

Vergleichende Ökobilanz von End-of-Life- Optionen für Altreifen

Comparative Life Cycle Assessment of End-of-Life Options
for Used Tires

—

Fraunhofer UMSICHT

Maga, D.; Aryan, V.; Blömer, J. (2022): Vergleichende Ökobilanz von End-of-Life Optionen für Altreifen;
Fraunhofer-Institut für Umwelt-, Sicherheits- und Energietechnik UMSICHT

Inhaltsverzeichnis

1. Vorstellung Fraunhofer Umsicht
2. Ablauf Ökobilanzen
3. Zielstellung
4. Datengrundlage
5. Ergebnisse
6. Interpretation



02

Das Fraunhofer UMSICHT

Das Fraunhofer UMSICHT

Standorte Oberhausen und Sulzbach-Rosenberg



Standort Oberhausen

Erträge 2020	39,8 Mio. € (25,6 % Industrieanteil)
Mitarbeitende	473 (287 Stammpersonal)
▪ wissenschaftlich	218 (davon 32,5 % Frauen)
▪ administrativ	69
▪ Studierende, Schulpflichtige, Menschen im Praktikum	174
▪ Auszubildende	12
▪ Labor- und Technika	4500 m ² von 30 000 m ² Gesamtfläche



Institutsteil in Sulzbach-Rosenberg

Erträge 2020	14,16 Mio. €
Mitarbeitende	104 (57 Stammpersonal)
▪ wissenschaftlich	43 (davon 10,7 % Frauen)
▪ administrativ	14
▪ Studierende, Schulpflichtige, Menschen im Praktikum	44
▪ Auszubildende	3
Technika	2100 m ²

Daten und Fakten

Standort Oberhausen

Gründung	1990
Erträge 2020	39,8 Mio €
Mitarbeitende	473
■ Stammpersonal	287
■ wissenschaftlich	218 (davon 32,5 % Frauen)
■ administrativ	69
■ Studierende, Schüler*innen, Praktikanten	174
■ Auszubildende	12
Labor- und Technikumsflächen	4500 m ²
Gesamtfläche	30 000 m ²

* Stand 31.12.2020



**Wir verpflichten uns
der Nachhaltigkeit.
Und ‚wir‘ bedeutet die
gesamte Belegschaft –
unabhängig von Funktionen
und Arbeitsbereichen.«**

Prof. Dr.-Ing. Eckhard Weidner,
Institutsleiter

Nachhaltige Forschung und Entwicklung

Unsere Verantwortung für die Zukunft

Nachhaltigkeitsbericht

- erster von einem Institut aus dem Bereich angewandte Forschung und Entwicklung (FuE) verfasster Nachhaltigkeitsbericht
 - stellt Leistungen, Entwicklungen und Geschäftsprozesse in Bezug auf Nachhaltigkeit transparent dar
 - will Veränderungs- und Verbesserungsprozesse anstoßen
 - informiert über Innovationen und Verbesserungen, aber auch über Defizite und Risiken
- | | |
|--------|---------------------------------|
| ■ 2008 | 1. Nachhaltigkeitsbericht |
| ■ 2009 | Bewertung von FuE-Projekten |
| ■ 2012 | erstmalig nach GRI*-Standard |
| ■ 2014 | GRI-G4 inkl. Stakeholderdialog |
| ■ 2019 | Sustainable Development Goals |
| ■ 2022 | Nachhaltigkeitsbericht ins Netz |

* Global Reporting Initiative



02

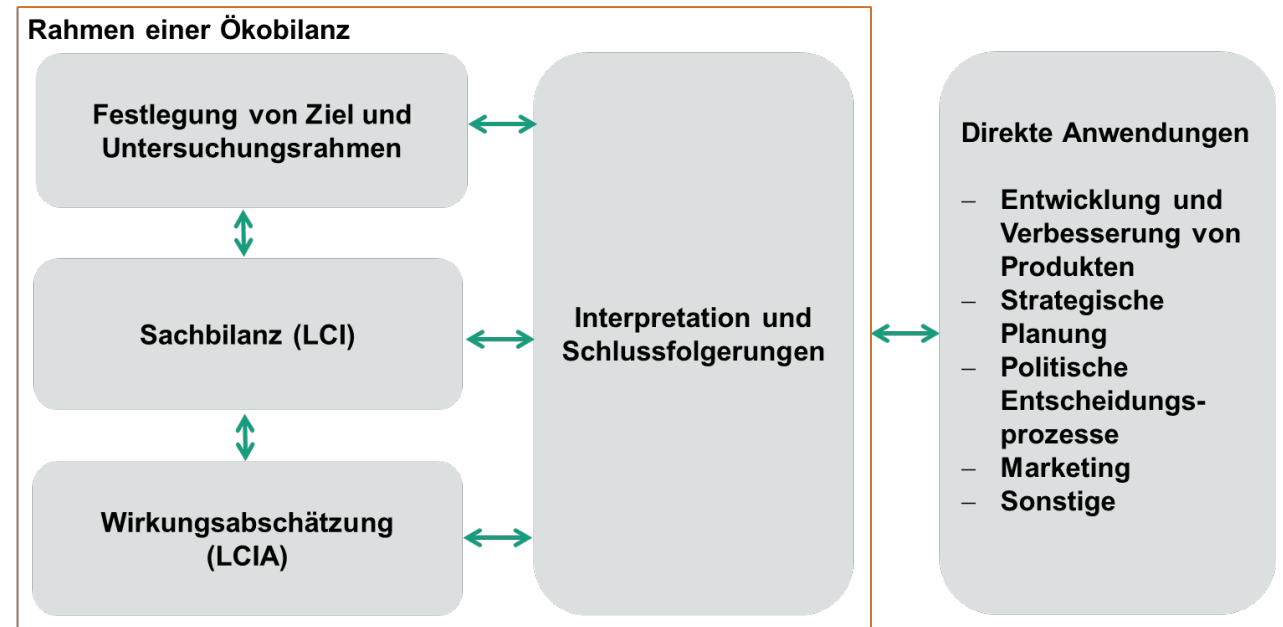


Ablauf Ökobilanzen

Konkrete Vorgehensweise bei der Erstellung einer LCA

Ablauf einer Ökobilanz nach ISO14040/44

- Festlegung des Ziels und des Untersuchungsrahmens
 - Systemgrenzen
 - Cradle-to-gate
 - Cradle-to-grave
 - Systemfließbilderstellung
 - Definition der funktionellen Einheit
- Erstellung der Sachbilanz
 - Fragebogenbasierte Methode zur Erhebung der Inventardaten
 - Konsolidierung der erhobenen Daten
 - Erstellung des LCA-Modells
- Wirkungsabschätzung
 - Product Environmental Footprint Wirkungsabschätzungsmethode
- Interpretation und Berichtsstellung



03



Zielstellung

Ziel und Untersuchungsrahmen

Zielstellung

- Ziel
 - Durchführung vergleichender Carbon Footprint zur Analyse des End-of-Life von Altreifen
 - Vergleich des Recycling von Altreifen
 1. durch Pyrolyse (Verfahren von Pyrum) mit
 2. durchschnittlicher Behandlung von Altreifen in Deutschland/Europa
- Untersuchungsrahmen
 - »Waste-to-Products« Bilanz
 - Recycling von Altreifen durch Pyrolyse im Vergleich zur durchschnittlichen Behandlung von Altreifen in Deutschland/Europa (Primärdaten zu den Referenzprozessen sind literaturbasiert)
- Zusätzlich wird eine qualitative Bewertung der Kreislauffähigkeit durchgeführt

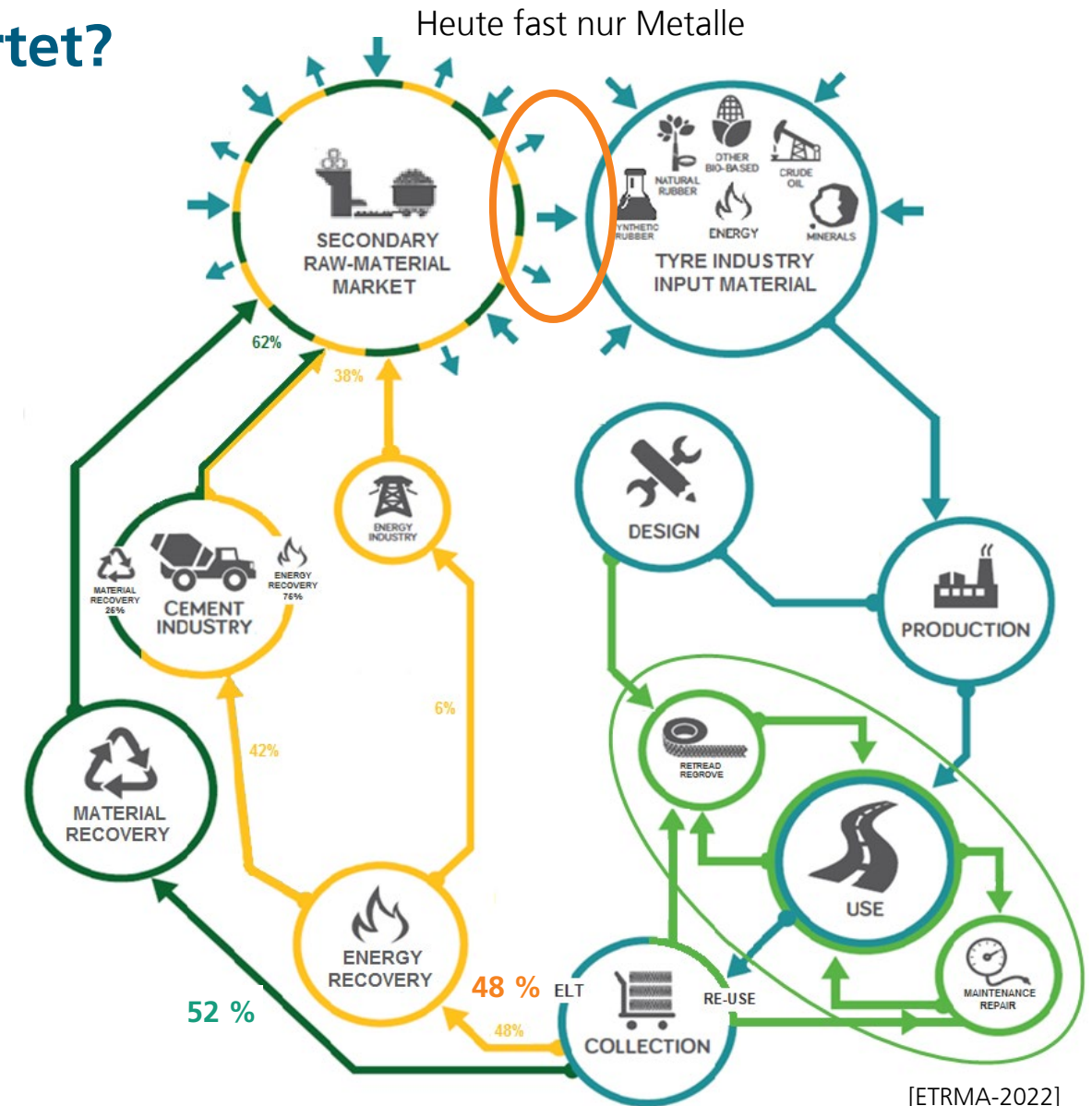
Funktionelle Einheit

- End-of-Life-Behandlung von einer Tonne Altreifen (Abfallperspektive)
 - Berücksichtigung der Erzeugung verschiedener Produkte (z. B. Ruß, Metalle und Pyrolyseöl, Energie einschließlich Gutschriften für Substitutionsprodukte)

