potential: Bei der Dekoration der meisten Fliesenprodukte ist das Digitaldruckverfahren bereits Stand der Technik.

Hemmnisse: Für die Gestaltung mancher Oberflächen ist das neue Verfahren nicht anwendbar.

Lösungsansatz: --

FG11: Digitaldruckverfahren - Glasur

Das Digitaldruckverfahren¹⁰ (Injekt-Verfahren) ist eine Weiterentwicklung der Auftragstechnologie für Fliesen (siehe Maßnahme FG10). Es wird gegenwärtig daran geforscht, auch Glasuren bzw. Engoben mittels Digitaldruck auf die Fliesen aufzutragen. Eine Marktreife steht noch aus. Es wird erwartet, dass durch die Anwendung der Technologie zwar nicht die Menge der benötigten Glasur bzw. Engobe pro Fliese reduziert werden können, aber die Verluste durch das Aufsprühen bzw. Aufschleudern sowie beim Produktwechsel signifikant verringert werden können [Fachgespräch Fliesen 2017].

Potential: Hier wird zukünftiges Potential gesehen.

Hemmnisse: --

Lösungsansatz: Forschung.

FG12: Kreislaufführung und Rückführung der überflüssigen Glasurpartikel und Glasurschlämme

Die Kreislaufführung von Glasuren hat sich in der Praxis etabliert. Auf diese Weise können Rohstoffe für die Glasur eingespart und Abfälle reduziert werden. Die Aufbereitung und Wiederverwendung von Glasurschlämmen in der Masseaufbereitung, solange die Qualitäts- und Farbanforderungen erfüllt werden können, hat sich ebenso etabliert. Glasurschlämme können aber auch gut in anderen Sektoren eingesetzt werden.

Potential: Hier wird nur geringes Potential gesehen.

Hemmnisse: Qualitäts- und Farbanforderungen.

¹⁰ <https://www.fliesenleger.net/inkjet-verfahren-bei-fliesen-20126461>, aufgerufen am 25.06.2018

Lösungsansatz: --

FG13: Thermographieverfahren zur Bestimmung und anschließenden Reduzierung der Glasurschichtdicke und Überprüfung der Fliesendekoration

Um die verwendete Glasurmenge und den Ausschuss beim Brenn- und Glasiervorgang zu reduzieren, kann die Glasurschichtdicke gemessen und anschließend reduziert und die Fliesendekoration geprüft werden.

Das Thermographieverfahren kann für die Bestimmung der Glasurschichtdicke eingesetzt werden. Verifiziert wurde dies durch folgende Untersuchung: Zur Erwärmung wurde ein kontinuierlich arbeitender Infrarotstrahler verwendet. Die Glasurschicht wurde an drei etwa quadratischen Bereichen der Fliese in der Schichtdicke reduziert. So ergeben sich Schichtdicken von 0,7 mm (Originalschichtdicke), 0,5 mm, 0,25 mm und 0,1 mm. Diese wurden von links nach rechts am Strahler vorbeibewegt. So wurde ein Temperaturverlauf zu einem bestimmten Zeitpunkt dargestellt, der deutliche Temperaturunterschiede zwischen der originalen Schichtdicke und den reduzierten Schichtdicken zeigt. Durch die Auswertung der Oberflächentemperatur, die mit der Schichtdicke korreliert, lässt sich diese genau ermitteln. Durch die unterschiedliche Wärmeleitfähigkeit von Keramik und Luft lassen sich auch kleine Luftblasen unter den Dekorfolien sichtbar machen [Laufer et al. 2007].

Die Menge der eingesetzten Glasur je Fliese ist abhängig von der Farbqualität des Scherbens sowie der gewünschten Farbe des fertigen Produkts. Bei hellem Feinsteinzeug (was am besten mit sortenreinen Primärrohstoffen erreicht werden kann) wird weniger Glasur benötigt als bei einem Scherben von geringerer Farbqualität (was meist bei der Verwendung von Einsatzstoffen geringerer Qualität der Fall ist), um den gleichen Farbton zu erreichen.

Derzeit ist Stand der Technik, die Dicke der aufzutragenden Glasur oder Engobe anhand des Wiegens der Fliesen zu überprüfen. Durch das Thermographieverfahren wird diesbezüglich keine Verbesserung gesehen [Fachgespräch Fliesen 2017].

Potential: Hier wird nur geringes Potential gesehen.

Hemmnisse: Aufwand.

Lösungsansatz: Forschung.

5.2.6 Nachbearbeitung

5.2.6.1 Spezifische BVT 2007

Im BVT-Merkblatt von 2007 werden keine spezifischen Potentiale zur Materialeffizienzsteigerung in der Nachbearbeitung beschrieben.

5.2.6.2 Stand der Technik 2016

Die gebrannten Fliesen werden durch Nassschneiden oder Brechen weiterverarbeitet [IBU 2011]. Die Staubemissionen, die beim Schleifen von Fliesen anfallen, werden abgesaugt und größtenteils aufbereitet und wiederverwendet. Die durch die Reinigung der Anlagen anfallenden Abwässer und Schleifschlämme werden soweit wie möglich wieder für die Produktion aufbereitet.

5.2.6.3 Maßnahmen, Weiterentwicklungen und Potentiale

Die identifizierte Maßnahme/Weiterentwicklung zur Steigerung der Materialeffizienz bezüglich der Nachbereitung (siehe Tabelle 15) wird im Nachfolgenden unter Angabe von Potentialen, Hemmnissen und Lösungsansätzen erläutert.

Tabelle 15: Maßnahme/Weiterentwicklung in der Fliesenindustrie bezüglich der Nachbearbeitung

Nr.	Maßnahme	Material-effizienz-steigerung durch	Umsetzungsrate (hoch, mittel, gering)	Reduktion der Primärrohstoffmenge (%)	Potential (0,+,++,+++)	Bemerkung
FN14	Trockenschliff	Einsparung	gering		+	

FN= Fliesen, Nachbearbeitung

FN14: Trockenschliff

Vor allem aufgrund der verbesserten Eigenschaften der Schleifmittel und den damit verbundenen längeren Standzeiten, werden Fliesen inzwischen auch wieder trocken geschliffen. Der Trockenschliff findet in geschlossenen Anlagen statt, um eine Exposition der Arbeiter mit dem Staub zu vermeiden. Der beim Trockenschliff anfallende Staub kann – ohne weitere Aufbereitung - bei der Produktion wieder eingesetzt werden. Durch den Trockenschliff können Wasser und anfallende Schlämme vermieden werden, wobei es sich um vergleichsweise geringe Mengen handelt.

Potential: Hier wird noch Potential gesehen.

Hemmnisse: Hohe Investitionskosten (geschlossene Anlage).

Lösungsansatz: Förderung.

5.2.7 Verwertung/Beseitigung

5.2.7.1 Spezifische BVT 2007

Das BVT Dokument von 2007 beschreibt bereits einige Techniken zur Wieder- und Weiterverwendung von Prozessabfällen. BVT ist, Schlämme u.a. in anderen Produkten weiter zu verwerten.

BVT ist außerdem, die Prozessabwässer im Herstellungsprozess durch Anwendung einer Kombination von Maßnahmen zur Prozessoptimierung und Abwasserbehandlungssystemen mit einer Wiederverwendungsrate von 50 bis 100% (abhängig von der Art der herzustellenden Fliesen) wiederzuverwenden.

5.2.7.2 Stand der Technik 2016

Die während der Produktionsprozesse, insbesondere nach den Prozessen Formgebung, Trocknung und Brennen, anfallende Bruchware kann nach entsprechender Aufbereitung wieder in der Produktion eingesetzt werden. Die Aufbereitung und Wiederverwendung von Stäuben und der Wiedereinsatz von Glasurrückständen und Masseresten in der Masseaufbereitung wird ebenfalls in der Praxis angewendet. Eine hohe Qualität und Sortenreinheit der Einsatzstoffe ist jedoch essentiell für eine effiziente Produktion mit möglichst geringem Ausschuss.

Falls die Qualität nicht für eine interne Wiederverwendung ausreicht, kann Fliesenbruch auch extern verwertet werden. Basierend auf der aktuellen Gesetzeslage wird der überwiegende Anteil an Fliesenbruch, der nicht wieder in der Produktion eingesetzt wird, einer externen Verwertung zugeführt. Die Fliesenindustrie befürchtet jedoch, dass sich aufgrund von Gesetzesänderungen zukünftig daran viel ändern wird, wie z.B. im Anwendungsbereich der Ersatzbaustoffverordnung mit strengeren Grenzwerten, die die Wiederverwendung mineralischer Baustoffe im bisherigen Rahmen entweder deutlich erschweren oder teilweise unmöglich machen [Fachgespräch Fliesen 2017]. Weiterverwertungsmöglichkeiten bestehen als Zuschlagstoff in der Ziegelproduktion oder für Ziegelsplittbeton, als Füll- oder Schüttmaterial im Wege- und Tiefbau oder als Schamottersatz [IBU 2016a].

In der Nach-Nutzungsphase können sortenreine Fliesenreste von den Schamotthherstellern zurückgenommen und in gemahlener Form als Magerungsmittel in der Produktion wiederverwertet werden [IBU 2011], [Fachgespräch Fliesen 2017]. Sind die genutzten Fliesen Teil eines Bauschuttgemisches (d.h. zusätzlich sind mineralische Abfälle wie Ziegel oder Beton beigemischt), ist zunächst die Sortierung in einer Recyclinganlage möglich [Nehlsen 2017], [Fachgespräch Fliesen 2017]. Derzeit wird ein Großteil der gebrauchten Fliesen mit dem Bauschutt verwertet oder beseitigt. Die Verwertung von Bauschutt als mineralischer Ersatzbaustoff wird aktuell noch in der LAGA M 20 (Stand 2003) geregelt, die sich hauptsächlich auf die Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung bezieht. Zukünftig soll auch die Verwertung von Bauschutt von der Ersatzbaustoffverordnung geregelt werden (siehe oben).

In der Fliesenherstellung wird heutzutage meist ein geschlossenes Abwassersystem genutzt, um Abwasser zu vermeiden¹¹.

5.2.7.3 Maßnahmen, Weiterentwicklungen und Potentiale

Das Aufbereiten und Recyceln der keramischen Fliesen findet zwar nicht innerhalb der Produktion dieser statt, kann aber dazu beitragen, den Anteil an Sekundärrohstoffen, die für die Produktion von Fliesen oder anderen Produkten zur Verfügung stehen, zu erhöhen und hat somit indirekt Einfluss auf die Ressourceneffizienzsteigerung in der Fliesenindustrie bzw. in anderen Industriebereichen. Hier werden Maßnahmen zur Trennung und Weiterverwendung von Fliesenbruch außerhalb der Keramikindustrie aufgeführt (siehe Tabelle 16) und jeweils unter Angabe von Potentialen, Hemmnissen und Lösungsansätzen erläutert.

Tabelle 16: Maßnahmen und Weiterentwicklungen in der Fliesenindustrie bezüglich der Verwertung

Nr.	Maßnahme	Material-effizienz-steigerung durch	Umsetzungsrate (hoch, mittel, gering)	Reduktion der Primärrohstoffmenge (%)	Potential (0,+,++,+++)	Bemerkung
FV15	Sortenreine Trennung der Abfälle zur Wiederverwendung		gering		0/+	
FV16	Weiterverwertung in anderen Produktions- und Industriezweigen		mittel bis hoch		+	

FV= Fliesen, Verwertung

FV15: Sortenreine Trennung der Abfälle zur Wiederverwendung

Jährlich fallen ca. 55,3 Mio. t Bauschutt an [Rosen 2013]. Der größte Teil wird gegenwärtig bereits verwertet. Die Recycling-Baustoffe werden überwiegend im Straßenbau, Erdbau, Deponiebau und als Gesteinskörnung in der Asphalt- und Betonherstellung eingesetzt [KWTB 2012; BMBF 2013]. Der Bauschutt umfasst auch Fliesen, wenn auch zu einem geringen Anteil. Eine sortenreine Trennung des Bauschutts könnte eine höherwertige Verwertung der Recyclingstoffe und somit auch der Fliesen ermöglichen.

Beim selektiven Abbruch werden in der Regel Kombinationen unterschiedlicher Rückbauverfahren angewandt. Demontagetechniken können beispielsweise mit gängigen Abbruchverfahren für den

¹¹ <https://www.fliesenverband.de/wissen/oekologie-nachhaltigkeit/>, aufgerufen am 25.06.2018

Rückbau der Materialhauptströme, in der Regel Beton oder Ziegel, gekoppelt werden. Durch sie kann im Zuge des Rückbaus eine sofortige Trennung der Abbruchmassen erfolgen, wodurch sich hohe Recyclingquoten der Baurestmassen erreichen lassen. Die verschiedenen Abbruchfraktionen werden in den einzelnen Demontagestufen gewonnen und in den Stoffkreislauf rückgeführt [Weimann et al. 2013].

Potential: Hier wird das derzeitige Potential als sehr gering eingestuft.

Hemmnisse: Als hauptsächliches Hemmnis für die Wiederverwendung von Fliesen ist die heute übliche Verlegung im Dünnbettverfahren mit verschiedenen Klebern, die eine schadensfreie Bergung unmöglich machen. Historische Fliesen wurden hingegen häufig im Dickbettverfahren in Sand oder Lehm verlegt, wodurch sich der Ausbau vereinfacht. Ein Verkauf von ausgebauten Fliesen lohnt sich jedoch nur, wenn mindestens 5 m² historischer Fliesen, für den Austausch einzelner Fliesen, oder mindestens 10 m² unversehrter Fliesen einer Art ausgebaut werden können [Dechantsreiter et al. 2015].

Lösungsansatz: Forschung.

FV16: Weiterverwertung in anderen Produktions- und Industriezweigen

Eine Möglichkeit des Recyclings von während der Produktion anfallenden Reststoffen ist die Herstellung von Pflastersteinen (Outdoor-Keramikfliesen zur Pflasterung der Gehwege), wie sie in einem von der EU geförderten Projekt untersucht und erprobt wurde¹². Dabei wurden definierte Reststoffe von ausgewählten Fliesenherstellern gesammelt und daraus Pflastersteine hergestellt. Als Einsatzstoffe wurden gebrannte (ca. 45%) und ungebrannte Keramikreste (45%), Glasur- und Schleifschlämme (ca. 10%) sowie in sehr geringen Mengen Stäube aus den Filtern der Brennöfen sowie Druckfarbenreste eingesetzt. Die Herstellung der Pflastersteine erfolgte durch eine gemeinsame Aufmahlung aller Produktionsreststoffe ohne Zugabe von Flüssigkeit. Schlamm aus der Glasur ersetzte die sonst übliche Zugabe an Flüssigkeit. Dadurch kann das Lösen von Salzen verhindert und das Recycling vereinfacht werden. Anschließend wird die Masse geformt und gebrannt. Allerdings wird für diese Herstellungsmethode eine andere Art von Keramikmühle benötigt [Schmidt 2016], [L ITC-AICE 2016].

Für die Herstellung der neuen Outdoor-Fliese ist ein relativ hoher Anteil an nicht gebrannten Keramikresten erforderlich, die z.B. in Deutschland bereits weitgehend wieder in die Produktion zurückgeführt werden. Auch wird in Deutschland in vielen Fällen der gebrannte Bruch intern aufgemahlen und der Masse wieder zugegeben (Steinzeug- und Steingutfliesen). Vor diesem Hintergrund wird das Potenzial zur Realisierung dieses Verfahrens von der deutschen Fliesenindustrie als sehr gering angesehen.

Extern anfallende mineralische Reststoffe können in anderen Industriezweigen weiterverwendet werden. So kann Fliesenbruch als Zuschlagstoff für Ziegelsplittbeton, als Füll- oder Schüttmaterial im Wege- und Tiefbau dienen [IBU 2016a]. Denkbar ist außerdem die Herstellung von Granulaten aus Keramikbruch als Zuschlagstoff für Leichtbeton, zur Wärmedämmung, für den Schallschutz oder als Trägermaterial für Pflanzennährstoffe [Teipel und Hefe 2017].

Gegenwärtig wird der Bruch extern als Schamotteersatz, Zusatzstoff in anderen Keramiksektoren (hauptsächlich in der Ziegelindustrie) oder für den Straßenbau verwertet.

Potential: Bezüglich der Verwendung von intern anfallenden Reststoffen wird das Potential des Recyclings für das Herstellen anderer Produkte als gering angesehen. In Hinblick auf extern anfallenden Fliesenbruch wird noch Potential gesehen, diesen höherwertig zu recyceln.

Hemmnisse: Qualitätsanforderungen, Skepsis der Kunden, Wirtschaftlichkeit, Investitionskosten, Verfügbarkeit der Menge an Reststoffen (Outdoor-Fliese Pflasterung von Gehwegen), Verunreinigungen.

¹² <http://www.lifeceram.eu/en/>

Lösungsansatz: Forschung, Förderung (das Projekt des spanischen Instituts „Instituto de Tecnología Cerámica (ITC)“ wurde von der Europäischen Kommission über ihr LIFE+ Programm unterstützt).

5.2.8 Zusammenfassung

In der Fliesenindustrie wurden 15 Maßnahmen und neue Entwicklungen zur Steigerung der Materialeffizienz in der Produktion ermittelt. Diese betreffen vor allem die Masseaufbereitung, die Formgebung und das Produktdesign und die Glasur bzw. Dekoration der Fliesen.

Die sektorweiten Potentiale werden bei den meisten Maßnahmen nach derzeitigem Stand eher als gering eingeschätzt.

Grundsätzlich wird noch Potential bei der internen Wiederverwendung von Fliesenbruch bei der Herstellung von Feinsteinzeugfliesen gesehen. Aufgrund der fehlenden internen Aufbereitungsanlagen und dem hohen logistischen Aufwand den Fliesenbruch extern aufzubereiten, wird die Umsetzungswahrscheinlichkeit aktuell als sehr gering angesehen. Potential wird auch noch bei der Glasureinsparung durch das Digitaldruckverfahren gesehen, dieses ist aber gegenwärtig noch nicht möglich.

Des Weiteren wird noch Potential bei der Aufbereitung und Weiterverwertung des Fliesenbruchs in anderen Industriebereichen gesehen. Hierauf haben die Fliesenproduzenten allerdings keinen Einfluss.

Insgesamt wird die Materialeffizienz in der Fliesenindustrie schon als relativ hoch eingeschätzt. Dies hängt auch mit den hohen Materialkosten und den verpflichtenden Energiemanagementsystemen zusammen, durch die die Fliesenhersteller schon jetzt gezwungen sind, eine jährliche Verbesserung darzustellen. Zur weiteren Verbesserung der Materialeffizienz müssten die Werke individuell betrachtet werden.

In Tabelle 17 sind alle Maßnahmen und Weiterentwicklungen zur Steigerung der Materialeffizienz in der Produktion der Feuerfestindustrie übersichtlich dargestellt.

Tabelle 17: Maßnahmen und Weiterentwicklungen in der Fliesenindustrie

Nr.	Maßnahme	Material-effizienz-steigerung durch	Umset-zungsrate (hoch, mittel, gering)	Reduk-tion der Primär-rohstoff-menge (%)	Poten-tial (0, +, ++, +++)	Bemerkung
FM1	Einsatz von intern anfallenden Reststoffen während der Produktion (Stäube, Schlämme, Massereste, Trockenbruch)	Substitu-tion	hoch		0/+	SdT
FM2	Einsatz von intern anfallendem Brennbruch	Substitu-tion, Einsparung	hoch/gering		0/+	Steinzeug und Steingut: SdT; Feinsteinzeug: gering bzw. nicht möglich
FM3	Einsatz von extern anfallenden Reststoffen/Abfällen wie z.B. sortenreine Fliesen aus dem Rückbau oder Baubru	Substitu-tion	gering		0/+	

Nr.	Maßnahme	Material-effizienz-steigerung durch	Umset-zungsrate (hoch, mittel, gering)	Reduk-tion der Primär-rohstoff-menge (%)	Poten-tial (0, +, ++, +++)	Bemerkung
FM4	Einsatz von Abfällen/Reststoffen aus anderen Industriesektoren in der Produktion, z.B. Glasmehl	Substitution, Einsparung	gering		0/+	
FP5	Entwicklung von dünneren Fliesen	Einsparung	hoch		0/+	
FP6	Einsatz eines Granuliermischers zur wirtschaftlichen Herstellung von Pressgranulaten	Einsparung	gering		0	
FP7	Erkennung, Prüfung und Steuerung von Prozessparametern zur Produktoptimierung	Einsparung	gering		0/+	
FP8	Optimierung der Formgebung zur Reduktion der Nachbearbeitung	Einsparung	mittel bis hoch		0/+	
FT9	Exakte Steuerung des Brennvorgangs	Einsparung	hoch		0/+	
FG10	Digitaldruckverfahren - Dekoration	Einsparung Farbe	mittel bis hoch		0/+	Betrifft die Glasur
FG11	Digitaldruckverfahren - Glasur	Einsparung Glasur	Null		++	Betrifft die Glasur
FG12	Kreislaufführung und Rückführung der überflüssigen Glasurpartikel und Glasurschlämme	Einsparung Glasur	hoch		0/+	Betrifft die Glasur
FG13	Thermographieverfahren zur Bestimmung und anschließenden Reduzierung der Glasurschichtdicke und Überprüfung der Fliesendekoration	Einsparung Glasur	gering		0/+	Betrifft die Glasur
FN14	Trockenschliff	Einsparung	gering		+	
FV15	Sortenreine Trennung der Abfälle zur Wiederverwendung		gering		0/+	
FV16	Weiterverwertung in anderen Produktions- und Industriezweigen		mittel bis hoch		+	

5.3 Feuerfeste Produkte

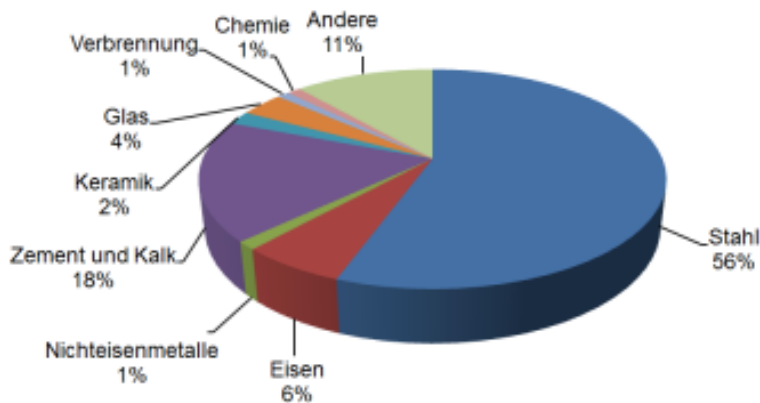
5.3.1 Allgemeine Informationen

5.3.1.1 Produktbeschreibung

Nach internationaler Festlegung handelt es sich bei feuerfesten Produkten um nichtmetallische keramische Werkstoffe, deren Erweichungspunkt (der sogenannte Segerkegelfallpunkt) unter Temperatureinwirkung nach genormten Prüfverfahren (DIN 51060) über 1.500°C liegt. Erweicht der Probekörper über 1.800°C spricht man von hochfeuerfesten Werkstoffen. Je nach Anwendungs- und Einsatzzweck halten feuerfeste Produkte Temperaturen bis zu 2.500°C stand¹³, [Routschka und Wuthnow 2011].

Der Einsatz von feuerfesten Produkten erfolgt in praktisch allen industriellen Anlagen, die erhöhte Prozesstemperaturen erfordern und deswegen selbst hitzebeständig sein müssen. Sie werden zur Prozessbeherrschung (dichte Produkte) und zur Verringerung der Wärmeverluste (wärmedämmende Produkte) eingesetzt. Hauptindustriesektoren für den Einsatz von feuerfesten Produkten sind die Eisen- und Stahlindustrie sowie die Zement- und Kalkindustrie. Weitere Verbrauchergruppen sind die keramische Industrie, die Glasindustrie, die Nichteisenerzeugnisse-Metallindustrie, die Chemie- und Erdölindustrie, die Energiewirtschaft sowie die thermischen Abfallbehandlungsanlagen (siehe Abbildung 6). Die feuerfesten Produkte werden dabei z.B. zum Auskleiden für Schmelzaggregate der Stahlindustrie, der Auskleidung von Verbrennungsanlagen oder als Ofenisolation eingesetzt. Ein sehr geringer Anteil dient auch als Brennhilfsmittel [Kollenberg 2013]. Neben der Feuerfestigkeit ist die chemische Beständigkeit gegenüber den Prozessmedien des Anwenders ein wesentliches Qualitätsmerkmal der feuerfesten Produkte.

Abbildung 6: Endverbraucher von feuerfesten Produkten, PRE Statistik 2015



Quelle: European Refractories Producers Federation (PRE) 2015¹⁴

Die Produktpalette der Feuerfest-Industrie ist sehr groß, da in der Regel für jede Anwenderbranche aufgrund der unterschiedlichen Bedingungen (v.a. unterschiedliche Ofenatmosphären) spezielle feuerfeste Produkte hergestellt werden. Die feuerfesten Produkte können in geformte und ungeformte Produkte unterschieden werden:

- dicht geformte feuerfeste Produkte wie z.B. Steine, Platten, Formteile, Schmelztiegel Muffeln, Stopfen, Stützen, Rohre,

¹³ <http://www.vdffi.de/feuerfest/index.html>

¹⁴ <http://www.pre.eu/>

- ▶ wärmedämmende, poröse, geformte, feuerfeste Produkte für die Hochtemperaturwärmedämmung, wie z.B. Feuerleichtsteine,
- ▶ ungeformte dichte feuerfeste Produkte wie Mörtel, Beton, Zemente und ähnliche Mischungen,
- ▶ ungeformte wärmedämmende feuerfeste Produkte wie z.B. Feuerleichtbeton¹³ [Fachgespräch VDFFI 2017].

Die geformten feuerfesten Produkte können auch noch in gebrannte und nicht gebrannte feuerfeste Produkte unterschieden werden.

Feuerfeste Produkte werden aus temperaturbeständigen, nichtmetallischen Einsatzstoffen hergestellt. Sie basieren auf 6 Grundoxiden (Aluminiumoxid, Magnesiumoxid, Siliziumdioxid, Calciumoxid, Chrom(III)-oxid, Zirkondioxid) [Routschka und Wuthnow 2011].

Die Zusammensetzung der Rohstoffe in den feuerfesten Produkten variiert sehr stark je Einsatzort und den dort vorherrschenden Rahmenbedingungen. Im BVT-Merkblatt 2007 wurden die feuerfesten Produkte nach ihren Hauptbestandteilen in unterschiedliche Gruppen eingeteilt [UBA 2007]:

- ▶ Aluminareiche Produkte, Gruppe 1 ($\text{Al}_2\text{O}_3 > 56\%$),
- ▶ Aluminareiche Produkte, Gruppe 2 ($45\% < \text{Al}_2\text{O}_3 < 56\%$),
- ▶ Schamotte ($30\% < \text{Al}_2\text{O}_3 < 45\%$),
- ▶ Aluminaarme Schamotte ($10\% < \text{Al}_2\text{O}_3 < 30\%$, $\text{SiO}_2 < 85\%$),
- ▶ Saure Schamotte ($85\% < \text{SiO}_2 < 93\%$),
- ▶ Silika Produkte ($\text{SiO}_2 > 93\%$),
- ▶ basische Produkte basierend auf Magnesia, Magnesia-Chrom, Chrom-Magnesia, Chromit, Forsterit, Dolomit,
- ▶ Spezialprodukte basierend auf z. B. Kohlenstoff, Graphit, Zirkon, Zirkondioxid und Siliziumcarbid.

Die Aufteilung nach DIN EN ISO 10081-1, wie sie derzeit herangezogen wird, ist in Tabelle 18 dargestellt:

Tabelle 18: Klassifizierung der feuerfesten Produkte anhand des Al_2O_3 - bzw. des SiO_2 -Gehaltes

Produktart	Gruppe	Gehalt als Massenanteil in %	
		Al_2O_3	SiO_2
Aluminareich	HA 98	$\text{Al}_2\text{O}_3 \geq 98$	
Aluminareich	HA 95	$95 \leq \text{Al}_2\text{O}_3 < 98$	
Aluminareich	HA 85	$85 \leq \text{Al}_2\text{O}_3 < 95$	
Aluminareich	HA 75	$75 \leq \text{Al}_2\text{O}_3 < 85$	
Aluminareich	HA 65	$65 \leq \text{Al}_2\text{O}_3 < 75$	
Aluminareich	HA 55	$55 \leq \text{Al}_2\text{O}_3 < 65$	
Aluminareich	HA 45	$45 \leq \text{Al}_2\text{O}_3 < 55$	
Schamotte	FC 40	$40 \leq \text{Al}_2\text{O}_3 < 45$	
Schamotte	FC 35	$35 \leq \text{Al}_2\text{O}_3 < 40$	
Schamotte	FC 30	$30 \leq \text{Al}_2\text{O}_3 < 35$	
Aluminaarme Schamotte	LF 10	$10 \leq \text{Al}_2\text{O}_3 < 30$	$\text{SiO}_2 < 85$
Saure Schamotte	SS 85		$85 \leq \text{SiO}_2 < 93$

Produktart	Gruppe	Gehalt als Massenanteil in %	
		Al ₂ O ₃	SiO ₂
Silika	SL 93		SiO ₂ ≥ 93

Quelle: DIN EN ISO 10081-1

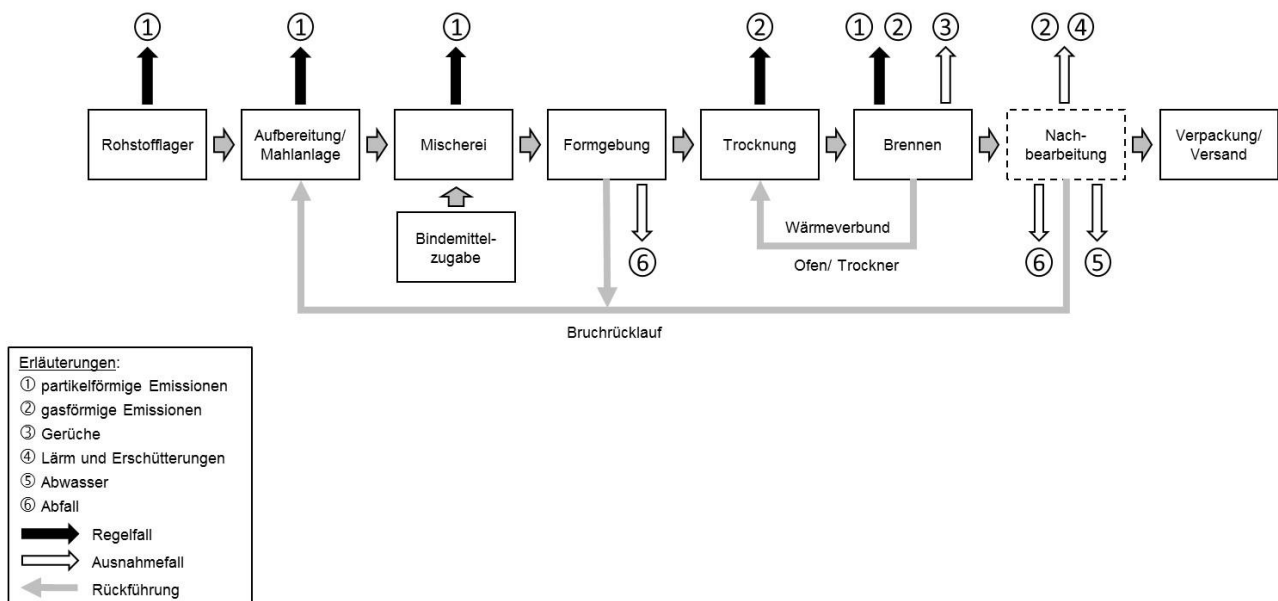
5.3.1.2 Produktionskennzahlen und -prozesse

Für die Herstellung werden die mineralischen Rohstoffe wie Bauxit, Magnesit, Dolomit und Ton zunächst thermisch behandelt. Die entstehenden feuerfesten Rohstoffe werden z.B. als Sinter- und Schmelzkorund bzw. -magnesia, Doloma und Schamotte vermarktet. Synthetisch hergestellte feuerfeste Rohstoffe sind z.B. Edelfkorund, Tabular-Tonerde sowie Sinter- und Schmelzmullit [BBS 2008]. Genaue Mengen der Einsatzstoffe konnten nicht ermittelt werden.

In dieser Studie liegt der Schwerpunkt der Betrachtung auf der Herstellung der gebrannten feuerfesten Produkte. Ausgehend von den Produktionszahlen wurde grob eine Zahl von 1 Mio. t zur Herstellung von geformten feuerfesten Produkten geschätzt [Fachgespräch VDFFI 2017].

Die Rohstoffe werden aufbereitet, unter Zugabe von Bindemitteln gemischt und anschließend geformt, getrocknet und gebrannt. Bei Bedarf werden sie noch nachbearbeitet (siehe Abbildung 7). In den Kapiteln 5.2.2 bis 5.2.6 sind die einzelnen Produktionsprozesse genauer beschrieben.

Abbildung 7: Betrachtete Produktionsprozesse in der Feuerfestindustrie



Quelle: VDI 2585, Druck in Vorbereitung 2018

Jährlich werden ca. 760 kt geformte und ca. 660 kt ungeformte feuerfeste Produkte hergestellt. Die geformten feuerfesten Produkte können neben der Herstellungsart (gebrannt/nicht gebrannt) weiter unterteilt werden in Silikasteine, Schamottsteine, aluminiareiche Steine, basische Steine und sonstige (siehe Tabelle 19).

Tabelle 19: Herstellung geformter feuerfester Produkte

Geformte feuerfeste Produkte	2007 (t)	2015 (t)	Differenz (%)
Silikasteine	17.534	15.307	-12,7
Schamottsteine	275.323	226.819	-17,6

Gestaltete feuerfeste Produkte	2007 (t)	2015 (t)	Differenz (%)
Aluminiareiche Steine	151.465	131.140	-13,4
Basische Steine	587.349	346.584	-41
Sonstige	62.350	44.489	-28,6
Menge gesamt	1.094.021	764.339	-30,1

Quelle: statistisches Bundesamt

Der Anteil der gebrannten feuerfesten Produkte an der Gesamtproduktion ist nicht bekannt. Für basische Steine liegt der Anteil bei ca. 50%. Insgesamt wird aufgrund von groben Schätzungen ausgegangen, dass etwa 60% der geformten Erzeugnisse gebrannt werden [Fachgespräch VDFFI 2017].

Der Energiebedarf von feuerfesten Produkten beträgt bei feuerfesten Steinen ca. 3 – 6,3 GJ/t (je nach Steinsorte, Brenntemperatur, Brenndauer) [Routschka und Wuthnow 2011]. Insgesamt schwankt der Energieverbrauch jedoch sehr stark je nach herzustellendem Produkt. Als Energiequelle wird hauptsächlich Erdgas und in geringem Maße Öl eingesetzt. Wasser kann als Dispersionsmittel bei der Vorbereitung der Einsatzstoffe, zur Formgebung und im Ausnahmefall bei der Nachbearbeitung des Produkts eingesetzt werden. Das eingesetzte Wasser bei der Nachbearbeitung wird in der Regel im Kreislauf gefahren. Genaue Mengenangaben zum Wasserbedarf in der Produktion sind nicht verfügbar.

Während der Produktion der gebrannten feuerfesten Produkte fallen ca. 5% Massereste und Brennbruch an, die zum großen Teil wieder in den Produktionsprozess rückgeführt werden. Der Anteil an als Abfall zu entsorgende Schlämme und Stäube ist vernachlässigbar gering. Der Anteil an zu entsorgenden Reststoffen liegt bei kleiner 2%. Für die Vorbereitung und Formgebung eingesetztes Wasser entweicht während der Trocknung und des Brennprozesses. In Ausnahmefällen wird während der Nachbearbeitung, die nur bei einem verschwindend geringen Anteil der Produkte anfällt, Wasser eingesetzt. Dieses wird dann im Kreislauf geführt und anschließend entsorgt.

