



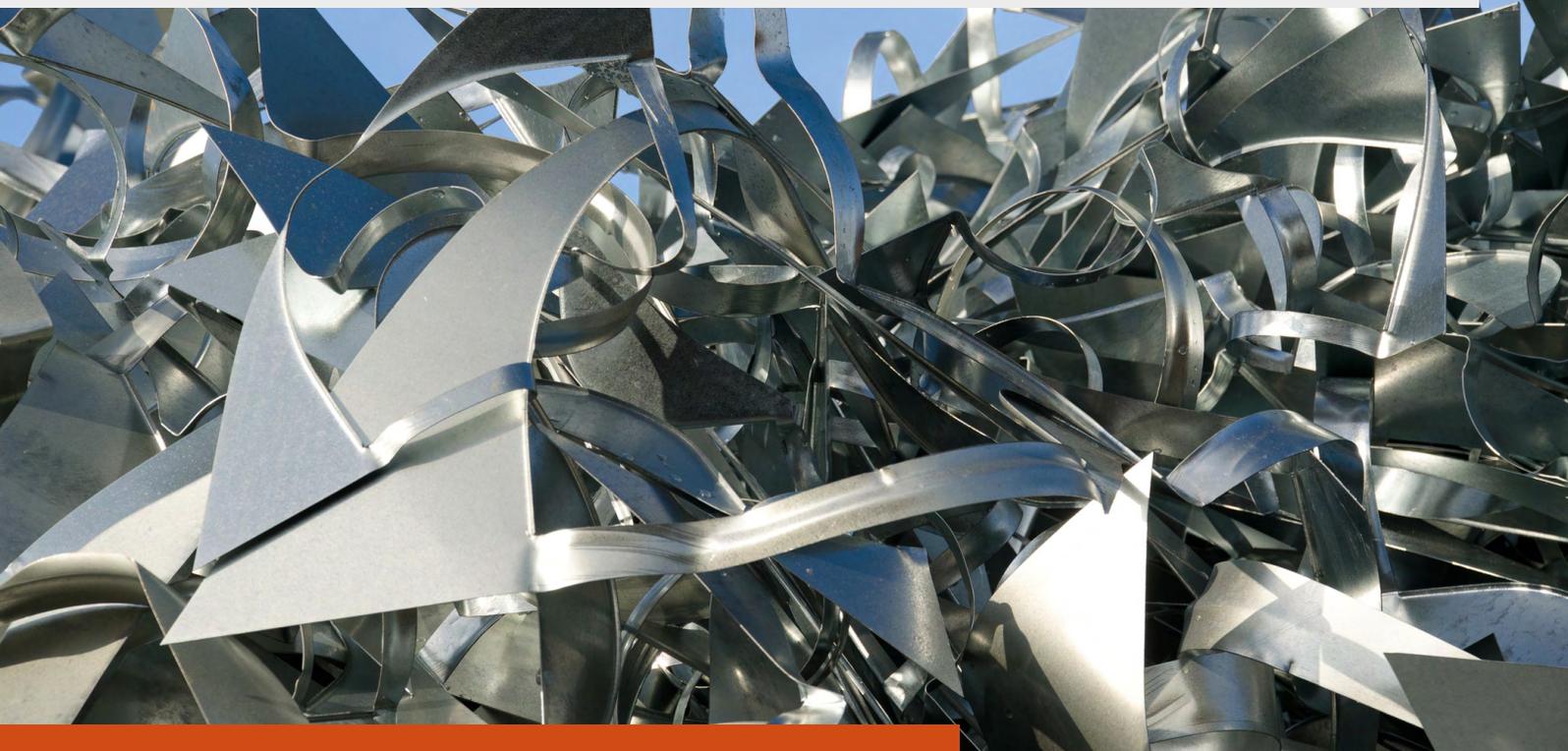
Deutsche
Rohstoffagentur

58 DERA Rohstoffinformationen

**Abschlussbericht
Dialogplattform Recyclingrohstoffe**



**Steckbrief
Keramische Rohstoffe (Feuerfestkeramik)**



Bundesanstalt für
Geowissenschaften
und Rohstoffe

www.deutsche-rohstoffagentur.de
www.bgr.bund.de

Impressum

Herausgeberin:

Deutsche Rohstoffagentur (DERA) in der
Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR)
Wilhelmstraße 25–30
13593 Berlin

Leitung des Unterarbeitskreises Keramische Rohstoffe (Feuerfestkeramik) der Dialogplattform Recyclingrohstoffe:

Dr. Elke Steinle
Leiterin Umweltschutz/Arbeitsschutz/Energie, Deutsche Feuerfest-Industrie e. V.

Prof. Dr. Olaf Krause
Prodekan, Werkstofftechnik Glas und Keramik, Hochschule Koblenz

Projektkoordination:

Bookhagen B. (DERA), Mählietz P. (DERA), von Wittken R. (acatech), Akinic S. (acatech)

Kontakt:

Deutsche Rohstoffagentur (DERA) in der
Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR)
Wilhelmstraße 25–30
13593 Berlin
Tel.: +49 30 36993 226
www.deutsche-rohstoffagentur.de
recycling@bgr.de

Bildnachweise: © Petair/stock.Adobe.com

Layout: deckermedia GbR, Rostock

Zitierhinweis: DERA – Deutsche Rohstoffagentur in der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (2023): Abschlussbericht der Dialogplattform Recyclingrohstoffe. – DERA Rohstoffinformationen 58: 243 S., Berlin.

Datenstand: August 2023

doi: 10.25928/0rm7-ca79

Hinweis: Dieser Abschlussbericht des Unterarbeitskreises Keramische Rohstoffe (Feuerfestkeramik) wurde im Rahmen der Dialogplattform Recyclingrohstoffe erstellt, die von Juni 2021 bis Juni 2023 im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK) durch die Deutsche Rohstoffagentur (DERA) in der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR) – Deutsche Akademie der Technikwissenschaften koordiniert wurde.