Wie werden Altreifen in Europa verwertet?

Statistiken

- Altreifen in Europa: 3,26 Millionen Tonnen im Jahr 2019
- Im Jahr 2019 wurden 95 % der Altreifen gesammelt und für die stoffliche und energetische Verwertung aufbereitet
- Sekundärrohstoffe aus Altreifen sind wichtige Ressourcen für Branchen wie Bau, Automobil, Zement usw.
- Nicht betrachtet wurde die Runderneuerung von Reifen:
 - Runderneuerung insbesondere von Lkw-Reifen in Europa
 - 30 % (Frankreich, Italien, Deutschland, Spanien, Vereinigtes Königreich)
 - Mehr Kaskadennutzung als Kreislaufführung



Definition des Referenzszenarios

Definition Referenzszenario

- Die heutige Entsorgungssituation in Europa:
 - 52 % stoffliche Nutzung
- Verschiedene Anwendungen sind möglich
 - Asphalt, Bodenbeläge, Shock Pads für Kunstrasenplätze, Elastische Tragschicht für Kunstrasenplätze oder Infills für Kunstrasenplätze
 - Hier vereinfacht angenommen: **100 % Infills für Kunstrasenplätze**
- 48 % Energierückgewinnung
 - 42 % Verwertung in Zementindustrie
 - 6 % Ersatzbrennstoff für EBS-Kraftwerke
- Neue Verwertungswege werden gesucht
 - Zunahme Aufkommen Altreifen
 - Regulierungen zur Verwertung von Altreifen werden strenger, Recyclingquoten sollen erhöht werden

Wirkungsabschätzung

LCIA Methode

Wirkungsabschätzungsmethode

- Klimawirkung
 - Datenbasis: Sechster Sachstandsbericht des Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)
 - Methode: IPCC AR6 GWP 100, excl. biogenic CO₂ (version Aug. 2021) [kg CO₂ eq.]

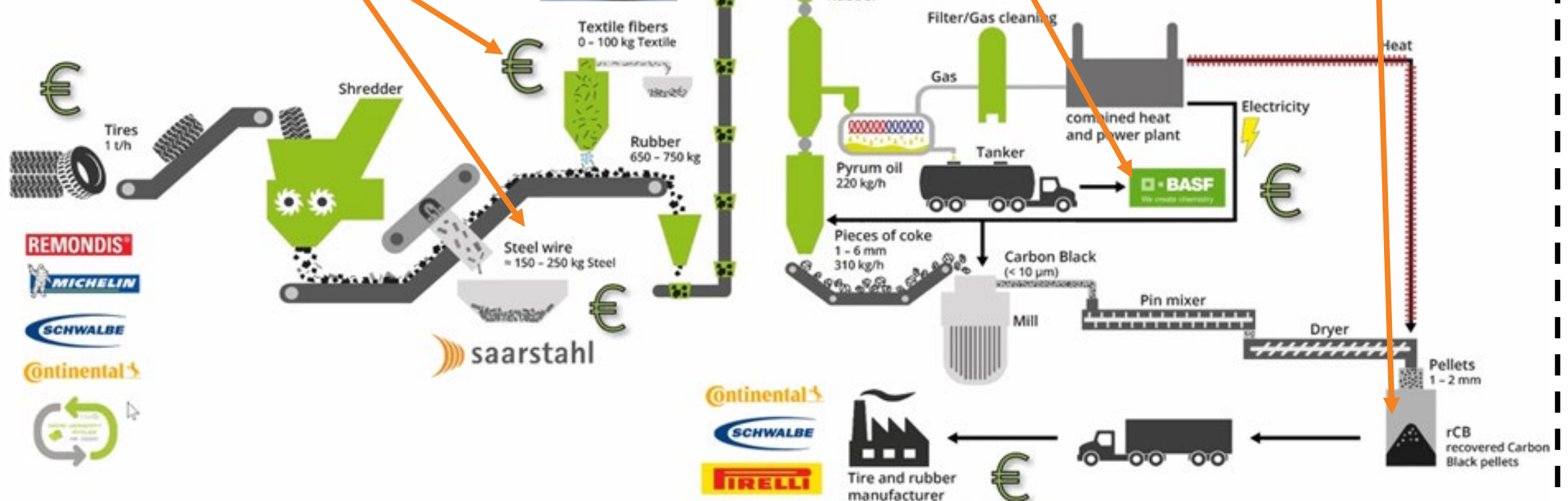
04



Datengrundlage

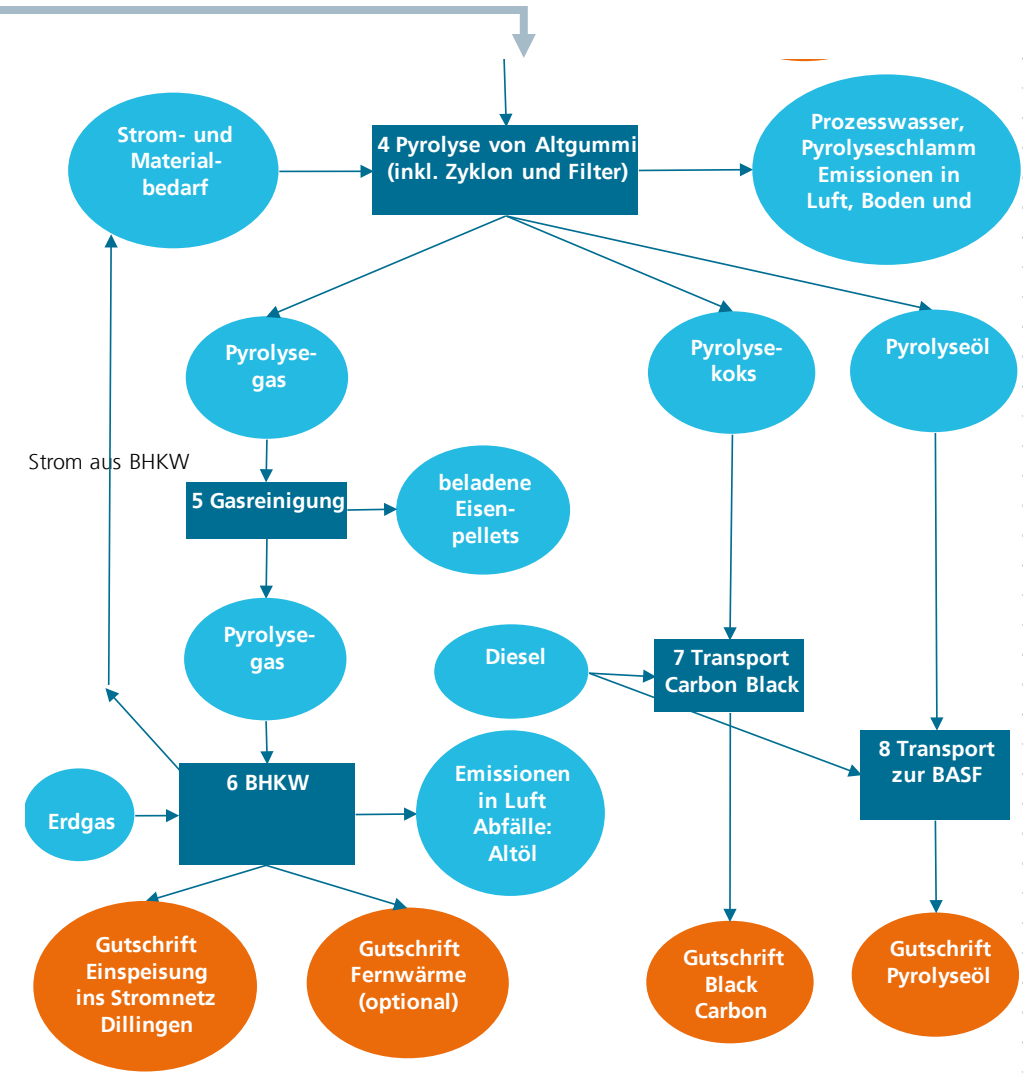
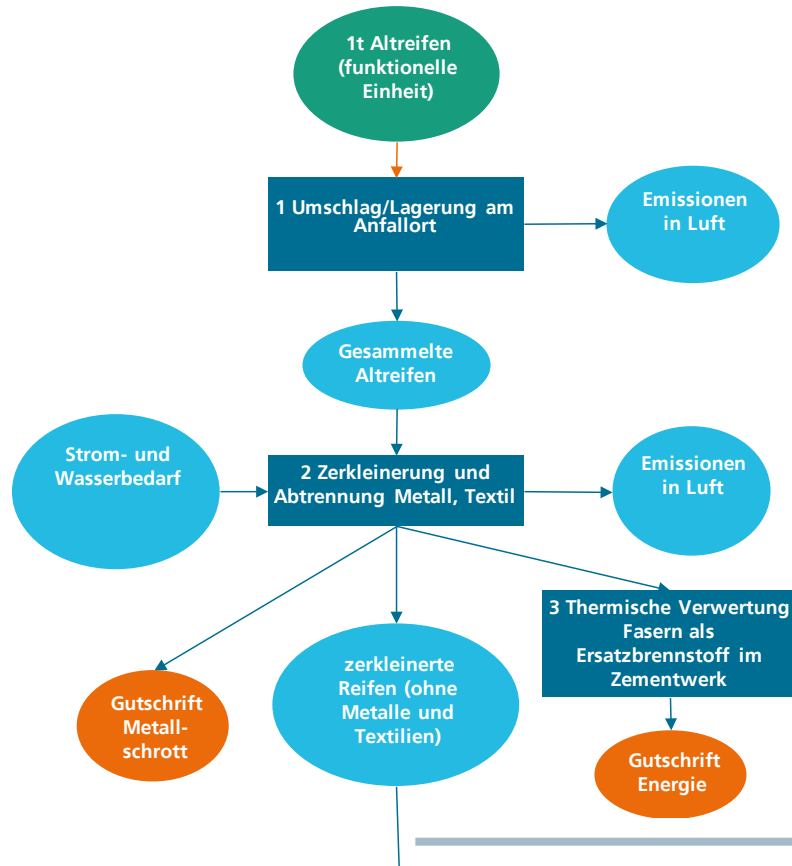
Systemgrenzen

