

# ReWaste4.0 und ReWaste F: Entwicklung des Recyclingindex für Ersatzbrennstoffe zum internationalen Standard

**Renato Sarc und Sandra A. Viczek**

Lehrstuhl für Abfallverwertungstechnik und Abfallwirtschaft, Montanuniversität Leoben

Recy und DepoTech, Leoben, 10.11.2022

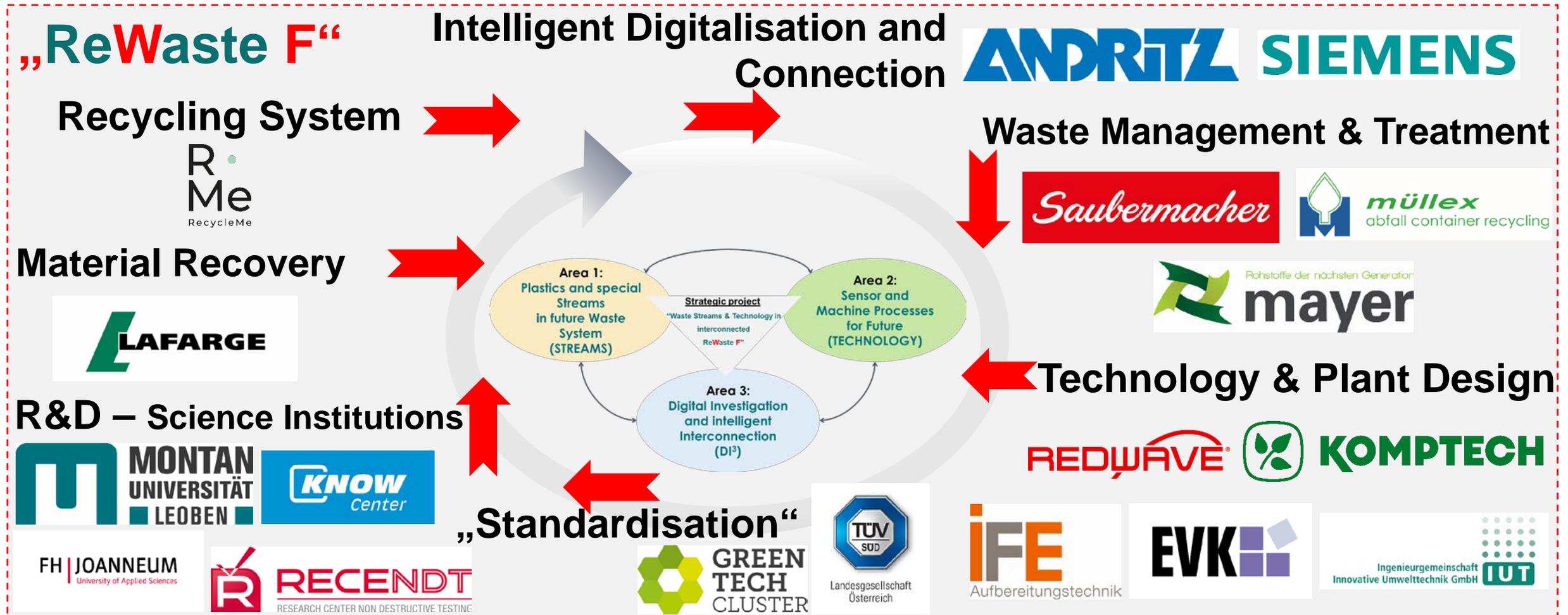
Session: Partikel Charakterisierung und Sortierung (27)

# Partner -

Innovationstreiber für partikel-, sensor- und datenbasierte Kreislaufwirtschaft

- Konsortialführerin: Montanuniversität Leoben

*ReWaste F – Consortium – Innovation drivers along the whole waste management value chain*



# ReWaste F - Vision und Mission

## ■ Vision

- **Recycling** und **energetische Verwertung** sind das **Zukunftsthema der EU** und wir verstehen und gestalten die Entwicklungsmöglichkeiten und –grenzen mit
- **Kunststoffe** und andere **spezielle Abfälle** aus gemischten Abfällen sind **Herausforderung der Zukunft** und wir entwickeln neue **Recyclingmöglichkeiten**
- „**Abfallwirtschaftliches Material- und Anlagensystem der Zukunft**“ sowie „**Industrie 4.0**“ (z.B. partikel-, sensor- und datenbasierte Systeme) werden durch uns kompatibel und nachhaltig in der Branche implementiert und ausgebaut

## ■ Mission

- **Strategische Ausrichtung der Wissenschaft und Wirtschaft => F&E&I ReWaste F**
  - => **Forschung, Entwicklung und Innovation in Recycling and Recovery of Waste for Future**
  - => **Transformation der Abfallwirtschaft in Richtung „Partikel-, sensor- und datenbasierte Kreislaufwirtschaft“**

# Inhalt

- Ersatzbrennstoffe, Refuse Derived Fuel, Solid Recovered Fuel
- Co-Processing in der Zementindustrie
- Forschung an der MUL – ReWaste4.0 & ReWaste F
  - Methode
  - Ergebnisse
- Schlussfolgerungen
  - Rolle der Zementindustrie in einer Kreislaufwirtschaft
  - Ausblick: ISO EN Norm zur Bestimmung des R-Index

# Ersatzbrennstoffe (EBS)

- Definition laut österreichischer Abfallverbrennungsverordnung (§3 Z18 AVV)

*„Abfälle, die **zur Gänze oder in einem relevanten Ausmaß zum Zweck der Energiegewinnung** eingesetzt werden und die die **Vorgaben gemäß Anlage 8** erfüllen. Ein relevantes Ausmaß zum Zweck der Energiegewinnung liegt vor, wenn eine **selbstgängige Verbrennung ohne Zusatzfeuerung** möglich ist. Klärschlämme und Papierfaserreststoffe, die verbrannt werden und die die Vorgaben gemäß Anlage 8 erfüllen, gelten im Sinne dieser Verordnung als feste Ersatzbrennstoffe“*