In Deutschland gibt es derzeit ca. 61 Anlagen (Betriebsgröße: Mitarbeiter $\geq$ 50), die feuerfeste Produkte herstellen und die ca. 5.698 Mitarbeiter beschäftigen [Destatis 2016a], [Destatis 2016c].

In Tabelle 20 sind einige relevante Kennzahlen der Feuerfestindustrie dargestellt.

Tabelle 20: Produktionskennzahlen für die Feuerfestindustrie

Produktionsparameter	Kennzahlen für das Jahr 2015
Einsatzmenge Rohmaterial	nicht bekannt
Produkt	Gestaltete feuerfeste Produkte: ca. 760 kt Ungeformte feuerfeste Produkte: ca. 660 kt
Energieverbrauch	3 – 6,3 GJ/t* (je nach Steinsorte, Brenntemperatur, Brenndauer)
Wasserbedarf	Wasser wird hauptsächlich zur Formgebung und im Ausnahmefall bei der Nachbearbeitung des Produkts eingesetzt. Genaue Mengenangaben zum Wasserbedarf in der Produktion sind nicht verfügbar.
Reststoffe, die während der Produktion anfallen	Ca. 5% der Einsatzstoffe fallen als Reststoffe (Massereste und Brennbruch) an. Ein Großteil der Reststoffe wird wieder intern eingesetzt (ca. 3% der Einsatzstoffe), der Rest wird extern verwertet oder in geringen Mengen beseitigt.

¹⁵ Statistisches Bundesamt, Deutschland

Produktionsparameter	Kennzahlen für das Jahr 2015
Reststoffe, die während der Produktion anfallen und extern entsorgt werden	< 2% der Reststoffe
Abwasser	In der Regel fällt kein Abwasser an. Falls in Ausnahmefällen Prozessabwasser anfällt wird dies im Kreislauf geführt und entsorgt.
Mineralische Abfälle, die extern anfallen (gebrauchte Auskleidungen und feuerfeste Materialien) und entsorgt werden	446 kt [Destatis 2016b]
Umsatz	€ 1,281 Mrd. [Destatis 2016a]
Anzahl Anlagen	61
Anzahl Mitarbeiter¹⁵	5.698

*Energiebedarf bei dem Brand feuerfester Steine im Tunnelofen, Jahresleistung von ca. 20.000 t [Routschka und Wuthnow 2011]

Wie in Kapitel 5.3.1 erwähnt, lassen sich die feuerfesten Produkte grob in drei Gruppen einteilen, in ungeformte Feuerfestprodukte, gebrannte Feuerfestprodukte und ungebrannte Feuerfestprodukte. Da die vom BVT-Prozess betroffenen Produktionsprozesse nur die Herstellung gebrannter feuerfester Produkte umfassen, wird hier auch nur diese Gruppe betrachtet.

5.3.2 Masseaufbereitung

5.3.2.1 Spezifische BVT 2007

Im BVT-Merkblatt 2007 werden keine spezifischen Potentiale zur Materialeffizienzsteigerung in der Masseaufbereitung beschrieben.

5.3.2.2 Stand der Technik 2016

Für die Herstellung von feuerfesten Produkten werden die mineralischen Rohstoffe wie Bauxit, Quarz, Magnesit, Dolomit und Ton zunächst durch Brechen, Mahlen, Sieben oder Sichten aufbereitet und teils thermisch behandelt [Grömling 2008]. Die Aufbereitung und thermische Behandlung der Rohstoffe findet überwiegend außerhalb der Produktion der feuerfesten Produkte statt und wird deswegen in diesem Bericht nicht weiter betrachtet.

Einsatzstoffe für die Herstellung von feuerfesten Produkten sind die aufbereiteten und zum Teil thermisch behandelten Rohstoffe, die z.B. als Sinter- und Schmelzkorund bzw. -magnesia, Doloma und Schamotte verkauft werden. Auch synthetisch hergestellte feuerfeste Rohstoffe wie z.B. Edelkorund, Tabular-Tonerde sowie Sinter- und Schmelzmullit werden in der Feuerfestproduktion eingesetzt [Grömling 2008]. Als sekundäre Einsatzstoffe werden aufbereitete Recycling-Rohstoffe eingesetzt.

Die Einsatzstoffe werden, sofern dies noch erforderlich ist, z.B. bei Recycling-Rohstoffen oder Silika-Steinmassen, in einem Brecher grob zerkleinert und in einer Mühle oder Walze gemahlen und anschließend im erforderlichen Verhältnis gemischt. Für den Mischvorgang werden Zwangsmischer eingesetzt [Routschka und Wuthnow 2011]. Um komprimierbare Massen zu erhalten, werden Bindemittel und Zuschlagstoffe zugefügt. Diese sind - je nach herzustellendem Produkt - zum Beispiel Tonschlacker, Sulfitlauge, Kohlenteerpech, Naphthalin (z.B. für die Dolomitherstellung), synthetisches Harz, Kalkmilch (z.B. für die Herstellung von Silikasteinen), Wachs, Phosphorsäure, Ruß, Graphit oder

Schwefel [Fachgespräch VDFFI 2017]. Zusätzlich wird Wasser als Dispersionsmittel bei der Vorbereitung der Einsatzstoffe eingesetzt.

Schlämme fallen bei der Aufbereitung nur in sehr geringen Mengen an. Diese werden in der Regel getrocknet und wieder in den Prozess zurückgeführt. Stäube werden bei der Aufbereitung abgesaugt und wieder rückgeführt. Die Absaugung kann großflächig wie auch kleinflächig erfolgen, wobei der Trend in Richtung kleinflächiger Absaugung geht. Viele Silos sind bereits mit einem Bunkeraufsatzfilter ausgerüstet, die die Stäube noch im Behälter auffangen und direkt wieder rückführen.

Durch die Rückführung von gebranntem Bruch (werksintern), werden mittlerweile bereits durchschnittlich ca. 2% der Primärrohstoffe ersetzt.

Von den externen anfallenden feuerfesten Abfällen (z.B. Ofenausbrüchen) werden ca. 20% in die Produktion feuerfester Produkte zurückgeführt. Allerdings sind hier die besonderen abfallrechtlichen Randbedingungen zu beachten (siehe Kapitel 5.3.6). Auch aufgrund der hohen Anforderungen an die feuerfesten Produkte ist ein Einsatz von externen Feuerfestabfällen (z. B. Ofenausbrüche) nur bedingt möglich. Die hohen Anforderungen definieren die Anforderungen an die Einsatzstoffe für die Herstellung. Daher hängt der Wiedereinsatz unter anderem von der Qualität der Feuerfestabfälle ab. Meist liegen die Abfälle nicht sortenrein vor, da bei der Zustellung verschiedene Arten von Feuerfestmaterialien mit unterschiedlichen Inhaltsstoffen aus technischen Gründen verwendet werden müssen und zum anderen können aufgrund der Einsatzbedingungen die Feuerfestmaterialien während der Betriebsphase mit Schadstoffen kontaminiert werden. Um einen Schadstoffeintrag bei der Produktion von neuen Feuerfestmaterialien zu verhindern, müssen diese Bereiche (manuell) abgetrennt werden. Derzeit werden hauptsächlich Rezyklate aus hochwertigem, wenig verunreinigtem Ausbruchmaterial als Sekundärrohstoffe eingesetzt [Routschka und Wuthnow 2011].

Der Einsatz von Recyclingstoffen aus anderen Industriebranchen kommt nur dann in Frage, wenn die Recyclingstoffe feuerfeste Eigenschaften aufweisen. Hierfür kommen Isolatoren, sofern sie einen entsprechenden Aluminiumoxidgehalt aufweisen, sowie ein sehr geringer Anteil an Porzellanbruch in Frage. Der Einsatz von Isolatoren- und Porzellanbruch findet derzeit in geringem Umfang statt [Fachgespräch VDFFI 2017].

Wie schon im BVT-Merkblatt 2007 erwähnt, hängt die Form und Zusammensetzung der Produkte im Allgemeinen stark von den Marktanforderungen ab. Daher ist die Änderung von keramischen Massen nur in einem begrenzten Umfang möglich [UBA 2007].

5.3.2.3 Maßnahmen, Weiterentwicklungen und Potentiale

Die identifizierten Maßnahmen und Weiterentwicklungen zur Steigerung der Materialeffizienz in der Masseaufbereitung (siehe Tabelle 21) werden im Nachfolgenden jeweils unter Angabe von Potentialen, Hemmnissen und Lösungsansätzen erläutert.

Tabelle 21: Maßnahmen und Weiterentwicklungen in der Feuerfestindustrie bezüglich der Masseaufbereitung

Nr.	Maßnahme	Material-effizienz-steigerung durch	Umsetzungs-rate (hoch, mittel, gering)	Reduktion der Primärrohstoff-menge (%) ¹⁶	Potential (0, +, ++, +++)	Bemerkung

¹⁶ Angaben erhalten in [Fachgespräch VDFFI 2017]

FFM1	Einsatz von intern anfallenden Reststoffen (Massereste) während der Produktion	Substitution, Einsparung	hoch	<1%	0/+	SdT
FFM2	Einsatz von intern anfallendem gebranntem Ausschuss (Brennbruch) während der Produktion	Substitution, Einsparung	hoch	ca. 2%	0/+	SdT
FFM3	Einsatz von extern anfallenden Abfällen (z.B. Ofenausbruch) nach Wiederaufbereitung (Regenerate)	Substitution, Einsparung	mittel	ca. 20%	++	
FFM4	Einsatz von Recyclingstoffen aus anderen Industriebereichen	Substitution, Einsparung	gering		0/+	

FFM = Feuerfeste Produkte, Masseaufbereitung

FFM1: Einsatz von intern anfallenden Reststoffen während der Produktion (Massereste)

Während der Produktion anfallende Massereste werden in der Regel wieder in die Produktion zurückgeführt. Die Menge macht weniger als 1% der Primäreinsatzstoffe aus. Der Anteil als Abfall anfallender Schlämme und Stäube ist sehr gering.

Potential: Hier wird das Potential als sehr gering eingeschätzt, da Messereste in der Regel alle wieder in die Produktion zurückgeführt werden.

Hemmnisse: --

Lösungsansatz: --

FFM2: Einsatz von intern anfallendem gebranntem Ausschuss (Brennbruch) während der Produktion

Gebrannter Bruch wird in der Regel in Aufbereitungsanlagen (Mahlanlagen) vor Ort zerkleinert und wieder in die Produktion zurückgeführt, sofern dies möglich ist. Dies ersetzt bereits ca. 2% der Primäreinsatzstoffe.

Der Brennbruch von Silikasteinen, die beispielsweise für Koksöfen eingesetzt wird, kann nicht mehr in die Produktion rückgeführt werden, da Silika, sobald es einmal gebrannt wurde, die relevanten Eigenschaften verloren hat. Dabei handelt es sich aber um sehr geringe Mengen.

Potential: Hier wird das Potential als sehr gering eingeschätzt, da Brennbruch in der Regel wieder in die Produktion zurückgeführt wird.

Hemmnisse: --

Lösungsansatz: --

FFM3: Einsatz von extern anfallenden Abfällen (z.B. Ofenausbruch) nach Wiederaufbereitung (Regeneraten)

Extern anfallende Feuerfestausrüche (Recycling-Rohstoffe) könnten teils nach einer entsprechenden Aufbereitung in die Produktion der entsprechenden feuerfesten Produkte zurückgeführt werden um somit den Einsatz von Primärrohstoffen zu reduzieren. Dies wird z.B. bereits bei siliziumkarbidhaltigen Feuerfestprodukten, die u.a. bei Abfallverbrennungsanlagen eingesetzt werden, durchgeführt. Die

hohen Rohstoffkosten für Siliziumkarbid sowie die einfache Möglichkeit der Wiederverwendung, da Siliziumkarbid die Prozessstoffe so gut wie nicht absorbiert, sind die treibenden Faktoren der Wiederverwendung. Nach Überschreiten der Einsatzdauer der Feuerfestmaterialien wird hierzu ca. 5 cm der Ofenatmosphäre ausgesetzten Seite abgetragen und entsorgt, da dieser Teil mit Prozessstoffen belastet ist. Der Rest wird wiederverwendet.

Allerdings ist wesentlich, dass durch den Einsatz von externen Regeneraten die Qualität der feuerfesten Produkte nicht beeinträchtigt werden darf. In vielen Fällen ist eine Garantie auf die feuerfesten Produkte gegeben und ein Ausfall der Feuerfestprodukte würde zu hohen Kosten sowohl beim Anwender als auch beim Hersteller führen. Auf Glaswannen wird z.B. eine Garantie von 10 Jahren gegeben.

Potential: hier wird noch Potential gesehen, Hersteller von feuerfesten Produkten sind daran interessiert, Recycling-Rohstoffe als Zuschlagstoff bei der Masseaufbereitung einzusetzen.

Hemmnisse:

Für den Einsatz von Regeneraten aus Ofenausbrüchen als Primärrohstoffe gibt es einige Hemmnisse:

- ▶ Einige Feuerfesthersteller wären bereit, externen Feuerfestabfall direkt vom Anfallort zurückzunehmen und nach einer Aufbereitung wieder in die Produktion zurückzuführen. Allerdings ist das gebrauchte Feuerfest-Material nach deutschem Abfallrecht als Abfall eingestuft und für die Behandlung dieser Abfälle wird dementsprechend eine abfallrechtliche Genehmigung benötigt (4. BImSchV). Das Verfahren, um eine abfallrechtliche Genehmigung für das Recycling von externem Feuerfestabfall zu erhalten, ist sehr aufwendig und mit Auflagen verbunden. Falls es sich um gefährlich eingestufte Abfälle handelt, ist das Genehmigungsverfahren noch aufwendiger [Fachgespräch UBA 2016].
- ▶ Der Einsatz von recyceltem Material bei der Herstellung von feuerfesten Produkten stößt auf Skepsis bei einigen Kunden, da sie befürchten, dass die Qualität der aus Sekundärrohstoffen hergestellten Produkte geringer ist [Fachgespräch UBA 2016].
- ▶ Der Markt für Recycling-Rohstoffe hängt sehr stark von den Rohstoffpreisen ab. Wenn diese niedrig sind, ist die Nachfrage nach Recycling-Rohstoffen gering [Fachgespräch UBA 2016], [Fachgespräch VDFFI 2017].
- ▶ Bei der Verwendung neuer Einsatzstoffe (z.B. aufbereitete Recyclingmassen) müssen auch gesetzliche Regelungen wie z.B. die Einstufung von Stoffen als gefährlich gemäß CLP VO17, die mögliche Aufnahme eines Stoffes in Anhang XIV der REACH VO18 sowie mögliche Nebeneffekte (wie z.B. erhöhter Energiebedarf) betrachtet werden [Fachgespräch UBA 2016].
- ▶ Die Zusammensetzung der Rohstoffe erfolgt immer individuell nach den Anforderungen an die feuerfesten Produkte. Bereits durch das Recycling vermischte Rohstoffe erfüllen dann eventuell nicht mehr die erforderlichen Eigenschaften des herzustellenden feuerfesten Produktes.
- ▶ Recycling-Rohstoffe haben einen sehr hohen Aufwand in Hinblick auf die analytischen Untersuchungen [Fachgespräch VDFFI 2017].
- ▶ Die Zusammensetzung der feuerfesten Produkte unterscheidet sich von Hersteller zu Hersteller und Anwender zu Anwender.

Lösungsansatz:

Die oben beschriebenen Potentiale könnten realisiert werden, wenn Feuerfestbruch seine Abfalleigenschaft verlieren und als Wirtschaftsgut gehandelt werden würde. Es würden hierfür definierte Qualitätsanforderungen an den Ofenausbruch sowie Vorgaben zu Abbau und Trennung benötigt.

¹⁷ EU-Verordnung zur Einstufung, Kennzeichnung und Verpackung von Chemikalien

¹⁸ Verordnung zur Registrierung, Bewertung, Zulassung und Beschränkung chemischer Stoffe

FFM4: Einsatz von Recyclingstoffen aus anderen Industriebereichen

Der Einsatz von recycelten Materialien aus anderen Teilbereichen der Keramikindustrie oder anderen Industriebereichen zur Herstellung von feuerfesten Produkten ist nach Aussage der Hersteller aufgrund der meist fehlenden feuerfesten Eigenschaften kaum möglich.

Eine der wenigen möglichen externen Sekundäreinsatzstoffe sind z.B. Isolatoren- oder Porzellanbruch. Diese können in bestimmten Rezepturen als Sekundärrohstoffe eingesetzt werden, z.B. für säurebeständige Materialien. Hierzu muss der Bruch aber genau definierte Spezifikationen einhalten.

Weiterhin wird Ligninsulfonat als Bindemittel zur Herstellung von Magnesiasteinen eingesetzt (Anteil ca. 3%). Damit kann eine bessere Kantenfestigkeit erreicht werden. Ligninsulfonat ist ein Restprodukt aus der Papierherstellung. An weiteren Recyclingstoffen aus anderen Industriebereichen wird noch geforscht [Fachgespräch VDFFI 2017].

Es ist wesentlich, dass durch den Einsatz von Recyclingstoffen die Lebensdauer der feuerfesten Produkte nicht verkürzt wird. Im Sinne der Materialeinsparung wäre dies auf langer Sicht kontraproduktiv. Daher ist es wichtig, den richtigen Weg zwischen einer möglichst langen Lebensdauer (Einsatz sortenreiner Materialien ist hierfür erforderlich) und einer möglichst hohen Wiederverwertung von Recyclingstoffen zu finden.

Potential: Hier wird das Potential als eher gering eingestuft.

Hemmnisse: Die wichtigsten Hemmfaktoren bezüglich des Einsatzes von Recyclingstoffen aus anderen Industriebereichen sind fehlende feuerfeste Eigenschaften, unbekannte Zusammensetzungen und Reaktionen des Materials. Die Anforderungen an das Einsatzmaterial sind sehr spezifisch, eine Schwankung der Einsatzstoffe wirkt sich negativ auf die Produkteigenschaften aus. Wenn sich ein Recycling-Rohstoff als Primärrohstoff eignen sollte, dann müsste er auch in entsprechender Menge und kontinuierlich verfügbar sein.

Lösungsansatz: Forschung, Abfallregelungen.

5.3.3 Produktdesign/ Formgebung

5.3.3.1 Spezifische BVT 2007

In dem BVT-Merkblatt 2007 wurde für die Feuerfestkeramik festgehalten, dass der Anfall an festen Prozessverlusten/Abfällen in Form verbrauchter Gipsformen aus der Formgebung durch die Anwendung einer einzelnen oder einer Kombination der folgenden Maßnahmen gemindert werden kann:

- ▶ Ersetzen der Gipsformen durch Polymerformen
- ▶ Ersetzen der Gipsformen durch Metallformen
- ▶ Verwendung von Vakuum-Gipsmischern
- ▶ Weiterverwertung von gebrauchten Gipsformen in anderen Industriezweigen
- ▶ Wiederverwertung von Schlamm

Dies betrifft ausschließlich die im Gießverfahren hergestellte Feuerfestkeramik.

5.3.3.2 Stand der Technik 2016

Das gemischte und, falls für die weiteren Bearbeitungsverfahren erforderlich, mit Wasser versetzte Trockengranulat wird weiter zu Rohlingen geformt. Dabei werden je nach Verformbarkeit des Gemenges (Wassergehalt, Plastizität), den gewünschten Eigenschaften des fertigen Produkts, aber auch nach der Stückzahl und der Komplexität der Form des Produktes, unterschiedliche Formgebungsverfahren angewendet [Routschka und Wuthnow 2011]. Diese sind z.B. hydraulisches Pressen, Vibrationspressen, isostatisches Pressen, Schlickergießen, Extrudieren, Vibrieren oder Stampfen. Bei den meisten

Formgebungsverfahren werden derzeit Metallformen eingesetzt. Laut Aussage des VDFFI werden das Schlickergießen und Gipsformen nur noch sehr selten eingesetzt, z.B. bei der Herstellung von Quarzglas. Bei der Betrachtung der Materialeffizienzsteigerung können diese genannten Formgebungsverfahren vernachlässigt werden. Gipsformen werden in Deutschland so gut wie gar nicht mehr verwendet. Das isostatische Pressen, für das Polymerformen eingesetzt werden, wird nur zur Herstellung von Formteilen, die nicht auf hydraulischen Pressen hergestellt werden können, verwendet [Fachgespräch VDFFI 2017]. Die nachfolgende Tabelle gibt einen Überblick über die zur Herstellung von Feuerfestprodukten eingesetzten Formgebungsverfahren sowie die hierfür verwendeten Hilfsmittel (Formen).

Tabelle 22: Angewandte Verfahren zur Formung von feuerfesten Produkten

Verfahren	Pressformen
Hydraulisches Pressen	Metallformen
Vibrationspressen	Metallformen
Isostatisches Pressen	Polymerformen
Vibrieren	Metallformen
Stampfen	Holzformen mit Metallbeschlag

Während des Formgebungsprozesses fallen Massereste und abgenutzte Formen als Rest- bzw. Abfallstoffe an. Massereste werden weitestgehend wieder in die Produktion zurückgeführt. Metallformen werden einem externen Recycling zugeführt [Fachgespräch VDFFI 2017].

Bezüglich der Optimierung des Produktdesigns bzw. der Zusammensetzung der feuerfesten Produkte hat sich in den letzten Jahren einiges getan. Durch kontinuierliche Forschung und Entwicklungsarbeit konnte in den letzten Jahren v.a. der Verbrauch an feuerfesten Materialien in verschiedenen Industriezweigen z.B. durch höhere chemische Beständigkeit und somit längeren Standzeiten deutlich reduziert werden. So konnte z.B. der Verbrauch von feuerfesten Produkten pro Tonne Stahl kontinuierlich von ca. 40 kg/t Stahl vor 1990 auf gegenwärtig ca. 10 kg/t Stahl reduziert werden. [Routschka und Wuthnow 2011], [VDFFI 2015], [Fachgespräch VDFFI 2017].

5.3.3.3 Maßnahmen, Weiterentwicklungen und Potentiale

Die identifizierten Maßnahmen und Weiterentwicklungen zur Steigerung der Materialeffizienz bezüglich der Formgebung/des Produktdesigns (siehe Tabelle 23) werden im Nachfolgenden jeweils unter Angabe von Potentialen, Hemmnissen und Lösungsansätzen erläutert.

Tabelle 23: Maßnahmen und Weiterentwicklungen in der Feuerfestindustrie bezüglich des Produktdesigns

Nr.	Maßnahme	Material-effizienz-steigerung durch	Um-setzungs-rate (hoch, mittel, gering)	Reduktion der Primär-rohstoff-menge (%)	Poten-tial (0, +, ++, +++)	Bemerkung

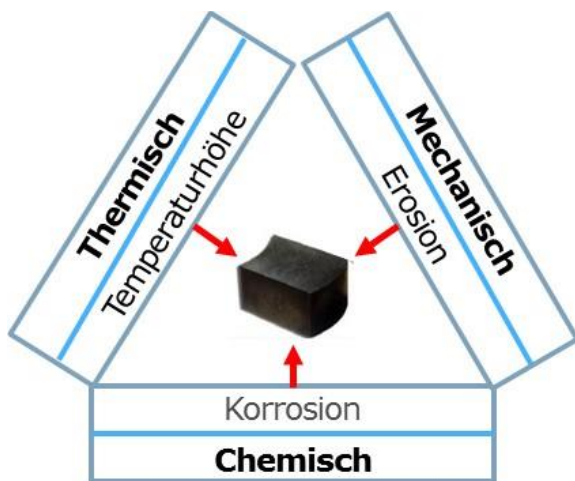
FFP5	Maßnahmen zur Verbesserung des Zusammenspiels von Chemie, Mechanik und Reaktionskinetik zur Verlängerung der Lebensdauer der feuerfesten Produkte	Einsparung	mittel		+	
FFP6	Einsatz von langlebigeren Formen	Einsparung	hoch		0/+	Betrifft die Metallformen, SdT

FFP= Feuerfeste Produkte, Produktdesign/Formgebung

FFP5: Maßnahmen zur Verbesserung des Zusammenspiels von Chemie, Mechanik und Reaktionskinetik zur Verlängerung der Lebensdauer der feuerfesten Produkte

Ein Grund für den Verschleiß der feuerfesten Produkte in Industrieanlagen ist die Korrosion der feuerfesten Produkte durch die Reaktion bestimmter Inhaltsstoffe mit Stoffen, die in der Ofenatmosphäre vorhanden sind. Dies variiert stark je nach Zusammensetzung des feuerfesten Produktes und des Einsatzortes der feuerfesten Produkte. Neben der Korrosion beeinflussen auch die Erosion und die Temperaturhöhe die Lebensdauer von Feuerfestprodukten. Die Beanspruchung dieser drei Faktoren tritt immer kombiniert auf (siehe Abbildung 8). In diesem Bereich wird noch viel geforscht, um das Zusammenspiel der drei Faktoren und damit die Langlebigkeit der Feuerfestprodukte zu optimieren [VDFFI 2015], [Krause 2012].

Abbildung 8: Beeinflussung der Lebensdauer von Feuerfestprodukten



Quelle: VDFFI 2015

Die Forschung und Optimierung ist vor allem deswegen wichtig, da sich die Ansprüche und Anforderungen der Anwenderindustrie ständig ändern und auch die Kunden innerhalb eines Industriesektors (z.B. Stahlindustrie) unterschiedliche Anforderungen stellen. Somit müssen die Eigenschaften und der Herstellungsprozess der feuerfesten Produkte laufend optimiert werden, um den Kundenanforderungen gerecht zu werden. Derzeit werden auch einige Forschungsarbeiten durchgeführt, die auf die Korrosionsbeständigkeit eines bestimmten Produktes bzw. Einsatzstoffes ausgerichtet sind [Bauer und Eitel 2016], [IKGB 2015].

Potential: Hier wird noch Potential gesehen, allerdings hängt dies auch stark von den Prozessbedingungen bei den Kunden ab.

Hemmnisse: Fehlende Kenntnisse der Reaktionen, Stoff- und Produkteigenschaften.

Lösungsansatz: Forschung.

FFP6: Einsatz von langlebigeren Formen

Metallformen könnten durch Hartmetallformen ersetzt werden, um die Menge an verschlissenen Metallformen zu reduzieren. Bei der Herstellung von Feuerfeststeinen aus Siliciumcarbid (SiC) können ca. 1.500 Steine mit einer Metallform geformt werden. Die Formen können 3-4-mal nachgeschliffen werden. Durch die Verwendung von Hartmetall können die Formen noch öfter verwendet werden. Dies lohnt sich allerdings nur bei der Produktion von Großserien, da die Hartmetallformen auch teurer in der Anschaffung sind.

Potential: Der Einsatz von langlebigeren Formen ist bereits Stand der Technik. Es wird noch geringfügig Potential gesehen.

Hemmnisse: kleine Produktionsserien.

Lösungsansatz: --

Weitere identifizierte Maßnahmen, die aus verschiedenen Gründen nicht weiter betrachtet werden

Als weitere mögliche Maßnahmen wurde die Formgebung von Feuerfesten Produkten durch 3D-Druck bzw. das LCM Verfahren identifiziert [Kollenberg 2015], [VDI 2014],¹⁹. Beides sind Additivverfahren, die sich für die technische Keramik eignen, für die Feuerfestkeramik allerdings weniger relevant sind, da die Masse für Feuerfestprodukte in der Regel sehr grobkörnig und inhomogen ist und somit nicht für die derzeit vorhandenen Additivverfahren geeignet sind [Fachgespräch VDFFI 2017]. Auch die Entwicklung von papiertechnischen Keramiken [AiF 2006],²⁰ ist eher für die Herstellung von technischer Keramik relevant, in der Feuerfestindustrie spielen sie so gut wie keine Rolle. Die Herstellung von keramischen Folien als Brennunterlage²¹ ist dem VDFFI nicht bekannt und kann höchstens eine Nischenanwendung darstellen [Fachgespräch VDFFI 2017]. Sie wurde in diesem Projekt nicht weiter betrachtet.

5.3.4 Trocknung/Brand

5.3.4.1 Spezifische BVT 2007

Im BVT-Merkblatt 2007 werden keine spezifischen Potentiale zur Materialeffizienzsteigerung bei der Trocknung oder dem Brand aufgeführt.

5.3.4.2 Stand der Technik 2016

Die Rohlinge (Presslinge), vor allem Formteile, müssen vorsichtig und möglichst vollständig getrocknet werden, um Trockenrisse oder Fehler während des Brennvorgangs zu vermeiden. Je nach Format und Trocknungsverhalten des Rohlings beträgt die Trocknungszeit mehrere Tage bis Wochen. Zur Trocknung kommen überwiegend Tunneltrockner und Kammertrockner zum Einsatz. Laut Aussage

¹⁹ <http://www.lithoz.com/additive-manufacturing/lcm-verfahren/>, aufgerufen am 17.03.2017

²⁰ <http://wzr.cc/pt-keramik/>

²¹ <http://www.kerafol.com/ceramic-tapes-substrates/spezialkeramiken/setter-brennhilfsmittel/>

des VDFFI [Fachgespräch VDFFI 2017] werden die getrockneten Presslinge ohne weitere Prüfung sofort gebrannt. Nur in seltenen Fällen, z.B. bei der Herstellung handgestampfter Produkte (<1%), werden die Produkte nach der Trocknung auf ihre Qualität geprüft.

Bei dem Brand entsteht durch Umwandlungen, Reaktionen im festen Zustand, Rekristallisation, Schmelzphasenbildung sowie durch Lösungs- und Ausscheidungsvorgänge das charakteristische Gefüge des feuerfesten Erzeugnisses [Routschka und Wuthnow 2011]. Der Brand findet überwiegend in gasbeheizten Tunnelöfen, Herdwagen- und Haubenöfen statt. Die Brennkurve und teils auch die Brennatmosphäre sind dem zu brennenden Gut angepasst. Die Brennzeit dauert von wenigen Tagen bis hin zu mehreren Wochen [Routschka und Wuthnow 2011]. Je nach Anwendungs- und Einsatzzweck müssen feuerfeste Produkte Temperaturen bis zu 2.500°C standhalten²², [Routschka und Wuthnow 2011]. Für die Ausbildung des charakteristischen Gefüges eines feuerfesten Erzeugnisses ist eine ausreichend hohe Brenntemperatur und Haltezeit bei dieser Temperatur erforderlich [Kollenberg 2013]. Die bei dem Brand anfallende Abwärme wird zur Trocknung der Presslinge eingesetzt.

Der Einsatz von elektronischen Steuerungssystemen zur optimalen Steuerung des Trocknungs- und Brennprozesses ist Stand der Technik.

Während des Brandes kann in geringer Menge gebrannte Bruchware anfallen, die soweit möglich wieder in den Produktionsprozess eingesetzt wird (siehe Kapitel 5.3.2).

Erneuerbare Energien in Form von Biogas werden zum Teil bereits über die Gasversorger in das Gasnetz eingespeist. Allerdings kann dies aus verschiedenen Gründen bei manchen Produktionsanlagen zu Problemen führen (siehe Kapitel 5.6) [RHI 2013].

5.3.4.3 Maßnahmen, Weiterentwicklungen und Potentiale

In Bezug auf den Trocknungs- und Brennprozess konnten keine sektorspezifischen Maßnahmen oder Weiterentwicklungen zur Steigerung der Materialeffizienz identifiziert werden.

5.3.5 Nachbearbeitung

5.3.5.1 Spezifische BVT 2007

Im BVT-Merkblatt 2007 werden keine spezifischen Potentiale zur Materialeffizienzsteigerung während der Nachbearbeitung aufgeführt.

5.3.5.2 Stand der Technik 2016

Die gebrannten feuerfesten Produkte können je nach Anforderung der Maßgenauigkeit geschnitten, gesägt oder geschliffen werden. Bei Bedarf können die Produkte zur Verbesserung der Korrosionsbeständigkeit noch imprägniert werden. Zur Imprägnierung wird z.B. Pech oder Harz eingesetzt [Routschka und Wuthnow 2011]. Bezogen auf die gesamte Produktpalette der Feuerfest-Industrie ist der Anteil der imprägnierten feuerfesten Produkte sehr gering. Auch der Anteil an geschliffenen Produkten ist sehr gering. Bei der Nachbearbeitung durch Sägen und Schleifen können in geringen Mengen Stäube, Schlämme und Abwasser (nach der im Kreislauf geführten Kühlung) anfallen, die wieder in den Produktionsprozess zurückgeführt werden [UBA 2007], [Fachgespräch VDFFI 2017].

²² <http://www.vdffi.de/feuerfest/index.html>

5.3.5.3 Maßnahmen, Weiterentwicklungen und Potentiale

Die identifizierte Maßnahme/Weiterentwicklung zur Steigerung der Materialeffizienz bezüglich der Nachbereitung (siehe Tabelle 15) wird im Nachfolgenden unter Angabe von Potentialen, Hemmnissen und Lösungsansätzen erläutert.

Tabelle 24: Maßnahme/Weiterentwicklung in der Feuerfestindustrie bezüglich der Nachbearbeitung

Nr.	Maßnahme	Material-effizienz-steigerung durch	Umset-zungsrate (hoch, mittel, gering)	Reduktion der Primär-rohstoff-menge (%)	Potential (0, +, ++, +++)	Bemerkung
FFN7	Innovative Veredelungsverfahren zur Erhöhung der Korrosionsbeständigkeit und somit der Lebensdauer der feuerfesten Produkte	Verlängerung der Lebensdauer	Gering		+	

FFN= Feuerfeste Produkte, Nachbearbeitung

FFN7: innovative Veredelungsverfahren zur Erhöhung der Korrosionsbeständigkeit und somit der Lebensdauer der feuerfesten Produkte

Es gibt bereits mehrere Ansätze und Methoden, feuerfeste Produkte in der Nachbearbeitung zu beschichten bzw. zu veredeln, um die Korrosionsbeständigkeit zu erhöhen und somit die Haltbarkeit zu verlängern. Beschichtungen, z.B. für die Nachbearbeitung von Leichtsteinen, werden bereits von mehreren Firmen angeboten [Fachgespräch VDFFI 2017]. Bei einem neuen Veredelungsverfahren wird die Keramikoberfläche von porösen feuerfesten Produkten mit flüssigen, reduzierend wirkenden Substanzen beschichtet und anschließend thermisch behandelt. Die darauffolgenden Oxidationsprozesse in den Poren bewirken eine Versiegelung der Keramik und einen Oberflächenkorrosionsschutz. Die Wechselwirkung zwischen heißer Schmelze und porösen feuerfesten Produkten wird durch die Beschichtung deutlich minimiert. Durch die Reduktion der Korrosion kann die Standzeit der feuerfesten Produkte verlängert werden. Da die versiegelte Keramik die Wärme besser halten kann, kann auch die Wandstärke reduziert werden. Das Verfahren kann laut Bauer und Eitel unabhängig vom Material auf alle Hochtemperaturprozesse übertragen werden. Es wird derzeit hauptsächlich in der Glasindustrie eingesetzt [Bauer und Eitel 2016]. Seit 2013 konnte es zudem auf die Bereiche Eisen- und Nichteisenmetallurgie überführt werden²³.

Potential: Hier wird noch etwas Potential bei Anwendungen gesehen, bei denen eine Erhöhung der Korrosionsbeständigkeit durch Beschichtung von Vorteil ist.

Hemmnisse:

- Laut dem Fachgespräch VDFFI kann dieses Verfahren nur für feuerfeste Produkte angewendet werden, die in gleichbleibenden Temperaturbereichen zum Einsatz kommen. In Anwendungsgebieten mit wechselnden Temperaturen werden die offenen Poren der feuerfesten Produkte benötigt, sonst verlieren sie ihre Temperaturwechselbeständigkeit. Dieses Verfahren stellt nach Ansicht des Verbandes eine Nischenanwendung dar [Fachgespräch VDFFI 2017].