Substitution von **Eisenschrott**,
thermische Behandlung von **Textilien**



Quelle: Pyrum

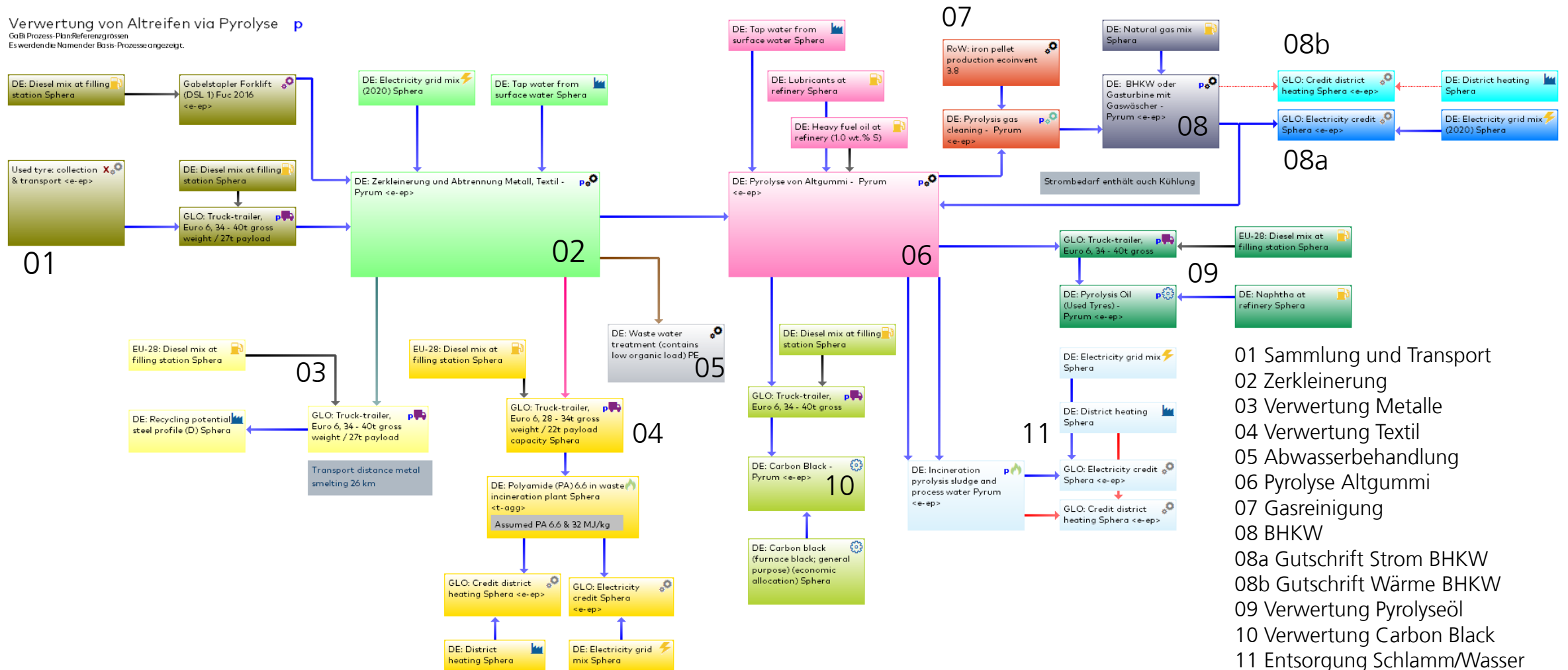
Untersuchungsraum



LCA Modell zur Pyrolyse von Altreifen

Verwertung von Altreifen via Pyrolyse

GaBi Prozess-PlanReferenzgrößen
Es werden die Namen der Basis-Prozesse angezeigt.



- 01 Sammlung und Transport
- 02 Zerkleinerung
- 03 Verwertung Metalle
- 04 Verwertung Textil
- 05 Abwasserbehandlung
- 06 Pyrolyse Altgummi
- 07 Gasreinigung
- 08 BHKW
- 08a Gutschrift Strom BHKW
- 08b Gutschrift Wärme BHKW
- 09 Verwertung Pyrolyseöl
- 10 Verwertung Carbon Black
- 11 Entsorgung Schlamm/Wasser

Daten zum Zementwerk

Brennstoffmix in deutschen Zementwerken

- Fossile Brennstoffe
 - 32,5 %
- Sekundärbrennstoffe
 - 67,5 %
- Heizwert Brennstoffmix
 - 23 MJ/kg
- Heizwert Altreifen
 - 28 MJ/kg

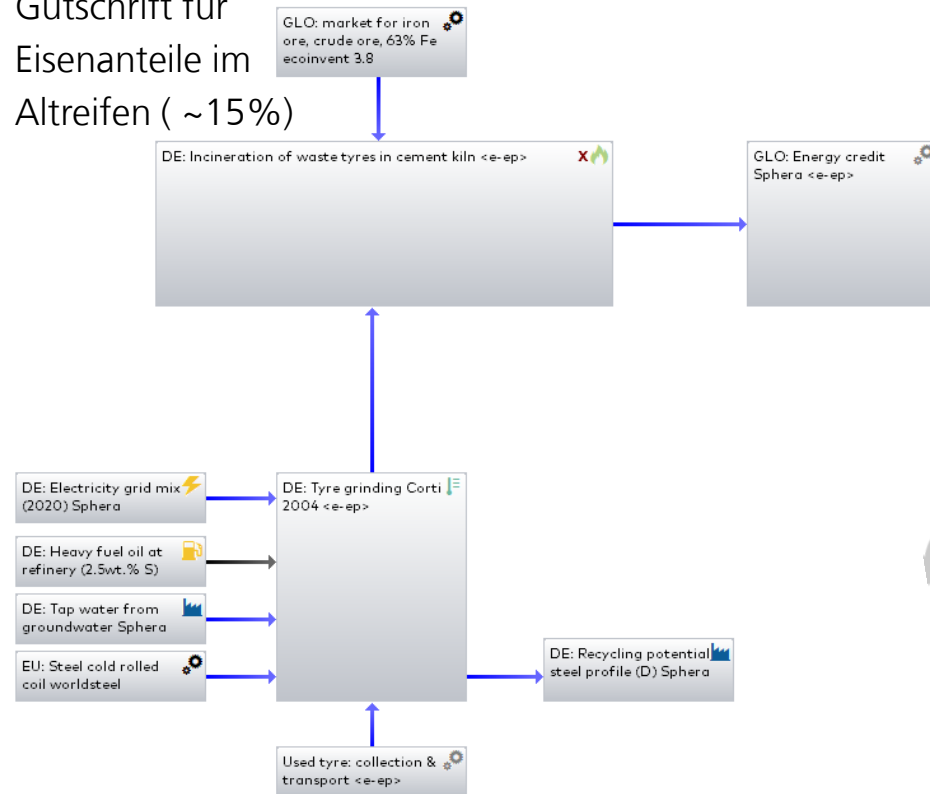
entsprechend Zeschmar-Lahl et al. (2020). Heizwerte, C- und C-fossil-Anteil nach Dehoust et al. (2016)

Brennstoff	Anteil	Heizwert [MJ/kg]	C-Anteil [kg/kg FM]	C-fossil [kg/kg C]	Fossile CO ₂ -Emission	Heizwert [MJ]
Braukohle	20	21,5	0,655	1	0,349	4,3
Erdgas	0,6	38	0,59	1	0,009	0,228
Heizöl	0,9	40	0,87	1	0,021	0,36
Petrokoks	2,8	27,7	0,845	1	0,063	0,7756
Steinkohle	8,2	29	0,885	1	0,194	2,378
Fossil Gesamt	32,5					
Sekundärbrennstoff	67,5	22	0,49	0,74	0,653	14,85
Altreifen	5,8	28	0,65	0,73	0,073	1,624
Altöl	2,2	30	0,83	1	0,049	0,66
Zellstoff/PPK	0,4	5	0,17	0,01	0,000	0,02
Kunststoff	18,4	23	0,47	1	0,231	4,232
SBS (Sekundärbrennstoffe)	27,2	22	0,5	0,63	0,228	5,984
Tiermehl/fett	3,1	18	0,41	0	0,000	0,558
EBS	5,3	18	0,38	0,51	0,027	0,954
Altholz	0	14	0,4	0,05	0,000	0
Lösungsmittel	3,6	25	0,5	1	0,048	0,9
Klärschlamm	1,4	2	0,09	0	0,000	0,028