# Englische Pendants – RDF und SRF

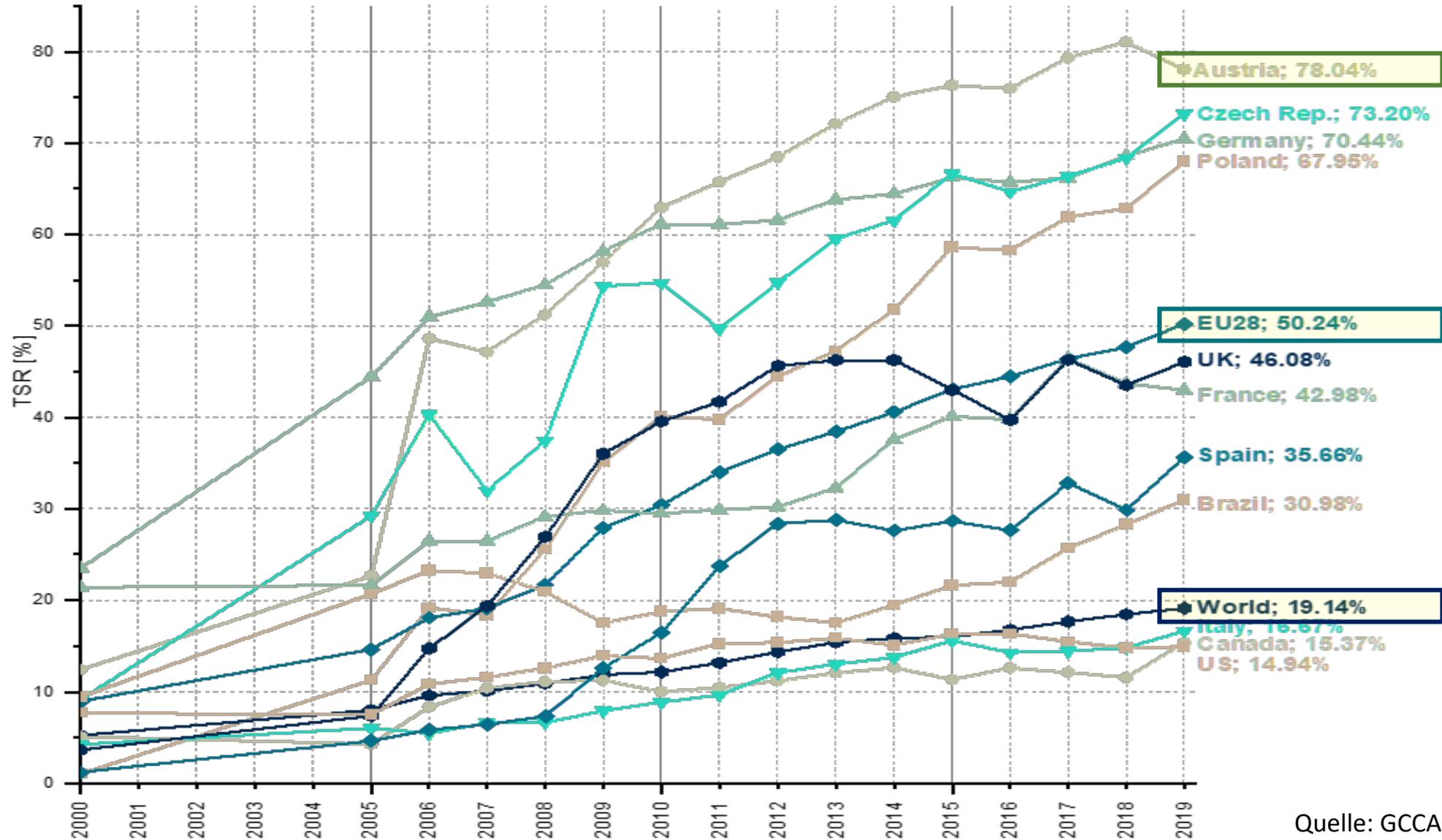
- RDF = refuse derived fuels
- SRF = solid recovered fuels; Untergruppe der RDF, hergestellt aus **festen, nicht gefährlichen Abfällen**, die zur Energiegewinnung in Verbrennungs- oder Mitverbrennungsanlagen zu nutzen sind und den Anforderungen der **EN 21640:2021** zur Klassifizierung (Heizwert, Chlorgehalt, Quecksilber) und Spezifikation entsprechen

Tabelle 2 — Klassifizierung für feste Sekundärbrennstoffe

Kenngröße zur Klassifizierung	Statistisches Maß	Einheit	Klassen				
			1	2	3	4	5
Heizwert (NCV)	Mittelwert	MJ/kg (ar)	≥ 25	≥ 20	≥ 15	≥ 10	≥ 3
Chlor (Cl)	Mittelwert	% der Masse (d)	≤ 0,2	≤ 0,6	≤ 1,0	≤ 1,5	≤ 3
Quecksilber (Hg)	Medianwert 80. Perzentil	mg/MJ (ar)	≤ 0,02	≤ 0,03	≤ 0,05	≤ 0,10	≤ 0,15
		mg/MJ (ar)	≤ 0,04	≤ 0,06	≤ 0,10	≤ 0,20	≤ 0,30

→ Der österreichische Begriff „Ersatz-brennstoff“ ist daher eher äquivalent zu RDF, aber Grenzwerte (AVV) sind einzuhalten.