²³ <http://www.vdi-nachrichten.com/Technik-Finanzen/Impregniert-hohe-Energie-Wartungskosten>, aufgerufen am 02.03.2017

- Kosten zum Auftragen der Beschichtungen.

Lösungsansatz: Forschung.

5.3.6 Verwertung/Beseitigung

5.3.6.1 Spezifische BVT 2007

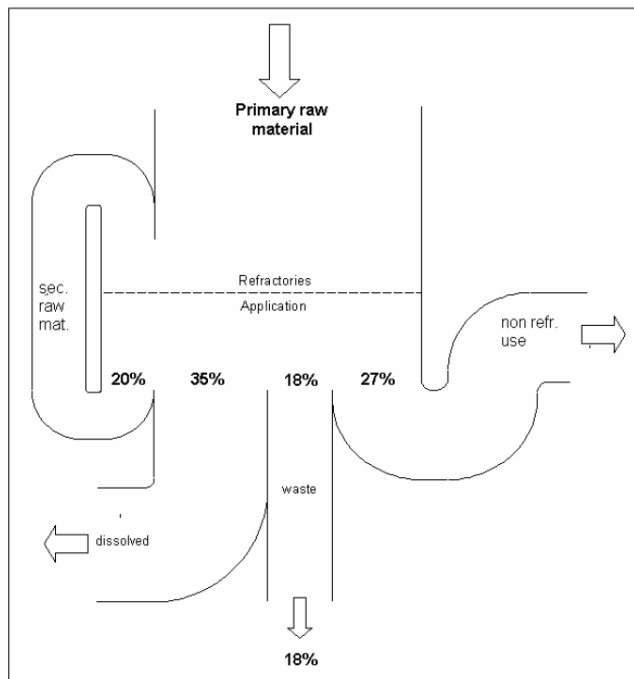
Im BVT-Merkblatt 2007 werden keine spezifischen Potentiale zur Materialeffizienzsteigerung während der Verwertung aufgeführt.

5.3.6.2 Stand der Technik 2016

In der Feuerfestindustrie werden ca. 80 Prozent der bei der Produktion anfallenden gesamten Reststoffe direkt wieder eingesetzt. Ca. 20% müssen genauer betrachtet werden, ob sie wieder eingesetzt werden können, extern verwertet oder als Abfall²⁴ entsorgt oder deponiert werden müssen [Fachgespräch UBA 2016)].

Bei der Anwendung der feuerfesten Produkte wird ca. ein Drittel der Produkte (ca.35%) während des Prozesses aufgelöst. Dies geschieht teils gewünscht zur Prozessunterstützung, teils durch Korrosionsprozesse. Ca. 20% der feuerfesten Produkte werden nach ihrer Lebensdauer zerkleinert und als Recycling-Rohstoff wiederverwendet, ca. 27% werden recycelt und für nicht feuerfeste Zwecke z.B. für den Straßenbau genutzt, ca. 18% bleiben als nicht wiederverwertbarer Abfall zurück (siehe Abbildung 9) [Kollenberg 2013]. An diesen Zahlen hat sich in den letzten Jahren nicht viel geändert, wie sich auch bei einer Firmenumfrage durch die Europäische Vereinigung der Hersteller feuerfester Erzeugnisse (PRE) in 2011 ergeben hat [Fachgespräch VDFFI 2017].

Abbildung 9: Massenbilanz der feuerfesten Produkte nach ihrer Anwendung



²⁴ Weniger als 5% der eingesetzten Stoffe werden als Abfälle entsorgt (z.B. verunreinigte Maschinenöle). Rohstoffe werden in der Regel nicht als Abfälle entsorgt (<2%).

Quelle: European Refractories Producers Federation (PRE): Management of refractory products in the EU, 2002

Derzeit wird hauptsächlich hochwertiges, wenig verunreinigtes Ausbruchmaterial recycelt. Allerdings muss dies immer kritisch je nach Produkt und Anwendung geprüft werden. In vielen Fällen ist das Recycling wegen der verschiedenartigen Verunreinigungen der Werkstoffe schwierig und zum Teil sehr kostenaufwendig [Routschka und Wuthnow 2011]. Bei der Verwendung von Recyclingmaterial muss immer berücksichtigt werden, dass das damit hergestellte Produkt eine geringere Qualität besitzt. Laut Aussagen des VDFFI könnte ein Teil der externen Feuerfestabfälle aus den Brennöfen in der Feuerfestproduktion direkt wieder eingesetzt werden, da er meist ohne größere Probleme sortenrein direkt am Anfallort wiedergewonnen werden kann [Fachgespräch VDFFI 2017].

5.3.6.3 Maßnahmen, Weiterentwicklungen und Potentiale

Das Aufbereiten und Recyceln der feuerfesten Produkte findet zwar nicht am Produktionsstandort der feuerfesten Produkte statt, kann aber dazu beitragen, den Anteil an Sekundärrohstoffen, die für die Produktion von feuerfesten Produkte zur Verfügung stehen, zu erhöhen und hat somit indirekt Einfluss auf die Ressourceneffizienzsteigerung in der Feuerfestindustrie. Hier werden Maßnahmen zur Trennung und Weiterverwendung von feuerfesten Produkte aufgeführt (siehe Tabelle 25) und jeweils unter Angabe von Potentialen, Hemmnissen und Lösungsansätzen erläutert.

Tabelle 25: Maßnahmen und Weiterentwicklungen in der Feuerfestindustrie bezüglich der Verwertung

Nr.	Maßnahme	Material-effizienz-steigerung durch	Um-setzungs-rate (hoch, mittel, gering)	Reduktion der Primär-rohstoff-menge (%)	Poten-tial (0, +, ++, +++)	Bemerkung
FFV8	Bessere Trennung der feuerfesten Produkte zum Wiedereinsatz durch das LIBS-Verfahren.		gering		+	
FFV9	Recycling von Feuerfestkeramiken nach Ablauf der Produktlebensdauer		mittel		+	
FFV10	Einsatz von aufbereiteten feuerfesten Ausbrüchen in anderen Industriesektoren		mittel		+	

FFV= Feuerfeste Produkte, Verwertung

FFV8: Bessere Trennung der feuerfesten Produkte zum Wiedereinsatz durch das LIBS-Verfahren.

Feuerfestausruchmaterialien, die für die Herstellung recycelter feuerfester Produkte geeignet sind, können anhand der sogenannten laserinduzierten Breakdown-Spektroskopie (LIBS) aussortiert werden. Die Messungen erfolgen berührungslos innerhalb weniger Millisekunden und erfassen bei einem Stein einige hundert Spektren. Die Auswertung der Plasma-Emissionsspektren erfolgt online mittels komplexer mathematischer Verfahren und einer Systemsoftware, ergänzt durch eine Datenbank an

hinterlegten Analysen von Mustersteinen²⁵. Das LIBS-Verfahren erkennt die chemische Zusammensetzung des Ofenausbruchs, nicht aber die Gefügestruktur (Kristallstruktur) der Materialien, die für die Wiederverwendung der Reststoffe in der Feuerfestindustrie essentiell ist. Daher wird es nach gegenwärtigem Stand eher als ein Hilfsmittel zur Vorsortierung angesehen. Das LIBS-Verfahren kann dazu beitragen, den Anteil an Sekundärrohstoffen, die für die Produktion von feuerfesten Produkten zur Verfügung stehen, zu erhöhen und hat somit indirekt Einfluss auf die Ressourceneffizienzsteigerung in der Feuerfestindustrie.

Potential: In diesem Bereich ist noch Potential vorhanden.

Hemmnisse: Aufwendig. Das LIBS-Verfahren erfasst die chemische Zusammensetzung der Produkte, nicht aber die mineralische Struktur. So kann beispielsweise erkannt werden, dass es sich um Magnesia handelt, nicht aber, ob es sich um höherwertiges Schmelzmagnesia oder um Sintermagnesia handelt. Dies stellt ein Problem dar, da die Industrie eine gewisse Haltbarkeit der Produkte garantieren muss.

Darüber hinaus haften an den zu trennenden Ausbruchstücken oft noch Anbackungen, Schlacken, etc. Je nachdem auf welche Stelle der Reststoffe der LIBS Strahl trifft, kann es passieren, dass Störstoffe nicht erkannt und mit aufbereitet werden. Dies verringert die Qualität der Recycling-Stoffe [Fachgespräch VDFFI 2017].

Generell kann festgehalten werden, dass die Recycling-Stoffe nicht immer die gleiche Hochwertigkeit erreichen wie Primärrohstoffe.

Lösungsansatz: Forschung.

FFV9: Recycling von Feuerfestkeramiken nach Ablauf der Produktlebensdauer

Nach dem Ausbruch von Öfen oder Wannen lassen sich feuerfeste Produkte mahlen und zu neuen Feuerfestbauteilen recyceln. Derzeit werden bereits ca. 20% des Ausbruchs feuerfester Werkstoffe, nach vorheriger Zerkleinerung, als Grobkorn wiederverwendet [Kollenberg 2013] (siehe auch Maßnahme FFM3 in Kapitel 5.3.2). Dieser Anteil könnte noch weiter erhöht werden und somit den Einsatz von Primärrohstoffen in der Produktion von feuerfesten Produkten senken. Produzenten von feuerfesten Produkten wären bereit, externen Feuerfestabfall direkt vom Anfallort wieder einzusetzen. Z.B. könnte Ausbruch wiederverwendet werden. Allerdings wird der Ausbruch von den Verwendern der Feuerfesten Produkte als Abfall eingestuft, somit ist für das Recycling eine abfallrechtliche Genehmigung erforderlich.

Es gibt bereits Aufbereitungsfirmen mit entsprechenden Abfallgenehmigungen, die feuerfeste Produkte aus Brennöfen für den Wiedereinsatz aufbereiten und ihn anschließend an unterschiedliche Abnehmer (u.a. an die Hersteller von Feuerfestmaterialien) verkaufen. Durch diesen Zwischenschritt sind die aufbereiteten Materialien allerdings teurer als wenn die Hersteller von feuerfesten Produkten diese selber aufbereiten würden.

Potential: In diesem Bereich ist noch Potential vorhanden.

Hemmnisse:

- ▶ Zur Rücknahme und Aufbereitung von gebrauchten feuerfesten Produkten müssten entsprechende Strukturen aufgebaut werden.
- ▶ Sobald das gebrauchte Feuerfest-Material als Abfall eingestuft ist, benötigen die Firmen eine abfallrechtliche Genehmigung für die Behandlung der Abfälle.

²⁵ <http://www.horn-co.de/minerals-recovery/leistungen-und-recyclingrohstoffe/aufbereitung-feuerfester-ausbrueche/libsanlage.html>

- Der Markt für Recycling-Rohstoffe hängt sehr stark von den Rohstoffpreisen ab. Wenn diese niedrig sind, ist die Nachfrage nach Recycling-Rohstoffen gering [Fachgespräch UBA 2016], [Fachgespräch VDFFI 2017] (siehe hierzu auch Maßnahme FFM3 in Kapitel 5.3.2).

Lösungsansatz: Änderung/Anpassung der Abfallregelungen bzw. Aufnahme des Einsatzes von bestimmten Sekundärrohstoffen als gleichwertig zu den Primärrohstoffen in vorhandenen oder neuen Industrienormen (bei Erfüllung definierter Parameter).

FFV10: Einsatz von aufbereiteten feuerfesten Ausbrüchen in anderen Industriesektoren

Derzeit werden ca. 27% der feuerfesten Ausbrüche für den Straßenbau genutzt.

Einige Firmen, die mit Feuerfestrohstoffen handeln, nehmen z.T. Ofenausbrüche an. Diese werden aufbereitet und wieder verkauft, z.B. als Schlackenbildner bei der Eisenherstellung [Fachgespräch UBA 2017].

Potential: In diesem Bereich ist noch Potential vorhanden.

Hemmnisse: Abfalleinstufung, Verunreinigungen.

Lösungsansatz: Forschung, Änderung/Anpassung der Abfallregelungen bzw. Aufnahme des Einsatzes von bestimmten Sekundärrohstoffen als gleichwertig zu den Primärrohstoffen in vorhandenen oder neuen Industrienormen (bei Erfüllung definierter Parameter).

5.3.7 Zusammenfassung

In der Feuerfestindustrie wurden 10 Maßnahmen und neue Entwicklungen zur Steigerung der Materialeffizienz in der Produktion der feuerfesten Produkte identifiziert. Diese betreffen vor allem die Masseaufbereitung, die Formgebung und das Produktdesign und die Verwertung des Feuerfestausbruchs. Auf die letzte Maßnahme haben die Feuerfestproduzenten allerdings keinen bzw. geringen Einfluss.

Sektorweite Potentiale werden noch bei

- dem Wiedereinsatz von extern anfallenden Abfällen (Ausbrüchen) nach deren Aufbereitung in der Produktion sowie bei
- der Entwicklung von weiteren Maßnahmen zur Verbesserung des Zusammenspiels von Chemie, Mechanik und Reaktionskinetik zur Verlängerung der Lebensdauer der feuerfesten Produkte

gesehen. Letzteres ist allerdings auch stark abhängig von den Prozessbedingungen bei den Kunden.

Insgesamt wird die Materialeffizienz in der Feuerfestindustrie schon als relativ hoch eingeschätzt. Dies hängt, wie bei den anderen Keramik-Sektoren auch, mit den hohen Materialkosten und den verpflichtenden Energiemanagementsystemen zusammen, durch die die Hersteller von feuerfesten Produkten schon jetzt gezwungen sind, eine jährliche Verbesserung darzustellen.

In Tabelle 26 sind alle Maßnahmen und Weiterentwicklungen zur Steigerung der Materialeffizienz in der Produktion der Feuerfestindustrie übersichtlich dargestellt.

Tabelle 26: Maßnahmen und Weiterentwicklungen in der Feuerfestindustrie

Nr.	Maßnahme	Material-effizienz-steigerung durch	Um-setzungs-rate (hoch, mittel, gering)	Reduk-tion der Primär-rohstoff-menge (%)	Poten-tial (0, +, ++, +++)	Bemerkung
FFM1	Einsatz von intern anfallenden Reststoffen (Masse-reste) während der Produktion	Substitu-tion, Einsparung	hoch	<1%	0/+	Stand der Technik
FFM2	Einsatz von intern anfallendem gebranntem Ausschuss (Brennbruch) während der Produktion	Substitu-tion, Einsparung	hoch	ca. 2%	0/+	Stand der Technik
FFM3	Einsatz von extern anfallenden Abfällen (z.B. Ofenausbruch) nach Wiederaufbereitung (Regenerate)	Substitu-tion, Einsparung	mittel	ca. 20%	++	
FFM4	Einsatz von Recyclingstoffen aus anderen Industriebereichen	Substitu-tion, Einsparung	gering		0/+	
FFP5	Maßnahmen zur Verbesserung des Zusammenspiels von Chemie, Mechanik und Reaktionskinetik zur Verlängerung der Lebensdauer der feuerfesten Produkte	Einsparung	mittel		++	
FFP6	Einsatz von langlebigeren Formen	Einsparung			0/+	Betrifft die Metallformen
FFN7	Innovative Veredlungsverfahren zur Erhöhung der Korrosionsbeständigkeit und somit der Lebensdauer der feuerfesten Produkte	Verlängerung der Lebensdauer	gering		+	
FFV8	Bessere Trennung der feuerfesten Produkte zum Wiedereinsatz durch das LIBS-Verfahren		gering		+	
FFV9	Recycling von Feuerfestkeramiken nach Ablauf der Produktlebensdauer		mittel		+	
FFV10	Einsatz von aufbereiteten feuerfesten Ausbrüchen in anderen Industriesektoren		mittel		+	

5.4 Sanitärkeramik

5.4.1 Allgemeine Informationen

5.4.1.1 Produktbeschreibung

Sanitärkeramik gehört zur Sparte der Feinkeramik [IG BCE 2017]. Typische Produkte sind z.B. WCs, Urinale, Waschbecken, Duschwannen und Bidets. Die in der Sanitärkeramik hauptsächlich verwendeten Rohmaterialien sind Kaolin, Ton, Quarz und Feldspat. Eine typische Masse besteht aus 40 - 50% Kaolin und Ton, 20 - 30% Quarz, 20 - 30% Feldspat und 0 - 3% Calciumcarbonat. Um die Gießfähigkeit der Gießmasse trotz niedrigen Wassergehalts zu ermöglichen, werden Verflüssigungs- und Stabilitäts-Hilfsstoffe wie Soda, Natrium- oder Kaliumsilikat-Lösung und Huminsäure hinzugefügt. Der Glasur werden Bindemittel wie Carboxymethyl- Cellulose oder Polyamin beigemischt, um eine maximale Adhäsion und Bindungsstärke zu ermöglichen.

Ein Großteil der Sanitärkeramikprodukte besteht aus Sanitärporzellan (Vitreous China). Als einziger anerkannter Werkstoff für die Herstellung von WCs und Urinalen erfüllt Sanitärporzellan die höchsten hygienischen Ansprüche [Laufen 2013].

Einige Firmen haben eine eigene Variante von Sanitärkeramik entwickelt, die alle gemein haben, für Produkte mit kleinen Wandstärken und engen Radien geeignet zu sein, da diese Werkstoffe unter anderem eine höhere Festigkeit aufweisen. Zum Erreichen dieser Eigenschaften werden von den Firmen unterschiedliche Methoden/Zusatzstoffe eingesetzt. Ein Beispiel ist die Zugabe von Korund (Al_2O_3). Die Werkstoffe werden eingesetzt, wenn dünnwandige Formen und enge Radien vorgesehen sind, die ursprünglich mit den Werkstoffen Mineralguss, Glas oder emailliertem Stahl umgesetzt wurden [Fachgespräch BVKI 2017], [Laufen 2013].

Als weiterer Werkstoff, vor allem für die Herstellung von Waschtischen, wird Feinfeuerton verwendet. Hier ist der Anteil an Schamotte (bereits gebrannter Ton) höher im Vergleich zu Sanitärporzellan, wodurch die nicht lineare Schwindung im Trocknungs- und Brennprozess auf kleiner als 10% reduziert werden kann. Dadurch ist die Herstellung anderer Formate möglich. Allerdings ist Feinfeuerton nicht für alle Sanitärprodukte zulässig. Für die Herstellung von WCs kann er z.B. nicht angewendet werden da die Wasseraufnahme des Feinfeuertons dafür zu hoch ist [Fachgespräch BVKI 2017], [Laufen 2013].

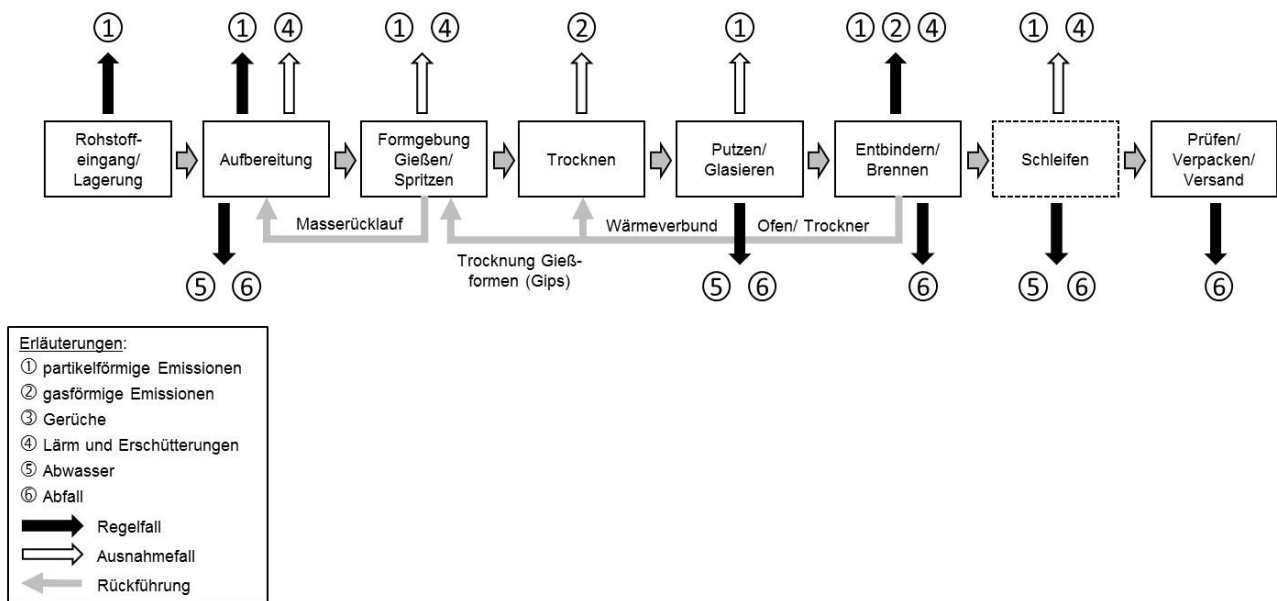
5.4.1.2 Produktionskennzahlen und -prozesse

Zu den jährlich eingesetzten Rohstoffmengen gibt es keine deutschlandweiten Daten. Als Anhaltspunkt können Werte der Firma Duravit oder Villeroy & Boch herangezogen werden. Deren Nachhaltigkeitsberichte nennen einen spezifischen Rohstoffverbrauch von 1,26 bzw. 1,3 $\text{t}_{\text{Rohstoff}}/\text{t}_{\text{Produkt}}$ produzierter Ware [Duravit 2013], [Villeroy & Boch 2010]. Als Schätzung für den Sanitärkeramik-Sektor wird ein Bereich von 1,2 bis 1,4 $\text{t}_{\text{Rohstoff}}/\text{t}_{\text{Produkt}}$ angenommen, was ca. 34.800 t – 40.600 t entspricht.

Weitere Zahlen zeigen, dass für die Herstellung von 1.000 kg Sanitärkeramik eine Menge von 1.395 kg Rohstoffen benötigt wird. In der Vorbereitung der Rohmaterialien wird Bruchware aus anderen Prozessschritten hinzugefügt. Später werden ca. 80 kg Glasur hinzugefügt, sodass schließlich 1.000 kg Sanitärkeramik entstehen [Umweltbundesamt 2007], [Fachgespräch BVKI 2017].

Die Rohstoffe werden aufbereitet und anschließend geformt, getrocknet, glasiert und gebrannt. Bei Bedarf werden sie noch nachbereitet (siehe Abbildung 10). In den Kapiteln 5.4.2 bis 5.4.6 sind die einzelnen Produktionsprozesse genauer beschrieben.

Abbildung 10: Betrachtete Produktionsprozesse in der Sanitärkeramikindustrie



Quelle: VDI 2585, Druck in Vorbereitung 2018

In der deutschen Keramikindustrie wurden im Jahr 2015 ca. 1,9 Mio. sanitärkeramische Produkte hergestellt [DESTATIS 2016a]. Unter der Annahme, dass ein Produkt im Durchschnitt 15 kg wiegt, entspricht dies ca. 29.000 t [Fachgespräch UBA 2017].

Der spezifische Energieverbrauch wird zwischen 5 und 8 MWh/t produzierter Ware geschätzt. Als Anhaltswerte werden dafür die Energieindizes aus den Umweltdeklarationsberichten von Duravit (5,62 MWh/t produzierter Ware (Wert von 2013)) und Villeroy & Boch (7,3 MWh/t produzierter Ware (Wert von 2010)) genommen. Dabei wird die Bereitstellung der Einsatzstoffe und der Transport mitberücksichtigt [Duravit 2013], [Villeroy & Boch 2010]. Wasser wird hauptsächlich in der Masseaufbereitung, in kleineren Mengen auch im Glasurprozess und der Nachbearbeitung benötigt. Genau Mengenangaben zum Wasserbedarf in der Produktion sind nicht verfügbar.

Der Anteil an anfallenden Reststoffen wie Schlämmen und Stäuben ist nicht bekannt. Schlämme werden je nach Reinheit wieder rückgeführt, extern verwertet (z.B. in der Ziegelindustrie) oder beseitigt. Stäube werden in der Regel aufgrund der Verunreinigungen (Metalle, Abrieb) extern verwertet oder beseitigt. Der anfallende Brennbruch wird auf unter 10% geschätzt. Davon wird ca. die Hälfte wieder in der Sanitärkeramik eingesetzt. Die andere Hälfte wird größtenteils extern verwertet [Fachgespräch BVKI 2017]. Für den Weißbruch (ca. 80% des gesamten Sanitär - Brennbruchs) kann festgehalten werden, dass nahezu 100% wieder stofflich verwertet werden (intern oder extern). Buntbruch wird extern verwertet oder beseitigt [Fachgespräch UBA 2017]. Bei der Masseaufbereitung eingesetztes Wasser entweicht während der Trocknung und des Brennprozesses. Prozessabwasser fällt während der Masseaufbereitung, des Glasurprozesses und der Nachbearbeitung an. Der größere Anteil wird aufbereitet und in die Produktion zurückgeführt. Der restliche Anteil wird der Kanalisation zugeführt.

Der Anteil anfallender Abfälle nach Gebrauch ist nicht bekannt. In den Umweltproduktdeklarationen werden zwar teils Größenordnungen zwischen 8 und 15% deponierter Abfälle pro Tonne produzierter Sanitärkeramik angegeben, dies beinhaltet aber alle Abfälle und nicht nur die mineralischen Abfälle [Laufen 2017], [IBU 2017].

Derzeit werden ca. 80% der in Deutschland verkauften Sanitärkeramik importiert [Fachgespräch UBA 2017].

In Deutschland gibt es derzeit 5 Werke (Betriebsgröße: Mitarbeiter ≥ 50), die ca. 2.706 Mitarbeiter beschäftigen [DESTATIS 2016a], [DESTATIS 2016c].

In Tabelle 27 sind einige relevante Kennzahlen der Sanitärkeramikindustrie dargestellt.

Tabelle 27: Produktionskennzahlen für die Sanitärkeramikindustrie

Produktionsparameter	Kennzahlen für das Jahr 2015 (neuestes Jahr)
Einsatz Rohmaterial	1.2 bis 1.4 t/t Produkt (ca. 34.800 t – 40.600 t)
Produkt	Ca. 29.000 t (1,9 Mio. Stück)
Energieverbrauch	5 und 8 MWh/t Produkt (Schätzung)
Wasserbedarf	Wasser wird hauptsächlich in der Masseaufbereitung, in kleineren Mengen auch in im Glasurprozess und der Nachbearbeitung benötigt. Genaue Mengenangaben zum Wasserbedarf in der Produktion sind nicht verfügbar.
Reststoffe, die während der Produktion anfallen	Der Anteil an anfallenden Reststoffen wie Schlämmen und Stäuben ist relativ gering. Er wird wieder zurückgeführt, extern verwertet oder beseitigt. Der anfallende Brennbruch wird auf unter 10% geschätzt. Davon wird ca. die Hälfte wieder in der Sanitärkeramik eingesetzt. Die andere Hälfte wird größtenteils extern verwertet.
Reststoffe, die während der Produktion anfallen und extern entsorgt werden	<10% (Deponierung; abgeleitet aus verschiedenen Umwelt-Produktdeklarationen der Hersteller)
Abwasser	Abwasser fällt während der Masseaufbereitung, des Glasierens und der Nachbearbeitung an. Der größere Anteil wird aufbereitet und in die Produktion zurückgeführt. Der restliche Anteil wird der Kläranlage zugeführt.
Mineralische Abfälle, die extern anfallen	*
Mineralische Abfälle, die extern nach dem Gebrauch anfallen und entsorgt werden	*
Umsatz (€)	180 Mio. [DESTATIS 2016a]
Anzahl Anlagen	5
Anzahl Mitarbeiter	2.706

*da entledigte Sanitärkeramik meist in geringen Mengen anfällt und zusammen mit Bauschutt entsorgt wird, konnten keine genauen Abfallzahlen ermittelt werden.

5.4.2 Masseaufbereitung

5.4.2.1 Spezifische BVT 2007

Bereits im BVT-Merkblatt 2007 wird auf die Wiederverwendung von Prozessabwasser eingegangen. BVT ist, die Prozessabwässer im Herstellungsprozess durch Anwendung einer Kombination von Maßnahmen zur Prozessoptimierung und Abwasserbehandlungssystemen wiederzuverwenden. Die Wiederverwendungsrate liegt bei 30 bis 50%.

5.4.2.2 Stand der Technik 2016

Bei der Herstellung von Sanitärkeramik werden die Rohstoffe Ton, Kaolin, Feldspat, Quarz, Calciumcarbonat und Wasser und Zuschlagstoffe wie z.B. Verflüssigungsmittel, Stabilisierungsmittel, organische Additive und Elektrolyte eingesetzt. In der Aufbereitung werden die Rohmaterialien zuerst mechanisch, in einem Mahlprozess, aufbereitet. Dies erfolgt in der Regel nass, wobei die Rohstoffe anschließend mit Wasser gemischt und gesiebt werden [Laufen 2017], [Fachgespräch BVKI 2017].

Als interne Rest- bzw. Recyclingstoffe werden z.T. Schlämme aus der internen Wasseraufbereitung, Massereste, Trockenbruch und glasierter gebrannter Bruch eingesetzt, sofern sie den hohen Reinheitsanforderungen entsprechen. Es hat sich etabliert, entstandenen Brennbruch wieder in der Masseaufbereitung einzusetzen. Dieser kann bis zu 10% des Versatzes ausmachen, ohne dass die Qualität oder Eigenschaften verschlechtert werden. Auch hier ist eine hohe Reinheit erforderlich [Fachgespräch BVKI 2017].

Bei der Masseaufbereitung fallen Reststoffe durch Massefehlschergen (Schlicker), Siebrückstände, Schlämme, Abwasser und Stäube an.

5.4.2.3 Maßnahmen, Weiterentwicklungen und Potentiale

Die identifizierten Maßnahmen und Weiterentwicklungen zur Steigerung der Materialeffizienz in der Masseaufbereitung (siehe Tabelle 28) werden im Nachfolgenden jeweils unter Angabe von Potentialen, Hemmnissen und Lösungsansätzen erläutert.

Tabelle 28: Maßnahmen und Weiterentwicklungen in der Sanitärkeramikindustrie bezüglich der Masseaufbereitung

Nr.	Maßnahme	Material-effizienz-steigerung durch	Um-setzungs-rate (hoch, mittel, gering)	Reduktion der Primär-rohstoff-menge (%)	Potential (0, +, ++, +++)	Bemerkung
SM1	Einsatz von intern anfallenden Reststoffen während der Produktion (Massereste, Stäube, Schlämme, Trockenbruch)	Substitution, Einsparung	hoch		0/+	SdT

Nr.	Maßnahme	Material-effizienz-steigerung durch	Um-setzungs-rate (hoch, mittel, gering)	Reduktion der Primär-rohstoff-menge (%)	Potential (0, +, ++, +++)	Bemerkung
SM2	Einsatz von intern anfallendem Brennbruch	Substitution, Einsparung	mittel		0/+	SdT, derzeit werden ca. 50% des Brenn-bruchs wieder in der Sanitär-keramikproduk-tion eingesetzt. Die restlichen 50% des Brenn-bruchs werden extern verwer-tet oder depo-niert
SM3	Einsatz von externen Re-cyclingstoffen	Einsparung	0		0/+	
SM4	Entwicklung neuer Re-zepturen für besonders dünne Keramikdesigns	Einsparung	gering		0/+	
SM5	Entwicklung optimierter Rohstoffmischungen zur Senkung des Ausschus-ses	Einsparung	mittel bis hoch		0/+	

SM= Sanitärkeramik, Masseaufbereitung

SM1: Einsatz von intern anfallenden Reststoffen während der Produktion (Massereste, Stäube, Schlämme, Trockenbruch)

Intern anfallende Reststoffe können meistens direkt wieder in die Produktion zurückgeführt werden. Massereste werden z.B. in der Regel direkt wieder in die Masseaufbereitung zurückgeführt, fehlerhafte Rohlinge nach der Trocknung in Wasser aufgelöst und dem Gießschlicker in der Masseaufbereitung beigemischt [Monteur 2010].

Der Wiedereinsatz von Schlämmen in der Masseaufbereitung ist möglich, wenn die Rohstoffe per Nassaufbereitung behandelt werden. Die Schlämme eignen sich dann, wenn sie getrennt gesammelt wurden. Wenn die Glasurabwässer aus der Reinigung der Auftragsvorrichtungen mit den anderen Werksabwässern zusammengeführt werden, werden sie extern verwertet oder beseitigt [Fachgespräch BVKI 2017].

Anfallende Stäube aus der Trockenabscheidung können wieder in den Produktionsprozess eingesetzt werden, dies ist jedoch aufgrund möglicher Verunreinigungen einzelfallabhängig. Stäube aus der Nassabscheidung können nicht wieder verwertet werden [Fachgespräch UBA 2017].

Potential: Hier wird das Potential zur weiteren Steigerung der Materialeffizienz als eher gering eingeschätzt. Intern anfallende Reststoffe werden meist wieder in die Produktion zurückgeführt. Nur wo es

aufgrund von Verunreinigungen oder dem Abwasserreinigungssystem (Schlämme) nicht möglich ist, werden die Reststoffe extern verwertet oder beseitigt.

Hemmnisse: Qualität, Abwassersammelsystem, Verunreinigungen.

Lösungsansatz: Forschung.

SM2: Einsatz von intern anfallendem Brennbruch

Brennbruch kann zermahlen und dem Gießschlicker wieder zugeführt werden [Monteur 2010].

In der Praxis werden derzeit ca. 50% des Brennbruchs entweder intern oder extern aufbereitet und wieder in der Sanitärkeramikproduktion eingesetzt. Die restlichen 50% des Brennbruchs werden extern verwertet oder deponiert, da z.B. die geeignete Technik zur Aufbereitung des Brennbruchs vor Ort nicht vorhanden ist [Fachgespräch BVKI 2017].

Der aufgemahlene Bruch wird als Zuschlagstoff, meist zur Magerung der Tone, in die Masseaufbereitung eingesetzt und sollte idealerweise aus der eigenen Produktion stammen, in jedem Falle aber Sanitärkeramikbruch sein [Fachgespräch BVKI 2017].

Potential: Hier wird noch etwas Potential gesehen, wenn die Rahmenbedingungen, wie z.B. die Logistik verbessert werden.

Hemmnisse: Qualität, Logistik.

Lösungsansatz: Forschung, bessere Logistik.

SM3: Einsatz von externen Recyclingstoffen

Sortenrein anfallende externe Sanitärkeramikabfälle können theoretisch nach entsprechender Aufbereitung als Zuschlagstoff zur Masseaufbereitung verwendet werden. In der Sanitärkeramikindustrie wird dies jedoch aufgrund von Qualitätsgründen nicht praktiziert.

Für gebrauchte Sanitärkeramik gibt es kein eigenes Sammelsystem, sie wird zusammen mit Bauschutt entsorgt. Extern anfallende Abbruchabfälle (Bauschutt) oder andere fremde Einsatzstoffe können der Masseaufbereitung aus Qualitätsgründen nicht zugefügt werden.

Potential: Hier wird das Potential nach derzeitigem Stand als sehr gering eingeschätzt.

Hemmnisse:

- ▶ Eine ausreichende Qualität muss gewährleistet sein.
- ▶ veränderte Rezepturen und Produktionsprozesse sind notwendig, um die gleiche Qualität zu erreichen.
- ▶ Logistik.

Lösungsansatz: --

SM4: Entwicklung neuer Rezepturen für besonders dünne Keramikdesigns

Hersteller von Sanitärkeramik haben neue Rezepturen auf der Basis von Aluminiumoxid und Titandioxid entwickelt, um so dünnere Produkte (veränderte Designs) realisieren zu können.

