



**Recy &
DepoTech 2022**

Der induktive Inline-Ofen für Recycling und Verwertung mineralischer Abfälle und Reststoffe

www.ibe.at

**IBE
IBE**

Die IB Engineering GmbH (IBE) ist auf die Technologie des Schmelzens elektrisch nichtleitender Materialien im induktiv beheizten Durchlaufofen spezialisiert.

Schwerpunkte:

- Herstellung von Dämmstoffprodukten aus Mineralwolle
- Verwertung mineralischer Abfälle und Reststoffe
 - Abfallfreie Herstellung von Mineralwolleprodukten
 - Inertisierung/Verglasung von gefährlichen Abfällen
- Erzeugung von Zwischenprodukten, wie z.B. Fritten für die Glasherstellung



Bau- Abbruchsektor

Grob geschätzt, fallen in der EU jährlich 2,5 Millionen t KMF-Abfälle an.

Quelle: Väntsi O., Kärki T. (2014): Mineral wool waste in Europe: a review of mineral wool waste quantity, quality, and current recycling methods; Journal of Material Cycles and Waste Management, Bd. 16, pp. 62-72

Produktion

Eine moderne Produktionsanlage zur Herstellung von 300.000 t/a Mineralwolleprodukten erzeugt ca. 60.000 t/a (20 %) Produktionsabfälle, welche in den Stofffluß der Produktion zurückgeführt werden.

Quelle: R. Krijgsman, M. Marsidi (2019): Decarbonisation options for the Dutch stone wool industry, PBL Netherlands Environmental Assessment Agency, Publication number 3722

Geschätzte 40 Produktionslinien zur Mineralwolle-Herstellung in der EU mit einer durchschnittlichen Kapazität von 20.000 t/a erzeugen mindestens 160.000 t/a KMF-Abfälle.

Quelle: LIFE02 ENV/FIN/000328, Paroc-WIM - Waste injection into the stone wool melting furnace (Finland)

Österreich, Bau- und Abbruchabfall

Mineralfaserabfälle mit gefahrenrelevanten Fasereigenschaften (Abfallart SN 31437)

Es wird geschätzt, daß ca. 20.000 t KMF-Abfälle pro Jahr anfallen.

Quelle: D. Vollprecht, T. Sattler et al (2019): Innovative Deponierung sowie Recycling von Mineralwolleabfällen im Bergversatz, in der Zement- und in der Mineralwolleindustrie, Mineralische Nebenprodukte und Abfälle 6, Thomé-Kozmiensky Verlag GmbH

Asbestzement und Asbestabfälle (Abfallart SN 31436, 31437)

Im Jahr 2019 betrug das Aufkommen der asbesthaltigen Abfälle rund 76.930 t.

Quelle: Die Bestandsaufnahme der Abfallwirtschaft in Österreich - Statusbericht 2021, Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie



KMF-Abfall im Bausektor

Quelle: Künstliche Mineralfaserabfälle – KMF-Abfälle ab der Baustelle, Leitfaden des Bundesministerium für Nachhaltigkeit und Tourismus, 2019



KMF-Produktionsabfälle

Quelle: Saint-Gobain, <https://circulareconomy.europa.eu/platform/en/good-practices/saint-gobains-isover-pioneer-recycling-glass-wool>

Europa

Richtlinien 1999/31/EG und 2008/98/EG: Neben der Abfallvermeidung als oberste Priorität soll die Abfallpolitik gewährleisten, dass möglichst wenig Abfälle in Deponien verbracht werden und Wiederverwendung und stoffliches Recycling den Vorzug vor der energetischen Verwertung von Abfällen haben.

Österreich

Künstliche Mineralfaserabfälle – KMF-Abfälle ab der Baustelle, Leitfaden des Bundesministerium für Nachhaltigkeit und Tourismus, 2019

Alle KMF-Abfälle aus Produkten, welche ab dem Jahr 1998 nicht von einem Mitglied der österreichischen Fachvereinigung Mineralwollindustrie hergestellt worden sind oder für die kein Nachweis der Nichtgefährlichkeit vorliegt, sind gefährliche Abfälle und aufgrund der aktuell gültigen Zuordnungskriterien der Abfallverzeichnisverordnung der Schlüsselnummer SN "Asbestabfälle, Asbeststäube" zuzuordnen. Gleiches gilt für Verbundmaterialien, die diese gefährlichen KMF enthalten (z.B. Gipsplatten mit geklebten Mineralfasermatten, mit Mineralfasern gedämmte Rohre, Sandwichpaneel mit Mineralfaserkern).

Nach der Recycling-Baustoffverordnung iVm ÖNORM B sind gefährliche KMF-Abfälle am Ort der Entstehung getrennt zu sammeln und an befugte Abfallsammler oder – behandler zu übergeben. Für die Verwertung der mineralischen Baurestmassen gelten auch KMF ohne gefahrenrelevante Eigenschaften als Störstoffe (vgl. Recycling-Baustoffverordnung). Zu diesem Zweck ist eine Trennung erforderlich.

Eine Vorbehandlung von KMF (z.B. Verpressung, Zerkleinerung und anschließende Verfestigung) ist nur mit der entsprechenden abfallrechtlichen Genehmigung zulässig.

Eine stoffliche Verwertung der KMF-Abfälle ist zulässig, wenn durch die Behandlung sichergestellt ist, dass die erzeugten Produkte keine gefahrenrelevanten Eigenschaften aufweisen. Derzeit sind für KMF-Abfälle keine geeigneten Verwertungsverfahren in Österreich bekannt.

Einzelne Hersteller bieten eine Rücknahme ihrer Mineralfasern (insb. Verschnitte) an, um diese einer stofflichen Verwertung zuzuführen.