Inhaltsverzeichnis

Überblick Dialogplattform Recyclingrohstoffe	4
1. Steckbrief – Keramische Rohstoffe (Feuerfestkeramik)	5
1.1 Beschreibung relevanter Stoffströme, Wertschöpfungsketten, und Anwendungskontexte	6
1.2 Barrieren im Recycling	9
1.3 Handlungsoptionen	11
1.4 Machbarkeit und Zielkonflikte	13
1.5 Nächste Schritte	15
2. Literaturverzeichnis	17

Überblick Dialogplattform Recyclingrohstoffe

Die Bundesregierung hat in ihrer Rohstoffstrategie 2020 (Bundesregierung 2020) mit Maßnahme 13 festgelegt, den Beitrag von Sekundärrohstoffen¹ (Recyclingrohstoffen) für die Versorgungssicherheit Deutschlands mit mineralischen Rohstoffen zu stärken. Das Recycling stellt neben der Rohstoffgewinnung aus heimischem Bergbau und dem Rohstoffimport eine wichtige Säule in der nationalen Rohstoffversorgung dar.

Um mit den Akteuren aus Wirtschaft, Wissenschaft, Verwaltung und Zivilgesellschaft entlang der gesamten Wertschöpfungskette in den Bereichen Metalle und Industriemineralien zu den Möglichkeiten einer gezielten Stärkung des Recyclings in den Dialog zu treten, wurde mit der Dialogplattform Recyclingrohstoffe ein entsprechendes Austauschformat geschaffen. Übergeordnetes Ziel des Dialogprozesses war es, gemeinsam mit den Teilnehmenden Handlungsoptionen zu erarbeiten, die Hürden zur Schließung von Rohstoffkreisläufen abbauen und den Beitrag der Sekundärrohstoffe zur Rohstoffversorgung und zum Klimaschutz zukünftig weiter erhöhen.

Vor dem Hintergrund dieser Zielstellung beauftragte das Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK) die Deutsche Rohstoffagentur (DERA) in der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR) mit der Durchführung dieses Dialogs. Gemeinsam mit acatech – Deutsche Akademie der Technikwissenschaften wurde im Zeitraum Juni 2021 bis Juni 2023 der Dialogprozess koordiniert. Insgesamt wurden im Zeitraum der Durchführung des Dialogprozesses 32 Arbeitssitzungen durchgeführt, wobei in Summe über 380 Personen am Dialog teilnahmen.

Die Ergebnisse aus den Unterarbeitskreisen der beiden Arbeitskreise Metalle und Industriemineralien bilden den inhaltlichen Kern des vollzogenen Dialogprozesses und werden in Steckbriefen beschrieben. So liegen für den Arbeitskreis Metalle detaillierte Steckbriefe für die Stoffströme Aluminium, Eisen und Stahl, Kupfer sowie Technologiemetalle vor. Der Arbeitskreis Industriemineralien umfasst detaillierte Steckbriefe für die Stoffströme Baurohstoffe, Gips, Keramische Rohstoffe (Feuerfestkeramik) sowie Industrielle Reststoffe und Nebenprodukte.

Alle erarbeiteten Steckbriefe folgen dabei dem gleichen Aufbau und umfassen aufeinander aufbauende Kapitel, in denen der jeweilige Stoffstrom beschrieben, Barrieren für das Recycling identifiziert, Handlungsoptionen beschrieben, deren Machbarkeit und mögliche Zielkonflikte diskutiert und nächste Schritte in der Umsetzung skizziert werden.

Dieser Steckbrief Keramische Rohstoffe (Feuerfestkeramik) ist ein Auszug auf dem gesamten Abschlussbericht der Dialogplattform Recyclingrohstoffe und beinhaltet nur die erarbeiteten Ergebnisse aus dem Unterarbeitskreis Keramische Rohstoffe (Feuerfestkeramik). Für detaillierte Ausführungen zu Metallen und Industriemineralien lesen Sie bitte die Gesamtversion des Abschlussberichts, zu finden unter www.recyclingrohstoffe-dialog.de. Abbildung X gibt einen Überblick zum Aufbau des vorliegenden Unterarbeitskreises und fasst die entwickelten Handlungsoptionen kurz zusammen.

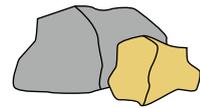
¹ Die beiden Begrifflichkeiten Sekundärrohstoffe und Recyclingrohstoffe werden im folgenden Text synonym verwendet. Insbesondere auf EU-Ebene und in Anlehnung an die englische Verwendung wird erster Begriff verwendet. Aufgrund seiner positiven Konnotation wird hier jedoch der Begriff Recyclingrohstoffe bevorzugt, da „Sekundär“ oft mit einer minderwertigen, weil zweitrangigen Bedeutung verbunden wird.

1. Steckbrief – Keramische Rohstoffe (Feuerfestkeramik)

Keramische Rohstoffe (Feuerfestkeramik)

Unterarbeitskreis-Leitung (Autoren):

Dr. Elke Steinle (Deutsche Feuerfest-Industrie e. V.)
Prof. Dr. Olaf Krause (Hochschule Koblenz)



UAK-Übersicht



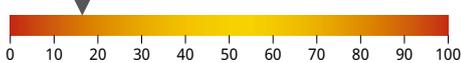
24 Beteiligte



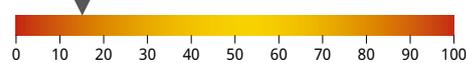
24 % Einzelunternehmen
34 % Wissenschaft
10 % Behörde
24 % Verbände
7 % Zivilgesellschaft



Anzahl **Barrieren**



Anzahl **Lösungsvorschläge**



Themenbereiche der identifizierten Handlungsoptionen



#1 Abfall- zu Recyclingrecht

#2 Abfallverbringung

#3 Ende der Abfalleigenschaft

#4 Genehmigungsverfahren

#5 Sortenreiner (selektiver) Ausbau

#6 Design for Recycling

#7 Konkurrenzfähigkeit

Präambel

Der UAK Keramische Rohstoffe fokussiert sich auf Feuerfestkeramiken. Mineralische Baurohstoffe, das heißt Boden und Steine, Bauschutt (Fliesen, Ziegel, Sanitärkeramiken), Straßenaufbruch und Baustellenabfälle werden im UAK Baurohstoffe behandelt. Zudem wird der weitere Fokus auf feuerfeste Abfälle aus der Stahlindustrie gelegt, da dort rund 60 – 65 % der feuerfesten Produkte verwendet werden. Auch bei einer ausschließlichen Betrachtung der feuerfesten Abfälle, die in der Stahlindustrie generiert werden, kann man nicht nur von einem Stoffstrom sprechen, da die verwendeten feuerfesten Produkte, je nach Anwendung, auf einer unterschiedlichen Rohstoffbasis beruhen. Eine Vermischung verschiedener feuerfester Abfälle aus einer Verwenderbran-

che, zum Beispiel der Stahlindustrie, schränkt die Wiederverwendung für feuerfeste Produkte ein oder macht sie unmöglich.