Bei der sogenannten „Saphirkeramik“ wird z.B. das Mineral Korund (Al_2O_3) beigemischt, um eine besondere Härte und (Biege-)Festigkeit zu erreichen, so dass auch Kantenradien von 1-2 mm technisch machbar sind. Korund besitzt die Mohshärte 9 und folgt in Bezug auf die Härte direkt nach Diamant. Der Vorteil an den engen Kantenradien ist, dass dadurch eine Reduktion des Produktgewichts um 20 bis 30% im Vergleich zur herkömmlichen Keramik möglich ist [ISH 2011], [Laufen 2013]. Produkte

aus Saphirkeramik werden bereits im industriellen Maßstab produziert (Entwickler: Laufen Bathrooms GmbH). Dabei werden derzeit hauptsächlich Design-Waschtische hergestellt.

Durch eine spezielle Zusammensetzung von Ton, Quarz, Feldspat und Titandioxid in Kombination mit besonderen Produktionsschritten hat ein weiterer Hersteller ebenfalls dünnere Produkte mit engen Kantenradien entwickelt und produziert die Produkte im industriellen Maßstab (Entwickler: Villeroy & Boch).

Ein weiterer Hersteller hat angegeben, dass er durch verbessertes Produktdesign 20-25% an Rohmaterial einsparen konnte. Allerdings handelt es sich um ein neues Produkt mit einem besonders dünnen Keramikdesign, welches die herkömmlichen Produkte nicht komplett ersetzen kann [Fachgespräch UBA 2017].

Potential: Hier wird noch geringfügig Potential gesehen.

Hemmnisse: Die Herstellung erfordert höherwertige und somit teurere Rohstoffe.

Lösungsansatz: Forschung.

SM5: Entwicklung optimierter Rohstoffmischungen zur Senkung des Ausschusses

In einem Entwicklungsvorhaben wurden mit Hilfe moderner Analyseverfahren, Röntgenbeugung, Elektronenmikroskopie u. a. die Rohstoffe und Mineraloberflächen der zu verarbeitenden Massen untersucht. Auf dieser Grundlage und unterstützt durch Computersimulationen des Fließverhaltens wurden optimierte Rohstoffmischungen und Gießschlicker entwickelt. Diese ermöglichten eine störungsfreie, robuste Prozessführung, insbesondere bei der Herstellung geometrisch komplexer Formen, mit deutlich verminderten Rohstoffverlusten. Ziel des Vorhabens war es unter anderem, den Ausschuss durch schwankende Rohstoffzusammensetzungen und Qualitätsschwankungen zu vermeiden [Villeroy & Boch 2010], [Kaufmann et al 2013]. Der Einsatz moderner Analyseverfahren zur Verbesserung der Rohstoffmischungen ist Stand der Technik. Hier finden kontinuierlich Verbesserungen statt [Fachgespräch BVKI 2017].

Potential: In diesem Bereich wird weiterhin Potential gesehen.

Hemmnisse: --

Lösungsansatz: Forschung.

5.4.3 Produktdesign/Formgebung

5.4.3.1 Spezifische BVT 2007

Bereits im BVT-Merkblatt 2007 ist BVT, den Anfall an festen Prozessverlusten/Abfällen in Form verbrauchter Gipsformen aus der Formgebung durch Anwendung einer einzelnen oder einer Kombination der folgenden Maßnahmen zu mindern:

- ▶ Ersetzen der Gipsformen durch Polymerformen,
- ▶ Ersetzen der Gipsformen durch Metallformen,
- ▶ Verwendung von Vakuum-Gipsmischern,
- ▶ Weiterverwertung von gebrauchten Gipsformen in anderen Industriezweigen.

5.4.3.2 Stand der Technik 2016

Die aufbereitete Masse wird je nach gewünschtem Endprodukt durch das Schlickergießverfahren oder das Druckgussverfahren geformt. Eine anschließende Nachbearbeitung und Prüfung der Rohlinge erfolgt größtenteils elektronisch.

Anfallende Massereste werden in der Regel sofort wieder in die Produktion eingesetzt.

Das traditionelle Schlickergussverfahren ist ein Filtrationsprozess, bei welchem der flüssigen Schlickersuspension durch Kapillarkräfte das Wasser entzogen wird und sich somit der Scherben bildet. Dieses Verfahren benötigt lange Trockenzeiten, hat einen hohen Verschleiß an Gipsformen und einen hohen Raumbedarf [Castimo]. Das weiterentwickelte Druckgussverfahren, das sich in der Praxis bewährt hat, verwendet einen Schlicker, für den eine erhöhte Wassermenge benötigt wird. Es kann mit 8 – 10 m³ Wasser pro t gerechnet werden. Das Wasser muss nach der Formgebung wieder entfernt werden [Kollenberg 2013]. Dies geschieht durch aktives Herauspressen des Wassers durch Hochdruck [Castimo]. Das Wasser wird in der Regel wiederverwendet [Fachgespräch BVKI 2017]. Bei dem Druckgussverfahren werden in der Regel Polymerformen verwendet wodurch große Mengen an Gipsabfällen vermieden werden. Die Entwicklung des Druckgussverfahrens konnte in den letzten Jahren zur Ressourceneffizienz bei der Herstellung von geometrisch komplexen Formen beitragen.

Kleinserien werden in einem manuellen Handgussverfahren ausschließlich mit Gipsformen gefertigt. Eine weitere Produktionsmethode stellt das Reihengussverfahren dar, in dem ebenfalls Gipsformen eingesetzt werden. Massereste und Rohbruchstücke sind in der Regel zu 100% wiederverwertbar und werden der Schlickeraufbereitung wieder zugeführt [Laufen 2017].

Beim Batteriegießverfahren werden einzelne Gipsarbeitsformen miteinander verbunden und über eine zentrale Gießschlickerversorgung gefüllt. Nach einer definierten Zeit verfestigt sich der Schlicker durch Wasserentzug zu einem Scherben. Sobald die vorgegebene Scherbenstärke erreicht ist, lässt man den restlichen Schlicker ablaufen. Dieser wird gesammelt und wiederverwendet [Villeroy & Boch 2010].

Der Einsatz von Vakuumgipsmischern zur Herstellung von Gipsformen stellt heutzutage den Stand der Technik dar [Fachgespräch BVKI 2017].

Tabelle 29: Angewandte Verfahren zur Formung eines Rohlings

Verfahren	Hilfsmittel
Schlickergießen (u.a. Handgussverfahren, Reihengussverfahren, Batteriegießverfahren)	Gipsformen
Druckgussverfahren	Kunststoffformen

Der Einsatz von Metallformen hat sich bei der Formgebung in der Sanitärkeramikindustrie nicht durchgesetzt [Fachgespräch BVKI 2017].

5.4.3.3 Maßnahmen, Weiterentwicklungen und Potentiale

Die identifizierten Maßnahmen und Weiterentwicklungen zur Steigerung der Materialeffizienz bezüglich der Formgebung/des Produktdesigns (siehe Tabelle 30) werden im Nachfolgenden jeweils unter Angabe von Potentialen, Hemmnissen und Lösungsansätzen erläutert.

Tabelle 30: Maßnahmen und Weiterentwicklungen in der Sanitärkeramikindustrie bezüglich Formgebung/Produktdesign

Nr.	Maßnahme	Material-effizienz-steigerung durch	Umset-zungsrate (hoch, mittel, gering)	Reduktion der Primär-rohstoff-menge (%)	Poten-tial (0, +, ++, +++)	Bemerkung
SP6	Umstellung von Gips- auf Polymerformen (Druckguss)	Einsparung	hoch		0/+	Betrifft die Gipsformen
SP7	Optimierte Modellierung und Herstellung von Gussformen	Einsparung	hoch		0/+	Betrifft die Gussformen

SP= Sanitärkeramik, Produktdesign/Formgebung

Ein Forschungsinstitut hat angegeben, dass es in naher Zukunft ein Projekt zum Online-Monitoring der Schlickerdicke beim Keramik Druckguss durchführen wird. Im Bereich der Formgebung wird das Potenzial zur Materialeffizienzsteigerung als hoch eingeschätzt [IZFP 2016].

SP6: Umstellung von Gips- auf Polymerformen (Druckguss)

Wie bereits als Stand der Technik beschrieben, hat sich das Druckgussverfahren in den letzten Jahren durchgesetzt. In einem Nachhaltigkeitsbericht wird beschrieben, wie es ein Entwicklungsvorhaben ermöglichen soll, durch Verbesserung der aufzubereitenden Masse Modelle, die bisher ausschließlich in Gipsformen produziert werden konnten, in Zukunft auch optional in Druckguss herzustellen. Durch die Umstellung des Verfahrens können Polymerformen verwendet werden, die im Gegensatz zu Gipsformen längere Standzeiten haben. Die Umstellung auf das Druckgussverfahren bedeutet zusätzlich eine erhebliche Verbesserung der Energieeffizienz der Fertigungsanlagen [Villeroy & Boch 2010]. In dem Fachgespräch wurde erläutert, dass die Qualität der Rohlinge bei der Verwendung von Polymerformen besser ist als bei der Verwendung von Gipsformen. Welche Formen bzw. Verfahren angewendet werden, hängt lediglich von der Stückzahl ab. Bei niedrigen Stückzahlen sind Gipsformen (60 – 70 Abformvorgänge) wirtschaftlicher als Polymerformen (bis zu 100.000 Abformvorgänge möglich).

Potential: Hier wird das Potential nach derzeitigem Stand als eher gering eingeschätzt.

Hemmnisse: Der Einsatz von Polymerformen geht einher mit der Installation einer neuen Gusseinheit. Dadurch entsteht eine hohe finanzielle Belastung. Bei niedriger Stückzahl lohnt sich der Einsatz teurerer Polymerformen nicht.

Lösungsansatz: Investitionen, um aktuelle Forschung anzuwenden.

SP7: Optimierte Modellierung und Herstellung von Gussformen

Eine Technik, die zur Materialeinsparung bei der Formgebung von Sanitärkeramik dient, ist die optimierte Modellierung und Herstellung von Gussformen. Diese wird durch eine Modellierungssoftware, welche die Konstruktion von Prototypen durch die CAD und CAM Technologie beschleunigt und vereinfacht, erreicht. Durch das Erstellen von 3D Modellen lässt sich schon vor der Konstruktion eines Prototypen feststellen, wo Deformationen auftreten können und wie die Gussform optimalerweise konstruiert werden sollte.

Durch diese Technik kann die Formherstellung vereinfacht, beschleunigt und präzisiert werden. Eine hohe Präzision führt zu weniger Trial-and-Error, wodurch kürzere Produktionszeiten möglich sind.

Außerdem erlauben Simulationen das Bewerten der Funktionsfähigkeit von z.B. Siphons. Die 3D-Modellierung erlaubt die optimale Konstruktion von Gussformen, sodass in der Verwendung weniger Fehler im Produkt auftreten²⁶.

Dies ist bereits Stand der Technik [Fachgespräch BVKI 2017].

Potential: Hier wird eher wenig Potential gesehen, da die beschriebene Technik bereits Stand der Technik ist.

Hemmnisse: Kosten.

Lösungsansatz: Investitionen.

5.4.4 Trocknung/Brand

5.4.4.1 Spezifische BVT 2007

Im BVT-Merkblatt 2007 werden keine spezifischen Potentiale zur Materialeffizienzsteigerung während des Trocknens/Brennens beschrieben.

5.4.4.2 Stand der Technik 2016

Die Rohlinge werden nach der Formgebung in Tunnel- oder Kammertrocknern bei maximal 180°C getrocknet. Neben getrockneten Rohlingen fallen Trockenbruch und Stäube an. Trockenbruchstücke sind zu 100% wiederverwertbar und werden der Schlickeraufbereitung wieder zugeführt [Laufen 2017].

Die getrockneten (und, je nach Endprodukt, glasierten oder engobierten) Rohlinge werden in Tunnelöfen, Rollenöfen oder Herdwagenöfen üblicherweise 14-24 Stunden bei 1200-1220°C zu Sanitärprodukten gebrannt. Durch einen spezialisierten Rollenofen kann die Brennzeit auf 10 Stunden reduziert werden [Hilgenfeld et al. 2011], [Fachgespräch Sanitärkeramik 2017]. Durch den Brennprozess fallen Brennbruch und Stäube an.

Heutzutage ist es möglich, eine Energieersparnis durch die Abwärmenutzung aus der Kühlzone des Brennofens zur Trocknung und Vorwärmung des Brenngutes zu erreichen. Außerdem kann zusätzliche Energie eingespart werden, indem die Ofenwagenkonstruktionen umgestaltet und die Formgebung der Brennhilfsmittel mit geringeren Abständen des Brenngutes optimiert werden. Dies ist bereits Stand der Technik [Fachgespräch BVKI 2017].

5.4.4.3 Maßnahmen, Weiterentwicklungen und Potentiale

Die identifizierten Maßnahmen und Weiterentwicklungen zur Steigerung der Materialeffizienz während der Trocknung bzw. des Brennprozesses (siehe Tabelle 31) werden im Nachfolgenden jeweils unter Angabe von Potentialen, Hemmnissen und Lösungsansätzen erläutert.

²⁶ <http://www.sacmi.com/en-US/Products-and-Services/Ceramics/Business-Units/Sanitaryware-machinery-and-plants/Casting/Modelling-e-moulds/.aspx?idC=62274&idO=9549&LN=en-US>, aufgerufen am 11.06.2017

Tabelle 31: Maßnahmen und Weiterentwicklungen in der Sanitärkeramikindustrie bezüglich der Trocknung/des Brennprozesses

Nr.	Maßnahme	Material-effizienz-steigerung durch	Umset-zungsrate (hoch, mittel, gering)	Reduktion der Primär- rohstoff- menge (%)	Potential (0, +, ++, +++)	Bemerkung
ST8	Optimierung des Trocknungsprozesses zur Reduktion des Ausschusses	Einsparung	hoch		0/+	SdT
ST9	Optimierung des Brennprozesses zur Reduktion des Ausschusses	Einsparung	hoch		0/+	SdT
ST10	Anwendung von Mikrowellentechnik zur Beseitigung von Feuchtenestern	Einsparung	0		0/+	
ST11	Anwendung der Thermographie zum Erkennen von Fehlern in Rohlingen und Produkten	Einsparung	gering		0/+	

ST= Sanitärkeramik, Trocknungs- bzw. Brennprozess

Das IZFP setzt das Potenzial zur Materialeffizienzsteigerung im Bereich der Trocknung als hoch eingeschätzt [IZFP 2016].

ST8: Optimierung des Trocknungsprozesses zur Reduktion des Ausschusses

Moderne Trocknungssysteme ermöglichen kurze Trockenzeiten und eine homogene Temperaturverteilung. Dadurch können die sanitärkeramischen Rohlinge gleichmäßig und schonend getrocknet werden, was den Ausschuss reduziert [Riedhammer], [Lippert 2013].

Das IZFP, welches im Bereich Sanitärkeramik tätig ist und am Projekt „Dry Control“ beteiligt war (siehe Maßnahme 10), schätzt das Potenzial zur Materialeffizienzsteigerung in der Trocknung als hoch ein [IZFP 2016].

Moderne Steuerungssysteme sind bereits Stand der Technik [Fachgespräch BVKI 2017].

Potential: Hier wird eher wenig Potential gesehen, da die beschriebene Technik bereits Stand der Technik ist.

Hemmnisse: Investitionsbedarf in neue Trocknungssysteme.

Lösungsansatz: Investitionen.

ST9: Optimierung des Brennprozesses zur Reduktion des Ausschusses

Ein computergesteuerter und -überwachter Brennprozess mit definiertem Temperatur-Zeit-Profil ermöglicht eine genaue Überwachung des Brennprozesses. Moderne Steuerungssysteme sind bereits Stand der Technik [Fachgespräch BVKI 2017].

In einem Projekt zur sinterabhängigen Steuerung der Temperatur werden Temperaturen an mehreren Stellen im Ofen gemessen und an die Steuerung weitergegeben. Anstatt wie üblich die Lufttemperatur

zu messen, wird im Zuge dieses Projekts ein extra angefertigter Probekörper auf die im Ofen standardmäßig eingebauten Thermoelemente geschoben. Diese messen die Kerntemperatur und übermitteln diese an die Steuerung. Durch den Einsatz von standardisierten Prüfkörpern wird sichergestellt, dass die Temperaturmessung immer an derselben Stelle stattfindet. So ist eine genauere Temperaturermittlung möglich. Dadurch kann der Brennprozesses optimiert, Risse und somit Bruchware reduziert und Energie eingespart werden [Hilgenfeld et al. 2011]. Dieses Verfahren kostet allerdings mehr, als durch den Ausschuss eingespart werden kann. Es gab viele Diskussionen zu diesem Verfahren, aufgrund des hohen Aufwands und der hohen Kosten hat sich dieses Verfahren nicht durchgesetzt [Fachgespräch BVKI 2017].

Potential: Hier wird das Potential als eher gering eingeschätzt, da sich das beschriebene Verfahren nicht durchgesetzt hat und moderne Steuerungssysteme bereits Stand der Technik sind.

Hemmnisse: Findet derzeit kaum Anwendung in der Praxis; Maßwertübertragung per Datenfunk ist notwendig für die Verwendung im Tunnelofen, hohe Investitionen und laufende Kosten, hoher Aufwand.

Lösungsansatz: Forschung.

ST10: Anwendung von Mikrowellentechnik zur Beseitigung von Feuchtenestern

In einem Bericht von Möller und Linn [Möller und Linn 2013] wird die Mikrowellentrocknung als mögliche Alternative zu konventionellen Trocknungstechniken beschrieben. Laut den Autoren können Keramiken anhand der Mikrowellentechnik sehr schnell und homogen aufgeheizt werden, wobei das Risiko für Trockenrisse als gering eingestuft wird. Auf Grund des inversen Temperaturprofils der Mikrowellenerwärmung erreicht die Temperatur im Inneren des Produktes zuerst höhere Werte. Dadurch wird ein Wasserdruck aufgebaut, der aber nicht zur Schädigung des Produktes führt, da er über die noch vollständig geöffneten Poren der äußeren Schichten abgebaut werden kann. Dies führt zu einem effektiven Stofftransport aus dem Inneren des Produktes. Somit ist von einer Bewegung der Trocknungsfront von innen nach außen auszugehen. Die Oberfläche trocknet daher erst ab wenn auch dort die entsprechende Temperatur erreicht ist. Im Druckgussbereich wird die Mikrowellentrocknung zur Lederharttrocknung von Sanitärkeramik wie z.B. Waschtischen eingesetzt [Möller und Linn 2013].

Eine ressourceneffiziente Trocknungstechnologie mit prozessintegrierter Prüfung auf Grundlage der Mikrowellenapplikation kann die Ausschussraten enorm reduzieren. Bei „dry control“ werden Feuchtenester durch spezielle Zeitbereichs-Reflektometrie im Mikrowellenbereich aufgespürt und anschließend durch lokal eingesetzte Mikrowellenstrahlen punktuell nachgetrocknet. Mittels Infrarotthermographie wird der Rohling auf versteckte Risse untersucht. Die im Projekt angestrebte Steigerung der Prozess-Sicherheit wird durch den Einsatz von Robotern erreicht. Eine vollautomatisierte Roboter-Anlage realisiert sowohl die Implementierung der Detektion von feuchten Nestern, also ggf. defekten Teilen, als auch die lokale Mikrowellen-Trocknung. Dies erhöht die Prozesssicherheit und die Rohstoffproduktivität zugleich [Villeroy und Boch 2010, 2012a], [BMBF 2010], [Kaufmann et al 2013], [Walle et al. 2014].

Mit Hilfe der Neuentwicklungen soll das nachhaltige Wirtschaften in der Keramikindustrie verbessert werden. Bei etwa fünf bis zehn Prozent der keramischen Rohlinge sind nach dem konventionellen Trocknungsprozess noch Feuchtenester mit punktuell erhöhter Restfeuchte vorhanden. Eine konventionelle Nachtrocknung wäre zu energieintensiv. Durch diese Feuchtenester entstehen beim folgenden Brennprozess Risse, wodurch ca. drei bis fünf Prozent der Gesamtproduktion zerstört wird.

Die Mikrowellentechnik ist im BVT-Merkblatt 2007 als „Technologie in Entwicklung“ aufgeführt. Aufgrund der hohen Kosten und prozessbedingten Schwierigkeiten hat sich dieses Verfahren zur Beseiti-

gung von Feuchtenestern nicht durchgesetzt [Fachgespräch BVKI 2017]. Derzeit wird die Mikrowellentechnik vereinzelt in der technischen Keramik eingesetzt, nicht aber in der Sanitärkeramikindustrie [Fachgespräch UBA 2017].

Potential: Daher wird das Potential nach derzeitigem Stand als sehr gering eingeschätzt.

Hemmnisse: Die Trocknung durch Mikrowellen kann nur batchweise erfolgen, sodass eine kontinuierliche Fahrweise nicht möglich ist [Kollenberg 2013]. Die Wirtschaftlichkeit ist meist negativ durch hohe Investitionen und hohe laufende Kosten. Die Technik ist schwer zu handhaben.

Lösungsansatz: weitere Forschung, Investitionen, Förderungen.

ST11: Anwendung der Thermographie zum Erkennen von Fehlern in Rohlingen und Produkten

Die Thermographie kann Fehlstellen in Rohlingen und gebrannten Produkten erkennen.

Bei der Thermographie wird die Tatsache genutzt, dass die Ausbreitung einer Wärmewelle an Materialfehlern wie Rissen, Poren oder Delaminationen durch die Änderung der Wärmeleitfähigkeit eine Störung erfährt. Risse etc. behindern den Wärmefluss und stellen eine thermische Barriere dar. Bei der optisch angeregten Thermographie dient ein Laserstrahl zum Identifizieren von Rissen. In rissfreien Bereichen diffundiert die vom Laserstrahl eingebrachte Wärme homogen weg. Dieses Verfahren dient zur Detektion von Fehlstellen in keramischen Rohlingen und in gebrannten Produkten [Laufer et al. 2007; Walle et al. 2014; Villeroy & Boch 2010; Kaufmann 2013; BMBF 2010]. Das Thermographieverfahren wurde auch im oben beschriebenen „dry control“-Projekt eingesetzt.

Dieses Verfahren wird bei bestimmten Produkten für bereits bekannte Problemzonen angewendet. Als generelles Verfahren konnte es sich aufgrund der hohen Kosten nicht durchsetzen [Fachgespräch BVKI 2017].

Potential: Das Potential wird nach derzeitigem Stand als sehr gering eingeschätzt.

Hemmnisse: Investitionskosten, laufende Kosten.

Lösungsansatz: Investitionen.

5.4.5 Glasieren

5.4.5.1 Spezifische BVT 2007

Im BVT-Merkblatt 2007 werden keine spezifischen Potentiale zur Materialeffizienzsteigerung während des Glasierens beschrieben.

5.4.5.2 Stand der Technik 2016

Das Glasieren von Sanitärkeramik erfolgt über Spritzen, Tauchen oder Begießen. Ca. 95% der Sanitärkeramikprodukte werden weiß glasiert. Es fallen überschüssige Glasur, Reinigungsabwasser, Weißschlamm und Ausschuss an. Im automatisierten Betrieb erfolgt das Glasieren mittels Sprühverfahren in einer geschlossenen Kammer. Die über den Rand des Porzellangrundkörpers hinaus versprühte Glasur wird in einer Wanne aufgefangen. Das direkte Auffangen und der Wiedereinsatz der Glasur haben sich in der Praxis etabliert [Fachgespräch BVKI 2017]. Die Reduktion des Oversprays, z.B. durch die Optimierung der Robotersteuerungstechnik, hat sich ebenfalls zum Stand der Technik entwickelt. Um den Aufbau einer Glasurschicht in der Wanne zu unterbinden, wird die Wanne mit Wasser gespült. Die Glasur als hochwertiger Rohstoff kann mit dem Spülwasser ausgetragen und einer Abwasserbehandlung zugeführt werden [Envirochemie 2017]. Die Rückgewinnung der Glasur aus dem Abwasser, z.B. mittels Dekanter, Trockenabscheidung, Zentrifuge oder Membranfiltration hat sich ebenfalls in der

Praxis etabliert. Durch die Reduktion des Oversprays und die Rückgewinnung der Glasur aus dem Abwasser können ca. 90% der weißen Glasurreste zurückgewonnen bzw. vermieden werden [Fachgespräch UBA 2017]. Die Abwärme des Brennofens kann bei dem Glasurprozess eingesetzt werden.

5.4.5.3 Maßnahmen, Weiterentwicklungen und Potentiale

Die identifizierte Maßnahme/Weiterentwicklung zur Steigerung der Materialeffizienz bezüglich des Glasierens/Engobierens (siehe Tabelle 32) wird im Nachfolgenden jeweils unter Angabe von Potential, Hemmnis und Lösungsansatz erläutert.

Tabelle 32: Maßnahmen und Weiterentwicklungen in der Sanitärkeramikindustrie bezüglich des Glasierens/Engobierens

Nr.	Maßnahme	Material-effizienz-steigerung durch	Umsetzungs-rate (hoch, mittel, gering)	Reduktion der Primär-rohstoff-menge (%)	Potential (0, +, ++, +++)	Bemerkung
SG12	Rückgewinnung der Glasur aus dem Abwasser	Einsparung	hoch		+	Betrifft die Glasur, SdT

SG= Sanitärkeramik, Glasierens/Engobierens

SG12: Rückgewinnung der Glasur aus dem Abwasser

Durch verschiedene Verfahren wie Membranfiltration, Trockenabscheidung, Dekanter oder über Zentrifugen wird die sortenreine Weißglasur zurückgewonnen. Durch die Membranfiltration werden die Feststoffe, die normalerweise in die Kläranlage eingeleitet werden, nicht nur aufgefangen, sondern direkt wieder als hochwertige weiße Glasur für den Spritzroboter verwendet [Villeroy & Boch 2010]. Ein spezielles Verfahren zur Aufkonzentration, bei denen die erforderlichen Dichten der Glasuren zur Wiederverwendung eingestellt werden können, wurde zum Patent angemeldet [Envirochemie 2017].

Eine Konzipierung und Umsetzung eines neuen Abwasserreinigungssystems spart zudem erhebliche Abwassermengen, Chemikalien und erhöht die Rohstoffproduktivität [Biermann und Pätzold 2013].

Potential: Hier wird noch etwas Potential für die Menge an Glasur gesehen, die nicht direkt aufgefangen und ansonsten mit dem Abwasser in die Kläranlage gelangen würde.

Hemmnisse: Investitionskosten, laufende Kosten.

Lösungsansatz: Förderung.

5.4.6 Nachbearbeitung

5.4.6.1 Spezifische BVT 2007

Im BVT-Merkblatt 2007 werden keine spezifischen Potentiale zur Materialeffizienzsteigerung in der Nachbearbeitung beschrieben.

5.4.6.2 Stand der Technik 2016

Bei der Sanitärkeramik muss die Auflageseite des Werkstückes immer dann nachbereitet werden, wenn es zu einem ungewollten Verzug gekommen ist oder die Oberfläche sehr eben sein muss. Die Nachbearbeitung beinhaltet das Nass- oder Trockenschleifen und die nachfolgende Qualitätskontrolle.

Vor allem beim Trockenschleifen fallen Stäube an, die allerdings aufgrund von Verunreinigungen (Abrieb des Schleifmittels etc.) nicht mehr eingesetzt werden können. Sie werden in der Regel extern verwertet oder beseitigt [Fachgespräch BVKI 2017].

5.4.6.3 Maßnahmen, Weiterentwicklungen und Potentiale

Die identifizierte Maßnahme/Weiterentwicklung zur Steigerung der Materialeffizienz bezüglich der Nachbereitung (siehe Tabelle 33) wird im Nachfolgenden unter Angabe von Potentialen, Hemmnissen und Lösungsansätzen erläutert.

Tabelle 33: Maßnahme bzw. Weiterentwicklung in der Sanitärkeramikindustrie bezüglich der Nachbearbeitung

Nr.	Maßnahme	Material-effizienz-steigerung durch	Umsetzungs-rate (hoch, mittel, gering)	Reduktion der Primär-rohstoff-menge (%)	Potential (0, +, ++, +++)	Bemerkung
SN13	Entwicklung einer neuen Methode zur Reparatur von Materialfehlern nach dem Brennprozess	Einsparung	gering		0/+	

SN= Sanitärkeramik, Nachbearbeitung

SN13: Entwicklung einer neuen Methode zur Reparatur von Materialfehlern nach dem Brennprozess

In dem Projekt „Ecorepair“ wurde eine „In-Line“ Verfahrenstechnik entwickelt, welche eine Kombination aus neuartigen niedrig sinternden Reparaturwerkstoffen basierend auf nanotechnologisch hergestellten, organisch-anorganischen Hybridmaterialien und einer neuen energieeffizienten Ofentechnologie darstellt. Die Reparaturwerkstoffe sind glasartige Beschichtungen und so genannte Nanobinder, welche bei bedeutend niedrigeren Temperaturen aushärten als herkömmliche Glasuren bzw. Reparaturpasten. Über Sol-Gel-Verfahren wurden diese glasartigen Materialien und Nanobinder mit Arbeitstemperaturen über 700°C entwickelt. Darauf abgestimmt wurde eine Thermoprozessanlage für das Niedertemperatursintern entwickelt. Diese besteht aus einem Rückbrandofen mit überwiegend konvektiver Wärmeübertragung. Das Verfüllen kleiner Fehler in den bereits gebrannten Sanitärkeramikerzeugnissen erfolgt mit dem Werkstoff in Pastenform; anschließend wird dieser in der Thermoprozessanlage eingebrannt [Effizienzfabrik; BMBF 2017; VDMA 2011].

Die Projektteilnehmer haben die erarbeiteten Werkstoffe und Verfahren einem breiteren Kundestamm zugänglich gemacht, beginnend mit anderen Sanitärkeramikherstellern in Deutschland, Europa und weltweit, dann aber auch in Zusammenarbeit mit weiteren Partnern aus anderen Keramiktechnologien und deren Anwendungsbereichen, z. B. Emaillierung [BMBF 2017]. Die von EcoRepair entwickelten Werkstoffe und Thermoprozessanlagen haben das Potenzial für einen branchenübergreifenden Einsatz in der Beschichtungstechnik [VDMA 2011].

Laut Aussage des Fachverbands Sanitärkeramik hat sich der Einsatz von fremden Reparaturwerkstoffen nicht bewährt, da der Reparaturwerkstoff andere Eigenschaften hat (nicht nach Norm) und die notwendige Widerstandskraft nicht aufbringt [Fachgespräch BVKI 2017].

Stand der Technik ist, dass Stellen mit Materialfehlern nochmals angeschliffen und die Produkte einem Rückbrand zugeführt werden. Dies betrifft 15-20% der Produkte. Ebenfalls Stand der Technik ist die sogenannte Kaltreparatur. Hierbei werden Materialfehler durch einen speziellen Reparaturkunststoff behoben, ohne das Werkstück anschließend einem Rückbrand zuzuführen. Dies geht allerdings nur bei

Flächen, die statisch nicht belastet werden, nicht im Sichtbereich liegen und nicht wasserführend sind. Dies ist bereits Stand der Technik [Fachgespräch UBA 2017].

Es gab bereits Versuche, nur die nachgeschliffenen Stellen zu erwärmen, dies hat aber laut Aussage des BVKI bis jetzt nicht funktioniert, da das Werkstück durch die ungleichen Temperaturen Risse bekommen kann [Fachgespräch BVKI 2017].

Potential: Da die Produkte auch einem Rückbrand zugeführt werden können, wird hinsichtlich der Materialeffizienz eher weniger Potential gesehen.

Hemmnisse: Investition in neue Thermoprozessanlagen, „fremde“ Reparaturwerkstoffe mit unbekannten Eigenschaften.

Lösungsansatz: Forschung.

5.4.7 Verwertung/Beseitigung

5.4.7.1 Spezifische BVT 2007

Im BVT-Merkblatt 2007 werden keine spezifischen Potentiale zur Materialeffizienzsteigerung bezüglich der Verwertung/Beseitigung beschrieben.

5.4.7.2 Stand der Technik 2016

Keramik ist zu 100% recyclingfähig und kann als gemahlenes Granulat wieder dem Produktionsprozess zugeführt oder in anderen Industrien als wertvoller Rohstoff weiterverwendet werden [Laufen 2013]. Gegenwärtig werden ca. 50% des Brennbruchs (hauptsächlich Weißbruch) intern oder extern aufbereitet und der Sanitärkeramikproduktion zugeführt. Die anderen 50% (überwiegend Buntbruch) werden extern verwertet oder beseitigt [Fachgespräch BVKI 2017]. Der Weißbruch (ca. 80% des gesamten Sanitär - Brennbruchs) wird nahezu vollständig stofflich wiederverwertet (intern oder extern) [Fachgespräch UBA 2017].

Schlämme werden je nach Reinheit wieder rückgeführt, extern verwertet (z.B. in der Ziegelindustrie) oder beseitigt. Stäube werden in der Regel aufgrund der Verunreinigungen (Metalle, Abrieb) extern verwertet oder beseitigt.

Derzeit werden sanitärkeramische Produkte in Europäischen Ländern zusammen mit Bauschutt gesammelt und wiederverwertet oder beseitigt.

5.4.7.3 Maßnahmen, Weiterentwicklungen und Potentiale

Das Aufbereiten und Recyceln der sanitärkeramischen Produkte findet zwar nicht innerhalb der Produktion der Sanitärkeramik statt, kann aber dazu beitragen, den Anteil an Sekundärrohstoffen, die für die Produktion von Sanitärkeramik zur Verfügung stehen, zu erhöhen. Hier werden Maßnahmen zur Trennung und Weiterverwendung von Sanitärkeramischen Produkten aufgeführt (siehe Tabelle 34) und jeweils unter Angabe von Potentialen, Hemmnissen und Lösungsansätzen erläutert.

Tabelle 34: Maßnahmen und Weiterentwicklungen in der Sanitärkeramikindustrie bezüglich der Verwertung

Nr.	Maßnahme	Material-effizienz-steigerung durch	Umset-zungsrate (hoch, mittel, gering)	Reduktion der Primär-rohstoff-menge (%)	Potential (0, +, ++, +++)	Bemerkung
SV14	Aufbereitung von Prozessabfällen zur Verwertung in anderen Industriebereichen		hoch		0/+	
SV15	Aufbereitung von gebrauchter Sanitärkeramik zur Verwertung in anderen Industriebereichen		gering		0/+	
SV16	Weiterverwertung von gebrauchten Gipsformen		gering		+	

SV= Sanitärkeramik, Verwertung

SV14: Aufbereitung von Prozessabfällen zur Verwertung in anderen Industriebereichen

Derzeit werden in einigen Fällen verschiedene Prozessabfälle in anderen Industriebereichen als Sekundärrohstoff eingesetzt. Schlämme werden z.B. der Ziegelproduktion zugeführt oder auch Filterkuchen der Fliesenproduktion. Brennbruch wird unter anderem im Straßenbau eingesetzt. Genaue Verwertungswege sind nicht bekannt, da interne Prozessreststoffe/-abfälle oft an externe Aufbereitungsfirmen weitergegeben werden und die weitere Anwendung nicht weiter verfolgt wird [Fachgespräch BVKI 2017].

Potential: In diesem Bereich wird noch geringfügig Potential gesehen.

Hemmnisse: Qualität.

Lösungsansatz: Forschung.

SV15: Aufbereitung von gebrauchter Sanitärkeramik zur Verwertung in anderen Industriebereichen

Im BVT-Merkblatt 2007 wurde festgehalten, dass sich die während der Sanitärkeramikproduktion anfallenden Schlämme für den Einsatz als Rohmaterial oder Additiv in anderen Keramiksektoren eignen. Dadurch wird die anfallende Abfallmenge reduziert und Rohstoffe eingespart.