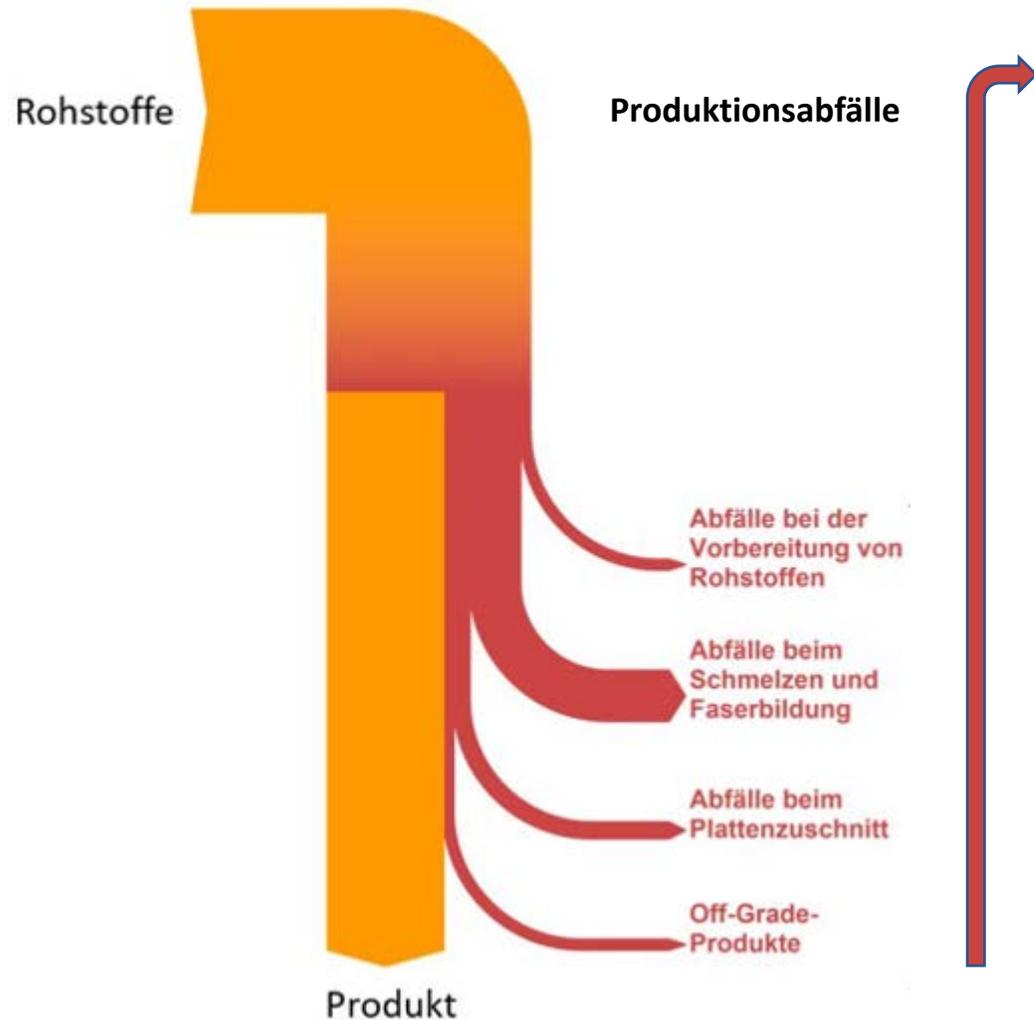
Novellierung der Deponieverordnung 2008, Verordnung 144 vom 1.4.2021

Künstliche Mineralwolleabfälle mit gefahrenrelevanten Fasereigenschaften dürfen bis zum Ablauf des 31. Dezember 2026 unter den Bedingungen des Abs. 1 abgelagert werden, künstliche Mineralwolleabfälle ohne gefahrenrelevante Fasereigenschaften dürfen bis zum Ablauf des 31. Dezember 2026 unter den Bedingungen des Anhangs 2 Kapitel 2 abgelagert werden. Zum Zweck der Revision prüft die Bundesministerin für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie bis zum Ablauf des 31. Dezember 2024 ob ausreichend nationale Recycling- oder Verwertungsmöglichkeiten für künstliche Mineralwolleabfälle etabliert sind. Auf Basis der Ergebnisse wird eine allfällig notwendige Anpassung des Datums des Inkrafttretens des Deponierungsverbots geprüft und bei Bedarf umgesetzt.

Neufassung der Abfallverzeichnisverordnung (Abfallverzeichnisverordnung 2020, Verordnung 409 vom 23.9.2020)

	SN Alt bis 2021	SN Neu ab 2022	
Mineralfaserabfälle mit gefahrenrelevanten Fasereigenschaften – künstliche Mineralfaserabfälle	31437 g	31437 41 gn	Mineralfaserabfälle mit gefahrenrelevanten Fasereigenschaften – künstliche Mineralfaserabfälle
Mineralfaserabfälle mit gefahrenrelevanten Fasereigenschaften – Steinwolle		31437 42 gn	Mineralfaserabfälle mit gefahrenrelevanten Fasereigenschaften – Steinwolle
Mineralfaserabfälle mit gefahrenrelevanten Fasereigenschaften – Glaswolle		31437 43 gn	Mineralfaserabfälle mit gefahrenrelevanten Fasereigenschaften – Glaswolle
Mineralfaserabfälle mit gefahrenrelevanten Fasereigenschaften – Mischungen aus Steinwolle und Glaswolle		31437 44 gn	Mineralfaserabfälle mit gefahrenrelevanten Fasereigenschaften – Mischungen aus Steinwolle und Glaswolle
asbesthaltiges Aushubmaterial und asbesthaltige Abfälle aus Altlasten		31436 gn	asbesthaltiges Aushubmaterial und asbesthaltige Abfälle aus Altlasten
Asbestabfälle, Asbeststäube		31437 40 gn	Mineralfaserabfälle mit gefahrenrelevanten Fasereigenschaften – Asbestabfälle, Asbeststäube

Abfallstrom bei Herstellung von Dämmstoffen aus Mineralwolle



Insgesamt mind. 20% der eingesetzten mineralischen Rohstoffe

Bestehende Recyclingverfahren

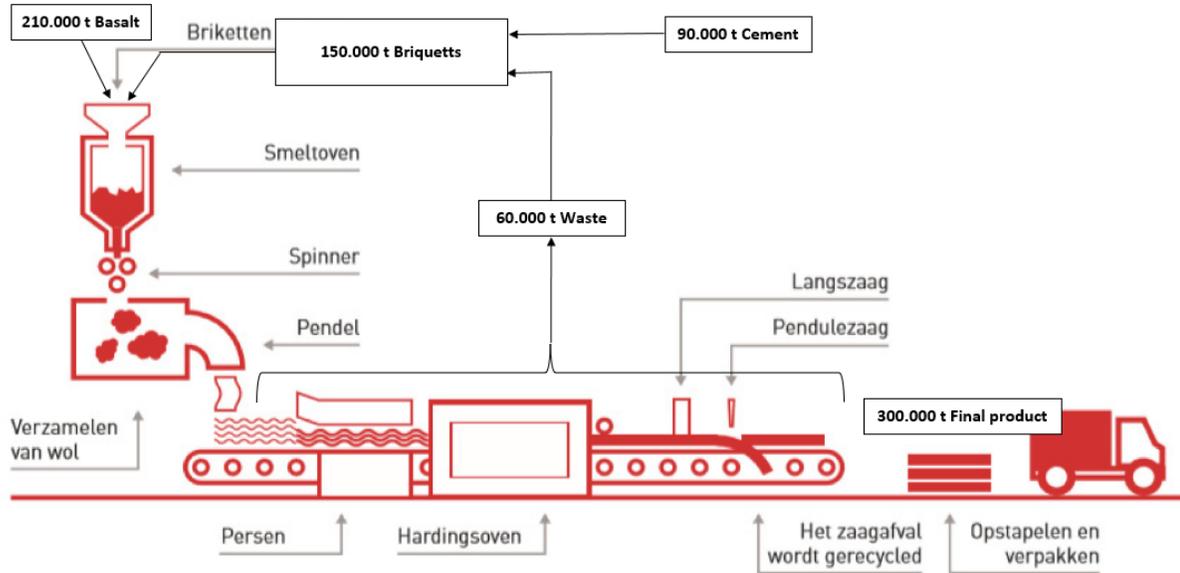
- Zerkleinerung und Brikettierung unter Zugabe von Zement
- Einblasen von zerkleinerten faserigen Abfällen in den Strom der neu erzeugten Fasern
- Einblasen von zerkleinerten Produktionsabfällen in Kupolofen

Deponierung

Weltweit gibt es nach wie vor Hersteller, welche ihre KMF-Produktionsabfälle deponieren.