1.1 Beschreibung relevanter Stoffströme, Wertschöpfungsketten und Anwendungskontexte

Definition und Einteilung

Feuerfeste Werkstoffe sind grobkeramische Produkte, die definitionsgemäß (DIN EN 993-12/ISO 528) in „feuerfest“ und „hochfeuerfest“ eingeteilt werden.

Tab. 1: Überblick Stoffstrom Feuerfestkeramik (Referenzrahmen Deutschland 2020)

Stoffströme	Menge [t]	Quelle
UAK Feuerfestkeramik (Referenzjahr 2020)		
... aus metallurg. Prozessen Kohlenstoffbasis (AVV 161101*)	11.700	(DESTATIS 2023)
... aus metallurg. Prozessen Kohlenstoffbasis (AVV 161102)	1.900	(DESTATIS 2023)
... aus metallurg. Prozessen (AVV 161103*)	60.000	(DESTATIS 2023)
... aus metallurg. Prozessen (AVV 161104)	462.900	(DESTATIS 2023)
... aus nichtmetallurg. Prozessen (AVV 161105*)	16.200	(DESTATIS 2023)
... aus nichtmetallurg. Prozessen (AVV 161106)	51.800	(DESTATIS 2023)

*Gefährlicher Abfall

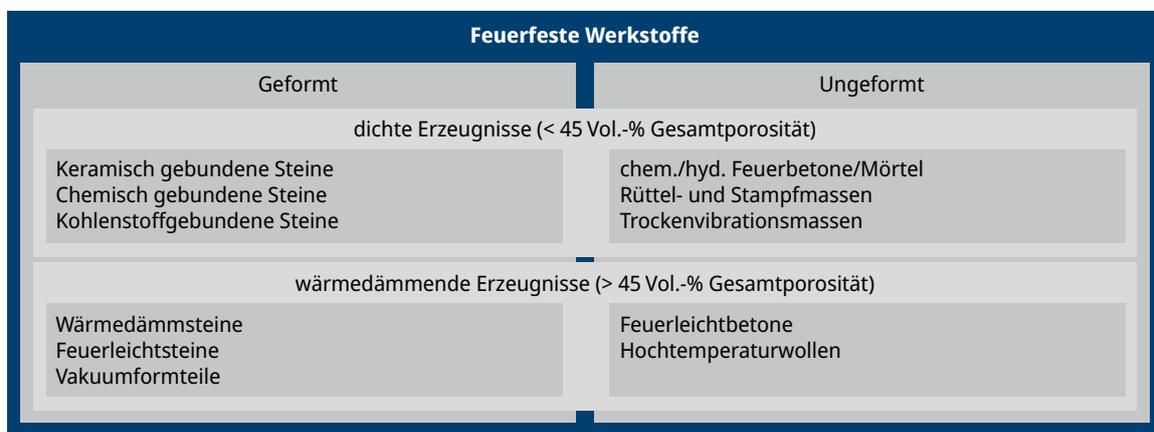


Abb. 1: Einteilung feuerfester Werkstoffe (KRAUSE 2022)

Feuerfeste Werkstoffe werden anhand ihrer mineralischen Komponenten und ihrer Anwendungsart unterschieden und in der Normungsreihe DIN EN ISO 11081 Teile 1 bis 4 stofflich spezifiziert. So werden sowohl gebrannte oder getemperte Produkte von den sogenannten ungeformten Produkten unterschieden, wobei letztere genauer in DIN EN ISO 1927 Teil 1 näher spezifiziert werden.

Die Unterscheidung von feuerfesten Werkstoffen erfolgt durch die

1. Einteilung nach Produkten und Werkstoffgruppen
2. Verwendung für Wärmedämmung und Prozessstabilisierung.

Bei der Einteilung nach Werkstoffen erfolgt die Unterteilung in geformte und ungeformte feuerfeste Werkstoffe, welche sich anhand der Gesamtporosität nochmals in dichte und wärmedämmende Werkstoffe unterteilen lassen (ROUTSCHKA & WUTHNOW 2017).

Je nach Anwenderbranche und konkretem Einsatzgebiet werden feuerfeste Produkte mineralogisch, chemisch und gefügekundlich (Korngrößenverteilung, unterschiedliche Rohstoffe, Binder, chemische Zusammensetzung in den Kornfraktionen) für die jeweilige Verwendung in den verschiedenen Produktionsprozessen designt. So ergeben sich rund 30.000 verschiedene Produkte, die sich grob in geformte und ungeformte Produkte klassifizieren lassen.

Feuerfeste Produkte bestehen aus Rohstoffen, die sich ihrerseits durch einen hohen Widerstand gegenüber hohen Temperaturen und möglichst inert gegenüber den Wechselwirkungen mit den anwendungsspezifischen Prozessmedien (fest, flüssig, gasförmig) verhalten. Die Rohstoffe werden in einer Korngröße von 6 Millimetern (bisweilen auch 12 Millimetern) bis in Fraktionen kleiner als 63 Mikrometer eingesetzt. Die Korngröße wird so abgestimmt, dass typischerweise ein möglichst dichtes Gefüge (Gesamtporosität