LCA Modell zur Verwertung im Zementwerk

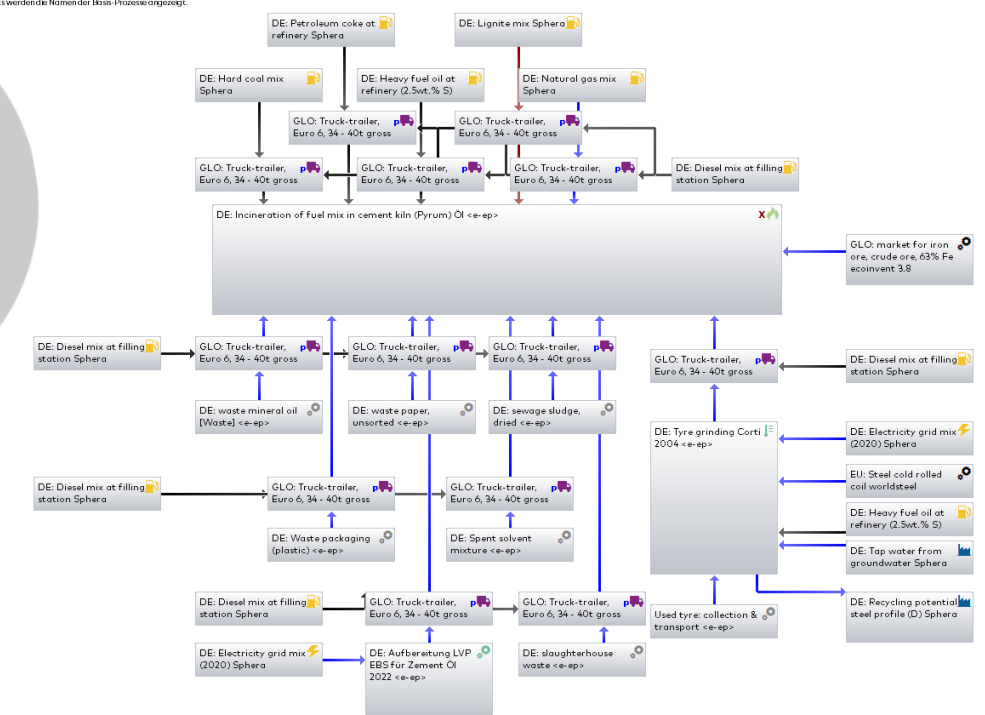
Altreifen in Zementwerk
GaBi Prozess-PlanReferenzgrößen
Es werden die Namen der Basis-Prozesse angezeigt.

Gutschrift für
Eisenanteile im
Altreifen (~15%)

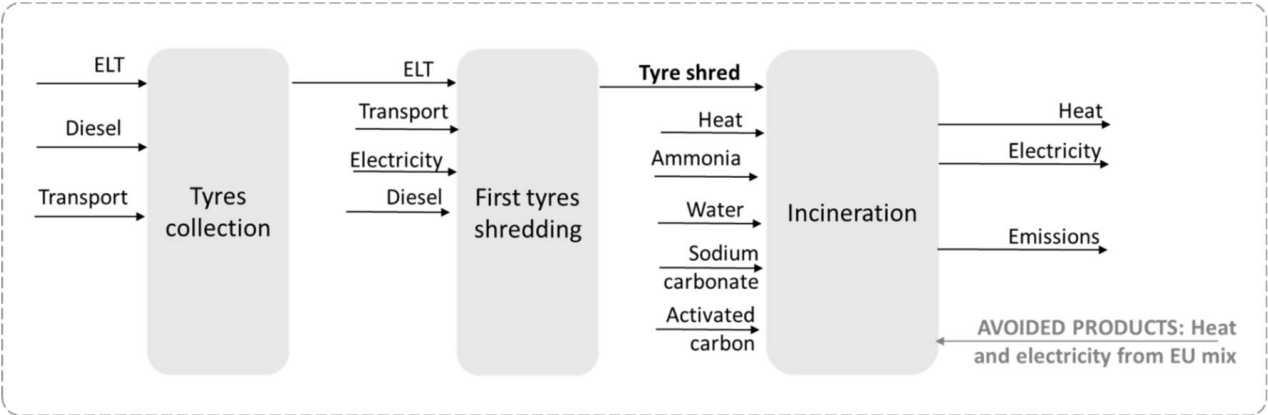


Incineration of fuel mix in cement kiln (incl iron)

GaBi Prozess-PlanReferenzgrößen
Es werden die Namen der Basis-Prozesse angezeigt.

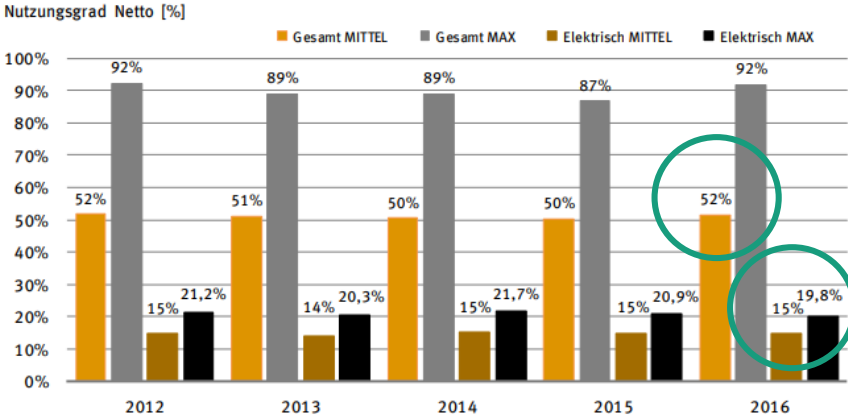


Daten zum EBS Kraftwerk



[Bianco-2021]

Abbildung 3-8 Überblick der Netto-Nutzungsgrade von EBS-Kraftwerken in Deutschland zwischen 2012 und 2016. Angegeben sind jeweils der Mittelwert sowie der Maximalwert des elektrischen und des Gesamtnutzungsgrades (Werte aus Betreiberbefragung)



[UBA-2018]

Quelle: Eigene Darstellung

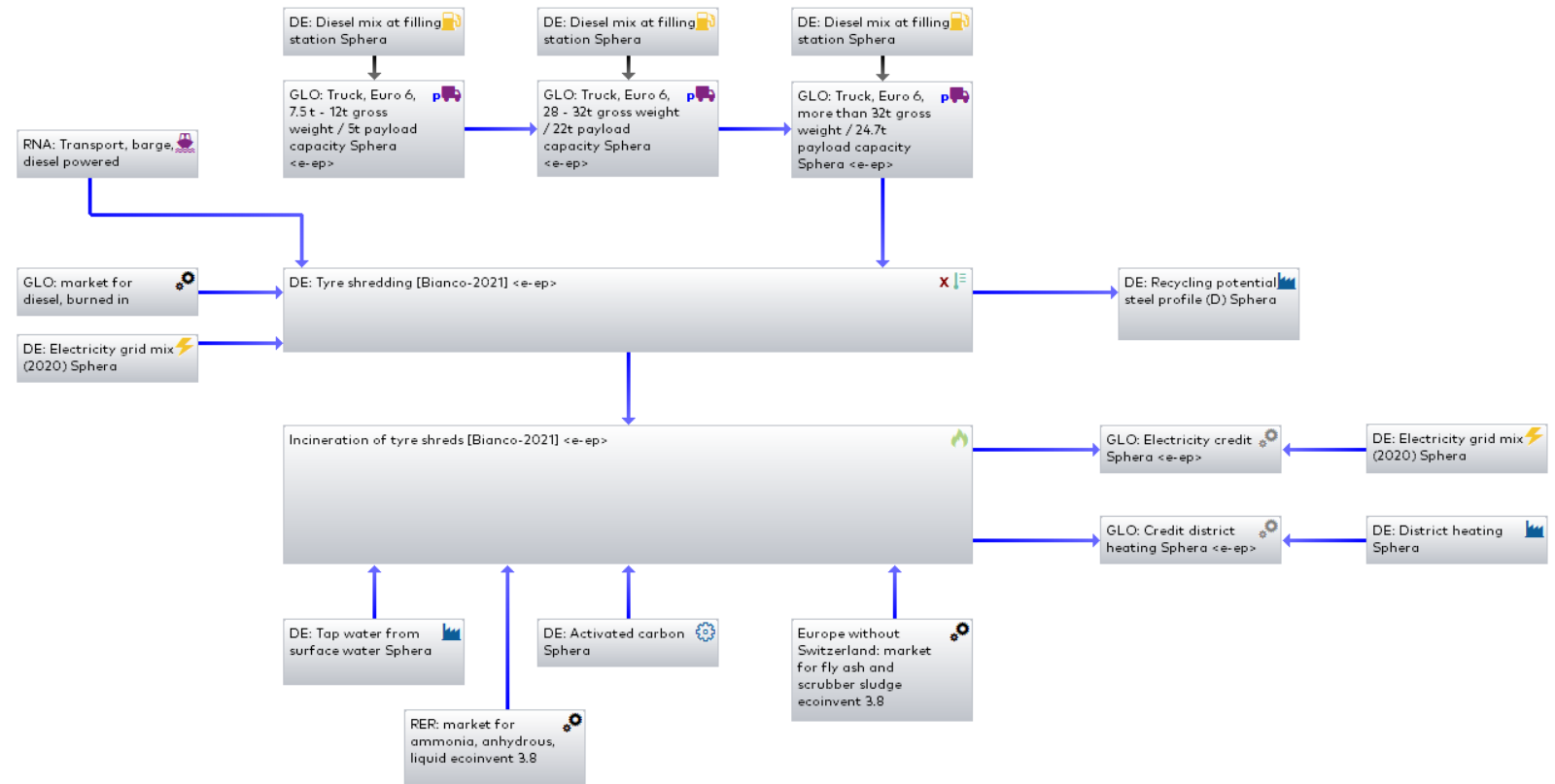
Prozess 1: Altreifen Sammlung	Einheit	Daten
Gesammelte Altreifen	[t]	1
Diesel	[MJ]	28,2
Transport	[tkm]	46,9
Transport	[tkm]	107,3
Transport	[tkm]	70,6
Transport	[tkm]	0,5
Prozess 2: Tyres shredding	Einheit	Daten
Strombedarf	[kWh/t input]	104
Stromquelle	[-]	deutscher Strommix
Diesel	[MJ/t]	111,0
Prozess 3: Incineration	Einheit	Daten
Frischwasserbezug	[kg/t]	1 770,00
Ammonia	[kg/t]	3
Activated carbon	[kg/t]	1,0
Wärme	[MJ/t]	103
Strom Output	[MJ/t]	4 200
Wärme Output	[MJ/t]	10 360
Emission in air: Carbon dioxide	[kg/t]	1 222
Fly ash and scrubber sludge	[kg/t]	40

LCA Modell zur Verwertung von Altreifen im EBS-Kraftwerk

Wesentliche Parameter

- Transporte [Bianco-2021]
- Material- und Energieverbräuche [Bianco-2021]
- Heizwert Altreifen
 - 28 MJ/kg [Dehoust-2016]
- Wirkungsgrad thermisch: 37 % [UBA-2018]
- Wärmeverlust Fernwärme: 11 % [Sphera-2022]
- Wirkungsgrad elektrisch: 15 % [UBA-2018]

Altreifen im EBS-Kraftwerk
GaBi Prozess-PlanReferenzgrößen
Es werden die Namen der Basis-Prozesse angezeigt.