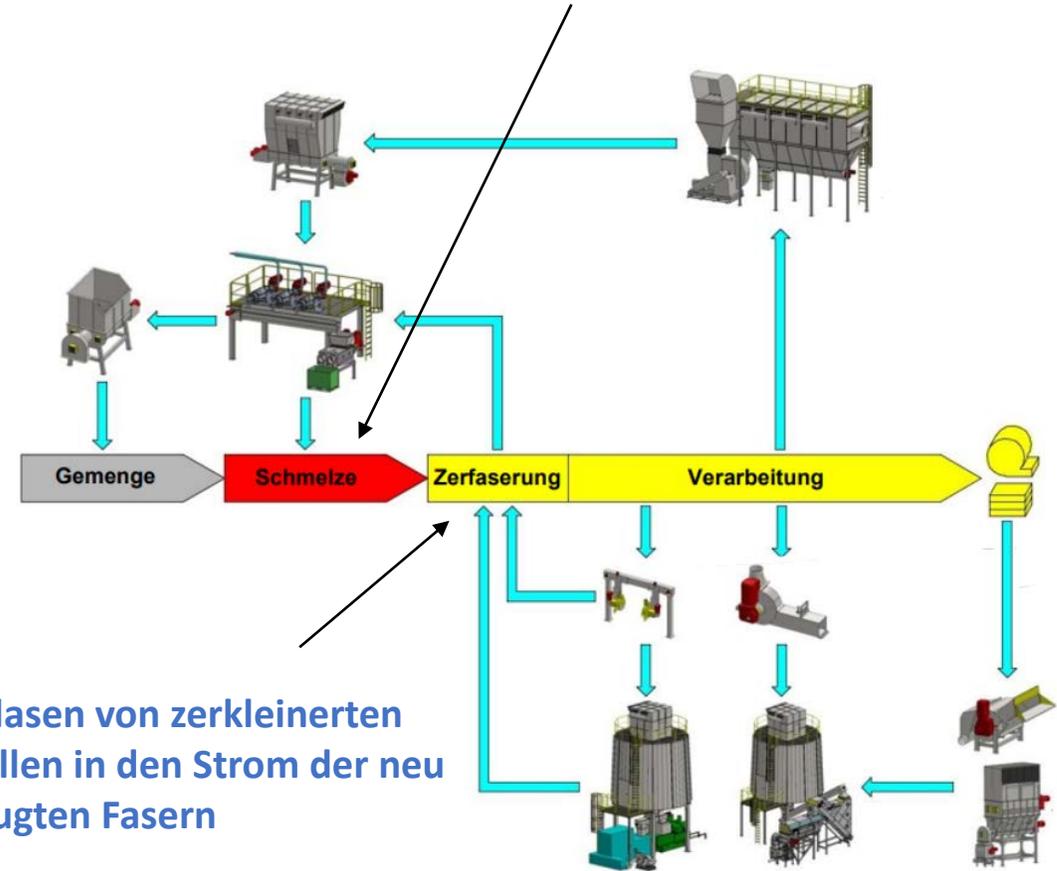
Stand der Technik

Brikkettierung



Quelle: R. Krijgsman, M. Marsidi (2019): Decarbonisation options for the Dutch stone wool industry, PBL Netherlands Environmental Assessment Agency, Publication number 3722

Einblasen von zerkleinerten Abfällen in den Kupfrolfen



Einblasen von zerkleinerten Abfällen in den Strom der neu erzeugten Fasern

Quelle: Hansek Maschinenbau GmbH, www.hansek.de

Nachteile der existierenden Verfahren:

Brikettierung mit Zement

- Kostenfaktor Zement (3-5 Mal teurer als Basaltschotter) und technischer Aufwand.
- Die Briketts (Formsteine) verursachen höhere Emissionen von Schwefeldioxyden.
- Die Festigkeit der Briketts verringert sich bei Temperaturen über 500°C.

Einblasen von zerkleinerten faserigen Abfällen in den Strom der neu erzeugten Fasern

- Die Wärmeleitfähigkeit des Dämmstoffs wird in nachteiliger Weise erhöht und die Festigkeit bei vergleichbarer Menge des eingesetzten Bindemittels verringert.

Einblasen von Produktionsabfällen in Kupolofen (PAROC-WIM-Verfahren)

- Das Verfahren wurde für die an der Zerfaserungseinheit entstehenden Abfälle, insbesondere Schlacke und Schmelzperlen (Shots) entwickelt.

Mit keinem dieser Verfahren ist es möglich, die gesamten Produktionsabfälle in den Stoffkreislauf der Produktion ohne technologische Einschränkungen und ohne Beeinträchtigung der Produktqualität zurückzuführen.



Quelle: Porr
AG

Aufgrund der Anforderungen an die Biolöslichkeit sind KMF-Abfälle aus dem Abbruchsektor als Einsatzstoff bei der Herstellung von Dämmstoffen nicht geeignet.

Forderung: $\sum (\text{Na}_2\text{O}, \text{K}_2\text{O}, \text{B}_2\text{O}_3, \text{CaO}, \text{MgO}, \text{BaO}) - 2 \times \text{Al}_2\text{O}_3 > 40$

Deponierung

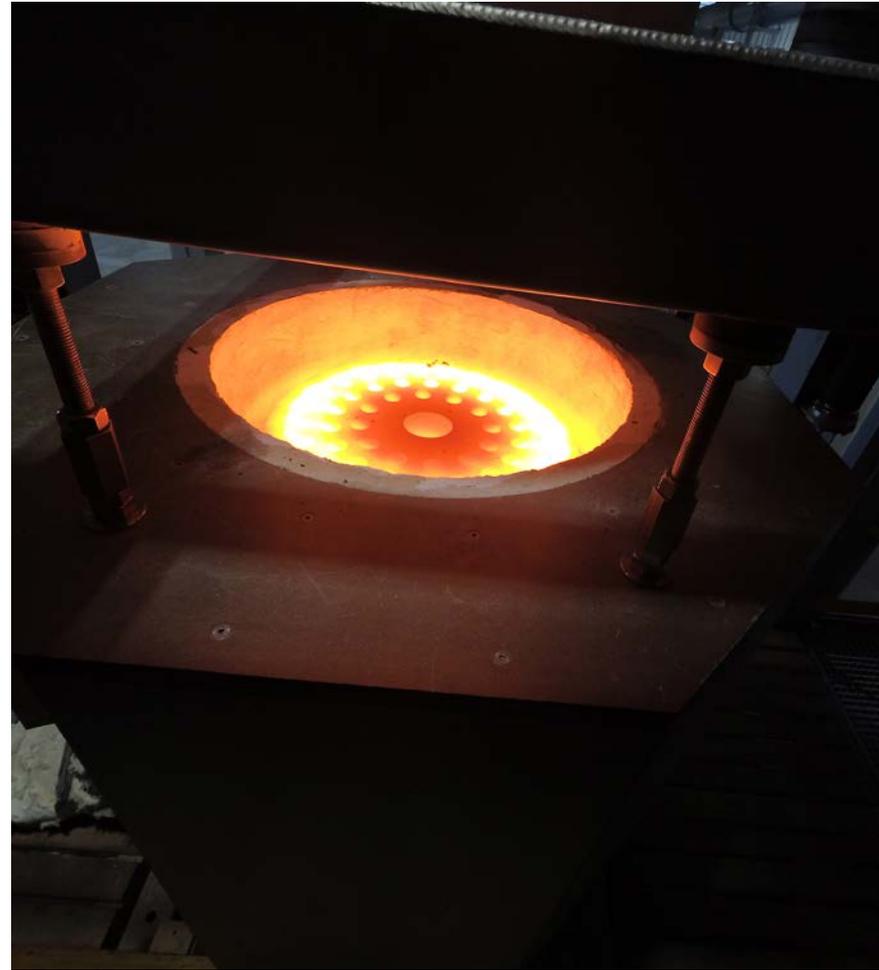
Aufgrund des nichtpraktikablen Nachweises der Ungefährlichkeit werden diese KMF-Abfälle pauschal als gefährlich eingestuft und unter den entsprechenden Schlüsselnummern für gefährliche Abfälle deponiert.