# Thermische Substitutionsraten durch RDF



Quelle: GCCA, 2021

Global Cement and Concrete Association (GCCA): Getting the Numbers Right, 2022, [https://gccassociation.org/gnr/Excel/GNR%20-%20Totals\\_&\\_Averages%20-%20Light%20Report%202019.xls](https://gccassociation.org/gnr/Excel/GNR%20-%20Totals_&_Averages%20-%20Light%20Report%202019.xls)

# Einsatz von Ersatzbrennstoffen in Österreich

## ■ Thermische Subst.rate

2015: **76.1%**

2016: **78.2%**

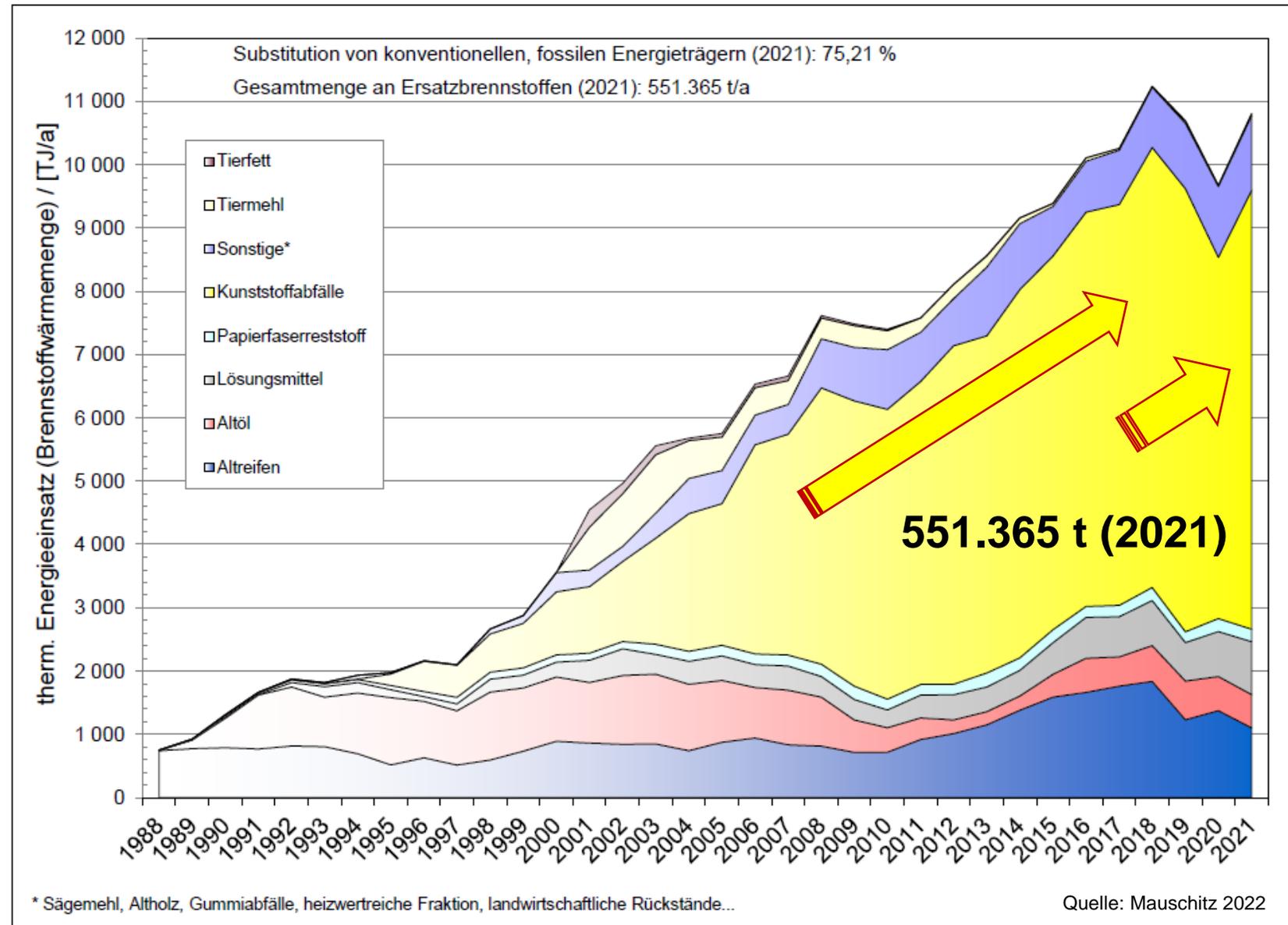
2017: **80.6%**

**2018: 81.2%**

2019: **78.4%**

2020: **70.6%**

**2021: 75.2%**



# EBS (SRF) aus gemischten Siedlungsabfällen für die Primär- und Sekundärfeuerung



- **SRF “primary”:**

SRF aus nicht gefährlichen Siedlungs- und Gewerbeabfällen mit einem **Heizwert** zwischen **18 und 25 MJ/kgOS** (entsprechend der Klasse NCV 1, 2 oder 3 in EN 21640) und **Korngrößen unter 30 (35) mm**, die für den **Hauptbrenner** (d.h. Primärfeuerung) im Drehrohrofens von Zementwerken geeignet sind.

- **SRF “secondary”:**

SRF aus nicht gefährlichen Siedlungs- und Gewerbeabfällen mit einem **Heizwert** zwischen **12 und 18 MJ/kgOS** (entsprechend der Klasse NCV 3 oder 4 in EN 21640), geeignet für den Einsatz in der **Sekundärfeuerung** (Kalzinator, Ofeneinlauf oder Vorbrennkammer wie z.B. Hot Disc usw.) des Drehrohrofens von Zementwerken. Die **Korngrößen** können bei Verwendung in einem Kalzinator oder am Ofeneinlass **bis zu 80 mm** und bei einer Vorbrennkammer wie z.B. Hot Disc **bis zu 300 mm** betragen.