Daten zur Infill Produktion

Wesentliche Parameter

- Metallgehalt Altreifen
 - 14,7 %
- Textil:
 - 12,4 %
- Gummimischung
 - 72,5 %

Ausgewählte Sachbilanzdaten zur SBR-Infill Herstellung

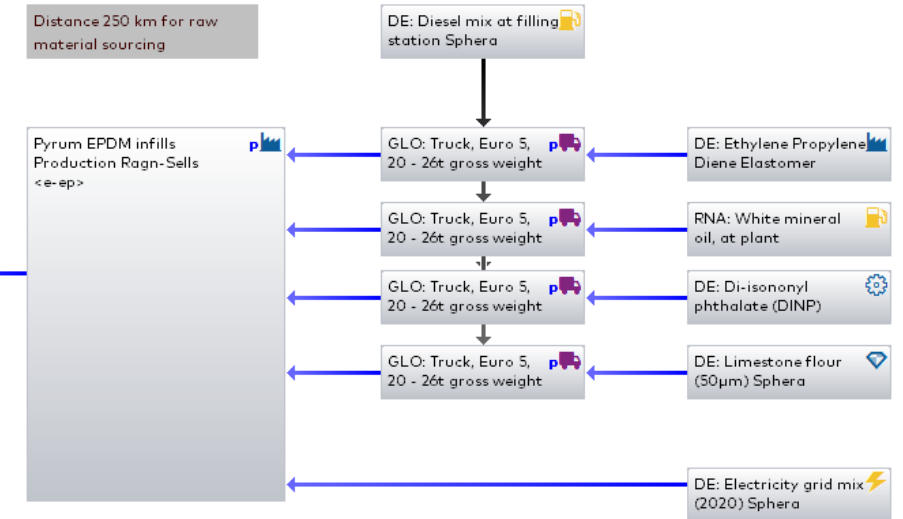
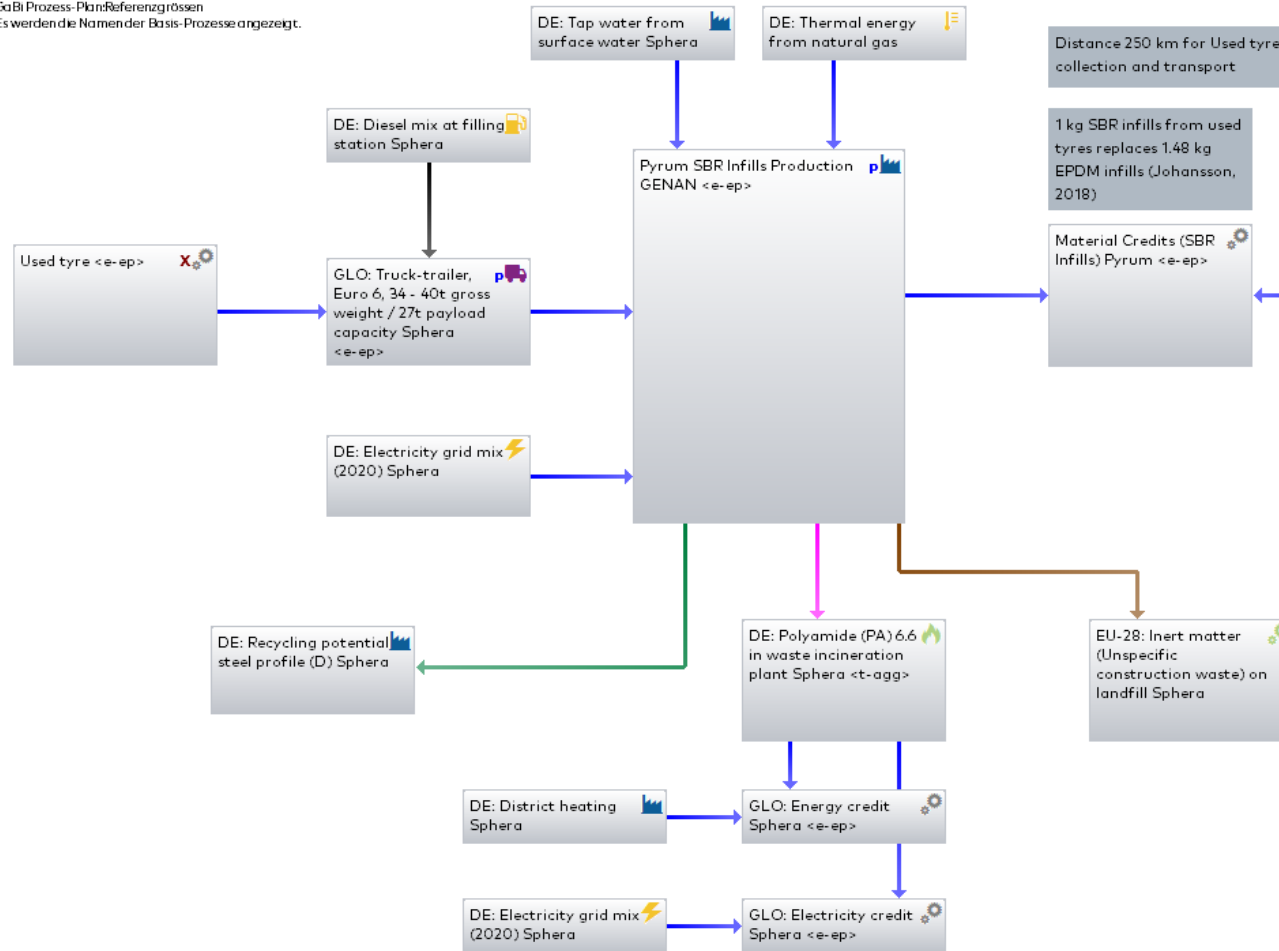
Utility, materials, waste	UNIT	VALUE	SOURCE
Electricity from the grid	kWh/tonne	276	Electricity bill
Water – municipal supply	L/tonne	45	Water bill
Natural gas for heat	M3/tonne	1.98	Gas bill
Diesel for on site vehicles	L/tonne	1	Bill
Steel for steel blades	Kg/tonne	0.4	Weightings
Dust emissions	Kg/tonne	0.035	Measurements
Sand and gravel for landfilling	Kg/tonne	4	Weightings
Steel for recycling	Kg/tonne	147	Weightings
Textile residual fraction	Kg/tonne	124	Weightings
Rubber granulate for recycling	Kg/tonne	725	Weightings

Quelle: [Merlin-2020]

LCA Modell für SBR-Infill Herstellung

SBR Infill Production from Used Tyres

GaBi Prozess-PlanReferenzgrößen
Es werden die Namen der Basis-Prozesse angezeigt.



Substitution von EPDM-Infill durch SBR-Infill

Daten zu Carbon Black Herstellung

Carbon Footprint

- Energieintensiver Prozess
 - Ca. 44 MJ/kg
 - 55 % Ausbeute
- Nebenprodukt von Carbon Black ist Energie
 - Ergebnis hängt stark vom Modellierungsansatz ab