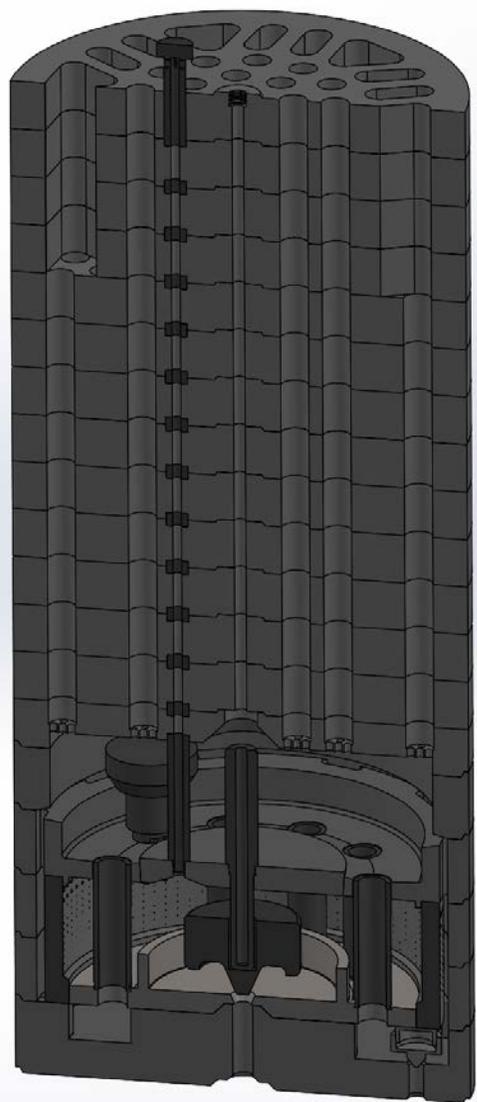
Nachteile:

- Hohe Preise für die Entsorgung
- Großer Aufwand bei der Deponierung in speziell ausgewiesenen Kompartments

Innovative Deponierung

- Inertisierung zerkleinerter Abfälle mit einem hydraulischem Bindemittel (vorzugsweise Zement) in einer Anlage mit Absaugung und Filtersystem und
 - anschließende Deponierung als nichtgefährlicher Abfall (Porr AG, bestehende Anlage),
 - anschließender Bergversatz (FINERT GmbH, RE:CYKMF – Verfahren, Anlage im Aufbau).
- Zerkleinerung der Abfälle, Zugabe eines Bindemittels und Verpressen unter hohem Druck zu Briketts mit bis zu 10-fach verringerten Volumen (Montanuniversität Leoben, Projekt RecyMin).

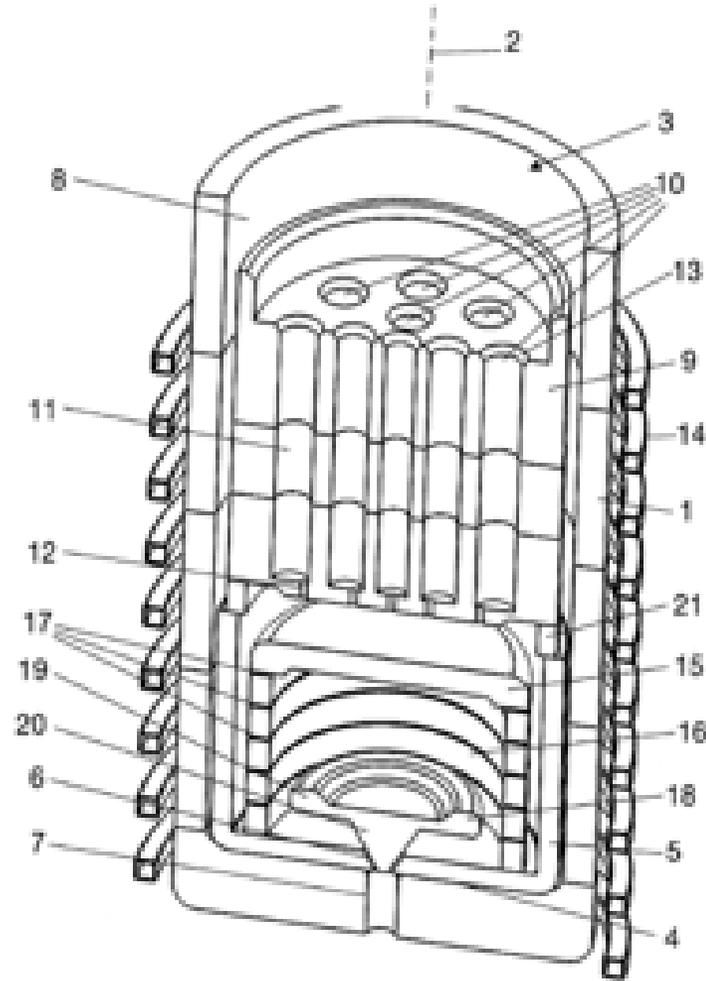




- Der Suszeptor ist das notwendige Bauteil, wenn elektrisch nichtleitende Materialien induktiv erwärmt und geschmolzen werden sollen.
- Der Suszeptor besteht aus einem Material mit bestimmter elektrischer Leitfähigkeit und absorbiert die elektromagnetische Energie, indem er sie in Wärme umwandelt.
- Gewöhnlich bestehen Suszeptoren aus Graphit, welches bei Arbeitstemperaturen bis 2500 °C eingesetzt werden kann.
- Dank der sehr guten mechanischen Bearbeitbarkeit kann der Suszeptor komplex aufgebaut sein.
- Durch einen nichtlinearen Pfad von Kanälen mit veränderlichem Querschnitt kann eine hinsichtlich Temperatur und Zusammensetzung homogene Schmelze erzeugt werden.
- Die von uns entwickelten Suszeptoren ermöglichen das kontinuierliche Schmelzen. Mit ihnen können Inline-Schmelzöfen ausgeführt werden, welche für kontinuierliche Prozesse erforderlich sind.
- Für unterschiedliche mineralische Einsatzstoffe haben wir verschiedene Modifikationen des Suszeptors designt, getestet und durch Schmelzversuche angepaßt.