Bereits 2003 wurden in einem Projekt mehrere Einsatzmöglichkeiten von Sanitärkeramik nach der Nutzungsphase getestet. Diese haben sich in der Praxis etabliert [DBU 2003]:

- ▶ Grobfraktion: Aufhellungsmaterial im Wege-/Straßenbau,
- ▶ Splitt/ Sande: Aufhellungsmaterial Wege-/Straßenbau, Füllstoff und Abstreumittel in der Fußbodentechnik, Füllstoff in der FF-Industrie (Magerungs-, Sinterhilfsmittel), Abrasiv für die Oberflächenbearbeitung (z. B. Reinigungs-, Ablösearbeiten), Zuschlag in Betonwaren mit dekorativen Oberflächen,
- ▶ Mehl: Zusatzmittel in Klebmitteln, Farbpigment und Füllstoff im Fußbodenbau, abrasives Poliermittel.

Potential: In diesem Bereich wird noch geringfügig Potential gesehen.

Hemmnis: Fehlende Sammelsysteme, wenige Aufbereitungsfirmen, lange Wege, daher kostenaufwendiger als Deponierung, oft starke Verschmutzung.

Lösungsansatz: Bessere Logistik.

SV16: Weiterverwertung von gebrauchten Gipsformen

Die Gipsformen können recycelt und wieder eingesetzt werden. Es gibt bereits drei Recyclinganlagen in Deutschland, die vorrangig Gipskartonplatten und eben auch Gipsformen wieder aufbereiten. Allerdings ist dies nur für Produktionsanlagen günstig, deren Produktionsstandorte in der Nähe dieser Aufbereitungsanlagen liegen. Ansonsten ist es für die Produktionsfirmen wesentlich günstiger, die Gipsformen Entsorgern zu übergeben, die andere Wege der Beseitigung gehen (Deponierung, Export ins Ausland)

Potential: Hier ist noch Potential vorhanden.

Hemmnis: Wenige Aufbereitungsfirmen, lange Wege, daher kostenaufwendiger als Deponierung.

Lösungsansatz: Bessere Logistik.

5.4.8 Zusammenfassung

In der Sanitärkeramikindustrie wurden 16 Maßnahmen und neue Entwicklungen zur Steigerung der Materialeffizienz in der Produktion identifiziert. Diese betreffen vor allem die Masseaufbereitung, Trocknung und Brand und die externe Verwertung von intern und extern anfallenden Abfällen. Letztere beziehen sich nicht direkt auf die Produktion.

Die sektorweiten Potentiale werden bei den meisten Maßnahmen nach derzeitigem Stand eher als gering eingeschätzt, Potentiale liegen in der Rückgewinnung von Glasur und der Verwertung von Gipsformen. Weitere Potentiale werden gesehen, sind aber derzeit aufgrund großer Hemmnisse nicht zu realisieren oder müssen firmenspezifisch ermittelt und gehoben werden.

Insgesamt wird die Materialeffizienz in der Sanitärkeramikindustrie schon als relativ hoch eingeschätzt. Dies hängt, wie bei den anderen Keramik-Sektoren auch, mit den hohen Materialkosten und den verpflichtenden Energiemanagementsystemen zusammen, durch die die Sanitärkeramikhersteller schon jetzt gezwungen sind, eine jährliche Verbesserung darzustellen.

In Tabelle 35 sind alle Maßnahmen und Weiterentwicklungen zur Steigerung der Materialeffizienz in der Produktion der Sanitärkeramikindustrie übersichtlich dargestellt.

Tabelle 35: Maßnahmen und Weiterentwicklungen in der Sanitärkeramikindustrie

Nr.	Maßnahme	Material-effizienz-steigerung durch	Umsetzungs-rate (hoch, mittel, gering)	Reduktion der Primär-rohstoff-menge (%)	Potential (0, +, ++, +++)	Bemerkung
SM1	Einsatz von intern anfallenden Reststoffen während der Produktion (Masse-reste, Stäube, Schlämme, Trockenbruch)	Substitution, Einsparung	hoch		0/+	SdT

Nr.	Maßnahme	Material-effizienz-steigerung durch	Umset-zungs-rate (hoch, mittel, gering)	Reduk-tion der Primär-rohstoff-menge (%)	Poten-tial (0, +, ++, +++)	Bemerkung
SM2	Einsatz von intern anfallen-dem Brennbruch	Substitu-tion, Einsparung	mittel		0/+	SdT; derzeit werden ca. 50% des Brenn-bruchs wieder in der Sanitärke-ramikproduk-tion eingesetzt. Die restlichen 50% des Brenn-bruchs werden extern verwer-tet oder depo-niert
SM3	Einsatz von externen Re-cyclingstoffen	Einsparung	0		0/+	
SM4	Entwicklung neuer Rezep-turen für besonders dünne Keramikdesigns	Einsparung	gering		0/+	
SM5	Entwicklung optimierter Rohstoffmischungen zur Senkung des Ausschusses	Einsparung	mittel		0/+	
SP6	Umstellung von Gips- auf Polymerformen (Druck-guss)	Einsparung	hoch		0/+	Betrifft die Gips-formen
SP7	Optimierte Modellierung und Herstellung von Guss-formen	Einsparung	hoch		0/+	Betrifft die Gussformen
ST8	Optimierung des Trock-nungsprozesses zur Reduk-tion des Ausschusses	Einsparung	hoch		0/+	SdT
ST9	Optimierung des Brennpro- zesses zur Reduktion des Ausschusses	Einsparung	hoch		0/+	SdT
ST10	Anwendung von Mikrowel-lentechnik zur Beseitigung von Feuchtenestern	Einsparung	0		0/+	
ST11	Anwendung der Thermo-graphie zum Erkennen von Fehlern in Rohlingen und Produkten	Einsparung	gering		0/+	
SG12	Rückgewinnung der Glasur aus dem Abwasser	Einsparung	hoch		+	Betrifft die Glasur

Nr.	Maßnahme	Material-effizienz-steigerung durch	Umset-zungs-rate (hoch, mittel, gering)	Reduk-tion der Primär-rohstoff-menge (%)	Poten-tial (0, +, ++, +++)	Bemerkung
SN13	Entwicklung einer neuen Methode zur Reparatur von Materialfehlern nach dem Brennprozess	Einsparung	gering		0/+	
SV14	Aufbereitung von Prozessabfällen zur Verwertung in anderen Industriebereichen		hoch		0/+	
SV15	Aufbereitung von gebrauchter Sanitärkeramik zur Verwertung in anderen Industriebereichen		gering		0/+	
SV16	Weiterverwertung von gebrauchten Gipsformen		gering		+	

5.5 Geschirrkераmik

5.5.1 Allgemeine Informationen

5.5.1.1 Produktbeschreibung

Die wichtigsten Rohstoffe für die Produktion von Geschirrkераmik sind Kaolin, Feldspat und Quarz. Weitere Einsatzstoffe sind z.B. Tone, Pegmatit, Kreide und Dolomit und, je nach Bedarf, bestimmte Zusatzstoffe wie z.B. Bindemittel oder Verflüssiger. Je nach Zusammensetzung bzw. Anteilen der Ausgangsrohstoffe und Herstellungstechnik ergeben sich unterschiedliche Produkte mit unterschiedlichen Produktqualitäten. Die Produkte können in

- ▶ Porzellan,
- ▶ Steingut,
- ▶ Steinzeug,
- ▶ Tonwaren und
- ▶ Irdengut.

unterteilt werden. Als Porzellan bezeichnet man ein keramisches Produkt mit einem dichten, weißen und transparenten Scherben²⁷. Porzellan gilt als das edelste feinkeramische Erzeugnis. Steingut ist charakterisiert durch einen hellen, feinen, porösen Scherben. Steinzeug ist charakterisiert durch einen dicht oder fast dicht gesinterten Scherben, der nicht oder höchstens an den Kanten durchscheinend ist. Irdengut und Töpferwaren sind charakterisiert durch einen porösen, farbigen Scherben²⁸.

²⁷ Als Scherben bezeichnet man in der Keramik-Fachsprache das für die Herstellung keramischer Erzeugnisse oder keramischer Massen gebrannte Gemisch verschiedener Mineralien und Beimischungen

²⁸ <https://www.th-nuernberg.de/seitenbaum/fakultaeten/werkstofftechnik/fachgebiete/keramik/silikatkeramik/page.html>, aufgerufen am 05.05.2017

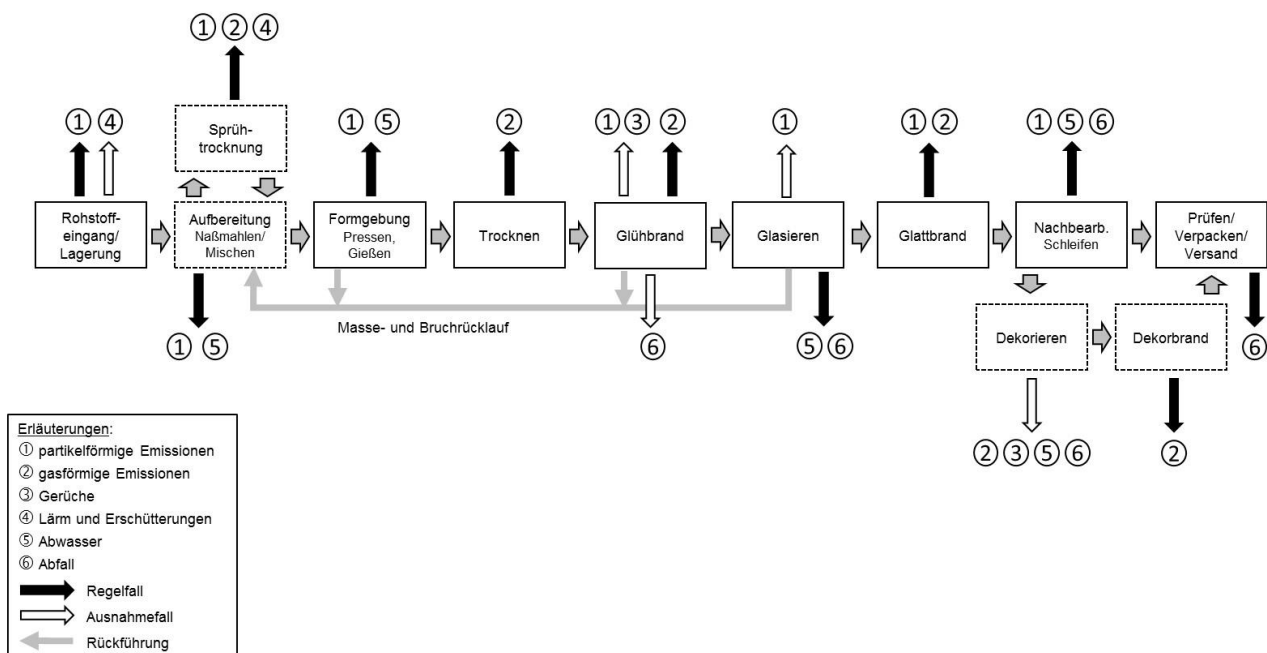
Eine Besonderheit in der Geschirrkераmik ist, dass einzelne Hersteller für bestimmte (meist sehr hochwertige) Produkte eine lebenslange Produktliefergarantie gewährleisten, d.h. die Hersteller müssen die Produkte (oft nur in geringen Stückzahlen) über sehr lange Zeiträume in immer gleichbleibender Qualität liefern können. Dies betrifft allerdings nur einen sehr geringen Anteil der Geschirrerzeugung.

5.5.1.2 Produktionskennzahlen und -prozesse

Die Menge der jährlich eingesetzten Rohstoffe zur Produktion von Geschirrkераmik in Deutschland konnte nicht ermittelt werden, da die Rohstoffe zum Teil von den Herstellern direkt bezogen und verarbeitet werden, zum Teil aber auch über spezielle Masseherstellungsfirmer bezogen werden, die die fertigen Massen an die Geschirrerhersteller liefern. Die Herstellung von fertigen Einsatzmassen durch Masseherstellungsfirmer hat sich in den letzten Jahren immer mehr etabliert, so dass die Geschirrkераmikerhersteller als Einsatzstoffe für ihren Produktionsprozess oft Pressgranulate sowie Gieß- und Drehmassen von den Aufbereitungsfirmer beziehen.

Sofern die Rohstoffe von den Herstellern selbst bezogen werden, werden diese aufbereitet und anschließend geformt und getrocknet. Nach der Trocknung werden die Rohlinge einem niedrigen Brand (Glühbrand) zugeführt um die notwendige Festigkeit für den nachfolgenden Glasurprozess zu erlangen. Anschließend werden sie bei hoher Temperatur erneut gebrannt (Glattbrand), durch Schleifen oder Polieren nachbearbeitet und bei Bedarf noch dekoriert. Nach durchgeführter Dekoration erfolgt nochmals ein Dekorbrand (siehe Abbildung 11). In den Kapiteln 5.5.2 bis 5.5.6 sind die einzelnen Produktionsprozesse genauer beschrieben.

Abbildung 11: Betrachtete Produktionsprozesse in der Geschirrkераmikindustrie



Quelle: VDI 2585, Druck in Vorbereitung 2018

Jährlich werden ca. 72.000 t Geschirrkераmik produziert²⁹. Der dafür benötigte Energieverbrauch liegt bei bis zu 50 MJ/kg. Als Energiequelle wird hauptsächlich Erdgas eingesetzt. Der größte Wasserbedarf

²⁹ Statistisches Bundesamt, Deutschland

besteht bei der Masseaufbereitung. Laut Zahlen aus dem BVT-Merkblatt liegt er bei eigener Masseaufbereitung bei ca. 3.3 t Wasser/ t Produkt. Da die meisten Produzenten bereits fertige Rohmasse kaufen, ist der Wasserbedarf in der Produktion eher gering. Genaue Mengenangaben zum Wasserbedarf in der Produktion sind nicht verfügbar.

In diesem Keramikteilsektor treten Verluste während der Produktion auf, v.a. in Form von Bruch und Schlamm. Ein beispielhaftes Massenfließdiagramm im BREF Dokument 2007 zeigt, dass für die Produktion von 1.000 kg Haushaltskeramik 760 kg Kaolin, 554 kg Feldspat und 3.341 kg Wasser eingesetzt werden. In der Rohmaterialvorbereitung werden 106 kg Bruchware aus verschiedenen Prozessschritten hinzugefügt. 2.771 kg Filterwasser werden abgeschieden. Später kommen 115 kg Glasur zu dem Prozess hinzu. Durch Verluste nach jedem Prozessschritt entsteht schlussendlich eine Menge von 1.000 kg Haushaltskeramik [UBA 2007]. Diese Zahlen spiegeln auch in etwa die aktuelle Situation wider, wobei bei externer Masseaufbereitung die Wassermenge, die als Filterwasser wieder abgeschieden wird, nicht in der Produktion anfällt [Fachgespräch BVKI 2017].

Die genaue Menge an Reststoffen bzw. Produktionsabfällen ist unbekannt, sie wird auf unter 20% geschätzt (<1% Stäube, <1% Schlämme, <20% Brennbruch, Gipsformen, Prozessabwasser). Massereste, Roh- und Glühbruch werden in der Regel wieder in die Produktion zurückgeführt. Bei der Masseaufbereitung eingesetztes Wasser entweicht während der Trocknung und des Brennprozesses. Prozessabwasser fällt während der Masseaufbereitung, des Glasurprozesses und der Nachbearbeitung an. Der größere Anteil wird aufbereitet und in die Produktion zurückgeführt. Der restliche Anteil wird der Kläranlage zugeführt.

In Deutschland gibt es derzeit ca. 33 Produktionsanlagen (Betriebsgröße: Mitarbeiter $\geq$ 50), die ca. 5.256 Mitarbeiter beschäftigen [Destatis 2016a], [Destatis 2016c]. Die Firmengrößen sind sehr unterschiedlich. Es gibt Hersteller, die sich auf bestimmte Produkte spezialisiert haben und diese dann in entsprechend großen Stückzahlen an verschiedenen Produktionslinien bzw. Standorten herstellen. Andererseits gibt es aber auch einige Firmen, die ein sehr breites Produktspektrum an einem Standort fertigen mit entsprechend geringeren Stückzahlen. Keine der Produktionsanlagen erfüllt die Kriterien der Industrieemissionsrichtlinie [Fachgespräch BVKI 2017].

In Tabelle 36 sind einige relevante Kennzahlen aus der Geschirrkераmikindustrie dargestellt.

Tabelle 36: Produktionskennzahlen für die Geschirrkераmikindustrie

Produktionsparameter	Kennzahlen für das Jahr 2015
Einsatz Rohmaterial	unbekannt
Produkt	72.000 t
Energieverbrauch	bis zu 50 MJ/kg
Wasserbedarf	ca. 3.3 m ³ /t Produkt bei eigener Masseaufbereitung.
Reststoffe, die während der Produktion anfallen	<20%
Reststoffe, die während der Produktion anfallen und extern entsorgt werden	<10% (Deponierung; geschätzt in Anlehnung an das Fachgespräch mit dem BVKI in 2017)
Abwasser	Der größere Anteil wird aufbereitet und in die Produktion zurückgeführt. Der restliche Anteil wird der Kläranlage zugeführt.
	*

Produktionsparameter	Kennzahlen für das Jahr 2015
Mineralische Abfälle, die extern anfallen (nach dem Gebrauch) und entsorgt werden	*
Umsatz	472 Mio. Euro [Destatis 2016a]
Anzahl Anlagen	33
Anzahl Mitarbeiter	5.256

*da entlegte Geschirrkераmik meist in geringen Mengen anfällt und zusammen mit Hausmüll oder Bauschutt entsorgt wird, konnten keine genauen Abfallzahlen ermittelt werden.

5.5.2 Masseaufbereitung

5.5.2.1 Spezifische BVT 2007

BVT ist, die Prozessabwässer im Herstellungsprozess durch Anwendung einer Kombination von Maßnahmen zur Prozessoptimierung und Abwasserbehandlungssystemen mit einer Wiederverwendungsrate von 30 bis 50% zurückzuführen.

Beim Nassschleifen entsteht Prozessabwasser, welches mit geeigneten Maßnahmen mit einer Wiederverwendungsrate von 30 bis 50% in den Kreislauf zurückgeführt werden soll.

5.5.2.2 Stand der Technik 2016

Die Rohstoffe wie z.B. Kaolin, Feldspat, Quarz und Tone werden in Mühlen (z.B. Trommelmühlen) gemahlen und in Rührwerken gemischt. Manche Rohstoffe, wie z.B. Kaolin, können auch mittels Schlammprozess aufbereitet werden. Die Masseaufbereitung erfolgt in der Regel in flüssiger Form, wobei der Masse bereits vor dem Mahlvorgang Wasser als Suspensionsmittel zugegeben wird. Zur Vorbereitung der Rohmaterialien können je nach Formgebungsart organische Gleit- und Bindemittel wie z.B. Carboxymethylcellulose, Methylcellulose, Celluloseether, Polyvinylalkohol, Polyvinylacetat und Polysaccharide hinzugefügt werden, um weiche und gleitende Eigenschaften des Pulvers zu erreichen. Um die Festigkeit der plastischen Bestandteile zu erhöhen, können zusätzlich organische Additive und Hilfsstoffe sowie anorganische Bindemittel wie Magnesiumchlorid, Magnesiumsulfat, Phosphat oder Borax verwendet werden. Für die Herstellung der Gießmasse werden Wasser und Additive wie Soda, Huminsäure, Natrium- oder Kaliumsilikat eingesetzt, um die gewünschten Fließeigenschaften zu erreichen [UBA 2007], [Fachgespräch BVKI 2017].

Die Masseaufbereitung zur Herstellung von Geschirrkераmik ist kostenintensiv, da es sich meist um kleinere Mengen verschiedener Massen handelt. Zur Herstellung von Pressgranulaten wird ein Sprüh-turm benötigt. Diese Anschaffung lohnt sich bei der Herstellung von kleineren Mengen nicht. Daher wird die Aufbereitung der Rohstoffe immer häufiger von spezialisierten Masseherstellungsfirmen durchgeführt. Hauptsächlich werden Pressgranulate von den Geschirrkераmikherstellern extern bezogen, zu einem geringen Anteil aber auch Gieß- und Drehmassen.

Manche Firmen stellen ihre Produktionsmassen, vor allem Dreh- und Gießmassen, noch selber her [Fachgespräch BVKI 2017]. Je nach weiterem Verarbeitungsvorgang wird die fertige Suspension wieder entwässert (z.B. über eine Kammerfilterpresse) oder der Wassergehalt erhöht. Als Ergebnis erhält man letztendlich je nach Wassergehalt einen Schlicker, eine Drehmasse oder ein Pressgranulat.

Während der Masseaufbereitung fallen Massereste an. Diese werden in der Regel sofort wieder in der Masseaufbereitung eingesetzt. Neben den Masseresten werden auch intern anfallende Reststoffe wie

Trocken- und Glühbruch je nach Qualität in die Masseaufbereitung zurückgeführt. Glüh- und Brennbruch kann auch an die Masselieferanten zurückgegeben oder an andere Industriesektoren weiterverkauft werden. Weißer Brennbruch wird teils wieder aufgemahlen oder an die Masseaufbereitungsfirmen zurückgegeben und kann als Magerungsmittel der Masse zugeführt werden. Bunter und verunreinigter Bruch wird verwertet oder beseitigt. Zur Herstellung von Geschirr wird mit vielen verschiedenen Massen gearbeitet. Diese dürfen nicht gemischt werden, was die Rückführung von Bruch erschwert [Fachgespräch BVKI 2017].

Externe Sekundärrohstoffe werden in der Regel nicht eingesetzt. In der Geschirrkemikindustrie werden viele Massen mit unterschiedlichen Zusammensetzungen hergestellt. Das Einsetzen systemfremder Rohstoffe ist technisch kaum möglich, da sich dadurch die Eigenschaften der Masse (z.B. anderes Schwindungsverhalten, Biegeverhalten, ...) verändern kann und somit der gesamte Herstellungsprozess neu eingestellt werden müsste. Außerdem besteht die Gefahr von Verunreinigungen, die zur Destabilisierung des Prozesses führen können. Um externe Sekundärrohstoffe einzusetzen, müssten diese in absolut gleichbleibender Qualität, Zusammensetzung und entsprechender Menge über einen langen Zeitraum verfügbar sein. Außerdem garantieren viele Geschirrkemikhersteller eine lebenslange Produktlieferung, d.h. sie müssen die Produkte über sehr lange Zeiträume immer in gleich bleibender Qualität liefern können. Diese Voraussetzungen erschweren bzw. verhindern den Einsatz von externen Sekundärrohstoffen [Fachgespräch BVKI 2017].

5.5.2.3 Maßnahmen, Weiterentwicklungen und Potentiale

Die identifizierten Maßnahmen und Weiterentwicklungen zur Steigerung der Materialeffizienz in der Masseaufbereitung (siehe Tabelle 11) werden im Nachfolgenden jeweils unter Angabe von Potentialen, Hemmnissen und Lösungsansätzen erläutert.

Tabelle 37: Maßnahmen und Weiterentwicklungen in der Geschirrkemikindustrie bezüglich der Masseaufbereitung

Nr.	Maßnahme	Material-effizienz-steigerung durch	Umsetzungs-rate (hoch, mittel, gering)	Reduktion der Primär-rohstoff-menge (%)	Poten-tial (0, +, ++, +++)	Bemerkung
GM1	Einsatz von intern anfallenden Reststoffen während der Produktion (Stäube, Schlämme, Trockenbruch, Glühbruch)	Substitution, Einsparung	hoch		0/+	SdT
GM2	Einsatz von intern anfallendem Brennbruch	Substitution, Einsparung	mittel		0/+	
GM3	Einsatz von extern anfallenden Abfällen	Einsparung	gar nicht – sehr gering		0	
GM4	Entwicklung von Rohstoffmischungen zur „Niedrig-Temperatur-Sinterung“	Einsparung	gering		0/+	

GM= Geschirrkemik, Masseaufbereitung

GM1: Einsatz von intern anfallenden Reststoffen während der Produktion (Stäube, Schlämme, Trockenbruch, Glühbruch)

Während der Produktion anfallende Massereste, Stäube, Schlämme, Trocken- und Glühbruch können je nach Qualität und Reinheit nach entsprechender Aufbereitung wieder in die Produktion rückgeführt werden. Massereste werden in der Regel bereits unmittelbar in die Produktion zurückgeführt. Trocken- und Glühbruch wird je nach Qualität und Reinheit aufbereitet und in die Produktion zurückgeführt oder an die Massehersteller zurückgegeben. Stäube und Schlämme können nicht immer wieder eingesetzt werden, da sie Verunreinigungen enthalten. Von den Schlämmen können nur die Weißschlämme wieder eingesetzt werden, wenn diese separat erfasst werden, was – aufgrund der geringen Mengen - selten der Fall ist. Ansonsten werden sie mit den Buntschlämmen gesammelt, entwässert und extern verwertet/deponiert. Insgesamt machen die Schlämme weniger als 1% der Einsatzmenge aus.

Potential: Hier wird das derzeitige Potential als sehr gering eingestuft.

Hemmnisse: Verunreinigungen, Farbreinheit, Wirtschaftlichkeit.

Lösungsansatz: Forschung.

GM2: Einsatz von intern anfallendem Brennbruch

Während der Produktion anfallender Brennbruch kann je nach Qualität und Reinheit nach entsprechender interner oder externer Aufbereitung wieder in die Produktion zurückgeführt werden. Bei manchen Produktionen wird gemahlener Glattbruch aus der eigenen Produktion als Zuschlagstoff (z.B. als Magerungsmittel) sogar benötigt und kann bis zu einem Drittel der Herstellungsmasse ausmachen. Wenn der anfallende Glattbruch nicht ausreicht, kann er durch das Brennen der Glühscherben oder einfach gestaltetem Geschirrporzellan und anschließender Mahlung erzeugt werden.

Insgesamt hat die Vermeidung von anfallendem Brennbruch oberste Priorität.

Potential: Hier wird das derzeitige Potential als sehr gering eingestuft.

Hemmnisse: Verunreinigungen, Farbreinheit.

Lösungsansatz: Forschung.

GM3: Einsatz von extern anfallenden Abfällen

Sortenrein anfallende Abfälle aus anderen Industriebereichen können theoretisch nach entsprechender Aufbereitung als Zuschlagstoff zur Masseaufbereitung verwendet werden. In der Geschirrkераmikindustrie wird dies aktuell jedoch nicht praktiziert (siehe Hemmnisse).

Potential: In diesem Bereich wird derzeit kein Potential gesehen.

Hemmnisse: In der Geschirrkераmikindustrie werden viele verschiedene Massen verschiedener Zusammensetzungen hergestellt. Das Einsetzen systemfremder Rohstoffe ist technisch nicht möglich, da sich dadurch die gesamten Prozesseinstellungen ändern würden. Außerdem besteht die Gefahr von Verunreinigungen, die zur Destabilisierung des Prozesses führen können.

Für extern anfallende Geschirrkераmikabfälle existieren zudem keine getrennten Sammelsysteme, sie werden in der Regel zusammen mit Bauschutt oder Restmüll gesammelt.

Lösungsansatz: --

GM4: Entwicklung von Rohstoffmischungen zur „Niedrig-Temperatur-Sinterung“

In einem Forschungsprojekt wurde eine neue Rezeptur für den Druckguss von Porzellan entwickelt, die den Einsatz von gemahlenen Scherben und Ausschussporzellan von Recyclingmaterialien aus der eigenen Porzellanherstellung und auch verschiedener anderer Firmen mit bis zu 60 Massenprozent und eine dichte Sinterung von Geschirr bei 1.220°C auf ultraleichten, hochporösen Brennplatten, in mit Holzgas beheizten Schnellbrandöfen, ermöglicht. Um die eingesetzten Rohstoffe effizienter zu nutzen, wurde zudem die Roh-, Glüh- und Glattbruchfestigkeit der keramischen Erzeugnisse in allen Produktionsstufen durch den gezielten Einsatz von "Feuerfest"-Tonen verbessert. Dazu wurde in einem Produktionswerk eine neue Masse entwickelt sowie die Herstellungstechnologie umgestellt, was nur mit öffentlicher Förderung und im Verbund mit anderen Instituten möglich war [BMBF 2010], [Rösler et al. 2013]. Inwieweit eine Umstellung bereits bestehender Produktionen bzw. Produktionslinien auf Massen mit Recyclinganteil sowie Niedrigtemperatursintern möglich ist, kann nur im Einzelfall – abhängig vom Produkt und den bestehenden Produktionsprozessen – entschieden werden.

Niedrig-Temperatur-Sintern wird bereits zur Energieeinsparung angewendet, ist aber für qualitativ hochwertiges Geschirr nicht geeignet [Fachgespräch BVKI 2017].

Rohstoffmischungen zur „Niedrig-Temperatur-Sinterung“ wurden auch in der Sanitärkeramikindustrie hergestellt und erforscht. Nach kurzer Forschungszeit wurde der Versuch mangels Erfolge wieder eingestellt [Fachgespräch UBA 2017].

Potential: Hier wird das derzeitige Potential als gering eingestuft.

Hemmnisse: Qualitätsanforderungen sowie hohe Investitions- und Umstellungskosten sind die wichtigsten Hemmfaktoren für die Umsetzung dieses Verfahren.

Jede Änderung der Zusammensetzung der Rohstoffe in der Geschirrkera­mik ist in der Regel sehr zeit- und kostenintensiv, da sich durch die Änderung eines Rohstoffs auch das Verhalten und die Eigenschaften der gesamten Masse verändern können (z.B. Schwindungsverhalten, ...). Dementsprechend müssen vor jeder Rohstoffänderung entsprechende Tests durchgeführt und anschließend im großtechnischen Maßstab umgesetzt werden, d.h. die Produktionsprozesse, Brennkurven, Glasuren etc. müssen entsprechend angepasst werden.

Wird ein Rohstoff ausgetauscht, kann es zwischen einem und neun Monaten dauern bis der gesamte Produktionsprozess auf diese Änderung abgestimmt ist (z.B. Schwindung, Biegung, Wärmeausdehnungskoeffizient, Farbe, Dekorfarbe etc.) [Fachgespräch BVKI 2017].

Ein weiterer Punkt sind die Qualitätsanforderungen, die an bestimmten Produkten gestellt werden. Nach Aussage von Experten kann hochqualitatives Hartporzellan, welches bei ca. 1.350 – 1.380 °C gebrannt wird, bei niedrigeren Temperaturen von max. 1.220° (angewendete Prozesstemperatur im Forschungsprojekt) nicht hergestellt werden [Fachgespräch BVKI 2017].

Weiterhin ist bei einigen Firmen auch zu berücksichtigen, dass aufgrund der gewährten lebenslangen Produktgarantie eine Umstellung auf andere Verfahren/Prozesse nicht realisiert werden kann, da sie sonst die Produkte in der entsprechenden Farbe und Qualität nicht mehr herstellen können [Fachgespräch BVKI 2017].

Lösungsansatz: Förderung, Forschung.

5.5.3 Produktdesign/Formgebung

5.5.3.1 Spezifische BVT 2007

BVT ist, den Anfall an festen Prozessverlusten/Abfällen in Form verbrauchter Gipsformen aus der Formgebung durch Anwendung einer einzelnen oder einer Kombination der folgenden Maßnahmen zu mindern:

- ▶ Ersetzen der Gipsformen durch Polymerformen,
- ▶ Ersetzen der Gipsformen durch Metallformen,
- ▶ Verwendung von Vakuum-Gipsmischern,
- ▶ Weiterverwertung von gebrauchten Gipsformen in anderen Industriezweigen.

5.5.3.2 Stand der Technik 2016

Die Schlicker, Drehmassen oder Pressgranulate werden in einem nächsten Schritt durch ein geeignetes Verfahren geformt. Die Wahl des Formgebungsverfahrens ist abhängig von den Produktionsmengen und der Geometrie der herzustellenden Produkte. Geeignete Verfahren sind unter anderem das Gießverfahren, das Druckgussverfahren, das Drehen, die Rollerformgebung oder das Pressverfahren. Je nach Formgebungsverfahren werden Formen aus Gips oder Kunststoff eingesetzt (siehe Tabelle 38). Gips eignet sich besonders gut, da Volumen und Form der Kapillaren im Gips einen gleichmäßigen Wasserentzug ermöglichen, wodurch sich an der Gipsform die Bildung des keramischen Scherbens vollzieht³⁰. Die nachfolgende Tabelle gibt einen Überblick über die angewendeten Verfahren, Formen sowie ihre Anwendung bezogen auf die Produktgeometrie.

Tabelle 38: Angewandte Verfahren zur Formung eines Rohlings

Verfahren	Hilfsmittel	Produktgeometrie
Schlickergießen	Gipsformen	Hohl
Schubscheibedrehen (manufaktuell)	Gipsformen/Freihanddrehen	Hohl, flach
Rollerformgebung	Gips (Rollwerkzeug aus Metall)	Hohl, flach
Druckguss	Kunststoffformen	Flach, teils hohl
Pressverfahren	Presswerkzeug (Kunststoff und Metall)	Flach
Formen	Gips	Figuren

Bei der Herstellung von Gipsformen werden in der Regel Vakuum-Gipsmischer eingesetzt. Dies entspricht bereits dem Stand der Technik [Fachgespräch BVKI 2017].

Als Reste oder Abfälle fallen in der Formgebung Massereste, Abwasser, Weißschlämme, Stäube und verschlissene Formen an.

5.5.3.3 Maßnahmen, Weiterentwicklungen und Potentiale

Die identifizierten Maßnahmen und Weiterentwicklungen zur Steigerung der Materialeffizienz bezüglich der Formgebung/des Produktdesigns (siehe Tabelle 39) werden im Nachfolgenden jeweils unter Angabe von Potentialen, Hemmnissen und Lösungsansätzen erläutert.

³⁰ <http://www.gips.de/loesungen/form-und-spezialgipse-igs/bauteile/hochleistungsformen/>, aufgerufen am 17. 03. 2017

Tabelle 39: Maßnahmen und Weiterentwicklungen in der Geschirrkераmikindustrie bezüglich Formgebung und Produktdesign

Nr.	Maßnahme	Material-effizienz-steigerung durch	Umsetzungs-rate (hoch, mittel, gering)	Reduktion der Primär-rohstoff-menge (%)	Poten-tial (0, +, ++, +++)	Bemerkung
GP5	Ersatz der Gipsformen	Substitu-tion	gering		0/+	Betrifft die Gipsformen
GP6	Ersatz des Gipses durch länger haltbaren Hartgips	Einsparung	mittel		0/+	Betrifft die Gipsformen

GP= Geschirrkераmik, Produktdesign/Formgebung

GP5: Ersatz der Gipsformen

Durch den Ersatz der Gipsformen durch Polymerformen kann die Menge an anfallenden Gipsabfällen, die aufgrund des hohen Verschleißes von Gipsformen anfällt, reduziert werden. Allerdings muss bei dem Ersatz der Formen häufig auch das Formgebungsverfahren geändert werden. Eine Umstellung von Gips- auf Polymerformen kann z.B. mit einer Umstellung des Formgebungsverfahrens von Schlickergießen auf Druckguss erfolgen. Dabei kann zusätzlich eine Rohmaterialeinsparung von bis zu 20% erreicht werden und der Anfall von Weißschlamm reduziert werden [UBA 2007]. Bei der Rollerformgebung wurden bereits Kunststoffformen anstelle von Gipsformen eingesetzt. Dies hat sich allerdings nicht durchgesetzt, da Probleme mit den Standzeiten aufgetreten sind [Fachgespräch BVKI 2017].

In modernen Produktionsstätten wird Massenware wie Flachware zumeist isostatisch gepresst bzw. druckgegossen. Dadurch kann die aufwendige und komplexe Herstellung von Gipsformen weitgehend vermieden werden [Schmidt und Köppel 2016]. Bei hohlen Körpern ist der Druckguss oft nicht geeignet. Für Produkte mit geeigneten Geometrien ist der Druckguss unter Anwendung von Polymerformen bereits Stand der Technik [Fachgespräch BVKI 2017].