Viczek, S.A.; Aldrian, A.; Pomberger, R.; Sarc, R. Determination of the material-recyclable share of SRF during co-processing in the cement industry. *Resources, Conservation and Recycling* 2020, 156, 104696. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2020.104696>.



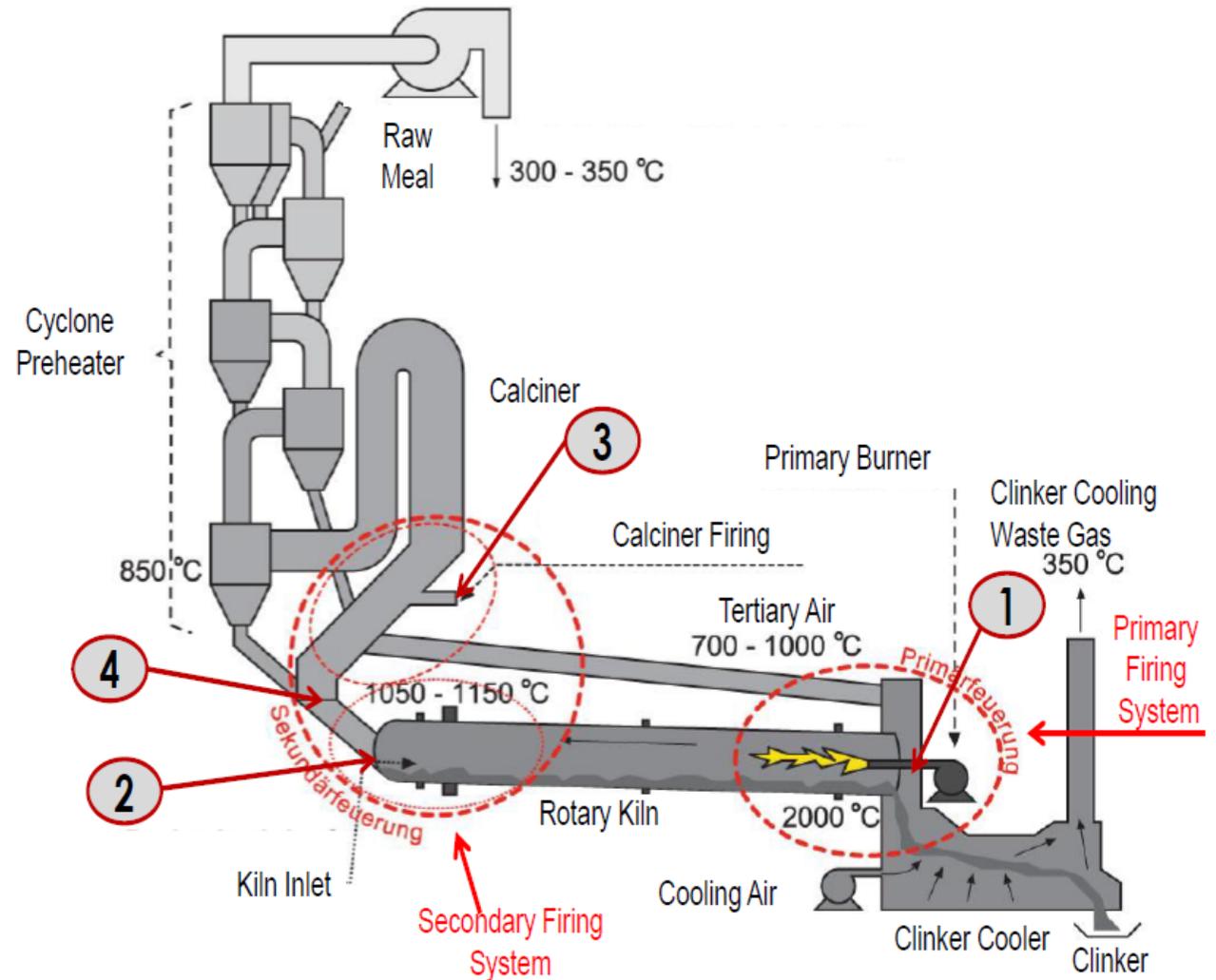
# Co-Processing

Umfasst industrielle Prozesse, die gleichzeitig

- eine **Energetische Verwertung** sowie
- ein **Recycling des mineralischen Anteils des Abfalls** ermöglichen

Und damit zur **Substitution sowohl primärer Brennstoffe als auch mineralischer Rohstoffe** beitragen.

Quelle: Basel convention 2012, Lamas 2013.



Quelle: Sarc (2018)

# Co-Processing in der EU Gesetzgebung (I)

- In der **EU Abfallhierarchie** wird der Einsatz von SRF in der Zementindustrie der **energetischen Verwertung** zugeordnet
- Richtlinie 2018/851 des Europäischen Parlaments und des Rates, 30. Mai 2018:
  - Änderung der Richtlinie 2008/98/EC über Abfälle (Abfallrahmenrichtlinie)
  - Ein Absatz wurde hinzugefügt, der besagt, dass die EU in Betracht zieht, anzuerkennen, dass bestimmte Mineralien beim Co-Processing in das Produkt eingebunden werden, und in Betracht zieht, deren Anteil den Recyclingzielen anzurechnen.