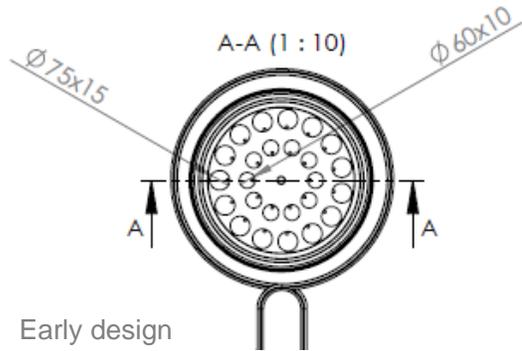
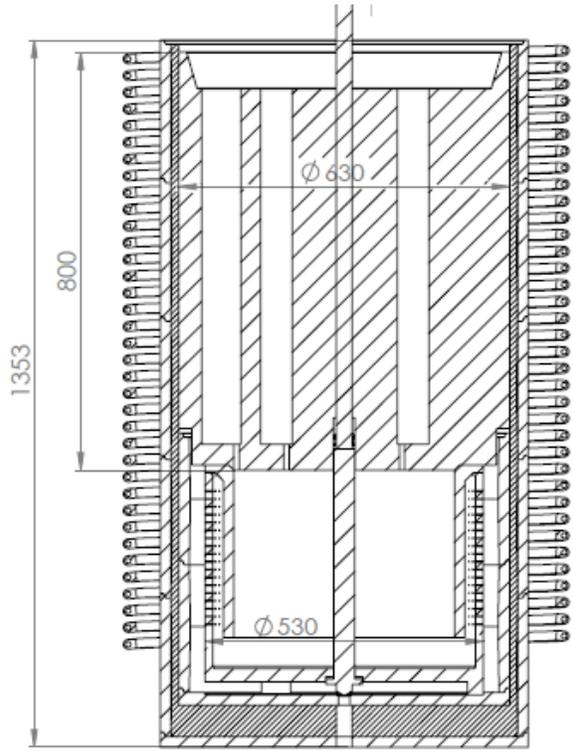
Konstruktionsprinzi

p



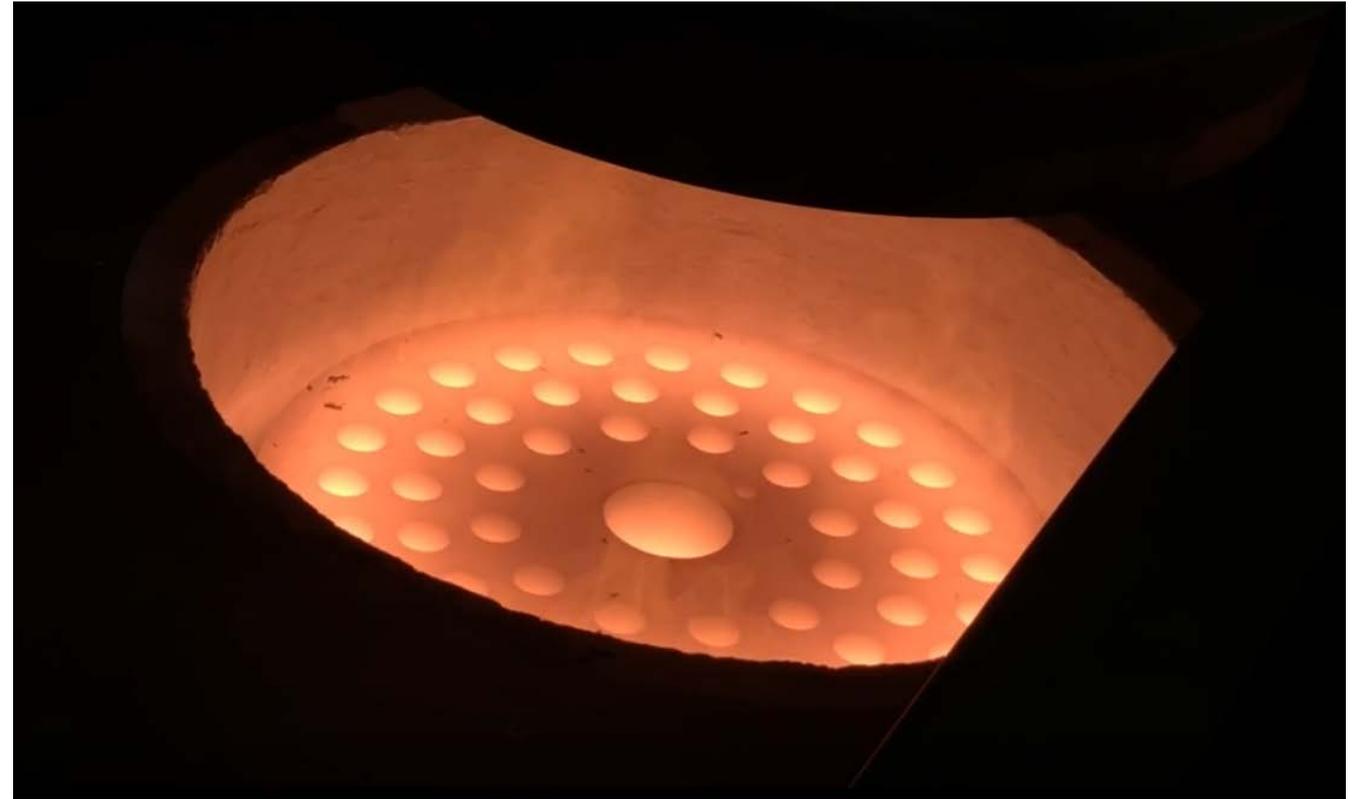
1. Schmelzofen
2. Rotationsachse
3. Aufgabeöffnung
4. Boden
5. Topfförmiger Einsatz
6. Auslauföffnung
7. Ablaufkanal
8. Ofenhauptkammer
9. Suszeptor
10. Axial ausgerichtete Kanäle
11. Abschnitt mit großem Querschnitt
12. Abschnitt mit kleinem Querschnitt
13. Fase
14. Induktionsspule
15. Heizeinrichtung
16. Untere Kammer
17. Radial ausgerichtete Kanäle
18. Schwimmkörper
19. Scheibenförmiger Abschnitt
20. Kegelförmiger Abschnitt
21. Tragelement