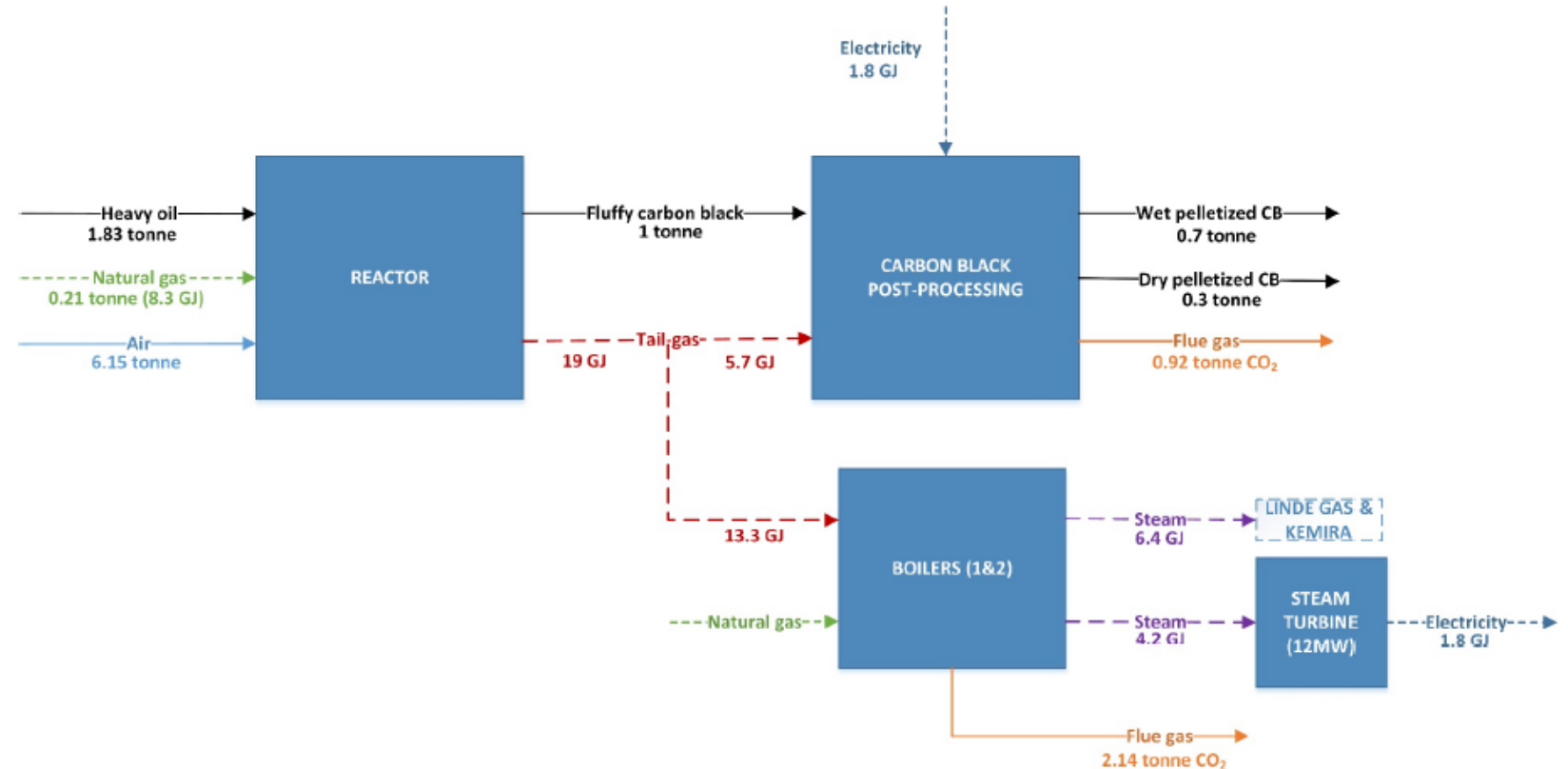


Figure 5 Estimated mass flows, energy flows and greenhouse gas emissions for the carbon black production process at Cabot B.V.

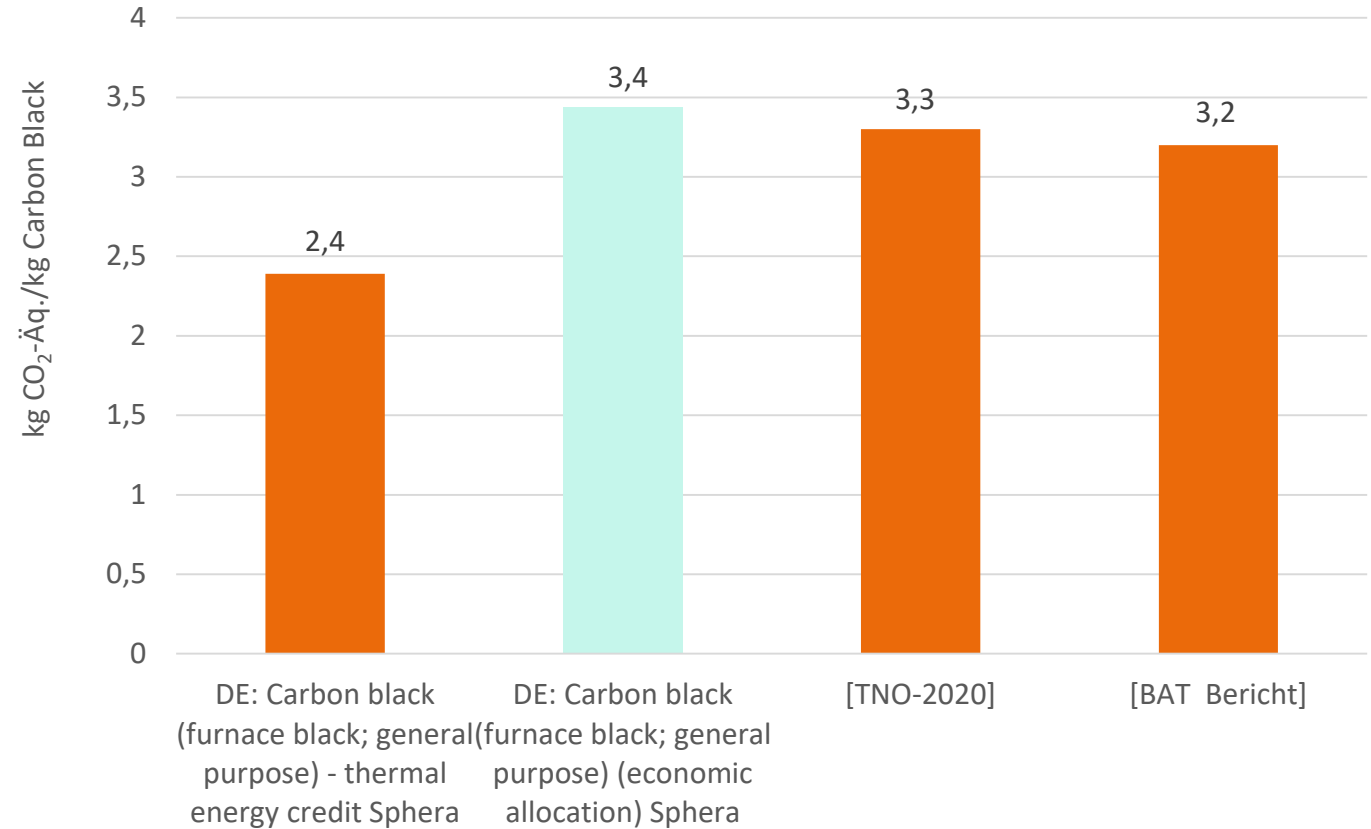
Quelle: [TNO-2020]

Carbon Footprint von Carbon Black

Sensitivität Carbon Black

Carbon Footprint Carbon Black

- Unterschiedliche Qualitäten und Herstellungsverfahren
 - Nebenprodukt von Carbon Black ist Energie
 - Allokationsverfahren entscheidend
 - Ökonomische Allokation erscheint die fairste Variante zu sein
- Aktuelle Angaben zu Carbon Footprints liegen zwischen 3,2 und 3,4 kg CO₂-Äq.
 - 2,4 kg CO₂-Äq. bei energetischer Allokation zwischen Abwärme und Carbon Black



05

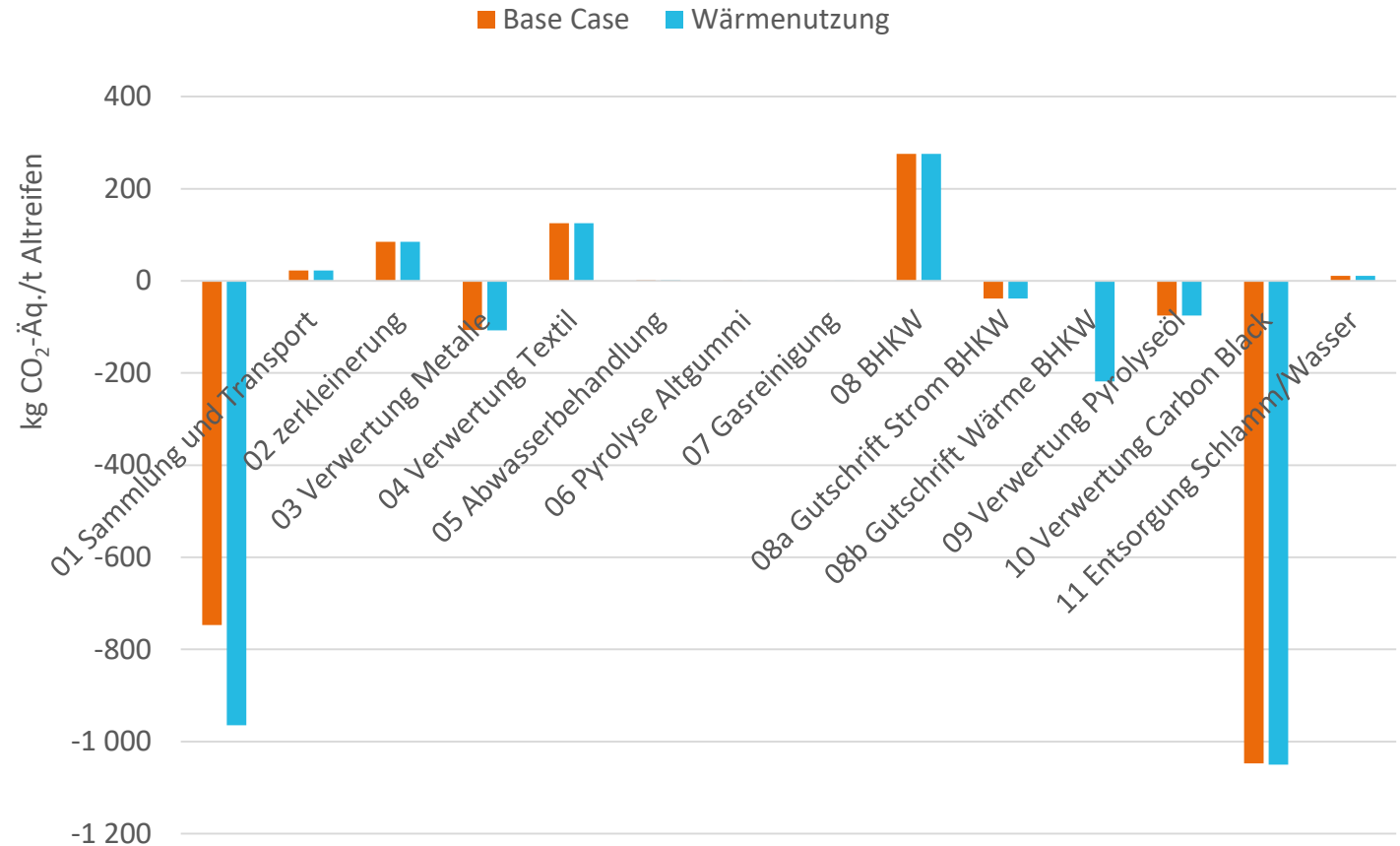


Ergebnisse

Ergebnisse Pyrum

Auswirkungen auf die globale Erwärmung für End-of-Life Behandlung von 1 t Altreifen