circa 12 – 25 Vol.-%) erzeugt werden kann. Die eingesetzten Rohstoffe (wie zum Beispiel Magnesia, Doloma, Korund (Tonerde), Mullit, Spinell, Andalusit, Ton, Schamotte, SiO_2 , Zirkon, Zirkonoxid, Kohlenstoff, Chromit, MA-Spinell, Forsterit und SiC) werden je nach Einsatzgebiet in der Anwenderbranche gezielt ausgewählt, wobei bis zu fünf verschiedene Rohstoffe in einem Produkt zum Einsatz kommen können, die sich oftmals über die gesamte Korngrößenverteilung verteilen. Durch den thermischen Produktionsprozess (Brand, Temperung geformter Erzeugnisse) und durch die Verwendung in der Anwenderbranche, verändern sich die feuerfesten Werkstoffe, wobei die Matrixkomponenten in der Regel versintern (Kornvergrößerung, gegebenenfalls auch Schmelzbildung, Änderung der physikalischen, technologischen Eigenschaften). Hierbei können je nach Produkt auch neue mineralische Phasen entstehen, wie beispielsweise MA-Spinell oder Mullit. Um den Anforderungen der Produktionsprozesse in der Anwendungsindustrie gerecht zu werden, müssen in deren Produktionsanlagen immer verschiedene feuerfeste Produkte (zum Beispiel Arbeitsfutter, Dauerrfutter, Wärmedämmung) eingebaut werden.

In ihrer Anwendung müssen feuerfeste Produkte sehr extreme Bedingungen aushalten und werden spezifisch für die jeweilige Anwendung entwickelt. Hervorzuheben sind die hohen Temperaturen bis zu 2000 °C, bei denen die mechanische Stabilität (Raumbeständigkeit) erhalten bleiben muss. Zudem werden feuerfeste Produkte in den meisten Fällen stark korrosiv wirkenden Medien ausgesetzt, die fest (tribomechanische Belastung), flüssig (Metallschmelzen, Schlacken, Säuren) oder gasförmig (Alkalidämpfe, Schwefel, Flour, CO/CO_2) sein können. In periodisch betriebenen Anlagen kommt zudem noch eine hohe thermomechanische Belastung hinzu, indem das Material um bis zu 1000 K auf oder abgeschockt wird. Die Verbesserung der Temperaturwechselbeständigkeit ist unter anderem ein zentrales Entwicklungsziel, was durch die gezielte Mischung von Rohstoffen erreicht wird.

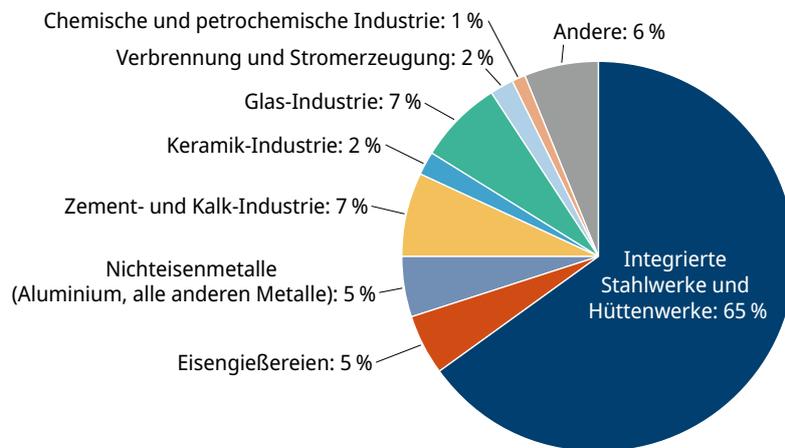


Abb. 2: Verbrauch von feuerfesten Werkstoffen nach Abnehmer-Industrien (PRE 2021)

Produktion und spezifischer Verbrauch

Im Jahr 2021 hat die Feuerfestindustrie in Deutschland 1,3 Millionen Tonnen feuerfeste Produkte erzeugt. Feuerfeste Produkte sind unabdingbar für die Produktion aller Werkstoffe und Produkte, die zu ihrer Herstellung Temperaturen zwischen 600 und 2000 °C benötigen, wie beispielsweise Stahl, Buntmetalle, Aluminium, Glas, Keramik, Beton, chemische und petrochemische Industrie, Energiegewinnung, thermische Abfallverwertung, Textilien und Papier (vgl. Abbildung 2).

Die Verteilung des branchentypischen Materialverbrauchs (Abbildung 2) ergibt sich aus dem für die Prozesse typischen spezifischen Feuerfestverbrauch, der sehr unterschiedlich sein kann. Beispielhaft ergeben sich für die nachfolgend genannten Aggregate und Bauteile folgende Nutzungsdauern:

- Koksofen: 25 Jahre
- Hochofen: 10 – 15 Jahre
- Glaswanne: 10 Jahre
- Zement, Wärmetauscher: 3 Jahre
- Zementdrehrohröfen (Sinterzone): 1 – 2 Jahre
- Roheisenmischer: 2 Jahre
- Konverter: 1 – 3 Monate
- Stahlpfanne: 1 – 4 Wochen
- Induktionstiegelöfen Bronzeguss: 1 – 2 Wochen
- Schieber, Eintauchausgüsse: 4 – 8 Stunden

Ausgehend vom branchenspezifischen Materialbedarf und der davon abhängenden Nutzungsdauer, ist die roheisen- und stahlproduzierende Industrie der Hauptabnehmer feuerfester Produkte und damit auch als größter Verursacher von genutzten feuerfesten Materialien, sogenannten Ausbruchmaterialien zur Rezyklatgewinnung identifizierbar, gefolgt von der Zement- und Glasindustrie. Ein nicht geringer Teil der deutschen Feuerfestproduktion verlässt den europäischen Binnenmarkt.

Recycling feuerfester Produkte nach der Anwendung

Nach der Verwendung feuerfester Produkte in der Anwender-Industrie werden die feuerfesten Produkte ausgebrochen, wobei nicht das gesamte Material wieder in den Kreislauf zurückgeführt werden kann. Zum einen wird es durch den Prozess beim Anwender verbraucht (zum Beispiel in der Stahlherstellung aufgeschlackt), zum anderen wird der noch vorhandene Teil durch die Prozessmedien verunreinigt (infiltriert). Letzterer kann nicht für feuerfeste Anwendungen weiter rezykliert werden und wird in aller Regel entsorgt oder in anderen Branchen weiterverwendet. Somit ist nur ein Teil des Ausbruchmaterials für feuerfeste Anwendung weiter verwendbar.