DER SUSZEPTOR DES INDUKTIVEN INLINE-SCHMELZOFENS

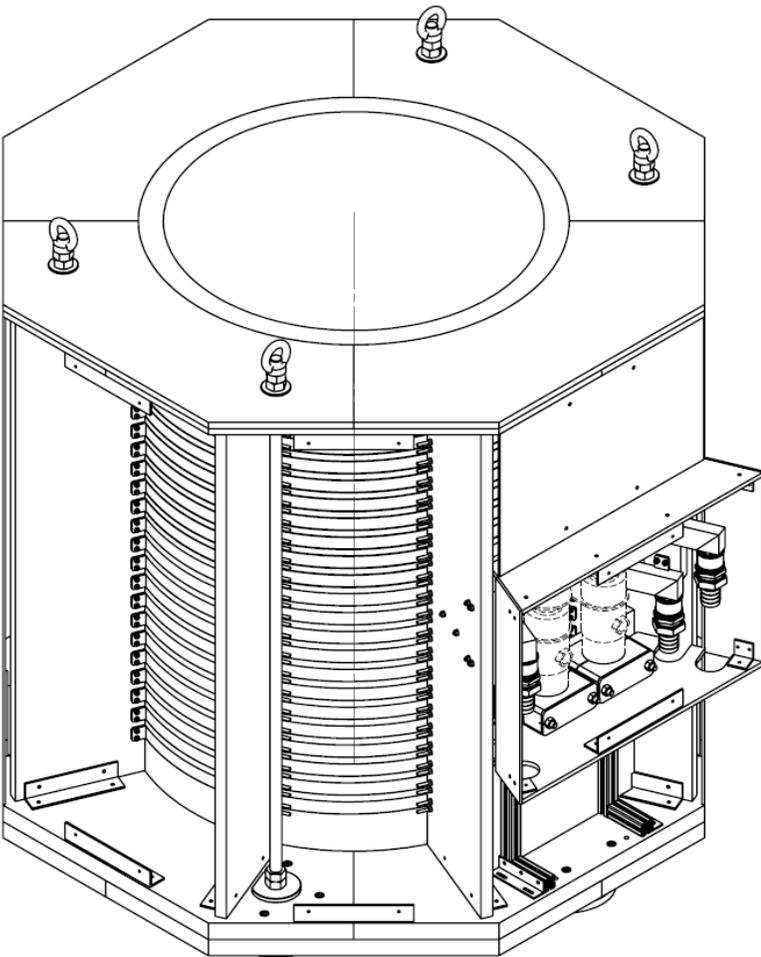


Early design





DER INDUKTOR DES INDUKTIVEN INLINE-SCHMELZOFENS



- Im klassischen Induktionsofen zum Schmelzen von Metallen sind Umrichter und Induktor für den bestmöglichen Wirkungsgrad ausgelegt.
- Bei einem Inline-Schmelzofen mit Suszeptor müssen zusätzlich gewährleistet sein:
 - die erforderliche Eindringtiefe des Magnetfeldes (Einflußgrößen: konstruktive Merkmale des Suszeptors, Frequenz des Umrichters),
 - die veränderliche Verteilung der Energiezufuhr über die Höhe des Suszeptors (durch veränderliche Lage des Induktors).



Vorteile eines induktiven Schmelzofens:

- Hohe Effizienz
 - Kein Wärmeverlust durch Wasserkühlung eines Schmelzaggregates mit vielen Tonnen Inhalt.
 - Vergleichsweise geringer Wärmeverlust durch Wasserkühlung der Induktionsspule.
- Schnelle Erhitzung des Aufgabegutes (bis 10 °C/s) unterdrückt die Entstehung von Abgasen
- Exakte Dosierung der Energiezufuhr.
- Einfache Bedienung mit wenig Personal und weitgehende Automatisierung.
- Keine direkten CO₂-Emissionen.

... mit Suszeptor für mineralische Einsatzstoffe:

- Die Wärme wird ohne Verlust vom Suszeptor an das Schmelzgut übertragen.
- Der Schmelzprozess kann stabil bis 2100 °C betrieben werden, im Gegensatz zum Kupolofen mit max. 1550 °C bei Einblasung von praktisch reinem Sauerstoff.
- Einstellung eines gezielten Temperaturprofils über die Höhe des Ofens möglich.
- Einsatzstoffe mit Korngrößen zwischen 0 - 12 mm, auch mit sehr unterschiedlicher Dichte und Schmelztemperatur, können in beliebigen Anteilen in eine homogene Schmelze umgewandelt werden.
- Beliebige Mischungen von körnigem und faserigem Aufgabegut können geschmolzen werden.
- Der Austausch der Tiegeleinheit und das Aufheizen des Ofens benötigen nur etwa 2 Stunden.



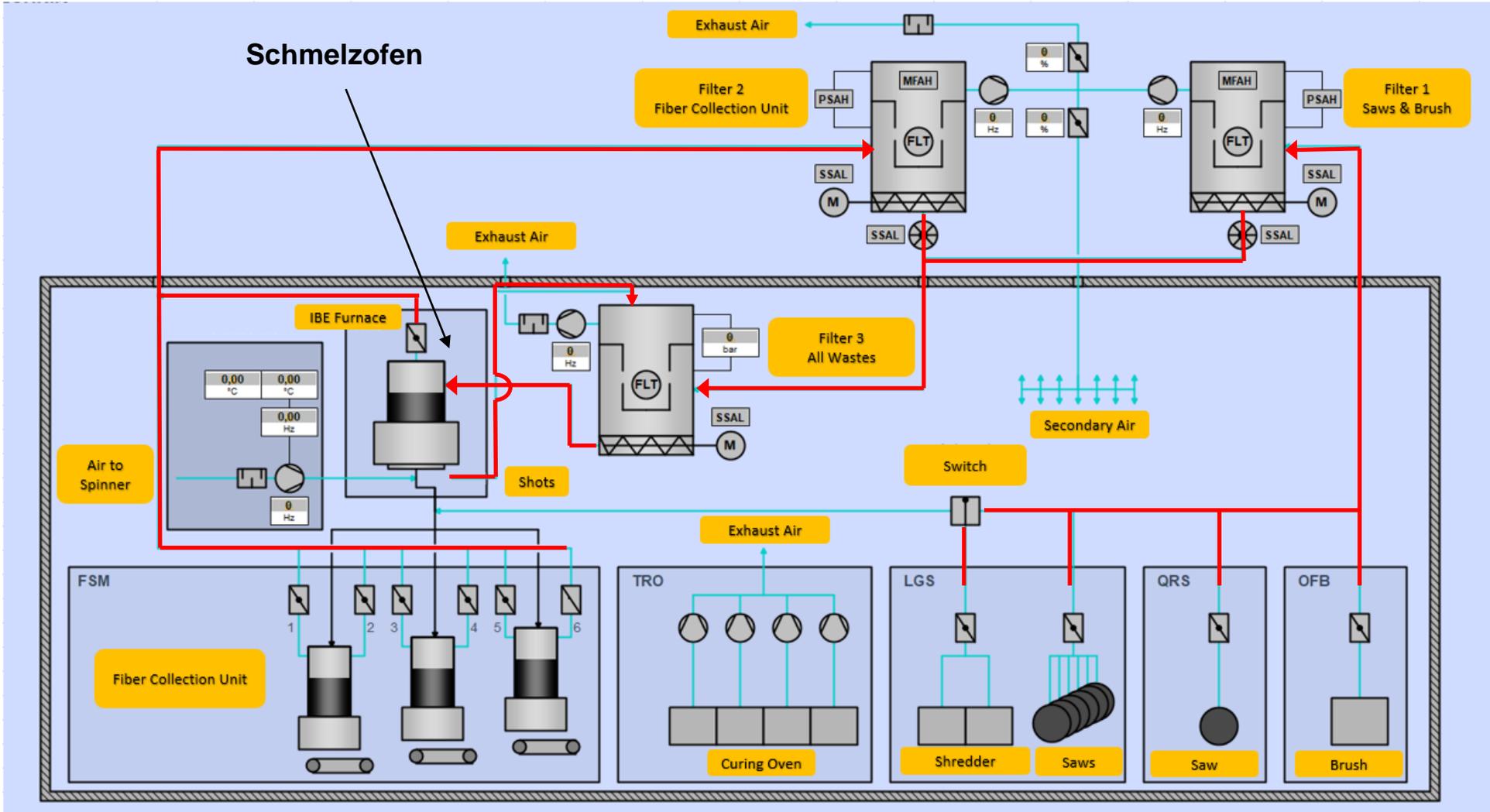
Aufgabegut

Mineralische Einsatzstoffe mit Korngrößen zwischen 0 - 12 mm in beliebigen Anteilen können in eine homogene Schmelze transformiert werden, wie zum Beispiel:

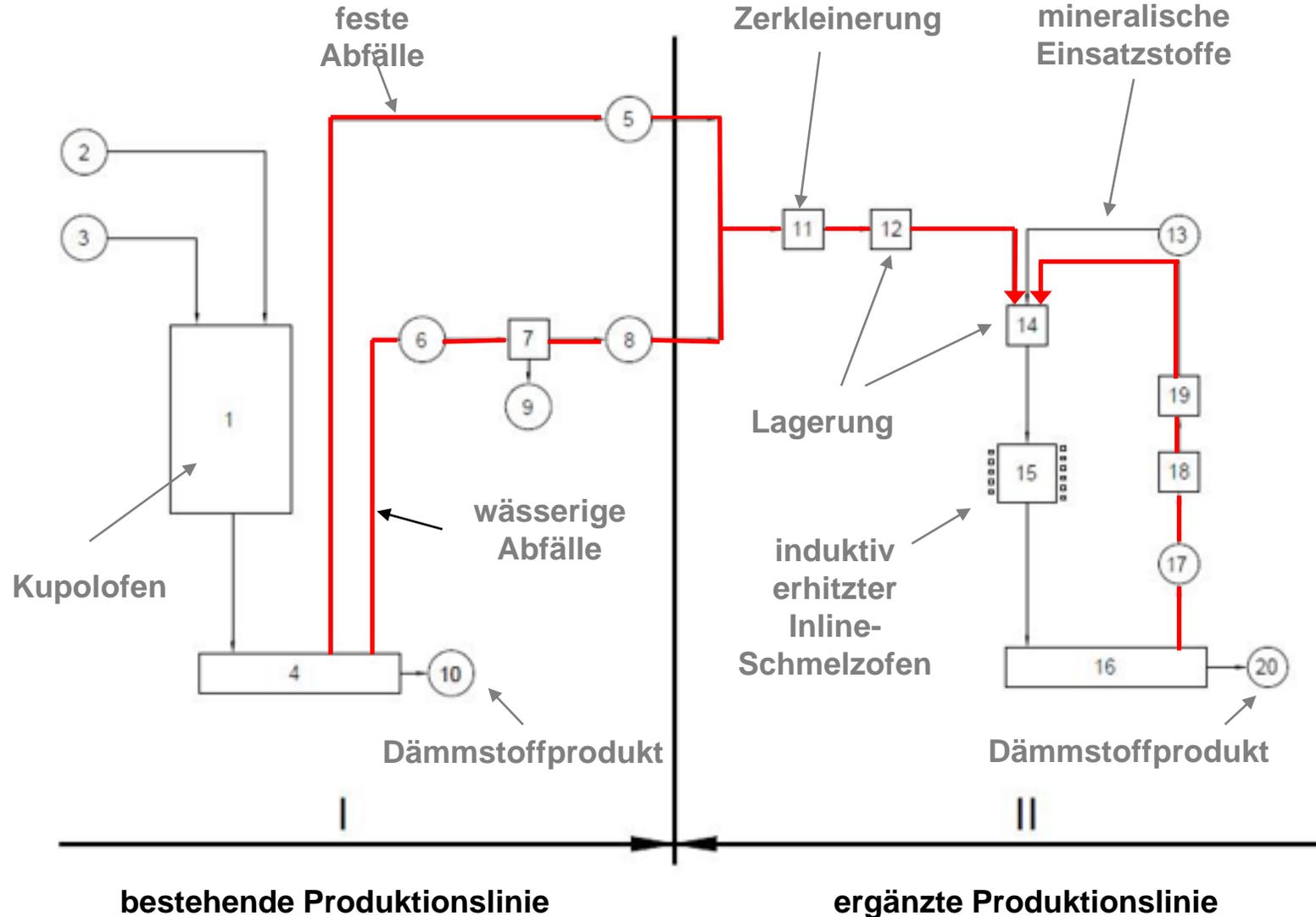
- Gestein
- Glas
- Staub
- Fasern
- Asche



Konzept einer abfallfreien Produktionslinie mit induktiv erhitzten Inline-Schmelzofen



Abfallfreie Produktion durch Ergänzung eines induktiv erhitzten Inline-Schmelzofens



Szenario 1

Kupolofen	Induktiver Schmelzofen
Schmelzleistung 75.000 t/a	Schmelzleistung 25.000 t/a
Abfallrate: 25 %	Abfallrate: 25 %
Abfallmenge: 18.750 t/a	Abfallmenge: 6.250 t/a
75.000 t/a abfallfreie Produktion ohne Brikettierung mit Rückführung in den Kupolofen	

Szenario 2

Kupolofen	Induktiver Schmelzofen
Schmelzleistung 25.000 t/a	Schmelzleistung 25.000 t/a
Abfallrate: 25 %	Abfallrate: 25 %
Abfallmenge: 6.250 t/a	Basalt/Dolomit: 12.500 t/a
Verdopplung der Produktion & Eliminierung von Brikettierung mit Rückführung in den Kupolofen	

Aktueller Stand

Technologien und praxistaugliche Verfahren zur Verwertung von KMF-Abfällen aus dem Abbruchsektor gibt es derzeit noch nicht.

Gründe:

- Die Werthaltigkeit der Abfälle (Basalt, Glas) ist gering im Vergleich zu den Kosten für die Verarbeitung zu einem Produkt.
- Ein Produkt, welches mit Gewinn verkauft werden kann, ist derzeit nicht darstellbar.
- Ein Verbot der Deponierung von KMF-Abfällen, welches zur notwendigen Anpassung der Preisstruktur in der Verwertungskette führen kann, ist nur aus Österreich (ab 1.1.2027) bekannt.

Schwerpunkte von Entwicklungsarbeiten:

- Thermische Behandlung der KMF-Abfälle
Verwertung zu hydraulisch wirksamen Zusatzstoffen oder als Zuschlagstoff in der Zementindustrie (Projekte RecyMin, BitKOIN, Montanuniversität Leoben mit Partnern aus Industrie und Wissenschaft).
- Zugabe alkalischer Stoffe zu den KMF-Abfällen
Verwertung zu Baumaterialien (Paneele, Fassadenelemente) durch Zugabe alkalischer Stoffe (Projekt Wool2Loop, Universität Oulu mit Partnern aus Industrie und Wissenschaft)
- Zerkleinerung und Zugabe zu einer Matrix
Zum Beispiel: Verwertung als Zusatzstoff in Wood-Plastic-Composites (VTT Technical Research Center of Finland)

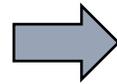
Wichtige Hürde

Gemäß den gesetzlichen Vorschriften ist eine stoffliche Verwertung der KMF-Abfälle nur zulässig, wenn durch die Behandlung sichergestellt ist, dass die erzeugten Produkte keine gefahrenrelevanten Eigenschaften aufweisen.

Schritt 1: Inertisierung

Vorteile des induktiv erhitzten Inline-Schmelzofens:

- Definitive Inertisierung durch Aufschmelzen und Überführung in ein erstarrtes mineralisches Material ohne jegliche Anwesenheit von Fasern.
- Volumenreduzierung bis um das 50-fache, was die weiteren Verarbeitungsschritte vereinfacht.