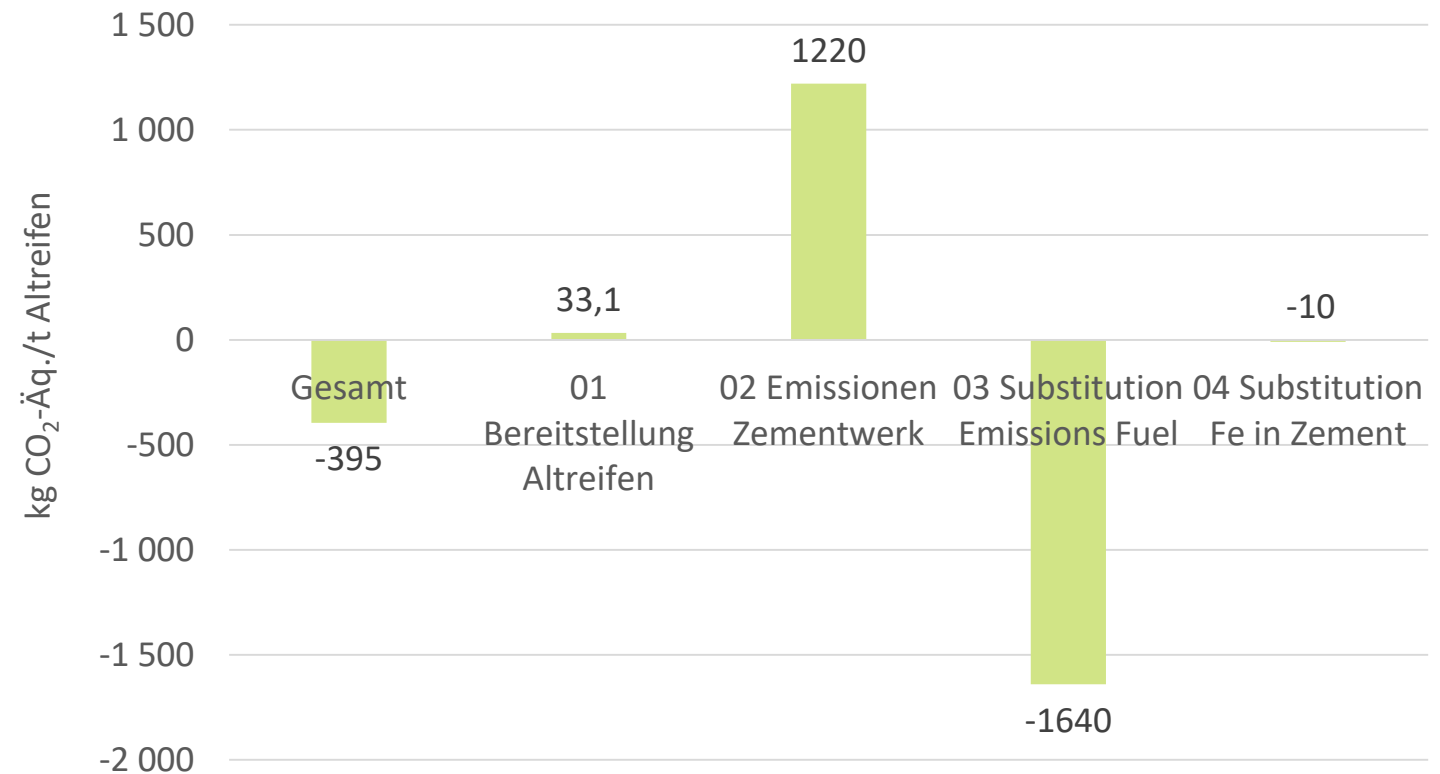
- Pyrolyse
 - -747 kg CO₂-Äq.
 - -965 kg CO₂-Äq. mit Wärmenutzung
- KWK wird mit Pyrolysegas und Erdgas befeuert
 - Erhebliche CO₂-Emissionen
- Hoher Einfluss Gutschrift für Ruß
- Textilbehandlung führt zu Netto-CO₂-Emissionen
- Pyrolyseöl liefert nur geringe Gutschriften



Ergebnisse Zementwerk

Auswirkungen auf die globale Erwärmung für End-of-Life Behandlung von 1 t Altreifen

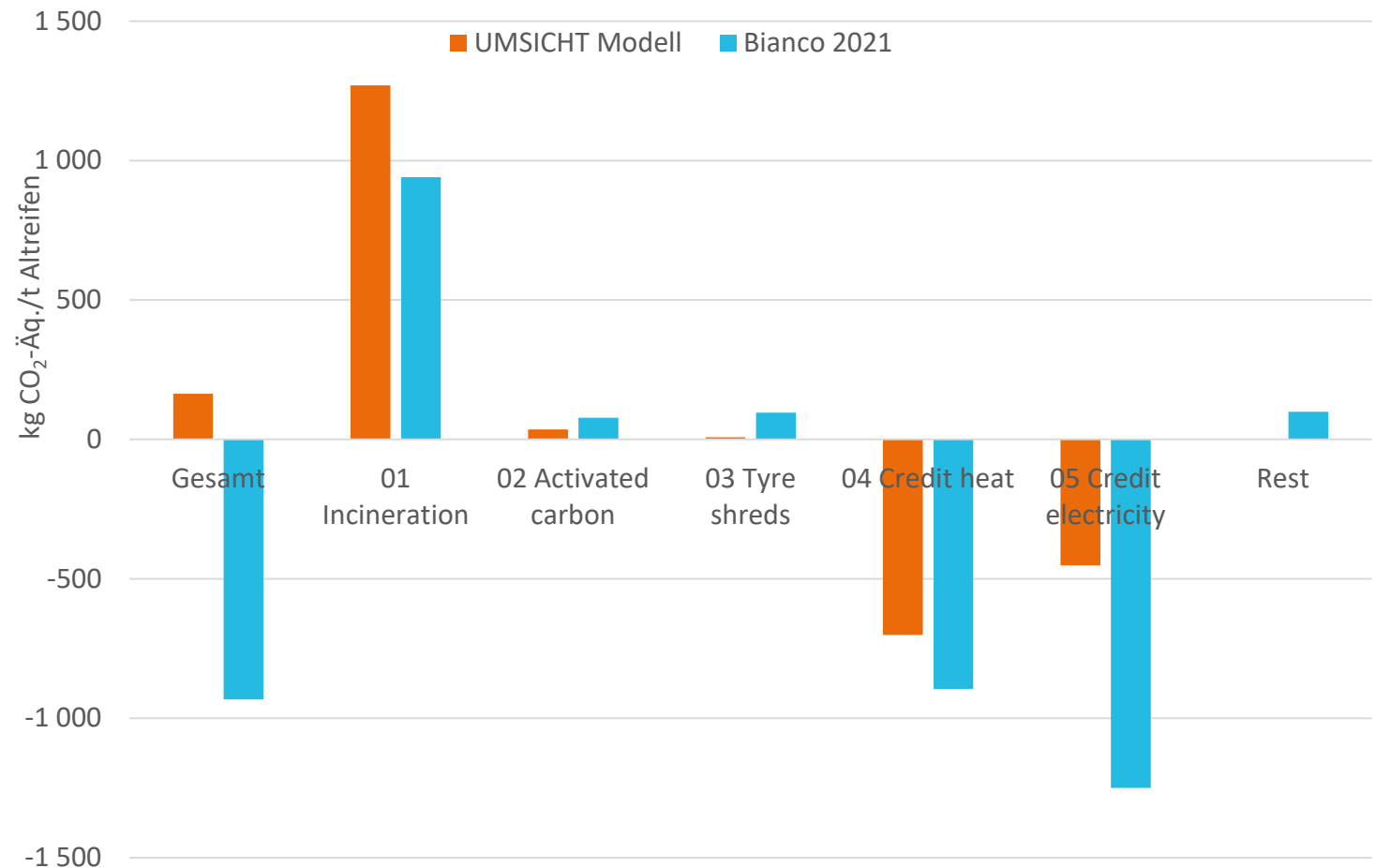
- Verwertung Zementwerk
 - -395 kg CO₂-Äq.
- Emissionen durch Verbrennung Altreifen
 - 1 220 kg CO₂-Äq.
- Vermiedene Emissionen im Zementwerk
 - 1 650 kg CO₂-Äq.



Ergebnisse EBS Kraftwerk

Auswirkungen auf die globale Erwärmung für End-of-Life Behandlung von 1 t Altreifen