Tassen und Becher werden in der Regel im Drehverfahren oder im Druckgussverfahren hergestellt. Dabei ist die zusätzliche Fertigung von Gipsformen für Henkel in der Regel immer noch notwendig. Mit einem neuartigen, patentierten System des automatischen Henkeldruckgusses ist es möglich, existierende Tassenlinien zu automatisieren oder die druckgegossenen Henkel an isostatisch gepresste Tassenkörper anzugarnieren [Schmidt und Köppel 2016]. Dieses Verfahren ist gerade noch im Prüfzustand und noch nicht marktreif. Aktuell laufen Versuche und Entwicklungen zur Herstellung von Tassen im Pressverfahren [Fachgespräch BVKI 2017].

Metallformen eignen sich aufgrund der fehlenden porösen Oberfläche nicht für die Herstellung von Geschirrkераmik [Fachgespräch BVKI 2017].

Potential: Das Potential wird als gering eingeschätzt.

Hemmnisse: Der Einsatz von Polymerformen geht meist einher mit der Installation einer neuen Guss-einheit. Dadurch entsteht eine hohe finanzielle Belastung, da Polymerformen auch erheblich teurer sind als Gipsformen. Die Umstellung lohnt sich nur bei höheren Stückzahlen und geeigneter Geometrie der herzustellenden Produkte. Die Produktserien sind oft zu klein, als dass sich die Umstellung finanziell lohnen würde.

Lösungsansatz: Forschung, Förderung.

GP6: Ersatz des Gipses durch länger haltbaren Hartgips:

Durch den Einsatz von länger haltbarem Hartgips (Standzeit um Faktor 3 höher im Vergleich zu „weichem“ Gips) kann der Verbrauch an Gipsformen reduziert werden. Bei der Drehformgebung ist der Einsatz von Hartgips bereits Stand der Technik [Fachgespräch UBA 2017]. Es gibt bereits neue Entwicklungen bezüglich des Einsatzes von gesinterten Keramikformen, dies ist allerdings in der Praxis aufgrund der schlechteren Formbarkeit noch nicht umsetzbar [Fachgespräch UBA 2017].

Potential: Das Potential wird als gering bewertet.

Hemmnisse: Hartgips kann nur dann eingesetzt werden, wenn es die Geometrie des Werkstückes auch zulässt [Fachgespräch BVKI 2017].

Lösungsansatz: --

5.5.4 Trocknung/Brand

5.5.4.1 Spezifische BVT 2007

Im BVT-Merkblatt 2007 werden keine spezifischen Potentiale zur Materialeffizienzsteigerung während des Trocknens/Brennens beschrieben.

5.5.4.2 Stand der Technik 2016

Die Rohlinge werden nach der Formgebung in Kammer-, Durchlauf- oder Infrarottrocknern oder per Lufttrocknung bei Raumtemperatur bis ca. 150°C (abhängig von der Geometrie) getrocknet. Mit Granulat gepresste Rohlinge müssen nicht getrocknet werden [Fachgespräch BVKI 2017]. Während der Trocknung kann Trockenbruch anfallen.

Anschließend werden die Rohlinge dem Glühbrand bei ca. 950°C für 4-24 Stunden zugeführt. Der Glühbrand verleiht den Rohlingen eine gewisse Festigkeit und die notwendige Porosität für den nachfolgenden Glasierprozess. Nach der Glasur erfolgt der Glattbrand bei bis zu 1.400°C. Dieser kann zwischen 4 und 36 Stunden dauern. Der Brand der getrockneten Rohlinge bzw. halbfertigen Produkte erfolgt überwiegend in Rollen- Brenntisch- oder Herdwagenöfen.

Durch den Einsatz des Rollenofens (Schnellbrandsystem) können Brennhilfsmittel reduziert und wesentlich kürzere Brennzeiten realisiert werden, da nur das Brenngut und weniger Brennhilfsmittel aufgeheizt werden und abkühlen müssen. Vor allen können hierdurch Brennhilfsmittel und daraus entstehende Abfälle reduziert werden [Kollenberg 2013], [UBA 2007]. Rollenöfen stellen den Stand der Technik dar [Fachgespräch BVKI 2017]. Das Brennen in Tunnelöfen ist nicht mehr Stand der Technik.

Produkte, die eine Dekoration erhalten, werden anschließend nochmals gebrannt [Fachgespräch BVKI 2017].

Während des Brennprozesses fallen Brennbruch, Feuerfestbruch (Brennhilfsmittel) und Stäube an. In der Praxis hat sich der Schnellbrand für das Brennen von dünnwandiger Keramik z.B. Porzellan durchgesetzt, wodurch die Brennzeiten verkürzt und Energie eingespart werden kann [Kollenberg 2013]. Das Durchführen von computergesteuerten Brennprozessen mit definiertem Temperatur-Zeit-Profil ist Stand der Technik [Fachgespräch BVKI 2017].

Als Energiequelle wird hauptsächlich Erdgas und in geringem Maße Öl eingesetzt. Die entstehende Abwärme wird in der Regel wieder für den Produktionsprozess, z.B. das Trocknen der Produkte, genutzt [Fachgespräch BVKI 2017].

5.5.4.3 Maßnahmen, Weiterentwicklungen und Potentiale

Die identifizierten Maßnahmen und Weiterentwicklungen zur Steigerung der Materialeffizienz während der Trocknung bzw. des Brennprozesses (siehe Tabelle 40) werden im Nachfolgenden jeweils unter Angabe von Potentialen, Hemmnissen und Lösungsansätzen erläutert.

Tabelle 40: Maßnahmen und Weiterentwicklungen in der Geschirrkераmikindustrie bezüglich des Trocknungs- und Brennprozesses

Nr.	Maßnahme	Material-effizienz-steigerung durch	Umsetzungs-rate (hoch, mittel, gering)	Reduktion der Primär-rohstoff-menge (%)	Poten-tial (0, +, ++, +++)	Bemerkung
GT7	Reduktion und Pflege von Brennhilfsmitteln		hoch		0/+	Betrifft die Brennhilfsmittel
GT8	Optimierung des Trocknungsprozesses zur Reduktion des Ausschusses		mittel		+	
GT9	Optimierung des Wagenbesatzes		hoch		0/+	

GT= Geschirrkераmik, Trocknungs- bzw. Brennprozess

GT7: Reduktion und Pflege von Brennhilfsmitteln

Durch die richtige Pflege und das Engobieren von Brennhilfsmitteln kann sowohl die Lebensdauer von Brennhilfsmitteln verlängert als auch die Ausbringungsgüte von Produkten verbessert werden [Fachgespräch BVKI 2017]. Es ist bereits Stand der Technik, Brennhilfsmittel zur längeren Haltbarkeit zu engobieren. An der Optimierung der Brennhilfsmittel wird kontinuierlich weitergeforscht [Fachgespräch UBA 2017].

Potential: Bei dem Einsatz von Brennhilfsmitteln wird noch Optimierungspotential bezüglich des Werkstoffs und der Geometrie gesehen.

Hemmnisse: Brennen im Rollenofen/Brenntischofen (Schnellbrandsystem) ist nicht in allen Fällen anwendbar; bei komplexen Formen kann mehr Ausschuss anfallen; Kapazität, Fachkenntnisse.

Lösungsansatz: Schulung, technische Weiterentwicklung.

GT8: Optimierung des Trocknungsprozesses zur Reduktion des Ausschusses

Durch die Optimierung des Trocknungsprozesses kann der Ausschuss, der bei der Trocknung entsteht, reduziert werden. Da die Produktgeometrien marktbedingt immer komplizierter und filigraner werden und auch die Materialstärken eines Produktes unterschiedlich sind, wird die Optimierung des Trocknungsprozesses erschwert. Für diese komplexen Produkte wird die Anwendung der Finite-Elemente-Methode (FEM) als hilfreich angesehen, um die Materialeffizienz noch zu steigern. Wie bereits in Kapitel 5.1.3.3. erläutert, können mit der FEM physikalische Vorgänge (beispielsweise Kraftwirkungen auf deformierbare Festkörper) simuliert werden, deren Verlauf sich nicht oder nur sehr aufwendig mit anderen Mitteln bestimmen lässt. Dadurch kann der Rohstoffeinsatz reduziert werden.

Eine Methode, die Ausschussraten beim Trocknen von Geschirrkераmik zu reduzieren, ist eine innovative Trocknungstechnologie, im Speziellen eine optimale Temperatur- und Feuchtesteuering durch klimagesteuerte Trocknung über ein Softwareprogramm. Dadurch können die Rohlinge zuerst gleich-

mäßig und schonend bei hoher Luftfeuchte durchgewärmt und danach bei hohen Temperaturen getrocknet werden. Durch eine effiziente Luftführung wird eine gleichmäßige und damit schonende und schnelle Trocknung an jedem Punkt gewährleistet. Außerdem wird durch den immer auf das Produkt gerichteten Luftstrom ein hoher Wirkungsgrad erreicht [Lippert 2012].

Potential: In diesem Bereich wird noch Potential gesehen.

Hemmnisse: Die Finite-Elemente-Methode ist komplex und teuer.

Lösungsansatz: Forschung, Förderung.

GT9: Optimierung des Wagenbesatzes

Früher wurden noch häufig Tunnelöfen eingesetzt, wobei auf möglichst geringen Brennraumverlust Wert gelegt wurde. Durch die Weiterentwicklung der Ofentechnik und der Einsatz von Brennhilfsmitteln in den letzten Jahren, werden die Rohlinge tendenziell wieder „luftiger“ gesetzt. Mit einer modernen Regelungstechnik ist es nun möglich, Teile mit stark unterschiedlicher Massen unmittelbar nacheinander durch den Ofen zu schicken. Bei alten Tunnelöfen war dies nicht möglich, denn jeder Wagen musste etwa die gleiche Masse aufweisen. Durch das „luftigere“ Setzen der Rohlinge können höhere Qualitäten und weniger Brennbruch erreicht werden.

Potential: In diesem Bereich wird das Potential als eher gering eingestuft.

Hemmnisse: --

Lösungsansatz: --

5.5.5 Glasieren

5.5.5.1 Spezifische BVT 2007

Im BVT-Merkblatt 2007 werden keine spezifischen Potentiale zur Materialeffizienzsteigerung während des Glasierens beschrieben.

5.5.5.2 Stand der Technik 2016

Das Glasieren von Geschirrkераmik erfolgt durch Spritzen, Tauchen oder Begießen. Der Vorgang erfolgt maschinell (mittels Roboter) oder per Hand. Unzugängliche Stellen werden ausgegossen und nach dem Glasieren falls nötig verputzt.

Die Dekoration der Geschirrkераmikprodukte erfolgt anhand Schiebebildapplikation, malen oder Farbspritzen.

Als anfallende Abfälle können überschüssige Glasur, Reinigungsabwasser, Weißschlamm und Ausschuss genannt werden.

5.5.5.3 Maßnahmen, Weiterentwicklungen und Potentiale

Die identifizierten Maßnahmen und Weiterentwicklungen zur Steigerung der Materialeffizienz bezüglich des Glasierens/Engobierens (siehe Tabelle 41) werden im Nachfolgenden jeweils unter Angabe von Potentialen, Hemmnissen und Lösungsansätzen erläutert.

Tabelle 41: Maßnahmen und Weiterentwicklungen in der Geschirrkераmikindustrie bezüglich des Glasierens/Engobierens

Nr.	Maßnahme	Material-effizienz-steigerung durch	Umsetzungs-rate (hoch, mittel, gering)	Reduktion der Primär-rohstoff-menge (%)	Poten-tial (0, +, ++, +++)	Bemerkung
GG10	Rückführung und Wiedereinsatz der Glasuren	Einsparung	hoch		0/+	SdT
GG11	Weitergehende Prozess-abwasserbehandlung mit integrierter Glasurrückgewinnung	Einsparung	gering		0/+	

GG= Geschirrkераmik, Glasieren/Engobieren

GG10: Rückführung und Wiedereinsatz der Glasuren

Die Kreislaufführung von Glasuren hat sich in der Praxis etabliert. Auf diese Weise können Rohstoffe für die Glasurvorbereitung eingespart und Abfälle reduziert werden. Auch die Aufbereitung und Wiederverwendung von Glasurrückständen hat sich etabliert.

Beim Farbspritzen der Dekorfarben wird das Overspray in der Regel nicht aufbereitet, da es sich um sehr geringe Mengen handelt [Fachgespräch BVIK 2017].

Potential: In diesem Bereich wird das Potential als sehr gering eingeschätzt.

Hemmnisse: Geringe Mengen beim Dekorspray.

Lösungsansatz: --

GG11: Weitergehende Prozessabwasserbehandlung mit integrierter Glasurrückgewinnung

Im BVT-Dokument von 2007 wird als „Technik in Entwicklung“ ein innovatives Modell-Abwasserbehandlungssystem beschrieben, was zu Einsparungen bei der Herstellung von Geschirr führt. Das System umfasst eine Mikrofiltrationsstufe, in der das Prozessabwasser aus dem größten Glasurprozess durch eine Mikrofiltrationsanlage zur Glasurrückgewinnung geführt wird. Die gewonnene Glasur wird zur Glasurvorbereitung zurückgeführt. Dieses Verfahren wird bereits eingesetzt [Villeroy & Boch 2010]. Es ist nur dann geeignet, wenn z.B. das Abwasser aus einem einfarbigen Glasurprozess separat gesammelt und aufbereitet wird.

Potential: In diesem Bereich wird das Potential als sehr gering eingeschätzt.

Hemmnisse: Aufwendig; ganzheitliche Sammlung verschiedenfarbiger Glasurprozessabwasser.

Lösungsansatz: --

5.5.6 Nachbearbeitung

5.5.6.1 Spezifische BVT 2007

Im BVT-Merkblatt 2007 werden keine spezifischen Potentiale zur Materialeffizienzsteigerung während der Nachbearbeitung beschrieben.

5.5.6.2 Stand der Technik 2016

Nach dem Brand werden die Produkte noch durch Schleifen oder Polieren nachbearbeitet (z.B. Fußschliff). Bei dem Schleifen wird sowohl das Nass- als auch das Trockenverfahren eingesetzt, wobei aus Arbeitsschutzgründen überwiegend nass geschliffen wird.

5.5.6.3 Maßnahmen, Weiterentwicklungen und Potentiale

Die identifizierte Maßnahme/Weiterentwicklung zur Steigerung der Materialeffizienz bezüglich der Nachbereitung (siehe Tabelle 42) wird im Nachfolgenden unter Angabe von Potentialen, Hemmnissen und Lösungsansätzen erläutert.

Tabelle 42: Maßnahmen und Weiterentwicklungen in der Geschirrkераmikindustrie bezüglich der Nachbearbeitung

Nr.	Maßnahme	Material-effizienz-steigerung durch	Umsetzungs-rate (hoch, mittel, gering)	Reduktion der Primär-rohstoff-menge (%)	Potential (0, +, ++, +++)	Bemerkung
GN12	Trockenschliff	Einsparung	gering		0/+	

GN= Geschirrkераmik, Nachbearbeitung

GN12: Trockenschliff

Durch den Trockenschliff können Wasser und anfallende Schlämme vermieden werden. Allerdings können die Schlämme beim Nassschleifen in der Regel nicht wieder in den Prozess zurückgeführt werden, da Schleifmittelrückstände von verwendeten Diamant-Schleifwerkzeugen im Schlamm zurückbleiben. Beim Trockenschliff, der aus Gesundheitsgründen in geschlossenen Einhausungen oder unter Verwendung entsprechender Absauganlagen durchgeführt werden muss, kann es zu Verunreinigungen im Staub aufgrund des SiC-haltigen Schleifmittels kommen. Da bereits Spuren von SiC zu erhöhten Glasurfehlern führen, können die Stäube in der Produktion nicht wiedereingesetzt werden.

Potential: Aus oben genannten Gründen wird das Potential eher als gering eingeschätzt.

Hemmnisse: Gesundheitsgefährdung, Arbeitsschutz, Verunreinigungen durch SiC.

Lösungsansatz: Forschung.

5.5.7 Verwertung/Beseitigung

5.5.7.1 Spezifische BVT 2007

Es wird angesprochen, dass Prozessabwässer hauptsächlich aus der Reinigung von Anlagen der Masseaufbereitung, Formgebung und des Glasier- und Dekorationsprozesses entstehen.

Es besteht die Möglichkeit der externen Weiterverwertung von gebrauchten Gipsformen in anderen Industriezweigen.

Die während der Geschirrprouktion anfallenden Schlämme eignen sich für den Einsatz als Rohmaterial oder Additiv in anderen Keramiksektoren. Dadurch wird die anfallende Abfallmenge reduziert und Rohstoffe eingespart.

5.5.7.2 Stand der Technik 2016

Stäube werden in der Regel entsorgt, da diese Verunreinigungen wie z.B. Abrieb oder Metall enthalten.

Schlämme werden in der Regel alle zusammen an einer Stelle gesammelt und an den Entsorger weitergegeben. Dieser führt sie einer weiteren Verwertung oder der Beseitigung zu.

Massereste und Glühbruch können in der Regel wieder in die Produktion zurückgeführt werden.

Sortenreiner Brennbruch wird entweder intern aufbereitet (wenn der Hersteller die Massen selber herstellt und über entsprechende Aufbereitungsanlagen verfügt), an die Aufbereitungsfirmen zur Aufbereitung gegeben oder an andere Industriefirmen verkauft. Er wird teilweise als Rohstoff für andere Produkte, wie säurefeste Steine, eingesetzt [Kollenberg 2013].

Das Abwasser wird, soweit möglich, im Kreislauf gefahren oder nach der Aufbereitung in den Vorfluter eingeleitet.

Die Weiterverwertung von gebrauchten Gipsformen in anderen Industriezweigen wie in der Zementherstellung oder, nach Zerkleinerung und Mahlung, in der Düngemittelindustrie ist in der Praxis etabliert [Kollenberg 2013].

5.5.7.3 Maßnahmen, Weiterentwicklungen und Potentiale

Das Aufbereiten und Recyceln gebrauchter Geschirrkera­mik findet zwar nicht innerhalb der Produktion der Geschirrkera­mik statt, kann aber dazu beitragen, den Anteil an eingesetzten Sekundärrohstoffen zu erhöhen und hat somit indirekt Einfluss auf die Ressourceneffizienzsteigerung in der Geschirrkera­mikindustrie bzw. in anderen Industriebereichen. Hier werden Maßnahmen zur Trennung und Weiterverwendung von Geschirrkera­mikbruch außerhalb der Keramikindustrie aufgeführt (siehe Tabelle 43) und jeweils unter Angabe von Potentialen, Hemmnissen und Lösungsansätzen erläutert.

Tabelle 43: Maßnahmen und Weiterentwicklungen in der Geschirrkera­mikindustrie bezüglich der Verwertung

Nr.	Maßnahme	Material-effizienz-steigerung durch	Umset-zungsrate (hoch, mittel, gering)	Reduktion der Primär- rohstoff- menge (%)	Poten- tial (0, +, ++, +++)	Bemerkung
GV13	Aufbereitung von Prozessabfällen zur Verwertung in anderen Industriebereichen		mittel		+	
GV14	Aufbereitung von gebrauchter Geschirrkera­mik zur Verwertung in anderen Industriebereichen		gering		0/+	
GV15	Weiterverwertung von gebrauchten Gipsformen		gering		+	

GV= Geschirrkera­mik, Verwertung

GV13: Aufbereitung von Prozessabfällen zur Verwertung in anderen Industriebereichen

Laut UBA kann Schlamm aus der Herstellung von Haushalts- oder Sanitärkeramik als Rohmaterial/Zusatzstoff zur Herstellung von Ziegeln und Blähtonzeugnissen verwendet werden. Schlämme werden auch aktuell an die Ziegelindustrie verkauft [Fachgespräch BVKI 2017].

Potential: Hier wird noch Potential gesehen, die mineralischen Prozessabfälle höherwertig zu recyceln.

Hemmnisse: Qualität.

Lösungsansatz: Forschung.

GV14: Aufbereitung von gebrauchter Geschirrkera- mik zur Verwertung in anderen Industriebereichen

Gebrauchtes Porzellan wird teils mit Bauschutt gesammelt. Es werden bereits Forschungsprojekte durchgeführt, in denen geprüft wird, inwieweit aufbereiteter Bauschutt z.B. in der Ziegelproduktion eingesetzt werden können. Grenzen sind hier der Kalk- und Schwefelgehalt [Müller 2016]. Für gebrauchte Geschirrkera-
mik gibt es kein eigenes Rücknahmesystem. Sie wird zusammen mit dem Restmüll oder dem Bauschutt gesammelt. Es würde sich nicht lohnen, diese sortenrein zu sammeln. Bezüglich des Wiedereinsatzes als Bestandteil von Bauschutt wird weiter geforscht.

Potential: In diesem Bereich wird noch geringfügig Potential gesehen.

Hemmnisse: Logistik, Qualität.

Lösungsansatz: Forschung und Entwicklung.

GV15: Weiterverwertung von gebrauchten Gipsformen

Die Gipsformen können recycelt und wieder eingesetzt werden. Es gibt bereits zwei Firmen, die vorrangig Gipsplatten und auch Gipsformen wieder aufbereiten. Allerdings ist dies nur für Produktionsfirmen günstig, deren Produktionsstandort in der Nähe dieser Aufbereitungsfirmen ist. Ansonsten ist es für die Produktionsfirmen wesentlich günstiger, die Gipsformen zu deponieren. Hier wäre Potential vorhanden, wenn es mehr Aufbereitungsfirmen und eine bessere Logistik gäbe.

Potential: In diesem Bereich wird noch Potential gesehen.

Hemmnis: Wenige Aufbereitungsfirmen, lange Wege, daher kostenaufwendiger als Deponierung.

Lösungsansatz: Bessere Logistik.

5.5.8 Zusammenfassung

In der Geschirrkera-
mikindustrie wurden 15 Maßnahmen und neue Entwicklungen zur Steigerung der Materialeffizienz in der Produktion identifiziert. Diese betreffen vor allem die Masseaufbereitung, Trocknung und Brand und die externe Verwertung von intern und extern anfallenden Abfällen. Letztere beziehen sich nicht direkt auf die Produktion.

Die sektorweiten Potentiale werden bei den meisten Maßnahmen nach derzeitigem Stand eher als gering eingeschätzt. Potential wird noch in der Pflege von Brennhilfsmitteln, dem Trockenschliff, der Aufbereitung von Prozessabfällen zur Verwertung in anderen Industriebereichen sowie der Verwertung von Gipsformen gesehen. Weitere Potentiale sind möglich, sind aber derzeit aufgrund großer Hemmnisse nicht zu realisieren oder müssen firmenspezifisch ermittelt und gehoben werden.

In der Geschirrkera-
mik ist die Prozessüberwachung eine wichtige Stellschraube zur Minimierung des Ausschusses (Bruchs). Es ist wichtig, die richtigen Stellgrößen zu kennen um den Prozess optimieren zu können. Daher sehen die Vertreter der Geschirrkera-
mikindustrie noch Potential durch die Schulung von Personal [Fachgespräch BVKI 2017].

Insgesamt wird die Materialeffizienz in der Geschirrkemikindustrie schon als relativ hoch eingeschätzt. Dies hängt auch mit den hohen Materialkosten und den verpflichtenden Energiemanagementsystemen zusammen, durch die die GeschirrhHersteller schon jetzt gezwungen sind, eine jährliche Verbesserung darzustellen.

In Tabelle 44 sind alle Maßnahmen und Weiterentwicklungen zur Steigerung der Materialeffizienz in der Produktion der Geschirrkemikindustrie übersichtlich dargestellt.

Tabelle 44: Maßnahmen und Weiterentwicklungen in der Geschirrkemikindustrie

Nr.	Maßnahme	Material-effizienz-steigerung durch	Umset-zungsrate (hoch, mittel, gering)	Reduk-tion der Primär-rohstoff-menge (%)	Poten-tial (0, +, ++, +++)	Bemerkung
GM1	Einsatz von intern anfallen-den Reststoffen während der Produktion (Stäube, Schlämme, Trockenbruch, Glühbruch)	Substitu-tion, Ein-sparung	hoch		0/+	SdT
GM2	Einsatz von intern anfallen-dem Brennbruch	Substitu-tion, Ein-sparung	mittel		0/+	
GM3	Einsatz von extern anfallen-den Abfällen	Einsparung	gar nicht – sehr ge-ring		0	
GM4	Entwicklung von Rohstoff-mischungen zur „Niedrig-Temperatur-Sinterung“	Einsparung	gering		0/+	
GP5	Ersatz der Gipsformen	Substitu-tion	gering		0/+	Betrifft die Gips-formen
GP6	Ersatz des Gipses durch länger haltbaren Hartgips	Einsparung	mittel		0/+	Betrifft die Gips-formen
GT7	Reduktion und Pflege von Brennhilfsmitteln		hoch		0/+	Betrifft die Brennhilfsmittel
GT8	Optimierung des Trock-nungsprozesses zur Reduk-tion des Ausschusses		mittel		+	
GT9	Optimierung des Wagenbe-satzes		hoch		0/+	
GG10	Rückführung und Wieder-einsatz der Glasuren	Einsparung	hoch		0/+	SdT
GG11	Weitergehende Prozessab-wasserbehandlung mit in-tegrierter Glasurrückgewin-nung	Einsparung	niedrig		0/+	
GN12	Trockenschliff	Einsparung	gering		0/+	

Nr.	Maßnahme	Material-effizienz-steigerung durch	Umset-zungsrate (hoch, mittel, gering)	Reduk-tion der Primär-rohstoff-menge (%)	Poten-tial (0, +, ++, +++)	Bemerkung
GV13	Aufbereitung von Prozessabfällen zur Verwertung in anderen Industriebereichen		mittel		+	
GV14	Aufbereitung von gebrauchter Geschirrkераmik zur Verwertung in anderen Industriebereichen		gering		0/+	
GV15	Weiterverwertung von gebrauchten Gipsformen		gering		+	

5.6 Substitutionsmöglichkeiten von konventionellen Brennstoffen in der Keramikindustrie

Neben der Materialeffizienzsteigerung werden im Rahmen des Projektes auch Substitutionsmöglichkeiten von konventionellen Brennstoffen betrachtet. Besonders für die Hochtemperaturprozesse in den Brennöfen werden in der Keramikproduktion große Mengen an Energie benötigt.

In der Regel werden die Brennöfen mit Erdgas, in sehr geringen Mengen auch mit Öl betrieben, was zu einem hohen Ausstoß an Kohlenstoffdioxid führt. Die Abwärme der Öfen wird oft für den Trockenprozess oder die Trockengranulat-Herstellung eingesetzt.

Um den Einsatz fossiler Brennstoffe zu reduzieren, wird die Eignung von Brennstoffen aus fester Biomasse untersucht.

Seit der Veröffentlichung des BVT-Merkblatts 2007 gab es in dem in der Keramikindustrie weitere Entwicklungen und Forschungen hinsichtlich der Substitution fossiler Brennstoffe, um deren Einsatz zu reduzieren und den CO₂-Ausstoß zu senken. In diesem Kapitel werden die identifizierten Maßnahmen, Weiterentwicklungen und Forschungen aufgelistet (siehe Tabelle 45) und anschließend jeweils unter Angabe von Potentialen, Hemmnissen und Lösungsansätzen kurz erläutert.

Im Rahmen von verschiedenen Forschungsprojekten werden bereits Versuche durchgeführt, inwieweit erneuerbare Brennstoffe wie z.B. Biogas für die energieintensiven Brände in der Keramikindustrie eingesetzt werden können.

Tabelle 45: Maßnahmen und Weiterentwicklungen in der Keramikindustrie bezüglich der Substitution fossiler Brennstoffe

Nr.	Maßnahme	Material-effizienz-steigerung durch	Umsetzungs-rate (SdT, hoch, mittel, gering)	Reduktion des Primär-brennstoffs (%)	Poten-tial (0, +, ++, +++)	Bemerkung
1	Einsatz von Biogas und Wasserstoff zur Substitution von Erdgas oder Heizöl	Substitution	Gering			

Nr.	Maßnahme	Material-effizienz-steigerung durch	Umsetzungs-rate (SdT, hoch, mittel, gering)	Reduktion des Primär-brennstoffs (%)	Poten-tial (0, +, ++, +++)	Bemerkung
2	Substitution von fossilen Brennstoffen durch Synthesegas (Syngas) zur Reduzierung des Einsatzes fossiler Brennstoffe	Substitution	Gering			
3	Einsatz von Power-to-Gas (Methan) zur Substitution von Erdgas oder Heizöl	Substitution	Gering			

1. Einsatz von Biogas und Wasserstoff zur Substitution von Erdgas oder Heizöl

Biogas könnte gereinigt und ungereinigt als Ersatz von Erdgas oder Heizöl als Brennstoff eingesetzt werden. In einem Forschungsprojekt wurde die Befeuerung mit grob vorgereinigtem Rohbiogas bei der Herstellung von Glas getestet [Märting et al 2013]. Die Feuerung mit dem Rohbiogas hatte keine Auswirkungen auf die Farbe oder Qualität des Brennguts. Allerdings wurden die Energieströme und das dynamische Strömungsverhalten im Inneren der Glasschmelzwanne durch die reine Befeuerung mit Rohbiogas stark beeinflusst. Daher wurde in diesem Forschungsprojekt als mögliche Lösung vorgeschlagen, nur einen Teil des Erdgases durch grob vorgereinigtes Rohbiogas zu ersetzen. Zusammenfassend wurde festgestellt, dass grob vorgereinigtes Rohbiogas gut geeignet erscheint, um es zur Befeuerung bzw. Teilfeuerung von Glasschmelzwannen zu verwenden. Des Weiteren wurde angemerkt, dass sich das Wissen und die praktischen Erfahrungen aus dem Forschungsvorhaben auf andere Hochtemperaturprozesse, wie sie in der Keramikindustrie vorkommen, übertragen lassen [Märting et al 2013].

Laut Aussage einiger Fliesenproduzenten wird die Energie für die Trocken- und Brennprozesse meist aus dem Erdgasnetz bezogen, in das zum Teil bereits Biogas eingespeist wird. Bis jetzt gleichen sich die Heizwertschwankungen am Ofen der Fliesenproduzenten noch aus. Sie merken aber auch bereits einige Nachteile (siehe Hemmnisse). Bei den Ziegelproduzenten wurde bereits festgestellt, dass Probleme beim Brennprozess auftreten können, insbesondere dann, wenn der Produktionsstandort direkt an einer Biogasanlage liegt. Auftretende Probleme, u.a. hervorgerufen durch schwankende Gasqualitäten und Heizwerte, müssen über eine spezielle Mess- und Regelungstechnik und ggf. über neue Anlagentechnik (beispielsweise neue Brenner) behoben werden [Fachgespräch Ziegelverband 2017].

In einem weiteren Forschungsvorhaben durch das Gas- und Wärmeinstitut Essen e.V. und die Forschungsgemeinschaft Feuerfest e.V. wurden die Auswirkungen der Einspeisung von Gasen aus regenerativen Energiequellen in das Erdgasnetz auf Thermoprozessanlagen untersucht [Fiehl und Wuthnow 2017]. Dabei wurde neben Biogas auch der Einsatz von Wasserstoff untersucht. Die Autoren kamen zu dem Schluss, dass die Beimischung von Rohbiogas und/oder Wasserstoff zum Erdgas negative Auswirkungen auf den Brennprozess und die Produkte haben wie z.B. eine thermische Überlastung, unerwünschte Reaktionen durch Verunreinigungen und Korrosion. Um diesen Auswirkungen entgegenzuwirken, müsste der Brennprozess sowie die Produktqualität geändert werden. Der Forschungsbericht beinhaltet bereits Lösungsstrategien für die Gewährung der Prozessparameter sowie der Produktqualität keramischer und feuerfester Erzeugnisse bei dem Einsatz von Gemischen aus Wasserstoff und Rohbiogas als Brennstoff.

Potential: Einsparung von fossilen Brennstoffen wie Erdgas und Heizöl.

Hemmnisse:

- ▶ Die vorgegebenen Abgas-Emissionsgrenzwerte dürfen nicht überschritten werden.
- ▶ Die Qualität des Brandes muss gewährleistet sein, was bei hohen Brenntemperaturen besonders schwer ist. Biogas hat einen eher niedrigen Brennwert und somit kann es passieren, dass mit Biogas nicht die erforderlichen hohen Temperaturen erreicht werden, was zu Fehlbränden bzw. zu Qualitätsproblemen führen kann [Fachgespräch UBA 2016].
- ▶ Ein weiteres Hemmnis stellen die schwankenden Energieinhalte des Biogases dar. Die Brennkurve ist bei einem Brand auf einen bestimmten Brennstoff ausgelegt. Die Schwankungen erfordern ein Anpassen der Brennkurve, was ggf. auch durch Brenntechnik durchgeführt werden muss. Dies ist entweder sehr aufwendig oder nicht möglich (Qualität des Biogases weist eine hohe Bandbreite des Energiegehaltes auf, was zu Schwankungen im Gasnetz führt. Die Brenner haben allerdings einen kleinen Arbeitsbereich. Ein Nachjustieren sind somit Grenzen gesetzt.) [Fachgespräch UBA 2016].
- ▶ Falls H₂ direkt ins Netz eingespeist wird, kann es zu Veränderungen in der Flammenlänge kommen, was zu Problemen beim Brand führt [Fachgespräch UBA 2016].
- ▶ Durch bestimmte Verunreinigungen des Rohbiogases³¹ kann es zu Reaktionen zwischen den Verunreinigungen aus dem Rohbiogas und den Produkten kommen, welches zu Änderungen der Materialeigenschaften der Produkte führen kann, die u.a. Korrosion begünstigt. In einem Forschungsprojekt zu feuerfesten Erzeugnissen wurde geschlussfolgert, dass hier weiterer Forschungsbedarf besteht [Wuthnow und Dannert 2013], [Fachgespräch UBA 2016].
- ▶ Der Ersatz von konventionellen Brennstoffen mit Biogas lohnt sich hauptsächlich wegen der Förderung von Biogas. Wenn diese wegfällt sollte, ist auch der Einsatz von Biogas aus wirtschaftlicher Sicht nicht mehr attraktiv [Fachgespräch UBA 2016].
- ▶ Die Menge an Biogas, die benötigt wird um konventionelle Rohstoffe zu ersetzen, kann flächenmäßig nicht bereitgestellt werden.

Lösungsansatz:

- ▶ Forschung.
- ▶ Gashersteller, Netzbetreiber und Anlagenbetreiber müssten mehr zusammenarbeiten.

2. Substitution von fossilen Brennstoffen durch Synthesegas (Syngas) zur Reduzierung des Einsatzes fossiler Brennstoffe

In einem weiteren Forschungsvorhaben wurde die Biomasse vor der Anwendung einem Vergasungsprozess unterzogen, um qualitätsmindernde, farbliche und strukturelle Oberflächenveränderungen bei keramischen Erzeugnissen zu vermeiden. Es wurde Syngas erzeugt, welches durch die pyrolytische Behandlung aus einem organischen Stoff (z.B. Biomasse, Abfall) hergestellt werden kann und somit eine erneuerbare Energiequelle darstellt. Das erzeugte Gas bestand zu 45% aus H₂ und zu 45% aus CO. In dem Forschungsvorhaben zeigten die Brenn-Tests mit Syngas nach der Original-Brennkurve³² keinen Einfluss auf die Produkteigenschaften verschiedener Produkte aus dem Bereich Mauerziegel. Die Qualität war zufriedenstellend [Institut für Ziegelforschung 2015]. Allerdings war das Verfahren sehr teuer und es gab erhebliche Verfügbarkeitsprobleme. Daher hat sich das Verfahren nicht durchsetzen können [Fachgespräch UBA 2017].