*“Die Kommission überprüft die Technologie für die gemeinsame Verarbeitung, die die **Einbeziehung von mineralischen Stoffen aus der Mitverbrennung von Siedlungsabfällen** ermöglicht. Wenn im Rahmen dieser Überprüfung ein zuverlässiges Verfahren gefunden wird, prüft die Kommission, **ob solche Minerale auf die Recyclingziele angerechnet werden können.**”*

# Co-Processing in der EU Gesetzgebung (II)

- Durchführungsbeschluss 2019/1004 der Kommission vom 7. Juni 2019 zur Festlegung der Vorschriften für die Berechnung, die Prüfung und die Übermittlung von Daten über Abfälle gemäß der Richtlinie 2008/98/EG des Europäischen Parlaments und des Rates:

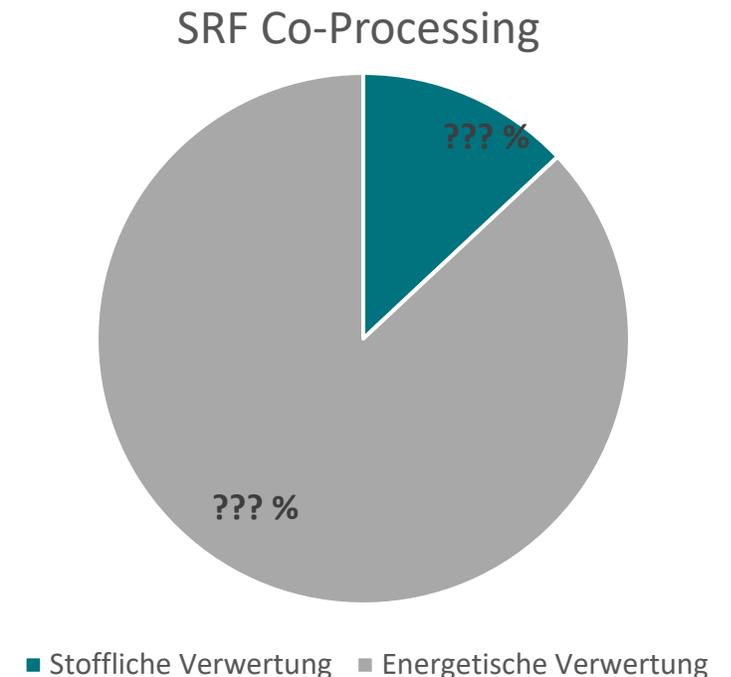
*„Werden Abfallmaterialien in Siedlungsabfällen Verwertungsverfahren zugeführt, bei denen diese Materialien **hauptsächlich als Brennstoff** oder anderes Mittel zur Energieerzeugung verwendet werden, so wird der Output solcher Verfahren, der Gegenstand einer stofflichen Verwertung ist, wie **beispielsweise die mineralische Fraktion aus der Bodenasche aus Verbrennungsanlagen oder Klinker aus der Mitverbrennung, nicht für die Menge recycelter Siedlungsabfälle berücksichtigt**, ausgenommen Metalle, die nach der Verbrennung der Siedlungsabfälle abgetrennt und recycelt werden. Metalle, die in die mineralischen Rückstände des Mitverbrennungsverfahrens von Siedlungsabfällen eingebunden sind, werden nicht als recycelt gemeldet.“*

# Co-Processing in einzelnen EU-Mitgliedsstaaten

- In einzelnen Mitgliedsstaaten wird eine “**gemischte Verwertung**”, d.h. eine Kombination aus **energetischer und stofflicher Verwertung** (teilweise) anerkannt:
  - **Ungarn:** anerkannt für **Altreifen** (IPPC Genehmigung eines Zementwerks: 85 % energetische Verwertung, 15 % stoffliche Verwertung)
  - **Frankreich:** “gemischte Verwertung” von **Altreifen**: 23,75 % stoffliche Verwertung (Collet, 2016)
  - **Portugal:** Gebühr für die Mitverbrennung von Abfällen kann um den Anteil, der stofflich verwertet wird (z.B. durch Einbindung in das finale Produkt wenn der R1 Prozess in einem Industrieprozessofen stattfindet), verringert werden. Für verschiedene Alternativbrennstoffe wird daher von stofflichen Recyclingraten von 14,0 % berichtet (Assembleia da Republica Portugal, 2006)

# Forschung an der MUL – ReWaste4.0 & ReWaste F

- Welcher Anteil von EBS wird stofflich verwertet?
- Ermöglichen einer auf wissenschaftlichen Daten basierenden Diskussion
- **Bereitstellen von Informationen** durch
  - Entwicklung einer simplen, aber anerkannten und wissenschaftlich geprüften Methode für die analytische Bestimmung der
    - SRF Aschezusammensetzung
    - des Anteils des SRF, der beim Co-Processing stofflich verwertet wird
  - Bestimmung der Aschezusammensetzungen und stofflich verwertbaren Anteilen verschiedener SRF Proben
  - **Abschätzung des potentiellen Beitrags** der Zementindustrie zur Erreichung der neuen EU Recyclingziele



# Rohstoffe für die Zementherstellung

- Rohstoffe, die für die Herstellung von Zementklinker verwendet werden, müssen die benötigten **vier chemischen Hauptkomponenten** einbringen:

63 - 70 wt%	19 - 24 wt%	3 - 7 wt% (incl. TiO <sub>2</sub> )	1 - 5 wt%
<b>CaO</b>	<b>SiO<sub>2</sub></b>	<b>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	<b>Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>
Kalkstein (CaCO <sub>3</sub> )	Ton		
Kreide (CaCO <sub>3</sub> )	Mergel		
	Sand, Quarz		Eisenerz
Kalkschlamm	Gießereialsand	Bentonitabfall	Walzzunder
	Kontaminierter Boden	Fullers Erde	Kiesabbrand

# Methodenentwicklung

SRF  
Probenahme  
(EN 15442)

Trocknung  
(105°C)

Zerkleinerung  
auf < 0.5 mm

Veraschung  
550°C  
815°C  
950°C

Schmelz-  
aufschluss mit  
Lithium-  
metaborat,  
Lösen in HCl  
(DIN 51729-11)