Granulat (amorph)



Steine (kristallin)

Schritt 2: Stoffliche Aufwertung



Granulat



z.B. als Zusatzstoffe in Zementindustrie

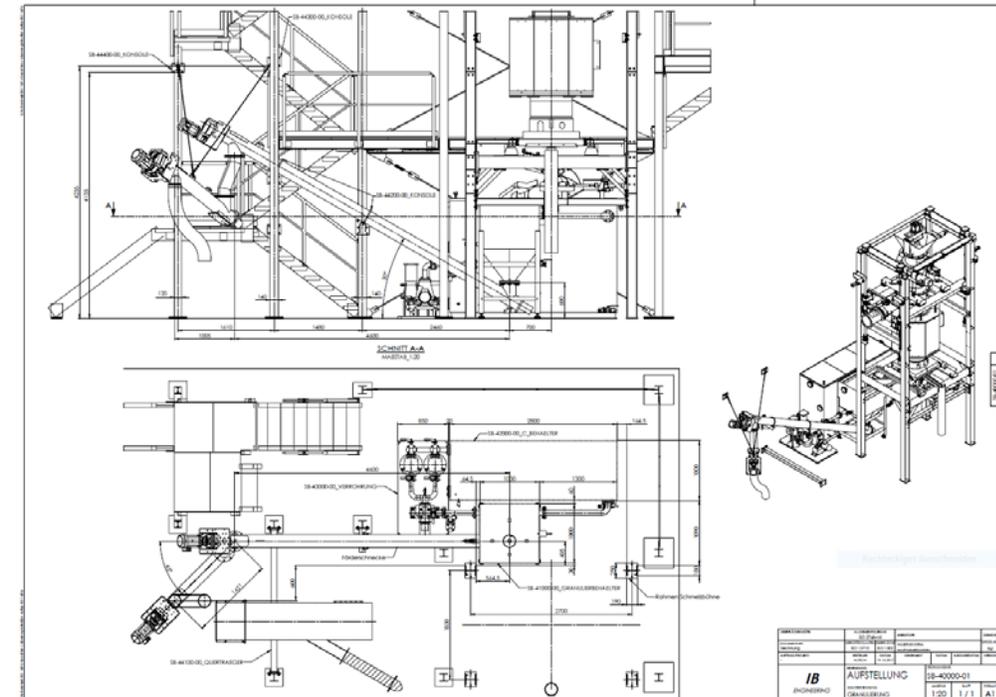
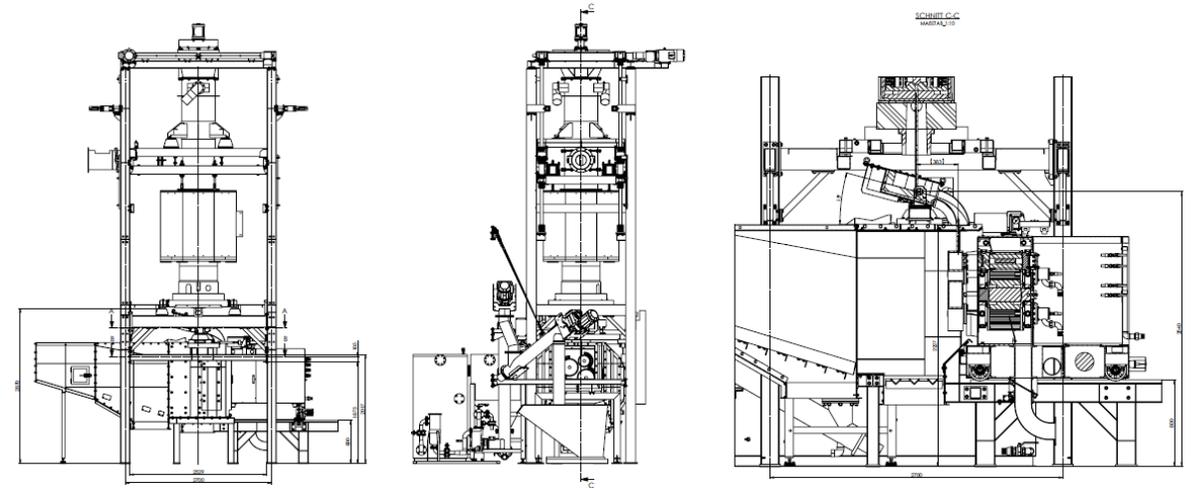
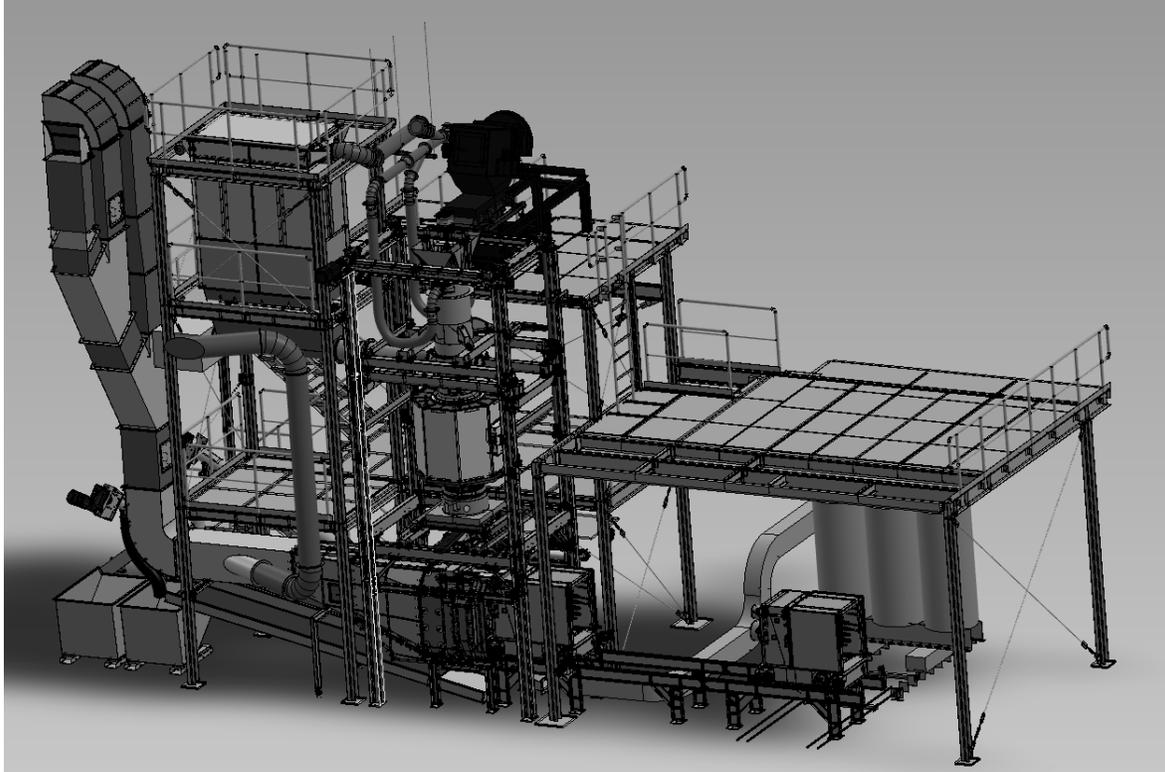


Steine



z.B. Anwendungen in Straßenbau

Schmelzeinheit zum Umwandeln von KMF-Abfällen



IB INGENIERO	AUFSTELLUNG GERÄTELEISTUNG	IB-40000-01 120	1/1 A1
-----------------	-------------------------------	--------------------	-----------

Vielen Dank



Ihr kompetenter Partner in

- induktiver Inline-Schmelztechnologie
- abfallfreier Herstellung von Mineralwolleprodukten
- Inertisierung durch Verglasung