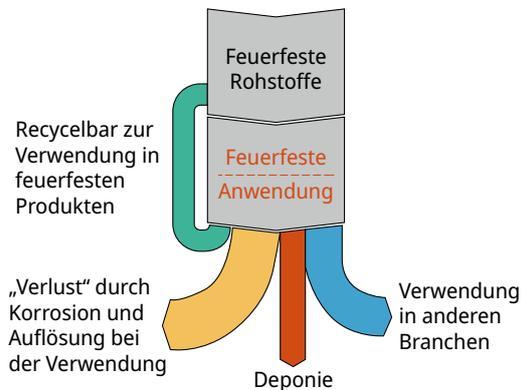


Abb. 3: Anteil einer möglichen Rezyklierbarkeit von feuerfesten Produkten nach der Anwendung (PRE 2002)

Der rezyklierbare Anteil fällt in der Anwender-Industrie nicht sortenrein an (verschiedene Produkte in einer Produktionsanlage) und muss aufwendig sortiert werden, nachdem die verunreinigte Materialseite mechanisch entfernt wurde. Abbildung 30 zeigt beispielhaft einen Prozess zur Aufbereitung von feuerfesten Ausbruchmaterialien beziehungsweise feuerfesten Abfällen.

Das Recycling von feuerfesten Abfällen ist durch den Aufbereitungsprozess und den hohen Sortier- und Analyseaufwand kostenintensiv. Recycelte Rohstoffe finden nur dann einen Absatz, wenn deren Preis unterhalb des Preises der günstigsten Primärrohstoffe liegt.

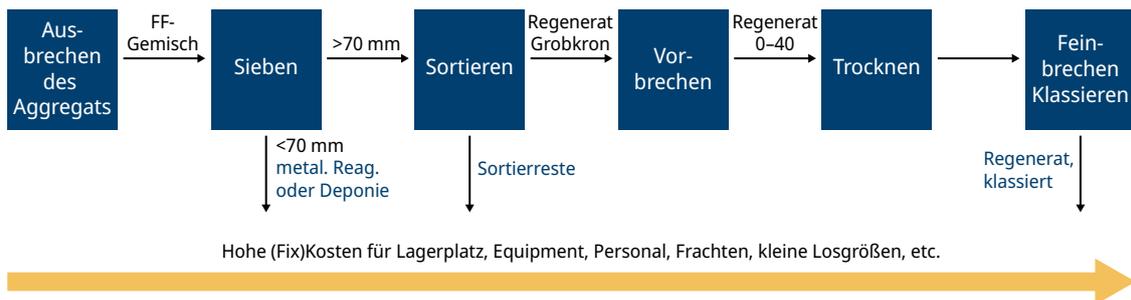


Abb. 4: Grober Ablauf des Recyclings von Feuerfest-Ausbrüchen (SASSEN 2022)

1.2 Barrieren im Recycling

Im Folgenden findet sich eine Auflistung der durch die Teilnehmenden des UAK identifizierten Barrieren.

Regulatorik

Stoffstrom	Barriere
Feuerfester Ausbruch (Abfall)	Der Transport von Abfall über Staatsgrenzen ist komplex und mit hohem bürokratischem Aufwand verbunden (Abfallverbringungsrecht (VVA))
	Die direkte Verwendung von Abfall bei der Herstellung von feuerfesten Produkten ist mit einer aufwendigen Genehmigung verbunden
	Es existieren keine einheitlichen Regelungen innerhalb der europäischen Mitgliedsstaaten (im Rahmen der Abfallrahmenrichtlinie) zum Ende der Abfalleigenschaft

Regulatorik

Stoffstrom	Barriere
Feuerfester Ausbruch (Abfall)	Die Deklaration von Feuerfestausbruch (inhomogen) in (nicht) gefährlichen Abfall erfolgt durch Abfallerzeuger (Eluat, Schwermetallen etc., AVV, CLP), ist jedoch sehr komplex und kann zu Widersprüchen führen
Recyclingrohstoffe (Sekundärrohstoffe)	Die fehlende einheitliche Definition des Begriffs Sekundärrohstoff kann sowohl als Abfall als auch als Recyclingmaterial interpretiert werden und bedingt eine unterschiedliche Rechtslage (zum Beispiel beim Transport über Staatsgrenzen, Stoffrecht)

Anreize und Förderung

Stoffstrom	Barriere
Abfall	Der händische und analytische Aufwand beim Rückbau und der Bewertung der Abfälle ist hoch
	Der phasenweise (je nach Marktsituation) vergleichsweise niedrige Primärrohstoffpreis erschwert die wirtschaftliche Aufbereitung von Abfällen
Feuerfeste Sekundärrohstoffe (Regenerate) allgemein	Der Einsatz von Rezyklaten wird durch manche Nutzer (grundsätzlich) abgelehnt oder nur akzeptiert, sofern der Preis wesentlich unter dem von Primärrohstoffen ist
	Sekundärrohstoffe sind (phasenweise) teuer oder werden als zu teuer betrachtet im Vergleich zu Primärrohstoffen

Daten und Digitalisierung

Stoffstrom	Barriere
Abfälle aus anderen Branchen, die potenziell in der Feuerfestindustrie als Rohstoff eingesetzt werden können	Es fehlen Information (Art, Menge und Zusammensetzung) zu Massenströmen aus unterschiedlichen Prozessbereichen, welche sich grundsätzlich als Rohstoff für die Herstellung von Feuerfestmaterial eignen (zum Beispiel Porzellan- oder Isolatorenbruch aus Keramik)
Feuerfestausbruch (Abfall)	Zur Anlagensicherheit der Anwenderbranchen sind verschiedene feuerfeste Produkte in einer Anlage erforderlich. Dies erschwert das Recycling