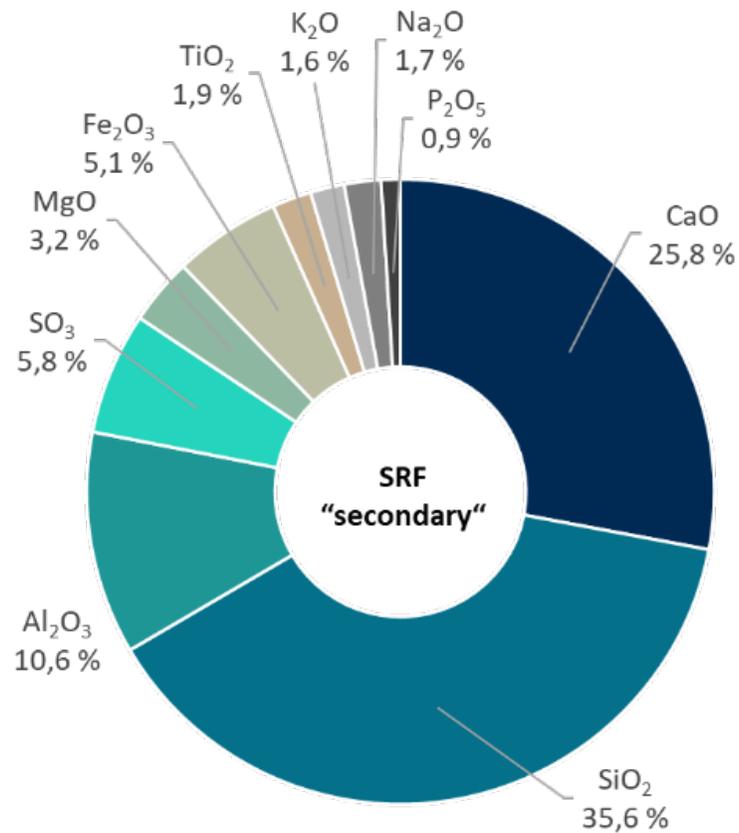
ICP-OES Analyse  
(EN ISO 11885)  
für Ca, Al, Si, Fe,  
Na, K, Ti, P, und  
S

Berechnung der  
Oxid-  
konzentrationen  
(vereinfachte  
Annahme)



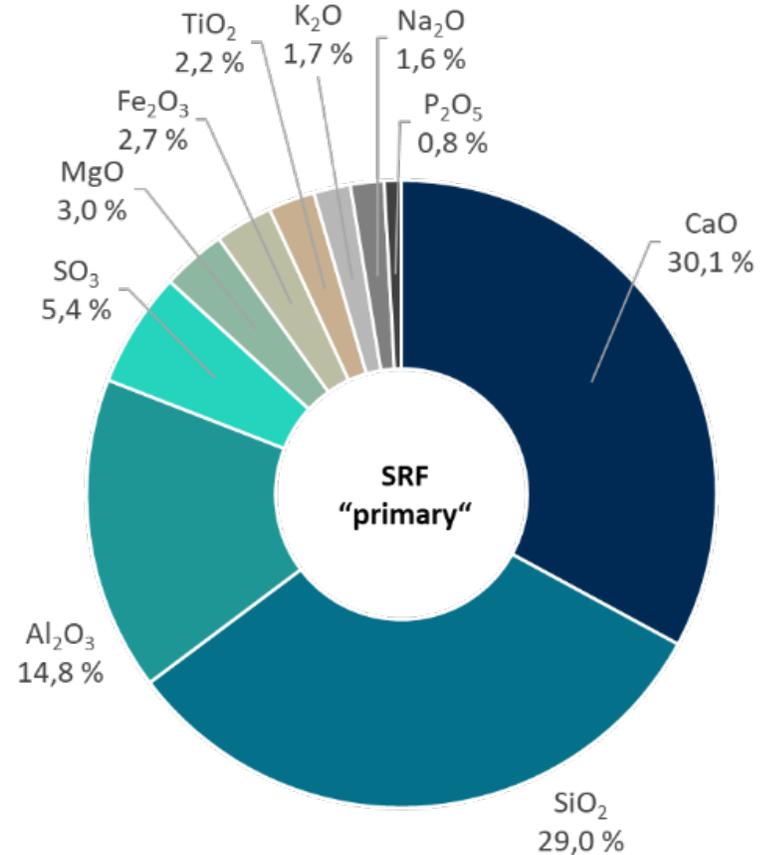
Ca. 17,7 %<sub>TS</sub>

# EBS Aschezusammensetzung



## SRF Secondary:

- LHV 12 - 18 MJ/kg<sub>OS</sub> (entsprechend Klasse NCV 3 or 4 in EN 15359)
- Sekundärfeuerung (Calcinator, Ofeneinlass, Hot Disc)
- Korngröße < 80 mm (Calcinator, Ofeneinlass) oder < 300 mm (Hot Disc)



## SRF Primary:

- LHV 18 - 25 MJ/kg<sub>OS</sub> (entsprechend Klasse NCV 1, 2, or 3 in EN 15359),
- Brennstoff für Primärfeuerung
- Korngröße < 30 (35) mm

# Stofflich verwertbarer Anteil von EBS: R-Index

- R-Index [% (d)]: der **prozentuelle Anteil des SRF, der als stofflich verwertet angesehen werden kann**. Bezieht sich auf die **getrocknete SRF Probe**.

$$R - index_4[\% (d)] = \frac{A_{db}}{100} * \frac{c_{Al_2O_3} + c_{CaO} + c_{Fe_2O_3} + c_{SiO_2}}{10\ 000}$$