Potential: +

Hemmnisse: Qualitätsanforderungen, veränderte Brennkurve, Verfügbarkeit des Brennstoffs, Kosten. Bei Sichtziegeln (Vormauerziegel, Dachziegel) kommt es zu Qualitätsproblemen durch auftretende

³¹ in dem Forschungsprojekt in der Glasindustrie wurde durch die Fermentierung von Mais produziertes Biogas genutzt

³² Dies bedeutet, dass neben der gleichen Brenndauer auch die maximale Temperatur und die Garbrandhaltezeit den Bedingungen im Betrieb nachempfunden wurde.

Verunreinigungen. Syngas als Brennstoff müsste günstiger sein als Erdgas und hat im Vergleich dazu schwankende Gasqualitäten. Dadurch müsste die Arbeitsweise der Brenner ständig angepasst oder eine komplett neue Regelungstechnik am Ofen installiert werden, um sich an die schwankenden Parameter anzupassen. Durch den Einsatz von Syngas ohne Nachjustierung wäre der Heizwert geringer und der Ofen erreicht dadurch nicht die erforderlichen Brenntemperaturen. Aus Sicht der Industrie ist diese Methode momentan schwer umsetzbar.

Lösungsansatz: Forschung.

3. Einsatz von Power-to-Gas (Methan) zur Substitution von Erdgas oder Heizöl

In anderen Forschungsvorhaben werden durch das Power-to-Gas Verfahren synthetisch hergestellte Brennstoffe eingesetzt, um fossile Rohstoffe wie z.B. Erdgas zu ersetzen. Der regenerativ erzeugte Wasserstoff (H_2) aus der Elektrolyse kann unter Nutzung von Kohlenstoffdioxid (CO_2) in einer nachgeschalteten Methanisierung in Methan überführt werden. Über die Methanisierung wird ein synthetisches Erdgas (SNG) mit brenntechnischen Eigenschaften erzeugt, das nahezu identisch mit denen von fossilem Erdgas ist. Es kann damit ohne Mengenbegrenzung in die Erdgasinfrastruktur integriert werden. Ein besonders reines synthetisches Erdgas ist auch vor dem Hintergrund entscheidend, dass einzelne Erdgasanwendungen, zum Beispiel in der Glas- und Keramikindustrie oder in Kraftfahrzeugen, sehr hohe Anforderungen an die Erdgasqualität stellen³³.

Potential: Einsparung von fossilen Brennstoffen wie Erdgas und Öl.

Hemmnisse:

- ▶ Sehr hoher Energieverlust von der Erzeugung bis hin zur Methanisierung.
- ▶ Die vorgegebenen NOX- und Staubgrenzwerte dürfen nicht überschritten werden.
- ▶ Einsatz einer automatischen Brenngasmessung, die Signale an die Brenner weitergeben um die Brennkurve entsprechend anzupassen [Fachgespräch UBA 2017].

Lösungsansatz: Forschung.

Es gab bereits Versuche mit dem Einsatz von Deponiegas. Diese wurden aber wieder eingestellt [Fachgespräch UBA 2017].

Zusammenfassung

Bezüglich der Substitutionsmöglichkeit von konventionellen Brennstoffen in den betrachteten Teilsektoren in der Keramikindustrie wurden 3 Maßnahmen identifiziert. Diese betreffen den Einsatz von vorgereinigtem Biogas und von synthetisch hergestellten Gasen. Aufgrund von verschiedenen Faktoren wie den variierenden Einsatzstoffen und der Qualität wird bis jetzt nur bei dem synthetisch hergestelltem Syngas Potential gesehen, in den betrachteten Teilsektoren der Keramikindustrie eingesetzt zu werden. Allerdings ist die Herstellung derzeit zu teuer um realisiert zu werden.

³³ <http://www.powertogas.info/power-to-gas/power-to-gas-produkt-methan/>, aufgerufen am 19.03.2017

6 Weiterentwicklungen im Vergleich zum BVT-Merkblatt 2007

Im BVT-Merkblatt 2007 wurden einige Maßnahmen zur Steigerung der Materialeffizienz, wie z.B. den Wiedereinsatz von Schlämmen in den Produktionsprozess, genannt. Allerdings lag der Schwerpunkt des BVT-Merkblattes auf der Reduktion von Emissionen. Seit der Veröffentlichung des BVT-Merkblattes in 2007 ist die Herstellung von Keramikprodukten weiterentwickelt und optimiert worden. In diesem Kapitel wird der derzeitige Stand der Technik in den betrachteten Teilsektoren in Deutschland mit den BVT-relevanten Informationen aus dem BVT-Merkblatt 2007 verglichen und Maßnahmen zusammengefasst, die sich in den letzten Jahren zum Stand der Technik entwickelt haben oder die das Potential haben, sich weiter zum Stand der Technik zu entwickeln.

6.1.1 Ziegelindustrie

Die Rückführung der Massereste und des Brennbruchs in die Produktion wurde im BVT-Merkblatt 2007 als Stand der Technik angegeben. Der erneute Einsatz von intern anfallenden Reststoffen und Brennbruch ist auch derzeit Stand der Technik in der Ziegelindustrie.

Auch die Wiederverwendung der Glasur oder Engobe gilt als Stand der Technik. In der Ziegelproduktion wird die Glasur/Engobe in der Regel anhand spezieller Vorrichtungen aufgefangen und wiedereingesetzt. Anfallendes Abwasser, dies betrifft in der Ziegelherstellung nur Waschwasser, wird in der Regel zur Masseaufbereitung (Befeuchtung der Masse) eingesetzt. Wenn der Ton sehr feucht ist (z.B. im Winter) wird in den meisten Fällen kein Anmachwasser benötigt. Dieses wird dann aufbereitet, der Schlamm extern entsorgt und das Wasser in den Vorfluter geleitet.

Der Zusatz von Schlamm aus der Herstellung von Haushalts- oder Sanitärkeramik, wie er im BVT-Merkblatt 2007 beschrieben wird, ist theoretisch möglich, hat sich allerdings in der Praxis aufgrund von langen Transportwegen nicht flächendeckend durchgesetzt.

Der Einsatz von Porosierungsmitteln wurde ebenfalls bereits im BVT-Merkblatt 2007 als Stand der Technik eingestuft. Dieser ist weiterhin Stand der Technik und wurde in den letzten Jahren weiter optimiert.

Die Umgestaltung keramischer Erzeugnisse – z.B. dünnwandigere Produkte, wurde bereits im BVT-Merkblatt 2007 bei den betrachteten Techniken festgehalten. Der Einsatz der Finite-Elemente-Methode (FEM) zur Optimierung der Ziegel und des Ziegelgewichts hat sich als Stand der Technik etabliert. Mit der FEM können physikalische Vorgänge (beispielsweise Kraftwirkungen auf deformierbare Festkörper) simuliert werden, deren Verlauf sich nicht oder nur sehr aufwendig mit anderen Mitteln bestimmen lässt. Bei Kenntnis über die physikalischen Randbedingungen einer Konstruktion (Geometrie, Material, sowie die Lasten) kann mittels FEM-Berechnungen das Verhalten eines Bauteils vorhergesagt werden. Dadurch kann bei gleichbleibender Festigkeit (Biegetragfähigkeit) der Ziegel optimiert und das Ziegelgewicht und somit der Rohstoffeinsatz reduziert werden.

Im BVT-Merkblatt wurde erwähnt, dass durch eine exakte Steuerung des Brennvorgangs mit optimierter Brennkurve der Brennbruch reduziert werden kann. Dies entspricht ebenfalls den Stand der Technik.

6.1.2 Fliesenindustrie

Die Rückführung der Massereste und des Brennbruchs in die Produktion wurde im BVT-Merkblatt 2007 als Stand der Technik angegeben. Dies ist auch gegenwärtig Stand der Technik, mit der Einschränkung, dass der intern anfallende Bruch von Feinsteinzeug nicht ohne weiteres rückgeführt werden kann.

Als BVT ist im BVT-Merkblatt 2007 festgelegt, den bei der Prozessabwasseraufbereitung anfallenden Schlamm bei der Herstellung der Scherben soweit möglich wiederzuverwenden. Hierbei wird ein Anteil von 0,4 bis 1,5 Gewichtsprozent (hinzugegebener trockener Schlamm bezogen auf die Scherbenmasse) angegeben. Derzeit werden Schlämme in der Regel in die Produktion zurückgeführt und ist weiterhin Stand der Technik. Genaue Zahlen sind hierzu nicht bekannt.

Die Umgestaltung keramischer Erzeugnisse – z.B. zu dünnwandigeren Produkten wurde bereits im BVT-Merkblatt 2007 bei den betrachteten Techniken festgehalten. Dies wurde in den letzten Jahren weiter vorangetrieben. Zum Stand der Technik konnten aber keine konkreten Angaben gemacht werden.

Fliesen werden sowohl im Einbrand- als auch im Zweibrandverfahren hergestellt, wobei sich das Einbrandverfahren in den letzten Jahren durchgesetzt hat. Bezüglich der Materialeffizienz bringt es allerdings Nachteile mit sich, da hierfür eine stärkere Fliesendicke notwendig ist als sie beim Zweibrandverfahren realisierbar wäre.

Im BVT-Merkblatt 2007 wurde erwähnt, dass durch eine exakte Steuerung des Brennvorgangs mit optimierter Brennkurve der Brennbruch reduziert werden kann. Dies ist auch hier derzeit Stand der Technik.

Im BVT-Merkblatt 2007 ist des Weiteren festgehalten, dass die Materialeffizienz beim Glasieren erhöht werden kann, in dem die verwendeten Glasuren im Kreislauf geführt werden. Die Kreislaufführung von verwendeten Glasuren als auch des Prozesswassers ist bereits die Regel in der deutschen Fliesenindustrie.

Die Dekoration von Fliesen wurde lange Zeit mit dem Rotorcolor- oder Siebdruck durchgeführt. Diese Drucktechnik ist auch im BVT-Merkblatt 2007 dargestellt. Dieses Verfahren wurde in den letzten Jahren in den meisten Prozessen durch das Digitaldruckverfahren¹⁰ (Injekt-Verfahren) abgelöst, bei dem eine keramische Tinte anstelle von herkömmlicher Farbe verwendet wird und somit eine Einsparung an Farbe ermöglicht. Der Drucker, dessen Prinzip an einen Tintenstrahldrucker erinnert, ermöglicht auch das Bedrucken von Relief-Fliesen. Ziel der neuen Technologie ist es, neben den offensichtlich optischen Vorteilen, eine höhere Effizienz und Flexibilität bereits bei der Entwicklung einer neuen Serie zu erreichen. Das komplette Dekor wird am PC vorbereitet und zur Kontrolle in einem virtuellen Raum eingebaut. Dadurch können sich wiederholende Muster oder zu starke Kontraste erkannt und korrigiert werden [FESPA 2015]. Beim Digitaldruck lassen sich anstelle von Dekorpasten keramische Tinten verwenden, wodurch nur ca. 20% der Einsatzstoffe benötigt werden. Außerdem kann beim Digitaldruck der Anteil der Bruchware reduziert werden, da die mechanische Belastung auf die Fliese wegfällt. Der Digitaldruck zur Dekoration von Fliesen hat sich durchgesetzt und gilt bereits als Stand der Technik. Allerdings gibt es bestimmte Produkte, die weiterhin die Anwendung des Rotorcolordrucks erfordern.

Es wird gegenwärtig daran geforscht, auch Glasuren bzw. Engoben mittels Digitaldruck auf die Fliesen aufzutragen, dies funktioniert derzeit aber noch nicht. Es wird erwartet, dass dadurch zwar nicht die Menge der benötigten Glasur bzw. Engobe pro Fliese, aber die Verluste durch das Aufsprühen bzw. Aufschleudern sowie beim Produktwechsel reduziert werden können.

Das BVT Dokument von 2007 beschreibt bereits einige Techniken zur Wieder- und Weiterverwendung von Prozessabfällen. BVT ist, Schlämme u.a. in anderen Produkten weiter zu verwerten. Dies ist Stand der Technik in der deutschen Fliesenindustrie.

Des Weiteren sind Prozessabwässer im Herstellungsprozess durch Anwendung einer Kombination von Maßnahmen zur Prozessoptimierung und Abwasserbehandlungssystemen mit einer Wiederverwendungsrate von 50 bis 100% (abhängig von der Art der herzustellenden Fliesen) wiederzuverwenden. Auch dies ist Stand der Technik. Genaue Prozentzahlen sind auch hier nicht bekannt.

6.1.3 Feuerfestindustrie

Die Rückführung der Massereste und des Brennbruchs in die Produktion wurde bereits im BVT-Merkblatt 2007 als Stand der Technik angegeben und wird so auch angewendet.

Die Verwendung von Gipsformen in der Feuerfestindustrie, wie sie im BVT-Merkblatt 2007 genannt wird, betrifft nur die im Gießverfahren hergestellte Feuerfestkeramik, die in Deutschland jedoch nur selten Anwendung findet. Der Ersatz von Metallformen mit langlebigeren Hartmetallformen ist bei Großserien bereits Stand der Technik.

Im BVT-Merkblatt wurde des Weiteren festgehalten, dass durch eine exakte Steuerung des Brennvorgangs mit optimierter Brennkurve der Brennbruch reduziert werden kann. Der Einsatz von elektronischen Steuerungssystemen zur optimalen Steuerung des Trocknungs- und Brennprozesses ist Stand der Technik in der Feuerfestindustrie.

6.1.4 Sanitär- und Geschirrkераmik

Die Rückführung der Massereste und des Brennbruchs in die Produktion wurde im BVT-Merkblatt 2007 als Stand der Technik angegeben und wird so auch umgesetzt.

Im BVT-Merkblatt 2007 wird auf die Wiederverwendung von Prozessabwasser eingegangen. BVT ist, die Prozessabwässer im Herstellungsprozess durch Anwendung einer Kombination von Maßnahmen zur Prozessoptimierung und Abwasserbehandlungssystemen wiederzuverwenden. Die Wiederverwendungsrate liegt bei 30 bis 50%. Das Prozesswasser wird auch derzeit soweit möglich im Kreislauf gefahren. Genaue Prozentzahlen sind hier nicht bekannt.

Im BVT-Merkblatt 2007 wurde als BVT festgehalten, den Anfall an festen Prozessverlusten/Abfällen in Form verbrauchter Gipsformen aus der Formgebung durch Anwendung einer einzelnen oder einer Kombination der folgenden Maßnahmen zu mindern:

- ▶ Ersetzen der Gipsformen durch Polymerformen,
- ▶ Ersetzen der Gipsformen durch Metallformen,
- ▶ Verwendung von Vakuum-Gipsmischern,
- ▶ Weiterverwertung von gebrauchten Gipsformen in anderen Industriezweigen.

In der Sanitärkeramikindustrie hat sich das Druckgussverfahren bei größeren Stückzahlen durchgesetzt. Bei dem Druckgussverfahren werden in der Regel Polymerformen eingesetzt. Auch in der Geschirrkераmikindustrie ist der Druckguss unter Anwendung von Polymerformen für Produkte mit geeigneten Geometrien bereits Stand der Technik. Bei der Drehformgebung ist der Einsatz von Hartgips Stand der Technik. Auch der Einsatz von Vakuum-Gipsmischern bei der Herstellung von Gipsformen ist Stand der Technik.

Derzeitiger Stand der Technik ist weiterhin, moderne Analyseverfahren zur Verbesserung der Rohstoffmischungen einzusetzen. Hier finden weiterhin kontinuierlich Verbesserungen statt. Aufgrund der oft geringen Mengen an Rohmassen, die von einzelnen Geschirrkераmikherstellern benötigt werden, hat sich der Herstellungsprozess bezüglich Einsatzmassen dahingehend entwickelt, dass die Aufbereitung der Rohstoffe immer häufiger von spezialisierten Masseherstellungsfirmen durchgeführt wird. Diese Entwicklung bezieht sich hauptsächlich auf Pressgranulate, zu einem geringen Anteil aber auch auf Gieß- und Drehmassen.

Im BVT-Merkblatt wurde erwähnt, dass durch eine exakte Steuerung des Brennvorgangs mit optimierter Brennkurve der Brennbruch reduziert werden kann. Moderne Steuerungssysteme, die dies ermöglichen, sind derzeit Stand der Technik.

Es hat sich ebenfalls zum Stand der Technik entwickelt, Brennhilfsmittel zur längeren Haltbarkeit zu engobieren.

Das direkte Auffangen und der Wiedereinsatz der Glasur haben sich in der Praxis der Sanitärkeramikindustrie etabliert. Die Reduktion des Oversprays, z.B. durch die Optimierung der Robotersteuertechnik, hat sich ebenfalls zum Stand der Technik weiterentwickelt.

Das BVT Dokument von 2007 beschreibt bereits einige Techniken zur Wieder- und Weiterverwendung von Prozessabfällen. BVT ist, Schlämme in der eigenen Produktion oder in anderen Produktionen weiter zu verwerten. In der Geschirrkераmikproduktion werden die Schlämme in der Regel an externe Entsorger weitergegeben. Diese führen sie einer weiteren Verwertung oder Beseitigung zu. Überschüssige Glasuren werden in der Regel aufgefangen und wiedereingesetzt.

6.1.5 Substitutionsmöglichkeiten von konventionellen Brennstoffen in der Keramikindustrie

Die in diesem Projekt betrachteten Möglichkeiten zur Substitution von konventionellen Brennstoffen in der Keramikindustrie konnten sich bis jetzt meist aufgrund von Qualitäts- und Steuerungsproblemen nicht durchsetzen.

Eine Maßnahme zur Reduzierung des Einsatzes fossiler Brennstoffe, die auch aus Qualitäts- und Steuerungsaspekten möglich wäre, ist die Substitution von fossilen Brennstoffen durch Synthesegas (Syngas). Hierbei wurde Syngas (zu 45% aus H₂ und zu 45% aus CO) erzeugt, welches durch die pyrolytische Behandlung aus einem organischen Stoff (z.B. Biomasse, Abfall) hergestellt werden kann und somit eine erneuerbare Energiequelle darstellt. In dem Forschungsvorhaben zeigten die Brenn-Tests mit Syngas nach der Original-Brennkurve keinen signifikanten Einfluss auf die Produkteigenschaften von Hintermauerziegeln (siehe Kapitel 5.6). Untersuchungsgegenstand waren verschiedenste Produkte aus den Bereichen Mauerziegel, Klinker, Verblender und Dachziegel. Die Produktqualität wurde als zufriedenstellend bewertet, bei den Sichtziegeln traten allerdings Limitierungen auf. Diese Maßnahme könnte noch weiterentwickelt werden. Bisher hat sich diese Brennstoffalternative aufgrund der hohen Kosten nicht durchsetzen können.

7 Ableitung der Handlungsempfehlungen

Basierend auf der Potentialanalyse wurden verschiedene Materialeffizienzpotentiale identifiziert. Auch wenn das vorhandene Potential in der Produktion für die betrachteten Keramiksektoren als vergleichsweise gering angesehen wird, könnte dieses noch weiter ausgeschöpft werden, wenn vorhandene Hemmnisse überwunden werden können. Zur weiteren Ausschöpfung der Potenziale werden in diesem Kapitel Lösungsvorschläge, vorrangig auf Unternehmensebene, sowie für Politik und Verbände, aufgezeigt. Grundsätzlich sind Unternehmen daran interessiert, ihre Produktionsprozesse so weit wie möglich zu optimieren und somit die Material- und Energieverbräuche sowie die Kosten zu minimieren. Politik und Verbände können dabei unterstützend wirken und so die Entwicklung mit gezielten Anreizen weiter vorantreiben.

Die Keramikindustrie ist gekennzeichnet durch eine hohe Produktvielfalt und unterschiedliche mineralogische Zusammensetzungen der Einsatzstoffe. Da die Prozesse aufgrund dieser Faktoren teils sehr unterschiedlich sind und von Werk zu Werk schwanken, muss werksspezifisch geprüft werden, ob noch weiteres Potential zu Steigerung der Materialeffizienz möglich ist.

Im Folgenden werden die abgeleiteten Handlungsempfehlungen dargestellt.

Förderung und Ausweitung der Forschung, Entwicklung und Vernetzung

Bei vielen der identifizierten Maßnahmen und Weiterentwicklungen wurde angegeben, dass weiterer Forschungsbedarf besteht um damit die gegenwärtigen Hemmnisse zu überwinden. In den Sektoren der Sanitär- und Geschirrkераmik wurde z.B. seit längerem keine Grundlagenforschung mehr bezüglich der angewandten Prozesstechnik durchgeführt. Es erscheint daher sinnvoll, dass zukünftig gezielte Forschungsprojekte angestrebt werden, mit dem Ziel die einzelnen Prozesse und Reaktionen besser zu charakterisieren und weitere innovative Verfahren und Technologien zu entwickeln. Dies betrifft z.B.

- ▶ die sortenreine Trennung von externen und internen Reststoffen,
- ▶ den Wiedereinsatz von Reststoffen in keramischen oder anderen Industriesektoren,
- ▶ den Einsatz von extern anfallenden Abbruchabfällen oder Reststoffen aus anderen Industriesektoren in der Keramikindustrie,
- ▶ das chemische und physikalische Verhalten der Massen bei Änderung der Zusammensetzung der Inhaltsstoffe wie z.B. durch Zugabe verschiedener Additive,
- ▶ das Zusammenspiel von Chemie, Mechanik und Reaktionskinetik bei feuerfesten Erzeugnissen,
- ▶ das Verhalten der Massen bei Änderung einzelner Prozessschritte,
- ▶ die Optimierung von Prozessparametern,
- ▶ den Ersatz von Formen durch länger haltbare Formen,
- ▶ den Einsatz neuer Technologien wie z.B. das Digitaldruckverfahren.

Die Forschungsprojekte können, sowohl theoretisch als auch praktisch, durch die Hersteller, Recyclingfirmen, Verbände, Institute oder Kooperationen aus mehreren Organisationen durchgeführt werden. Im Kontext zu möglichen Synergien, erscheint es besonders aussichtsreich, wenn sich Kooperationen ergeben würden.

Im Rahmen des Projekts wurde deutlich, dass u.a. weitere Forschungen notwendig sind um Materialeffizienzpotentiale auszuschöpfen. Allerdings sind besonders die Sanitär- und die Geschirrkераmikproduktion relativ kleine Sektoren mit teils vielen kleineren Unternehmen, so dass die Ressourcen für die Forschung begrenzt sind. Besonders die kleinen Unternehmen können es sich oft finanziell nicht leisten, in die Forschung zu investieren. Hierfür wäre eine gezielte Förderung von Forschungsprojekten zu

speziellen Themen, wie auch zur Grundlagenforschung durch öffentliche Institutionen und Förderprogramme sehr hilfreich³⁴. Hierzu wäre allerdings eine Neufassung der öffentlichen Forschungsziele erforderlich, da die Schwerpunkte der gegenwärtigen Finanzierungen eher auf Projekten im Bereich "New Economy" liegen. Auch könnten Kooperationen zwischen verschiedenen beteiligten Akteuren geschlossen werden. Des Weiteren könnte auch eine bessere Vernetzung der einzelnen Firmen wie z.B. Produktions- und Aufbereitungsfirmen gefördert werden. Auch die Bewusstseinsbildung von Konsumenten bezüglich der Ressourcenschonung bei Keramikprodukten kann als sinnvoll betrachtet werden.

Marketing

In einigen Bereichen der untersuchten Keramikindustriesektoren wurde darauf hingewiesen, dass es bereits materialsparende Lösungen gibt, wie z.B. die Herstellung dünnere Fliesen für bestimmte Anwendungen oder die Herstellung von Keramikprodukten, die Recyclingstoffe beinhalten. Aktuell sind diese Lösungen aber wenig bekannt und/oder vom Kunden nicht akzeptiert. Manche Reststoffe, wie z.B. Ziegelbruch, könnten noch häufiger in der Herstellung hochwertiger Produkte, die nicht die Keramikindustrie betreffen (wie z.B. Pflanzsubstraten), eingesetzt werden. In diesen Bereichen wird eine gezielte Information und Bewusstseinsänderung der Verbraucher zielführend angesehen, unter der Voraussetzung, dass der Einsatz jener Produkte sich nicht negativ auf die Umwelt und der Gesundheit des Menschen auswirkt.

Verbesserung der Logistik

Der Verwertung von betriebseigenen, extern aufbereiteten oder betriebsfremden Recyclingstoffen in der Masseaufbereitung sowie der weiteren Verwertung der anfallenden Reststoffe, in anderen Industriesektoren sind unter anderem durch weite Wege und dadurch entstehende Mehrkosten Grenzen gesetzt. Dies könnte durch eine bessere Logistik wie z.B. Rücknahmesysteme, Aufbau eines Netzes von Sammelstellen, etc. optimiert werden. Als Beispiel wurde der mögliche Einsatz von Schlämmen aus der Sanitärkeramikproduktion in anderen Keramikindustriesektoren oder die Wiederverwertung von gebrauchten Gipsformen genannt. Als weiterer Lösungsansatz wurde auch der Einsatz von mobilen Brechern in Erwägung gezogen, damit bestimmte Bruchware vor Ort aufbereitet und wiedereingesetzt werden können. Hierbei besteht u.a. die Gefahr des Fremdstoffeintrags durch mangelhafte Sauberkeit oder Abrieb des mobilen Brechers. Die Verbesserung der Logistik könnte durch spezielle Aufbereitungsfirmen, wie dies z.B. im Bereich der Gipsverwertung geplant ist oder durch Kooperationen zwischen Produktions- und Aufbereitungsfirmen erreicht werden.

Anpassung an bzw. Änderung der gesetzlichen Regelungen

Der Einsatz von mineralischen Sekundärrohstoffen wird zum Teil dadurch verhindert bzw. erschwert, dass anfallende mineralische Abbruchabfälle rechtlich gesehen als Abfall eingestuft werden. Dieser darf nicht ohne abfallrechtliche Genehmigung erneut in einem Produktionsprozess eingesetzt werden. Von Seiten der Industrievertreter, insbesondere der Feuerfestindustrie wurde erläutert, dass z.B. mineralische Sekundärrohstoffe häufiger in den Produktionsprozessen eingesetzt werden könnten, wenn dies nicht mit erheblichem regulatorischen und praktischen Mehraufwand verbunden wäre. Ein Lösungsansatz hierzu wäre es eine Möglichkeit zu finden, dass die anfallenden Sekundärrohstoffe nicht als Abfall eingestuft werden. Hierzu wäre der Zusatz in einer entsprechenden Industrienorm oder die

³⁴ Hierzu sei auf die Förderdatenbank (<http://www.foerderdatenbank.de>) des Bundes hingewiesen, auf der die Bundesregierung einen umfassenden und aktuellen Überblick zu Förderprogrammen und Finanzhilfen des Bundes, der Länder und der EU gibt.

Erstellung einer solchen hilfreich, in der festgelegt ist, dass bestimmte anfallende Reststoffe als gleichwertig zu Primärrohstoffen für die Verwendung desselben Zweckes angesehen werden können, wenn bestimmte definierte Standards eingehalten werden. Entsprechende Standards sollten festgelegt werden, damit Teile der Sekundärrohstoffe als Produkt und nicht als Abfall angesehen werden können. Allerdings muss berücksichtigt werden, dass dann gegebenenfalls Kriterien anderer gesetzlicher Regelungen wie z.B. der REACH-Verordnung erfüllt werden müssen.

Entwicklung von Leitlinien für den sortenreinen Rückbau

Ein Hindernis der Rückführung gebrauchter Keramikprodukte wie z.B. Fliesen oder Ziegel in die Produktion ist der geringe sortenreine Rückbau abzureißender Gebäude. Hierfür könnten Leitlinien und bestimmte Vorgaben erarbeitet werden, die den sortenreinen Rückbau erleichtern und fördern. Auch könnten bestehende Regelungen überprüft und angepasst werden (z.B. Verbot einer nachträglichen Vermischung).

Schärfung des Bewusstseins für Ressourceneffizienz

Eine Schärfung des Bewusstseins der Unternehmen sowie der Mitarbeiter bezüglich der Materialeffizienz ist essenziell für die Wettbewerbsfähigkeit des Unternehmens sowie zur Wahrnehmung der unternehmerischen Verantwortung. Das Bewusstsein kann unter anderem durch Schulungen, Workshops und innerbetriebliches Vorschlagswesen mit Anreizen weiter geschärft und somit das Materialeffizienzpotenzial ausgeschöpft werden.

Bildungsinitiativen zur Materialeffizienz

Im Rahmen des Projekts wurde deutlich, dass auch die Kenntnisse des für den Produktionsprozess eingestellten Personals eine Rolle bei der Ausschöpfung des Materialeffizienzpotenzials spielt. Allgemein gilt, je besser das Personal über verschiedene Maßnahmen zur Materialeffizienzsteigerung informiert ist, desto besser kann es dazu beitragen. Hierzu könnten gezielt Personalschulungen, z.B. an Universitäten oder Instituten durchgeführt und die Hersteller über entsprechende Angebote und Forschungsansätze informiert werden.

8 Quellenverzeichnis

AiF (2006): Keramik aus Papier. Entwicklung eines neuen Werkstoffs. Papiertechnische Stiftung.

https://www.aif.de/fileadmin/user_upload/aif/service/mediathek_PDF/innovationen/Innovationen_04-2006.pdf. Aufgerufen am 18.07.2017

AMZ (2014): Entsorgung von Baustellenabfällen aus Ziegeln mit KMF-Dämmstoff-Füllung. AMZ-Bericht 2/2014. Arbeitsgemeinschaft Mauerziegel im Bundesverband der Deutschen Ziegelindustrie e.V. <http://www.ziegel.de/cgi-bin/tamzserver.exe/phpamz?id=25025> Aufgerufen am 18.07.2017

Bauer, W. und Eitel, W. (2016): Korrosionstests ungeformter Massen im Hinblick auf die Anwendung im Edelstahlbereich. Freiburger Feuerfest-Symposium. Korrosion feuerfester Materialien in Ofenbau und Hochtemperaturanlagen.

Biebeler, H. (2014): Aktivitäten und Hemmnisse der Steigerung der betrieblichen Materialeffizienz. Umweltbundesamt TEXTE 58/2014. Umweltforschungsplan des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit. Forschungskennzahl 3711 93 104 1 UBA-FB 001976

Biermann, E. und Pätzold, R. (2013): Beteiligungsorientierte Ressourceneffizienz. Gute Praxisbeispiele zum Nachahmen empfohlen. https://www.arbeit-umwelt.de/wp-content/uploads/2013_Beteiligungsorientierte_Ressourceneffizienz.pdf. Aufgerufen am 16.08.2017

Bischoff, G., Eden, W., Gräfenstein, R., Heidger, C., Kurkowski, H. & Middendorf, B. (2014): Vegetationssubstrate aus rezyklierten Gesteinskörnungen aus Mauerwerk. Forschungsbericht Nr. 116. Forschungsvereinigung Kalk-Sand e.V., Hannover.

Bohle, Dr.-Ing. Ulrich (2016): Wienerberger Nachhaltigkeitsbericht 2014. <http://sustainabilityreport14.wienerberger.com/produkte/produkte-best-practice-beispiele/>. Aufgerufen am 11.08.2016

Bundesministerium für Bildung und Forschung [BMBF] (2010): Ressourceneffizienz potenzieren. Broschüre zum Förderschwerpunkt »Innovative Technologien für Ressourceneffizienz – rohstoffintensive Produktionsprozesse«. FONA Ressourceneffizienz. https://www.fona.de/mediathek/pdf/Ressourceneffizienz_r2_broschuere_web.pdf. Aufgerufen am 12.08.2016

Bundesministerium für Bildung und Forschung [BMBF] (2013): Steigerung der Ressourceneffizienz im Bauwesen durch die Entwicklung innovativer Technologien für die Herstellung hochwertiger Aufbaukörnungen aus sekundären Rohstoffen auf der Basis von heterogenen Bau- und Abbruchabfällen. Teilprojekt 033R015 B. http://www.recycling-bau.de/fileadmin/user_upload/pdf/Aufbaukoernung.pdf.%20. Aufgerufen am 12.08.2016

Bundesministerium für Bildung und Forschung [BMBF] (2017): EcoRepair- Energieeffiziente Reparatur von Glasurfehlern in Sanitärkeramiken (EcoRepair). <https://www.produktion-dienstleistung-arbeit.de/de/projekte.php?PN=11000319>. Aufgerufen am 18.07.2017

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit [BMUB] (2016): Deutsches Ressourceneffizienzprogramm II- Programm zur nachhaltigen Nutzung und zum Schutz der natürlichen Ressourcen. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMUB). Referat WR III 1. http://www.bmub.bund.de/fileadmin/Daten_BMU/Pool/Broschueren/progress_ii_broschuere_bf.pdf. Aufgerufen am 18.07.2017

Bundesverband Baustoffe [BBS] (2016): Die Nachfrage nach Primär- und Sekundärrohstoffen der Steine- und Erden-Industrie bis 2035 in Deutschland. Bundesverband Baustoffe – Steine und Erden e.V.

Castimo: Schlickerdruckgussverfahren. <http://www.castimo.org/anwendungen.aspx>. Aufgerufen am 18.07.2017

Dechantsreiter, U., Horst, P., Mettke, A., Asmus, S., Schmidt, S., Knappe, F., Reinhardt, J., Theis, S., Lau, J. J. (2015): Instrumente zur Wiederverwendung von Bauteilen und hochwertigen Verwertung von Baustoffen. Forschungskennzahl 3712 32 319. UBA Texte 93/2015.

DESTATIS (2016a): Produzierendes Gewerbe - Produktion des Verarbeitenden Gewerbes sowie des Bergbaus und der Gewinnung von Steinen und Erden. Fachserie 4 Reihe 3.1. Wiesbaden. https://www.destatis.de/DE/Publikationen/Thematisch/IndustrieVerarbeitendesGewerbe/Konjunkturdaten/ProduktionJ2040310157004.pdf?__blob=publicationFile. Aufgerufen am 18.07.2017

DESTATIS (2016b): Umwelt – Abfallentsorgung 2014. Fachserie 19. Reihe 1. Statistisches Bundesamt, Wiesbaden 2016.
https://www.destatis.de/DE/Publikationen/Thematisch/UmweltstatistischeErhebungen/Abfallwirtschaft/Abfallentsorgung2190100147004.pdf?__blob=publicationFile. Aufgerufen am 18.07.2017

DESTATIS (2016c): Produzierendes Gewerbe: Beschäftigung und Umsatz der Betriebe des Verarbeitenden Gewerbes sowie des Bergbaus und der Gewinnung von Steinen und Erden. Fachserie 4 Reihe 4.1.1 Wiesbaden.
https://www.destatis.de/DE/Publikationen/Thematisch/IndustrieVerarbeitendesGewerbe/Konjunkturdaten/MonatsberichtJ2040411157004.pdf?__blob=publicationFile. Aufgerufen am 18.07.2017

DESTATIS (2016d): Produzierendes Gewerbe: Betriebe, Tätige Personen und Umsatz des Verarbeitenden Gewerbes sowie des Bergbaus und der Gewinnung von Steinen und Erden nach Beschäftigtengrößenklassen. Fachserie 4 Reihe 4.1.2 Wiesbaden.
https://www.destatis.de/DE/Publikationen/Thematisch/IndustrieVerarbeitendesGewerbe/Strukturdaten/BetriebeTaetigePersonen2040412157004.pdf?__blob=publicationFile. Aufgerufen am 10.07.2018

Deutsche Bundesstiftung Umwelt [DBU] (2003): Entwicklung und Bewertung von Aufbereitungstechnologien als Voraussetzung für das stoffspezifische Recycling von Hochbauabfällen (gebrauchte Sanitärkeramik sowie Ziegelsande und -splitte). Förderprojekt der Deutschen Bundesstiftung Umwelt.