Technologien und Prozesse

Stoffstrom	Barriere
Feuerfestausbruch (Abfall) Stahlwerk (Sekundärmetallurgie)	Antioxidantien (AO) als Additiv im feuerfesten Produkt mindern im Recycling (MgO) sehr stark die Qualität des Recyclingrohstoffs
	Die Abtrennung von Schlacken- und Metallresten erfordert eine aufwendige händische Sortierung
Feuerfestausbruch (Abfall) Stahlwerk (Sekundärmetallurgie)	Die Deklaration von Feuerfestausbruch (inhomogen) in (nicht) gefährlichen Abfall erfolgt durch Abfallerzeuger (Eluat, Schwermetallen etc., AVV, CLP), ist jedoch sehr komplex und kann zu Widersprüchen führen
	Die Trennung des FF-Ausbruchs nach Rohstoffbasis (MgO – Al ₂ O ₃) muss gesichert werden
Feuerfestausbruch (Abfall) Zement-/Kalkwerk	Die Abtrennung von Anbackungen (Ofenansatz im Feuerfestausbruch Zement-/Kalkwerk) muss sehr sorgfältig erfolgen, damit kein beziehungsweise möglichst wenig CaO in das Rezyklat eingebracht wird, da es ansonsten nicht mehr verwendbar ist

Es lässt sich auf Basis der vorliegenden Barrieren folgendes Zwischenfazit schlussfolgern:

- **Regulatorische Herausforderungen** stellen unter Berücksichtigung von Abfallrecht, Stoffrecht, Produktrecht, Transportrecht und Abfallverbringung einen administrativen Kraftakt dar, der hinsichtlich der Stärkung des Recyclings Widersprüche beinhaltet.
- Sortierung und Trennung: **Sortenreine Trennung während des Ausbaus/Ausbruchs** von feuerfesten Abfällen ist Grundlage für die Bereitstellung recyclingfähiger Materialien. Der Aufwand für Probenahme, Analytik und Bewertung ist unter anderem aufgrund der notwendigen und mehrschichtigen Mehrkomponentenbauweise (Arbeitsfutter, Dauerfutter, Wärmedämmung) hoch.
- **Marktwirtschaftliche Anforderungen erzwingen** eine Wirtschaftlichkeit für den Einsatz von feuerfesten Rezyklat-Rohstoffen. Preis und Qualität von Primärrohstoffen im Verhältnis zu Recycling-Rohstoffen.
- Produktdesign: Der Einsatz von **Additiven**, insbesondere Antioxidantien, muss hinsicht-

lich des erschwerten Recyclings abgewogen werden.

- Regulatorische Enabler sind europäisch und global zu denken. Doch auch innerhalb Deutschlands werden einheitliche Regelungen benötigt, zum Beispiel Ende der Abfalleigenschaft, Rechtssicherheit beim **Transport** (grenzüberschreitender Transport).
- **Harmonisierung der Begrifflichkeiten.**
- Vereinfachung und Beschleunigung von **Genehmigungsverfahren.**

1.3 Handlungsoptionen

Der UAK Keramische Rohstoffe (Feuerfestkeramik) hat nach der Diskussion der Barrieren Vorschläge entwickelt, wie diese Barrieren abgebaut werden könnten. Als wesentliche „Enabler“ werden folgende sieben Lösungsansätze adressiert.

Überblick der Enabler

#1	Abfallrecht hin zum Recyclingrecht ändern
#2	Abfallverbringung vereinfachen
#3	Ende der Abfalleigenschaft europaweit rechtssicher festschreiben
#4	Vereinfachung von Genehmigungsverfahren
#5	Sortenreiner (selektiver) Ausbau
#6	Design for Recycling
#7	Konkurrenzfähigkeit von Recyclingrohstoffen verbessern

Regulatorik

Enabler #1

Abfallrecht hin zum Recyclingrecht ändern

- Regulatorische Herausforderungen stellen unter Berücksichtigung von Abfallrecht, Stoffrecht, Produktrecht einen administrativen Kraftakt dar, der hinsichtlich der Stärkung des Recyclings Widersprüche beinhaltet. Diese müssten dringend ausgeräumt werden.
- Abfallrecht zielt bisher auf Vermeidung von Gefahren ab und nicht darauf, Recycling beziehungsweise Kreislaufwirtschaft zu fördern.

Enabler #2

Abfallverbringung vereinfachen

Regulatorische Enabler sind europäisch und global zu denken. Auch innerhalb Deutschlands werden einheitliche Regelungen benötigt, zum Beispiel Ende der Abfalleigenschaft oder Rechtssicherheit beim Transport (grenzüberschreitender Transport).

- Grenzüberschreitender Transport von Abfällen ist ein administrativer Kraftakt und muss entbürokratisiert werden.

Enabler #3

Ende der Abfalleigenschaft europaweit rechtssicher festschreiben

- Das Ende der Abfalleigenschaft von Feuerfestabfall muss europaweit einheitlich in Form einer „Abfallende-Verordnung“ geregelt werden. Selbst in Deutschland innerhalb der Bundesländer gibt es keine einheitliche Vorgehensweise.

Enabler #4

Vereinfachung von Genehmigungsverfahren

- Abfallrechtliche Genehmigungen zur Behandlung von Abfällen müssen generell vereinfacht, beschleunigt (derzeit 2 – 3 Jahre), effektiver und zeitlich kalkulierbarer werden.

Technologien und Prozesse

Enabler #5

Sortenreiner (selektiver) Ausbau

- Sortenreiner (selektiver) Ausbau von gebrauchten feuerfesten Werkstoffen (Arbeitsfutter, Dauerfutter, Wärmedämmung) ist die Grundlage für die Bereitstellung recyclingfähiger Materialien.

Enabler #6

Design for Recycling

Der Einsatz von Additiven zur Verbesserung der Korrosionsbeständigkeit, insbesondere Antioxidantien, muss hinsichtlich des erschwerten Recyclings abgewogen werden.

Anreize und Förderung

Enabler #7

Konkurrenzfähigkeit von Recyclingrohstoffen verbessern

Marktwirtschaftliche Anforderungen erzwingen eine Wirtschaftlichkeit für den Einsatz von feuerfesten Rezyklat-Rohstoffen. Preis und Qualität von Primärrohstoffen stehen im ungleichen Verhältnis zu Recyclingrohstoffen.

- Ökonomisches Level-Playing-Field: Nur wenn die Kosten für den Recyclingrohstoff unterhalb der Kosten für primäre Rohstoffe liegen, existiert ein Markt für die Recyclingrohstoffe.
- Zur Förderung des Recyclings (vor allem in Zeiten geringer Primärrohstoffpreise) sollten die Deponiekosten für Abfallerzeuger für recyclingfähigen Feuerfestabfall oberhalb der Recyclingkosten sein. Gelingt durch die Einführung einer Mindestdeponiegebühr.