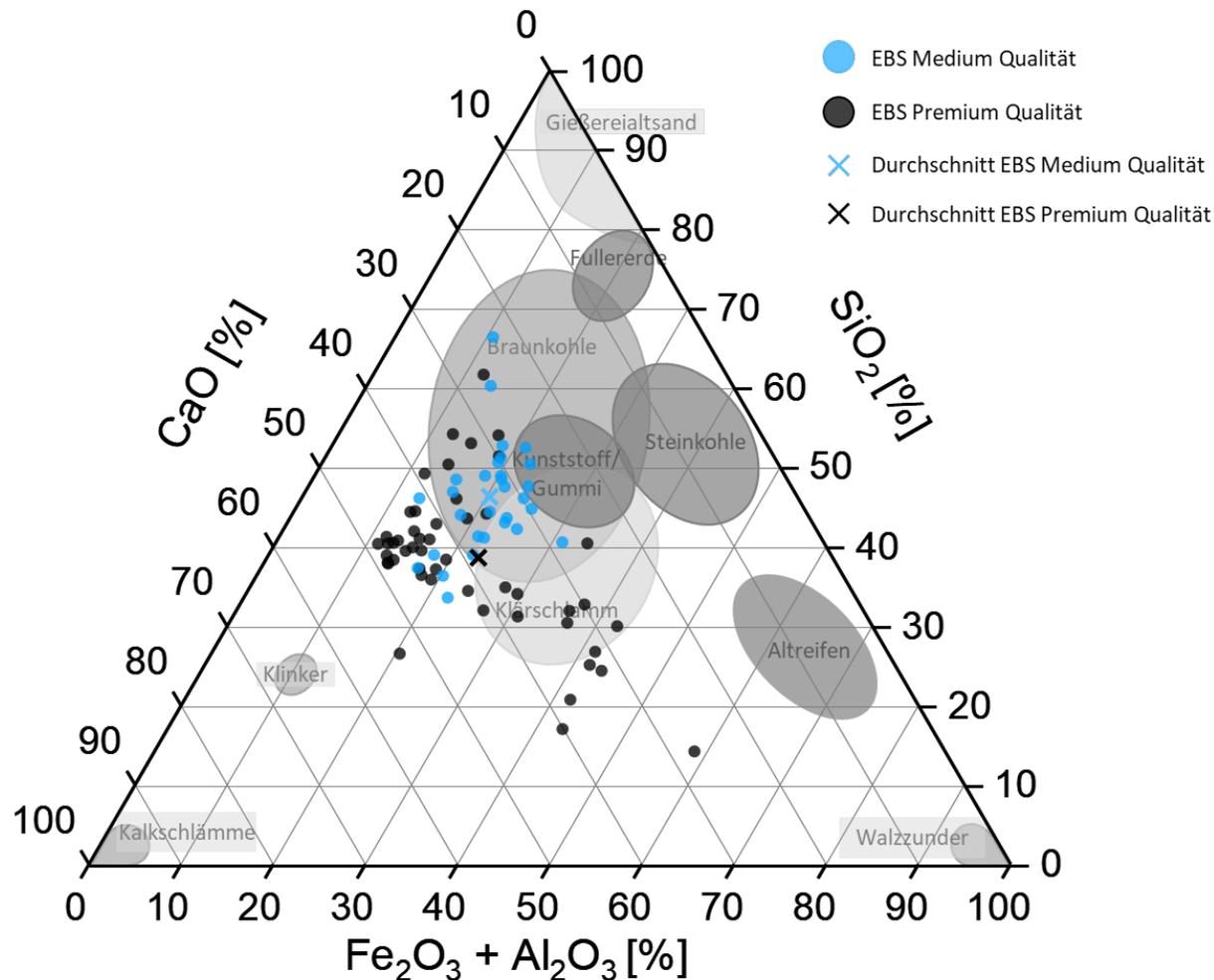
$$R - index_9[\% (d)] = \frac{A_{db}}{100} * \frac{c_{Al_2O_3} + c_{CaO} + c_{Fe_2O_3} + c_{K_2O} + c_{MgO} + c_{Na_2O} + c_{SO_3} + c_{SiO_2} + c_{TiO_2}}{10\ 000}$$

$A_{db}$  ... Aschegehalt bei 815°C bezogen auf TS, ...