DIN EN ISO 10081-1: Klassifizierung dichter geformter feuerfester Erzeugnisse - Teil 1: Alumina-Silika (ISO 10081-1:2003); Deutsche Fassung EN ISO 10081-1:2005

Duravit (2013): Nachhaltigkeitsbericht. Version 2.0. Sustainability Performance Report. GRI G-4. Berichtszeitraum 2011-2013

Effizienzfabrik: EcoRepair — Effiziente Reparatur von Sanitärkeramiken. Projekte-Neue Technologien.
<https://www.effizienzfabrik.de/de/projekte/neue-technologien-detail/ecorepair/478/?tab=tab-2>. Aufgerufen am 18.07.2017

Envirochemie (2017): Villeroy & Boch - Innovative Technologie für die Rückgewinnung von Glasuren aus Spülkonzentraten.
<http://envirochemie.com/de/referenzen/?reference=33>. Aufgerufen am 18.07.2017

Fachgespräch BVKI (2017): Fachgespräch mit Experten des Verbands der keramischen Industrie e.V. (BVKI), inklusive den Fachgruppen Geschirr- & Zierporzellan und dem Fachverband Sanitärkeramik (FSKI), im Rahmen des Projekts „Innovative Techniken: Festlegung von besten verfügbaren Techniken (BVT) in Europa für die Bereiche der Keramikindustrie, Zementindustrie, Nahrungsmittelindustrie und in der chemischen Industrie: Teilvorhaben 1: Keramikindustrie“ und des Fraunhofer-Zentrums für Hochtemperatur-Leichtbau HTL.

Fachgespräch Fliesen (2017): Fachgespräch mit Experten des Bundesverbandes Keramische Fliesen e.V. und Firmen im Rahmen des Projekts „Innovative Techniken: Festlegung von besten verfügbaren Techniken (BVT) in Europa für die Bereiche der Keramikindustrie, Zementindustrie, Nahrungsmittelindustrie und in der chemischen Industrie: Teilvorhaben 1: Keramikindustrie“

Fachgespräch UBA (2016): Fachgespräch im Rahmen des Projekts „Innovative Techniken: Festlegung von besten verfügbaren Techniken (BVT) in Europa für die Bereiche der Keramikindustrie, Zementindustrie, Nahrungsmittelindustrie und in der chemischen Industrie: Teilvorhaben 1: Keramikindustrie“ mit dem Umweltbundesamt und Vertretern des Verbandes der Deutschen Feuerfest-Industrie e.V., Bundesverband der deutschen Ziegelindustrie e.V., Bundesverband Keramische Fliesen e.V.

Fachgespräch VDFFI (2017): Fachgespräch mit Experten des Verbandes der Deutschen Feuerfest-Industrie e.V. (VDFFI), der Forschungsgemeinschaft Feuerfest und der Hochschule Koblenz im Rahmen des Projekts „Innovative Techniken: Festlegung von besten verfügbaren Techniken (BVT) in Europa für die Bereiche der Keramikindustrie, Zementindustrie, Nahrungsmittelindustrie und in der chemischen Industrie: Teilvorhaben 1: Keramikindustrie“.

Fachgespräch Ziegelverband (2017): Fachgespräch mit dem Bundesverband der Deutschen Ziegelindustrie im Rahmen des Projekts „Innovative Techniken: Festlegung von besten verfügbaren Techniken (BVT) in Europa für die Bereiche der Keramikindustrie, Zementindustrie, Nahrungsmittelindustrie und in der chemischen Industrie: Teilvorhaben 1: Keramikindustrie“

FESPA (2015): Inkjet verdrängt den Siebdruck bei der Produktion von Keramikfliesen. Fespa- News.
<https://www.fespa.com/en/news-media/features/inkjet-displaces-screen-for-ceramic-tiles>. Aufgerufen am 11.08.2016

Fiehl, M. und Wuthnow, H. (2017): Auswirkungen der Zumischung erneuerbarer Energien im Erdgasnetz auf thermoprozesstechnische Anlagen in der keramischen Industrie. Forschungsstellen: Gas- und Wärme-Institut Essen e.V., Forschungsgemeinschaft Feuerfest e.V.. IGF-Nr. 18684 N. https://www.gwi-essen.de/fileadmin/dateien/abschlussberichte/2017/20170731_18684_N_Schlussbericht_ErKer_FINAL.pdf. Aufgerufen am 08.06.2018

Grömling, M. (2008): Ein volkswirtschaftliches Porträt der deutschen Baustoffindustrie. Institut der deutschen Wirtschaft Köln. Bundesverband Baustoffe –Steine und Erden e.V.

Hilgenfeld, Dipl.-Ing. Roger; Alten, Dipl.-Ing. (FH) Thomas; Kieren, M.Sc. (FH) Heiko; Laufer, Dipl.-Ing. Werner (2011): Klimaschutz-Energieeinsparung beim Brennen von Sanitärkeramik. Abschlussbericht zum Forschungs- und Entwicklungsvorhaben. Verbundprojekt der Verbundpartner Keramischer OFENBAU GmbH und Villeroy & Boch AG. 01 LY 0810 A und B

IBU (2011): Umwelt-Produktdeklaration nach ISO 14025- Keramische Fliesen und Platten. Industrieverband Keramische Fliesen und Platten e.V.

IBU (2015a): Umwelt-Produktdeklaration nach ISO 14025 und EN 15804- Mauerziegel. Arbeitsgemeinschaft Mauerziegel. http://www.unipor.de/sites/default/files/mauerziegel_daemmstoff_gefuehlt_kl_1.pdf. Aufgerufen am 18.07.2017

IBU (2015b): Umwelt-Produktdeklaration nach ISO 14025 und EN 15804- Tondachziegel inkl. Zubehör. ERLUS AG Werk Neufahrn. http://www.erlus.de/userfiles/allgemein/pdf/EPD_Dachziegel_Neufahrn_2015_04.pdf. Aufgerufen am 18.07.2017

IBU (2016a): Umwelt-Produktdeklaration nach ISO 14025 und EN 15804- Keramische Fliesen und Platten. Bundesverband Keramische Fliesen e. V.

IBU (2016b): Umwelt-Produktdeklaration nach ISO 14025 und EN 15804- Vormauerziegel, Pflasterziegel und Riemchen. Bauen mit Backstein Zweischalige Wand Marketing e. V. http://bockhorner.de/wp-content/uploads/2014/10/EPD-Vormauerziegel-Pflasterziegel-und-Riemchen_Bockhorner.pdf. Aufgerufen am 18.07.2017

IBU (2017): Umwelt-Produktdeklaration nach ISO 14025 und EN 15804- Sanitärkeramik. Duravit AG. <https://ibu-epd.com/veroeffentlichte-epds/>. Aufgerufen am 18.07.2017

IG BCE (2017): Keramische Industrie.. <https://www.igbce.de/arbeit/branchen/keramik/keramik/8944?highlightTerms=&back=>. Aufgerufen am 18.07.2017

IKGB (2015): Jahresbericht 2015. Institut für Keramik, Glas- und Baustofftechnik. Technische Universität Bergakademie Freiberg.

Institut für Ziegelforschung (2002): Hauck, D., Ruppik, M: Optimierung des Trocknungsprozesses zur Verminderung der Trockenrissgefährdung von Ziegelrohlingen. AiF 11970. Kurzbericht. Institut für Ziegelforschung Essen e.V. http://www.ziegel-forschung.de/content/aktuell/neues/pdf/kurzbericht_11970.pdf. Aufgerufen am 18.07.2017

Institut für Ziegelforschung (2012): Tretau, A.: Energiesparende Verfahren zur Konditionierung von Ziegelrohlingen für die Niedertemperaturtrocknung. Schlussbericht zum Forschungsvorhaben AIF-Nr. 16567 N. http://www.izf.de/pdf_files/AIF/AIF_16567_N.pdf. Aufgerufen am 18.07.2017

Institut für Ziegelforschung (2013): Tretau, A.: Stabilisierung von Ziegelrohlingen durch ein mineralisches Stoffgemisch auf Basis von aktivierten Tonen. Kurzfassung zum Schlussbericht 16750 N. http://www.izf.de/pdf_files/AIF/AIF_16750_N.pdf. Aufgerufen am 18.07.2017

Institut für Ziegelforschung (2014): Vermeidung von Schäden aufgrund festigkeitsmindernder Reaktionsabläufe in der Aufheizzone von Tunnelöfen. IGF-Nr.: 17387 N. http://www.izf.de/pdf_files/AIF/AIF_17387_N.pdf. Aufgerufen am 18.07.2017

Institut für Ziegelforschung (2015): Rimpel, E.: Syngas for a Sustainable Brick Production (SSBP). Kurzfassung zum Schlussbericht 70 EN. http://www.izf.de/pdf_files/AIF/CORNET_AIF_70EN.pdf. Aufgerufen am 18.07.2017

ISH (2011): Filigranere und leichtere Sanitärkeramik von Laufen. Baulinks. <http://www.baulinks.de/webplugin/2011/0670.php4>. Aufgerufen am 18.07.2017

ITC-AICE (2016): Life Ceram – Zero Waste in Cermic Tile Manufacture”, Final Report, 2016 http://www.lifeceram.eu/media/12930/Final_report2.pdf

IZFP (2016): Fragebogen zur Erhebung von Maßnahmen zur Steigerung der Materialeffizienz in der Keramikindustrie. BiPRO GmbH.

Jochem, E., Schön, M., Angerer, G., Ball, M., Bradke, H., Celik, B., Eichhammer, W., Mannsbart, W., Marscheider-Weidemann, F., Nathani, C., Walz, R., Wietschel, M., Behnke, L., Bolourian, K., Kohl, D., Mohr, S. (2004): Werkstoffeffizienz- Einsparpotenziale bei

Herstellung und Verwendung energieintensiver Grundstoffe. Fraunhofer-Institut für Systemtechnik und Innovationsforschung ISI. Fraunhofer IRB Verlag, 2004. Stuttgart. ISBN: 3-8167-6622-6.

Junkes, J. A., Carvalho, M. A., Segadães, A. M., Hotza, D. (2013): Rezepturen für Keramikfliesen aus Industrieabfällen. Keram. Z. 65 (2013) [6] 365-371 Aus Forschung und Technik.

Kaufmann, A., Franzen, C., Junk, U., Reichmann, M., Netzelmann, U., Emmerich, R. (2013): Entwicklung einer ressourceneffizienten Trocknungstechnologie für keramische Produkte. - Dry Control. Schlussbericht zum BMBF-Verbundprojekt. Gefördert vom BMBF. <http://edok01.tib.uni-hannover.de/edoks/e01fb15/832386987.pdf>. Aufgerufen am 25.06.2018

Kollenberg, Prof. Dr. W. (2013): Keramikindustrie in NRW-Potentiale zur Effizienzsteigerung. Effizienz-Agentur NRW. http://www.ressourceneffizienz.de/fileadmin/user_upload/Dokumente/Studie_Keramikindustrie_in_NRW.pdf. Aufgerufen am 18.07.2017

Kollenberg, Prof. Dr. W. (2015): Industrielle Fertigung von Keramik mit 3D-Druck. Keramische Zeitschrift 01/2015

Krause, O. (2012): Feuerfeste Werkstoffe, Expertengespräch 2012. Hochschule Koblenz

KWTB (2012): Mineralische Bauabfälle- Monitoring 2012. Bericht zum Aufkommen und zum Verbleib mineralischer Bauabfälle im Jahr 2012. Kreislaufwirtschaft Bau. Bundesverband Baustoffe – Steine und Erden e.V. <http://kreislaufwirtschaft-bau.de/Arge/Bericht-9.pdf>. Aufgerufen am 18.07.2017

KWTB (2014): Mineralische Bauabfälle- Monitoring 2014. Bericht zum Aufkommen und zum Verbleib mineralischer Bauabfälle im Jahr 2014. Kreislaufwirtschaft Bau. Bundesverband Baustoffe – Steine und Erden e.V. <http://www.kreislaufwirtschaft-bau.de/Arge/Bericht-10.pdf>. Aufgerufen am 18.07.2017

Laufen (2013): SAPHIRKERAMIK / REVOLUTIONARY THINKING . <http://www.de.laufen.com/de/products/features-benefits/sanitary-ware/01-saphirkeramik>. Aufgerufen am 12.08.2016

Laufen (2017): Umweltprodukterklärung- Berechnung nach ISO 14025, EN 15804 und EN 16578. Sanitärkeramische Produkte.

Laufer, Dipl.-Ing. W., Engels, Dipl.-Ing. M., Schneider, Dr.-Ing. E. (2007): Entwicklung und Prozessintegration neuer werkstoff- und herstellungsspezifischer Prüf- und Steuerungsmethoden (on- und off-line- Prüfsysteme) zur Verbesserung des nachhaltigen Wirtschaftens in der Keramikindustrie. Schlussbericht zum BMBF- Förderprojekt. Förderkennzeichen 01RK0303, Förderkennzeichen 01RK0304, Förderkennzeichen 01RK0305

Lippert (2012): Trocknungsanlagen. Broschüre

Lippert (2013): Systeme für die Sanitärproduktion- Umfassende Kompetenz, zukunftsweisende Technologien. Prospekt Sanitäranlagen. https://www.lippert.de/wp-content/uploads/2017/02/Prospekt-Sanitaeranlagen_135106-10042013.pdf?x26707. Aufgerufen am 18.07.2017

Märting, M., Giese, A., Fleischmann, B., Wuthnow, H. (2013): Biogasbefeuerung in der Glasproduktion zur Reduzierung der CO₂-Emissionen - Untersuchungen der Auswirkungen auf die Glasqualität, das Feuerfest-material und die Schadstoffemissionen (BG-G). Abschlussbericht der Forschungsstelle(n) GWI - Gas- und Wärme-Institut Essen e.V., HVG - Hüttentechnische Vereinigung der deutschen Glasindustrie e.V., FGF - Forschungsgemeinschaft Feuerfest e. V. IGF-Nr. 397 ZN

Möller und Linn (2013): Aktueller Stand der industriellen Mikrowellentrocknung. Kapitel 3.5.2.1 im Handbuch Technische Keramische Werkstoffe. https://www.linn-high-therm.de/fileadmin/user_upload/pages/about_us/download/publications/white_papers/Aktueller_Stand_der_industriellen_Mikrowellentrocknung.pdf. Aufgerufen am 18.07.2017

Monteur (2010): Waschtisch, WC und Co – Villeroy & Boch zeigt wie es geht. In Gut zu wissen, Haustechnik, Produkte, Sanitär, Wie entsteht eigentlich... <http://www.sbz-monteur.de/2010/02/16/waschtisch-wc-und-co-villeroy-boch-zeigt-wie-es-geht/>. Aufgerufen am 18.07.2017

Müller, A. (2016): Erschließung der Ressourceneffizienzpotenziale im Bereich der Kreislaufwirtschaft Bau. Forschungsprogramm Zukunft Bau. Im Auftrag des Bundesinstituts für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) im Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (BBR).

- Müller, J. und Mayer, W. A. (2014): Branchen- und technologieübergreifende Ansätze im Strategiebereich Ressourceneffizienz. Endbericht zum Teilprojekt der TUM im Rahmen des Integrations- und Transferprojekts der BMBF-Fördermaßnahme r2 „Innovative Technologien für Ressourceneffizienz – rohstoffintensive Produktionsprozesse“. Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung (ISI).
- Nehlsen (2017): Fliesen und Keramik entsorgen. Abfälle von A-Z. <https://www.nehlsen.com/abfaelle-von-a-z/fliesen-und-keramik/>. Aufgerufen am 18.07.2017
- Quo (2016): Projekte. Dachziegel ZZ Wancor. <https://www.quo.ch/projekte/quoproject/dachziegel/>. Aufgerufen am 11.08.2016
- Rosen, D. (2008): Bewertung der Recyclingfähigkeit von Ziegeln. 47. Würzburger Ziegel-Lehrgang 2008
- Rosen, D. (2013): Recycling und Verwertung von keramischen Reststoffen. 52. Würzburger Ziegel-Lehrgang 2013.
- Rosen, D. (2016): Recycling und Nachhaltigkeit. A 059/2016-N3.
- Roth-Kleyer (2018): Recyclingziegel für Vegetationssubstrate im GaLaBau. Veröffentlicht in: Neue Landschaft, Fachzeitschrift für Garten-, Landschafts-, Spiel- und Sportplatzbau. Patzer Verlag. Berlin-Hannover.
- Routschka, G. und Wuthnow, H. (2011): Praxishandbuch Feuerfeste Werkstoffe. Aufbau - Eigenschaften – Prüfung. Vulkan Verlag. ISBN-13: 978-3-8027-3161-7.
- Rübner, K. und Schneider, S. (2013): Stoffkreislauf im Mauerwerksbau- Nachhaltigkeitsanalyse für das Mauerwerksrecycling. Bundesanstalt für Materialforschung und – prüfung (BAM) und Universität Stuttgart, Lehrstuhl für Bauphysik. AiF Vorhaben 17022N/1.
- Schmidt, H.-Ch. und Köppl, F. (2016): Isostatisches Pressen von Tassenkörpern mit Henkel-ISOCUP. Herstellung von Tassen, Bechern und Suppentassen mit Henkel aus feinkeramischen Massen in einem Arbeitsschritt. cfi/Ber. DKG 93 (2016) No. 3.
- Schmidt, R. (2016): Neues Verfahren ermöglicht Recycling-Fliesen. WirtschaftsWoche. <http://www.wiwo.de/technologie/green/tech/millionen-ersparnis-neues-verfahren-ermoeglicht-recycling-fliesen/13865930.html>. Aufgerufen am 18.07.2017
- Seifert, G. (2016): Persönliches Interview/Projekttreffen im Rahmen des Projekts „Innovative Techniken: Festlegung von besten verfügbaren Techniken (BVT) in Europa für die Bereiche der Keramikindustrie, Zementindustrie, Nahrungsmittelindustrie und in der chemischen Industrie: Teilvorhaben 1: Keramikindustrie“.
- Steuler (2017): Steuler Design-News. Diese Anlage ist eine Investition in die Zukunft der gesamten Gruppe. <http://www.steuler-fliesen.de/newsevent/diese-anlage-ist-eine-investition-die-zukunft-der-gesamten-gruppe>. Aufgerufen am 18.07.2017
- Teipel, U. und Hefeke, K. (2017): Produktgestaltung mit Sekundärrohstoffen in der Baustoff- und Keramikindustrie – BauKera. Abschlussbericht. Projektverbund ForCycle – Ressourcenstrategie für Bayern unter besonderer Berücksichtigung von Sekundärrohstoffen.
- UBA (2007): Merkblatt über die Besten Verfügbaren Techniken in der Keramikindustrie August 2007
- VDFFI (2015): Vortrag über den Keramiksektor Feuerfestindustrie zu „REACH-Zulassung, CTPHT + Borate“ in der BAuA am 26.10.2015
- VDI (2014): Statusreport Additive Fertigungsverfahren. https://www.vdi.de/fileadmin/vdi_de/redakteur_dateien/gpl_dateien/VDI_Statusreport_AM_2014_WEB.pdf. Aufgerufen am 12.08.2016
- VDMA (2011): EcoRepair- Klimaschutz beginnt im Bad. Wirtschaft und Politik. Serie Umwelt. VDMA Nachrichten Januar 2011. <https://www.google.co.uk/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKEwiisaukye7bAhWpK5oKHTr->
- BLMQFgguMAA&url=https%3A%2F%2Fwww.effizienzfabrik.de%2FecomaXL%2Ffiles%2FNT_EcoRepair_VDMA_Nachrichten_201101.pdf%26download%3D1&usg=AOvVaw2HKqWaKnYRnizMzk8fZ8fA. Aufgerufen am 18.07.2017
- Villeroy & Boch (2010): Verantwortung Umwelt.
- Villeroy & Boch (2012a): Dry-Control – Ressourceneffiziente Trocknungstechnologie für Keramikprodukte. Abschlussposter. http://www.r-zwei-innovation.de/_media/V20_Abschlussposter.pdf. Aufgerufen am 12.08.2016

Walle, G., Sklarczyk, C., Müller, T., Netzelmann, U. (2014): Prüfung von grüner Sanitärkeramik als Mittel zur Ressourceneffizienz. DGZfP-Jahrestagung 2014 – Mi.3.B.4. <http://www.ndt.net/article/dgzfp2014/papers/mi3b4.pdf>. Aufgerufen am 18.07.2017

Weimann, K., Matyschik, J., Adam, C., Schulz, T., Linß, E., Müller, A. (2013): Optimierung des Rückbaus/Abbaus von Gebäuden zur Rückgewinnung und Aufbereitung von Baustoffen unter Schadstoffentfrachtung (insbes. Sulfat) des RC-Materials sowie ökobilanzieller Vergleich von Primär- und Sekundärrohstoffeinsatz inkl. Wiederverwertung. UBA Texte 05/2013. Forschungskennzahl 3709 33 317. <http://www.uba.de/uba-info-medien/4430.html>.

Wienerberger (2012): Nachhaltigkeitsbericht. <http://www.wienerberger.com/de/nachhaltigkeit/downloads>. Aufgerufen am 18.07.2017

Wuthnow, H. und Dannert, C. (2013): Refractory materials in glass melting furnaces fired with biogas. Forschungsgemeinschaft Feuerfest e.V. Höhr-Grenzhausen

ZBB (2017): Zentralstelle für Berufsbildung im Handel e.V. Fliesen- Herstellung. <http://www.warenkunde-handel.de/badeinrichtung/sanitaer/fliesen/herstellung.html>. Aufgerufen am 18.07.2017

9 Anhang I - Auswertung des BVT-Merkblatts „Keramikindustrie“ 2007 im Hinblick auf Materialeffizienz

Wichtige Aspekte des integrierten Umweltschutzes sind neben der Verminderung von Emissionen in die Luft und in das Wasser die effiziente Nutzung von Energie, Rohstoffen und Wasser, die Minimierung, Rückgewinnung und Wiederverwertung von Prozessverlusten/Abfall und Prozessabwasser. Vor diesem Hintergrund wurde bereits im BVT-Merkblatt „Keramikindustrie“, welches 2007 veröffentlicht wurde, die Thematik der Materialeffizienz vor allem unter dem Punkt „Prozessverluste/Abfälle“, berücksichtigt.

Das BVT-Merkblatt 2007 enthält allgemeine aber auch sektorspezifische Empfehlungen zur Verminderung von Prozessverlusten/Abfällen hinsichtlich der bei der Herstellung von keramischen Produkten anfallenden Schlämme und festen Prozessverluste/Abfälle in Form von Maßnahmen bzw. Techniken zur Prozessoptimierung, Aufbereitung und Wiederverwertung. In der Regel werden in der Praxis Kombinationen dieser Maßnahmen/Techniken eingesetzt.

Im Folgenden werden die wichtigsten allgemeinen BVT im Hinblick auf die Materialeffizienz aus dem BVT Merkblatt 2007 zusammengefasst. Die sektorspezifischen BVT werden in Kapitel 5 unter den jeweiligen Sektoren aufgeführt.

9.1 Materialeffizienzsteigerung durch Reduzierung von Prozessverlusten und Abfall

Das BVT-Merkblatt zur Keramikindustrie von 2007 beschreibt folgende Techniken und Methoden zur Steigerung der Materialeffizienz in Hinblick auf die Vermeidung von Prozessverlusten und Abfällen:

BVT ist, den Anfall an festen Prozessverlusten/Abfällen durch Anwendung einer Kombination der folgenden Techniken zu mindern:

- a) Rückführung ungemischter Rohstoffe (siehe BVT-Merkblatt 2007, Abschnitt 4.5.2.1)
- b) Rückführung beschädigter Scherben in den Herstellungsprozess (siehe BVT-Merkblatt 2007, Abschnitt 4.5.2.1)
- c) Verwendung von festen Prozessverlusten in anderen Industrien (siehe BVT-Merkblatt 2007, Abschnitt 4.5.2.1)
- d) Elektronische Steuerung des Brennprozesses (siehe BVT-Merkblatt 2007, Abschnitt 4.5.2.2)
- e) Anwendung optimierter Besatztechniken (siehe BVT-Merkblatt 2007, Abschnitt 4.5.2.2).

Beim Be- und Entladen, Befördern und Bearbeiten von Rohmaterialien entstehender und erfasster Staub kann als Rohmaterial wiederverwendet werden. Beim Einsatz eines Siloaufsatzfilters bei der Abluftreinigung kann der Filterstaub somit direkt wieder in den Produktionsprozess oder in das Rohstoffsilo zurückgeführt werden. Auch Prozessverluste, die vor dem Brennvorgang entstehen, können normalerweise wieder als Rohmaterial eingesetzt werden. Üblich ist es, dass der anfallende Materialverschnitt, gebrauchte Gipsformen und Staub vom Pressentisch geschoben, gesammelt und direkt wieder in das Rohmateriallager für die Presse zurückgeführt werden. Zusätzlich können gebrauchte Gipsformen in der Zement- oder nach weiterer Verarbeitung in der Düngemittelindustrie verwertet werden.

Gebrannte Produkte wie Bruchware, kaputte Feuerungshilfsmittel oder Ofenausbruch können in manchen Fällen nach Mahlung als Rohmaterial verwertet werden. Außerdem kann Bruchware als Ausgangsmaterial in anderen Industrien dienen.

Bei der Formgebung ergibt sich ein enormes Potenzial zur Abfallvermeidung. Zum Beispiel kann der Schlickerguss in Gipsformen durch den Schlickerdruckguss in Polymerformen ersetzt werden. Auch beim isostatischen Pressen in Polymerformen entfällt der Bedarf für Gipsformen. Durch den Verzicht

auf Gipsformen kann bis zu 20% Rohmaterial eingespart werden. Gipsformen können allerdings nur ersetzt werden, wenn eine neue Gießeinrichtung errichtet oder die alte total erneuert wird, was aufgrund der hohen Kosten nicht auf alle Unternehmen übertragbar ist.

Beim Brennprozess kann durch den Einsatz moderner Technologien die Menge an Brennhilfsmitteln reduziert und die Brenndauer verkürzt werden. Jedoch tritt bei einem Schnellbrand mehr Ausschuss auf, da ein Schnellbrand lediglich für flache Produkte und weniger für zum Beispiel Ziegel geeignet ist. Durch die elektronische Steuerung des Temperaturprofils und durch Optimierung des Besatzes kann der Brennbruch reduziert werden [Umweltbundesamt, 2007].

BVT ist, Schlämme durch Anwendung einer Technik oder einer Kombination der folgenden Techniken wieder oder weiter zu verwerten:

- a) Systeme zur Wiederverwendung von Schlämmen (siehe BVT-Merkblatt 2007, Abschnitt 4.5.1.1)
- b) Weiterverwertung der Schlämme in anderen Produkten (siehe BVT-Merkblatt 2007, Abschnitt 4.5.1.2).

Die Schlammrückführung bezeichnet die Wiederverwertung von Schlämmen in keramischen Massen wie wässrigen Suspensionen und Schlickern, die keramische Materialien enthalten, z. B. zur Herstellung von Wand- und Bodenfliesen.

Systeme zur Wiederverwertung von Schlämmen lassen sich in Anlagen mit Rohmaterialaufbereitung durch nasse Mahlung einfach umsetzen, da der Schlamm ohne weitere Behandlung – oder nach einfacher physikalischer oder physikalisch-chemischer Behandlung – direkt verwertet werden kann. Nach Abpumpen des Schlamms aus dem Klärbecken, Filterung und Analyse gelangt dieser in die Trommelmühlen zur weiteren Verarbeitung. Dadurch wird der Wasser- und Rohmaterialverbrauch reduziert.

Schlämme, die in einem Sektor der Keramikindustrie anfallen, können in anderen Sektoren weiterverwertet werden. Beispielsweise kann Schlamm aus der Herstellung von Haushalts- oder Sanitärkeramik als Rohmaterial/Zusatzstoff bei der Herstellung von Ziegeln und Blähtonerzeugnissen eingesetzt werden, wodurch einerseits Abfälle vermieden und Rohmaterialien eingespart werden.

BVT ist, die Staubemissionen zu mindern. Hierzu sind einige Techniken beschrieben wie zum Beispiel:

- a) Maßnahmen für staubende Vorgänge (siehe BVT-Merkblatt 2007, Abschnitt 4.2.1)
- b) Maßnahmen für Schüttgutlagerflächen (siehe BVT-Merkblatt 2007, Abschnitt 4.2.2)
- c) Abscheidungs- und Filtersysteme (siehe BVT-Merkblatt 2007, Abschnitt 4.2.3)

Maßnahmen für staubende Vorgänge sind z.B. Kapselung staubender Prozessschritte, Filtern der Luft, Verminderung undichter Stellen und Geschlossenheit der Anlage. In Kombination mit Maßnahmen für Schüttgutlagerflächen wie z.B. Anpassung der Abladehöhe an die wechselnde Höhe der Haufwerke, Reduktion der Abladegeschwindigkeit oder Feuchthalten durch Spritzvorrichtungen kann die Emissionsmenge reduziert werden.

Bei der Anwendung von Abscheidungs- und Filtersystemen wie z.B. Zyklonabscheider, Gewebefilter, Sinterlamellenfilter, nasse Staubabscheider und Elektrofilter kann durch Sammlung und Rückgewinnung von abgeschiedenem Staub ein reduzierter Rohmaterialverbrauch erreicht werden.

9.2 Materialeffizienzsteigerung durch optimierten Wasserverbrauch

Wasser wird in der Keramikindustrie in verschiedenen Verwendungen genutzt. Wasser wird teilweise als Rohmaterial eingesetzt. Dieses trägt jedoch nicht zum Abwasserproblem bei, da es während der Trocknungs- und Entbinderungsphase verdunstet. Es wird außerdem als Wärmeaustauschmedium

genutzt. Bei der Abgaswäsche kann zurückgeführtes Prozesswasser verwendet und danach wiederverwendet oder behandelt werden. Der größte Wasserverbrauch entsteht durch die Reinigung von Anlagen.

BVT ist, den Wasserverbrauch durch Anwendung von Maßnahmen zur Prozessoptimierung zu reduzieren. Beschriebene Techniken sind:

- a) Einflussnahme auf die Wasserkreisläufe; Installation automatischer Ventile, die verhindern, dass mehr Wasser austritt als benötigt wird
- b) Installation eines Hochdrucksystems (oder von Hochdruckreinigungsgeräten) für Reinigungszwecke in der Anlage
- c) Wechsel von nassen Abgasreinigungssystemen zu alternativen, nicht Wasser verbrauchenden Systemen (Reinigung durch trockene Reinigungssysteme, siehe BVT-Merkblatt 2007, Abschnitte 4.2.3 und 4.3.4)
- d) Installation von 'in situ' Überschuss-Glasur-Sammelsystemen
- e) Installation von Rohrfördersystemen für Schlicker
- f) Getrennte Erfassung der Abwasserströme aus unterschiedlichen Prozessstufen
- g) Wiederverwendung von Prozessabwässern in der gleichen Verfahrensstufe, insbesondere die wiederholte Wiederverwendung von Reinigungswasser nach geeigneter Behandlung.

Diese Maßnahmen minimieren nicht nur den Wasserverbrauch, sondern können z.T. auch den Rohstoffeinsatz erheblich reduzieren wie z.B. die Installation eines 'in situ' Überschuss-Glasur-Sammelsystems.

9.3 Materialeffizienzsteigerung durch Reduktion des Energieverbrauchs

Allgemeine Erwägungen zum Energieverbrauch sind Abschnitt 3.2.1 aus dem BVT-Merkblatt zu entnehmen.

BVT ist, den Energieverbrauch durch Anwendung einer Kombination der folgenden Maßnahmen zu mindern:

- a) Technische Verbesserung der Brennöfen und Trockner (siehe BVT-Merkblatt 2007, bschnitt 4.1.1)
- b) Rückgewinnung der überschüssigen Wärme aus den Brennöfen, insbesondere aus deren Kühlzonen (siehe BVT-Merkblatt 2007, Abschnitt 4.1.2)
- c) Wechsel der Brennstoffart für die Befeuerung der Brennöfen (siehe BVT-Merkblatt 2007, Abschnitt 4.1.4)
- d) Modifikation keramischer Massen (siehe BVT-Merkblatt 2007, Abschnitt 4.1.5)

Verschiedene Maßnahmen zur Verbesserung der Brennöfen und Trockner sind verbesserte Wärmeisolierung an den Öfen, automatische Überwachung der Trocknerkreisläufe, verbesserte feuerfeste Ausmauerungen, interaktive Computersteuerung des Ofenregimes, reduzierter Einsatz von Brennhilfsmitteln und der Einsatz von Hochgeschwindigkeitstrocknern.

Vor allem die Überschusswärme aus der Kühlzone – in Form von heißer Luft – kann zur Beheizung der Trockner verwendet werden.

Die Substitution von Schweröl und festen Brennstoffen durch emissionsarme Brennstoffe führt zu einem höheren feuerungstechnischen Wirkungsgrad.

Durch die Modifikation von keramischen Massen kann der Energieverbrauch durch kürzere Trocknungs- und Brennzeiten reduziert werden. Besonders eine veränderte Massenzusammensetzung, Additivzusätze und Brennhilfsmittelzusätze können den Energiebedarf positiv beeinflussen z.B. durch Reduzierung der Anmachwassermenge, Vermeidung der Wärmeleitfähigkeit von Tonziegeln oder Reduzierung der Brenntemperatur.

9.4 Materialeffizienzsteigerung durch Modifikation keramischer Massen

Die Umgestaltung keramischer Produkte z.B. zu dünneren Fliesen, Leichthochlochziegeln, dünnwandigeren Blöcken oder Rohren kann die Masse reduzieren. Auf diese Weise kann der Rohstoffeinsatz reduziert werden.

9.5 Techniken in Entwicklung

Neben den BVT-Empfehlungen enthält das BVT-Merkblatt 2007 auch Informationen zu neue Techniken zur Minderung von Umweltbelastungen, die zu diesem Zeitpunkt noch in Entwicklung waren oder die erst vereinzelt eingesetzt wurden. Diese Techniken/Maßnahmen gelten als „Techniken in Entwicklung“. Folgende Techniken werden im BVT-Merkblatt 2007 als „Techniken in Entwicklung“ beschrieben:

- ▶ Strahlrohrbrenner,
- ▶ Mikrowellenunterstütztes Brennen und Mikrowellentrockner,
- ▶ Neuartiges Trocknungssystem für feuerfeste Produkte,
- ▶ Weitergehende Prozessabwasserbehandlung mit integrierter Glasurrückgewinnung,
- ▶ Bleifreies Glasieren von hochwertigem Tafelgeschirr.

Die beschriebenen Techniken zum Brennen und Trocknen können neben erheblichen Energieeinsparungen auch zur Reduktion des Ausschusses während dieser Prozesse beitragen. Mit Hilfe der beschriebenen Prozessabwasserbehandlung inklusive integrierter Glasurrückgewinnung können durch die optimierte interne Kreislauflührung und Wiederverwendung Rohstoffe eingespart werden und die Abfallmenge deutlich reduziert werden.

Bei der Verwendung von bleifreien Glasuren kann zum einen der Einsatz von bleihaltigen Rohstoffen vermieden und zum anderen die Wiederverwendungsmöglichkeiten der Bruchware erhöht werden, da kein Eintrag von Blei in andere Produktsysteme mehr stattfindet.

9.6 Zusammenfassung

Das BVT-Merkblatt 2007 enthält bereits einige Vorgaben und Empfehlungen im Hinblick auf die Erhöhung der Material- und Energieeffizienz. Am ausführlichsten werden dabei Maßnahmen zur Substitution von Rohstoffen durch die Kreislauflührung von Rohware, Bruch und aufbereiteten Abfällen beschrieben.

Aufgrund der Vielfältigkeit der eingesetzten Rohstoffe und produzierten Produkte sind die meisten Maßnahmen allgemein beschrieben, ohne spezifische Zielgrößen. Nur im Bereich der Prozessabwässer und Wiederverwertung von Schlämmen werden für einige Sektoren spezifische Kenngrößen als BVT formuliert (z.B. für Boden- und Wandfliesen).