1.4 Machbarkeit und Zielkonflikte

In diesem Kapitel werden die Ergebnisse der Machbarkeitsdiskussion dargestellt, in welcher die erarbeiteten Lösungsansätze unter den Aspekten rechtliche, informatorische/organisatorische, technische, ökologische und sozio-ökologische Machbarkeit betrachtet und diskutiert wurden. Die aufgeführten Themen stellen damit die (subjektiven) Sichtweisen der Teilnehmenden dar. Zielkonflikte, bei denen zwei oder mehrere der oben genannten Aspekte im Widerspruch zueinanderstehen, wurden (sofern vorhanden) herausgearbeitet und separat aufgeführt.

Enabler #1

Abfallrecht hin zum Recyclingrecht ändern

☑ *Machbarkeit*

Genannte Aspekte, welche die Umsetzung behindern oder erschweren, sind vor allem:

- Komplexität der Regulatorik: Die Anforderungen an Hersteller bezüglich der gesetzlichen Vorgaben sind eine Herausforderung und vor allem für kleine und mittlere Unternehmen sowie für Kleinstunternehmen (KMU) kaum zu stemmen.
- Komplexe, nicht aufeinander abgestimmte Gesetze bezüglich Abfallrecht, Genehmigungsrecht, Stoffrecht, Produktrecht, Ökodesign, Taxonomie, Lieferkettengesetze, Trans-

portrecht und Abfallverbringung, verbunden mit aufwendigen Dokumentationspflichten.

- Die Probleme bestehen entlang der gesamten Wertschöpfungskette. Die Deklaration bestimmter recyclingfähiger Abfälle als Produkt ist ein Aspekt (siehe Enabler #2 und #3), der den gesamten Recyclingprozess wesentlich erleichtern würde:
 - ▶ Keine Erlaubnis beziehungsweise Anzeige für den Transport notwendig.
 - ▶ Kein aufwendiges Genehmigungsverfahren für die direkte Verwendung des Materials notwendig.
 - ▶ Keine aufwendigen Dokumentationen.
 - ▶ Rechtssicherheit zum Ende der Abfalleigenschaft.

⊗ *Zielkonflikte*

- Ein „starres“ Rechtssystem erschwert erforderliche regulatorische Anpassungen.
- Gesetzliche Voraussetzungen zum Recycling werden immer komplexer anstatt vereinfacht, zum Beispiel durch Regelungen zur grenzüberschreitenden Abfallverbringung sowie den Anforderungen nach dem Bundesimmissionsschutzgesetz sowie den nachgelagerten Verordnungen.
- Bestehende Angst vor Missbrauch, dadurch fehlender Wille durch die Gesetzgeber, Vereinfachungen einzuführen.

Enabler #2

Abfallverbringung vereinfachen

☑ *Machbarkeit*

Genannte Aspekte, welche die Umsetzung behindern oder erschweren, sind vor allem:

- Änderung (Vereinfachung) der Abfallverbringungsverordnung (VVA) bezüglich des Abfall-

transports notwendig, zumindest innerhalb der Europäischen Union:

- ▶ Erleichterungen bei der Notifizierung.
- ▶ Keine Meldungen bei den Behörden zur Durchfuhr.
- ▶ Beschleunigung des Verfahrens.
- Deklaration: Der Transport würde durch die Möglichkeit der Deklaration bestimmter, für das Recycling vorgesehener Abfälle als Produkt (und nicht als Abfall) maßgeblich vereinfacht.

⊗ Zielkonflikte

- „Starres“ Rechtssystem.
- Gesetzliche Voraussetzungen zum Recycling werden immer komplexer anstatt vereinfacht.
- Bestehende Angst zu Missbrauch, dadurch fehlender Wille durch die Gesetzgeber, Vereinfachungen einzuführen.

Enabler #3

Ende der Abfalleigenschaft europaweit rechtssicher festschreiben

✔ Machbarkeit

Genannte Aspekte, welche die Umsetzung behindern oder erschweren sind vor allem:

- Ende der Abfalleigenschaft nicht rechtssicher innerhalb der Europäischen Union festgelegt.
- Deklaration des Absenderlandes zum Status als Produkt / Abfall werden innerhalb der Europäischen Union nicht immer anerkannt.

⊗ Zielkonflikt

- Unterschiedliche Kriterien und Handhabung zum Ende der Abfalleigenschaft innerhalb der Mitgliedsstaaten der Europäischen Union und innerhalb der einzelnen Bundesländer in Deutschland.

Enabler #4

Vereinfachung von Genehmigungsverfahren

✔ Machbarkeit

Genannte Aspekte, welche die Umsetzung behindern oder erschweren, sind vor allem:

- Komplexität der Antragsverfahren
- Personalkapazität in den Behörden

⊗ Zielkonflikte

- Befürchtungen, dass eine Beschleunigung und Vereinfachung der Genehmigungsverfahren zu einer Absenkung des ökologischen Schutzniveaus und zu zusätzlichen Risiken für Mensch und Umwelt führen.

Enabler #5

Sortenreiner (selektiver) Ausbau

✔ Machbarkeit

Genannte Aspekte, welche die Umsetzung behindern oder erschweren, sind vor allem:

- Händischer Ausbau: Der personelle und ökonomische Aufwand für den sortenreinen und selektiven Rückbau ist hoch und nur über Maßnahmen zur Kostendeckung realisierbar.

⊗ Zielkonflikt

- Personal- und kostenintensiv

Enabler #6

Design for Recycling

✔ Machbarkeit

Genannte Aspekte, welche die Umsetzung behindern oder erschweren, sind vor allem:

- Der Einsatz von Additiven zur Verbesserung der Korrosionsbeständigkeit, insbesondere Antioxidantien, muss hinsichtlich des erschwerten Recyclings abgewogen werden.