**R-Index<sub>4</sub>: 13,3 % (d)**

**R-Index<sub>9</sub>: 15,9 % (d)**

# SRF Asche Zusammensetzung – Vergleich mit Rohstoffen und anderen Brennstoffaschen



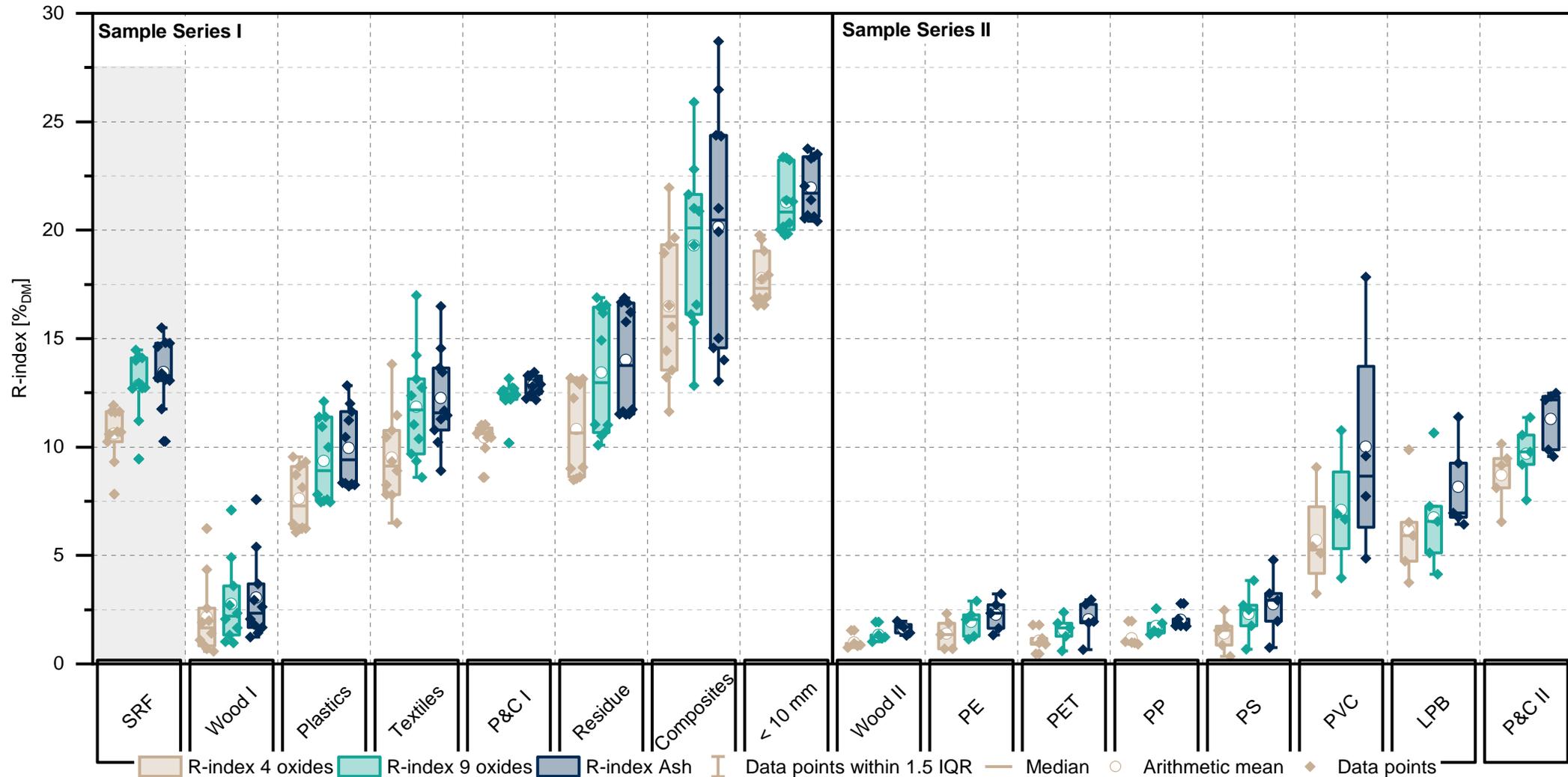
- Verhältnis der Parameter in SRF Asche ähnlich Braunkohleasche
- Jedoch höherer Anteil an CaO, was die **SRF Asche näher an die gewünschte Klinkerzusammensetzung** bringt

## SRF Zusammensetzung:

<b>CaO:</b>	<b>25 - 50 %</b>
<b>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>:</b>	<b>10 - 25 %</b>
<b>SiO<sub>2</sub>:</b>	<b>35 - 55 %</b>

Ternärdiagramm ©vdz, adaptiert und erweitert mit eigenen Ergebnissen

# R-index verschiedener Materialfraktionen



# Schlussfolgerungen Co-Processing und SRF Spezifikationen

- Aus technischer Sicht werden beim Co-Processing **15,9 % (R-Index<sub>9</sub>)** des EBS stofflich verwertet.
- Großteil dieses Anteils stammt aus Materialien, für die aktuell keine etablierten Recyclingverfahren existieren
- Co-Processing in der Zementindustrie kann in einer Kreislaufwirtschaft daher eine komplementäre Rolle einnehmen:
  - Für stark heterogene oder verschmutzte Fraktionen, Komposite etc.
  - Für Sortierreste aus Recyclingverfahren
  - Unter Einhaltung der gesetzlichen Regelungen (Abfallverbrennungsverordnung)

# Recyclingindex für Ersatzbrennstoffe auf dem Weg zum internationalen Standard

- ISO EN Norm aktuell in Ausarbeitung:  
**„ISO/WD 4349 Solid recovered fuels – Determination of the Recycling-Index for Co-Processing“**
- Validierung durch Ringversuche im Herbst 2022
- Erwartete Fertigstellung: Februar 2024
- Der aktuelle Status kann auf der ISO Homepage nachverfolgt werden:  
<https://www.iso.org/standard/79886.html>



# DANKE

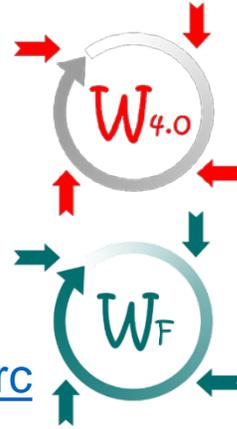
DI Dr.mont. Renato Sarc

Tel.: +43 (0) 3842 / 402 - 5105

Mobil: +43 (0) 676 / 845 386 805

E-Mail: [renato.sarc@unileoben.ac.at](mailto:renato.sarc@unileoben.ac.at)

[https://www.researchgate.net/profile/Renato\\_Sarc](https://www.researchgate.net/profile/Renato_Sarc)



Dr.mont. Sandra A. Viczek, MSc MSc

Tel.: +43 (0) 3842 / 402 - 5136

Mobil: +43 (0) 680 / 110 87 87

E-Mail: [sandra.viczek@unileoben.ac.at](mailto:sandra.viczek@unileoben.ac.at)

<https://www.researchgate.net/profile/Sandra-Viczek>



Das Kompetenzzentrum **Recycling and Recovery of Waste for Future – ReWaste F** – (882512) wird im Rahmen von COMET – Competence Centers for Excellent Technologies durch BMK, BMDW und Land Steiermark gefördert. Das Programm COMET wird durch die FFG abgewickelt.



 Bundesministerium Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie

 Bundesministerium Digitalisierung und Wirtschaftsstandort