⊗ **Zielkonflikt**

- Anlagensicherheit und Arbeitssicherheit: Aufgrund der Anlagensicherheit und zum Schutz der Arbeitnehmenden muss sehr sorgfältig abgewogen werden, ob ein Verzicht von Antioxidantien in den Produkten möglich ist.

Enabler #7

Konkurrenzfähigkeit von Recyclingrohstoffen verbessern

☑ **Machbarkeit**

Genannte Aspekte, welche die Umsetzung behindern oder erschweren, sind vor allem:

Deponierungskosten zu gering:

- Deponierung für Abfallerzeuger (zum Beispiel bei niedrigen Primärrohstoffpreisen) kostengünstiger als das Recycling.
- Deponiekosten verteuern für Abfälle, die recyclingfähig sind.
- Einführung einer Mindestdeponiegebühr.

⊗ **Zielkonflikte**

- „Staatlicher Eingriff“ in den Markt, zur Erhöhung der Deponiekosten.
- Erhöhung der Deponiegebühren könnte zu einer Zunahme illegaler Abfallverbringung führen.

1.5 Nächste Schritte

Das Recycling von feuerfesten Materialien erfordert Fachkenntnisse über die Zusammensetzung von feuerfesten Werkstoffen. Über diese Fachkenntnisse verfügen auf feuerfeste Materialien spezialisierte Recyclingfirmen sowie die Hersteller von feuerfesten Produkten.

Die Preise für feuerfeste Rohstoffe sind sehr schwankend und vor allem in Zeiten niedriger Primärrohstoffpreise stagniert das Recycling von feuerfesten Materialien aufgrund der Wirt-

schaftlichkeit. Aus Kostengründen werden in diesen Zeiten gebrauchte feuerfeste Materialien von den Nutzerinnen und Nutzern (Abfallerzeuger) eher der Deponierung zugeführt und nicht dem Recycling.

Eine **kurzfristige Handlungsoption**, um das Recycling zu stärken, wäre, die Deponiekosten zu verteuern zum Beispiel durch die Einführung einer Mindestdeponiegebühr für gebrauchte feuerfeste Materialien, die recycelbar sind. Die Einführung einer Primärrohstoffsteuer wäre kontraproduktiv und würde zu einer Verlagerung der Produktion aus Deutschland führen.

Das existierende Abfallrecht ist historisch gewachsen und ist unzureichend auf die physische Kreislaufführung, das heißt Recycling, ausgelegt. Das Misstrauen von Politik und Verwaltung, dass Abfälle nicht korrekt behandelt beziehungsweise entsorgt werden, ist sehr groß.

Der **größte positive Einfluss auf das Recycling** von gebrauchten feuerfesten Materialien wäre, wenn das Recyclingrecht vom Abfallrecht entkoppelt würde und nur noch solche Materialien als Abfall betrachtet würden, die nicht recyclingfähig sind, zum Beispiel durch eine „Positiv“-Liste für gebrauchte Materialien (Abfälle), die dann nicht dem Abfallrecht unterliegen. Negative Auswirkungen auf das Recycling von gebrauchten feuerfesten Materialien haben vor allem die unterschiedlichen Regelungen/Auslegungen der Gesetze zur Deklaration von Abfall, der Abfallverbringung, zum Ende der Abfalleigenschaft innerhalb den europäischen Mitgliedsstaaten sowie auch innerhalb der einzelnen Bundesländer. Dies führt zu sehr aufwendigen Verfahren sowie zu keiner Rechtssicherheit für Firmen.

Notwendige Schritte für **Politik und Verwaltung** sind:

- Schaffung von Rechtssicherheit.
- Einheitliche Regelungen innerhalb der Europäischen Union.
- Einheitliche Regelungen/Auslegung innerhalb der einzelnen Bundesländer.
- Vereinfachung der Abfallverbringung innerhalb der Europäischen Union.
- Vereinfachung und Beschleunigung von Genehmigungsverfahren.

Notwendige Schritte für die **Industrie und Wirtschaft** sind:

- Änderungen im Produktdesign zur Eliminierung von Antioxidantien aus feuerfesten Produkten.
- Sortenreiner Ausbau/Ausbruch von feuerfesten Materialien.

Notwendige Schritte für **Wissenschaft und Forschung** sind:

Systematische Forschung bezüglich der Auswirkungen von Verunreinigungen auf

- die Feuerfestigkeit/Thermomechanische Verhalten
- die Verarbeitungseigenschaften (ungeformte Erzeugnisse, Ionenlöslichkeit)
- die Recyclingfähigkeit nach mehreren Lebenszyklen

Machbarkeitsstudien für gegebenenfalls ein Upcycling von Feuerfestausbuch

2. Literaturverzeichnis

BUNDESREGIERUNG DEUTSCHLAND (2020): Rohstoffstrategie der Bundesregierung. – URL: <https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Artikel/Industrie/rohstoffstrategie-bundesregierung.html> (Stand: 17.10.2022).

DESTATIS – STATISTISCHES BUNDESAMT (2023): Abfallentsorgung: Deutschland, Jahre, Anlagenart, Abfallarten. – URL: <https://www-genesis.destatis.de/genesis//online?operation=table&code=32111-0002&bypass=true&levelindex=0&levelid=1683535748911#abreadcrumb> (Stand: 10.05.2023).

KRAUSE, O. (3.2.2022): Vielfalt feuerfester Werkstoffe. Impulsvortrag.

ROUSCHKA, G. & WUTHNOW, H. (2017): Praxishandbuch Feuerfeste Werkstoffe. Aufbau – Eigenschaften – Prüfung. Vulkan Verlag. Essen. ISBN: 3802731689.

SASSEN, K.-J. (3.2.2022): Barrieren beim Recycling feuerfester Reststoffe. Impulsvortrag.

THE EUROPEAN REFRACTORIES PRODUCERS FEDERATION (2002): Management of Refractories in Europe – Reuse, Recycling and Waste Treatment. – URL: <http://www.pre.eu/> (Stand: 22.08.2023).

THE EUROPEAN REFRACTORIES PRODUCERS FEDERATION (2021): PRE Statistics 2021. – URL: <http://www.pre.eu/statistics>.

Deutsche Rohstoffagentur (DERA) in der
Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR)
Wilhelmstraße 25–30
13593 Berlin

dera@bgr.de