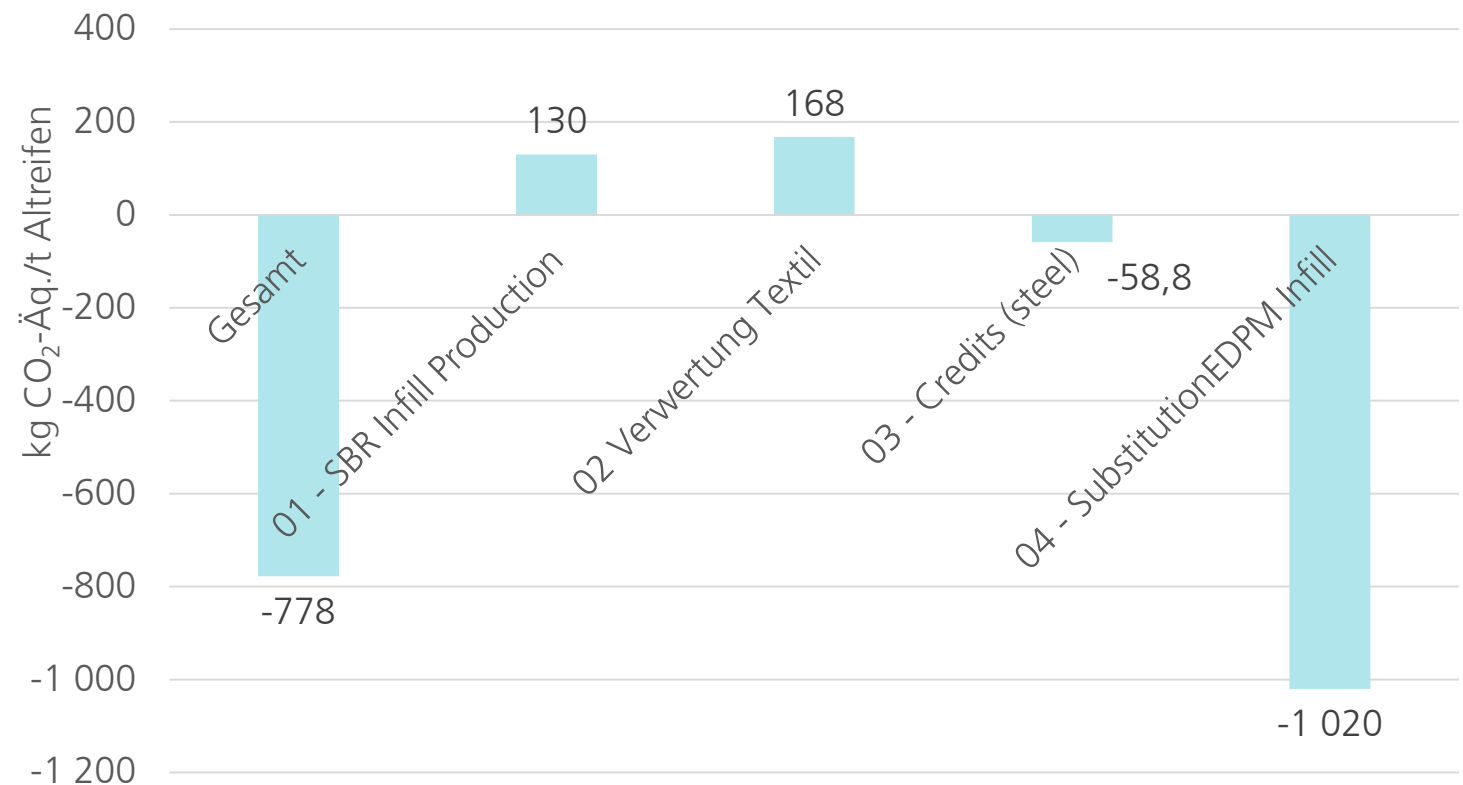
- Verwertung EBS-Kraftwerk
 - 164 kg CO₂-Äq.
- Emissionen durch Verbrennung Altreifen
 - 1 270 kg CO₂-Äq.
- Substitution Fernwärme
 - Wirkungsgrad thermisch: 37 %
 - -701 kg CO₂-Äq.
- Substitution Strom
 - Wirkungsgrad elektrisch: 15 %
 - 452 kg CO₂-Äq.



Ergebnisse Verwertung Altreifen für Infill

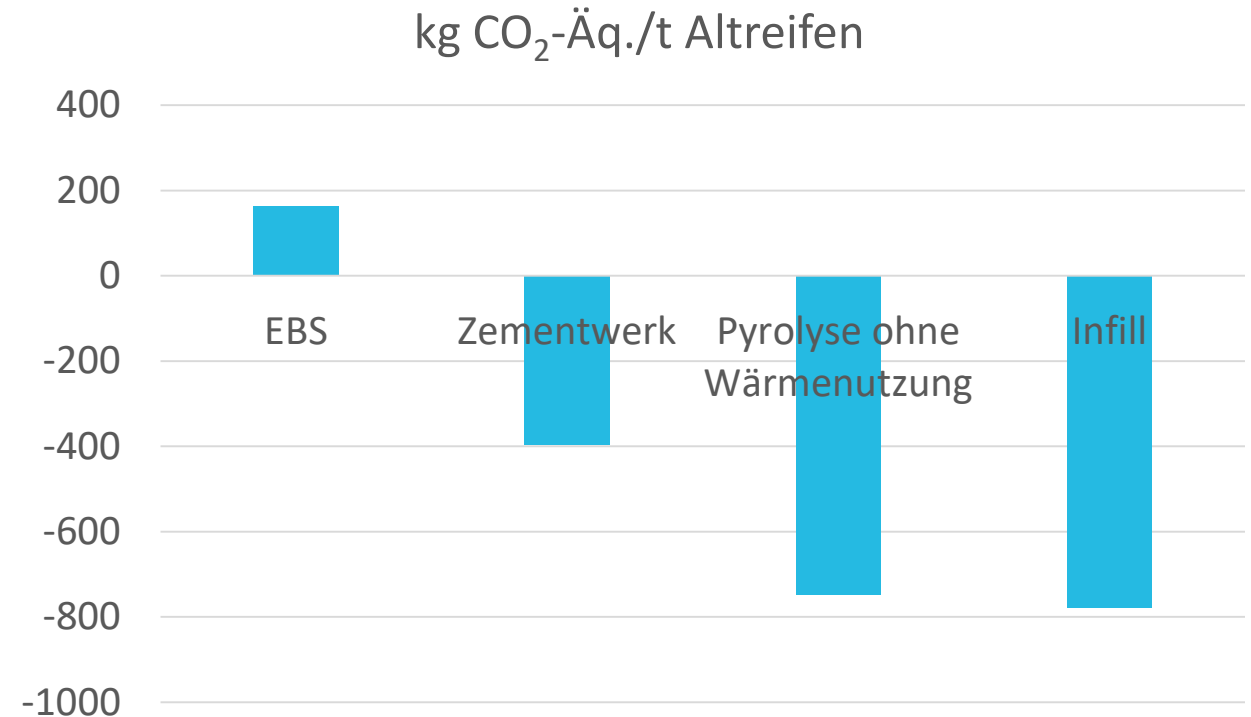
Auswirkungen auf die globale Erwärmung für End-of-Life Behandlung von 1 t Altreifen

- Verwertung für Infill
 - -778 kg CO₂-eq.
- Emissionen durch Verarbeitung
 - 130 kg CO₂-eq.
- Substitution Infill (EPDM) volumenbasiert
 - -1 020 kg CO₂-eq.



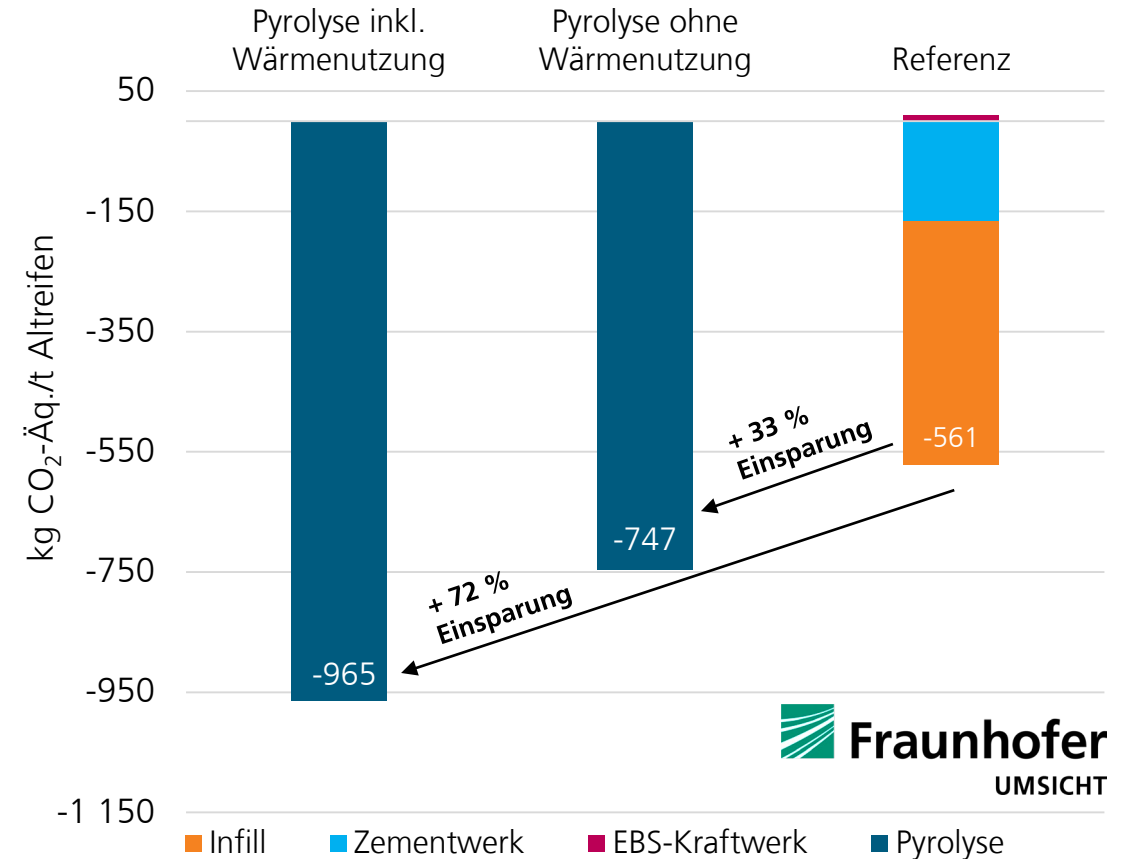
Ergebnisse im Vergleich

- Infill
 - -778 kg CO₂-eq.
 - Pyrum
 - -747,00 kg CO₂-eq.
 - Zementwerk
 - -395 kg CO₂-eq.
 - EBS
 - 164 kg CO₂-eq.
-
- Alternative stoffliche Nutzung zeigt ebenfalls hohe Einsparungen
 - Energetische Nutzung weniger vorteilhaft



Ergebnisse im Vergleich

- Pyrolyse bei Pyrum
 - -747 kg CO₂-Äq. (ohne Wärmenutzung)
 - -965 kg CO₂-Äq. (mit Wärmenutzung)
 - Referenz Durchschnitt Behandlung Altreifen
 - -561 kg CO₂-Äq.
 - EBS-Kraftwerk (Anteil 6 %)
 - 10 kg CO₂-Äq.
 - Zementwerk (Anteil 42 %)
 - -166 kg CO₂-Äq.
 - Infill (Anteil 52 %)
 - -405 kg CO₂-Äq.
-
- Zusammensetzung Referenz
 - 52 % stoffliche Nutzung (hier Infill)
 - 48 thermische Verwertung
 - 42 % Sekundärbrennstoff im Zementwerke
 - 6 % EBS-Kraftwerk



Quelle: Maga, D.; Aryan, V.; Blömer, J. (2022): Vergleichende Ökobilanz von End-of-Life Optionen für Altreifen; Fraunhofer-Institut für Umwelt-, Sicherheits- und Energietechnik UMSICHT

06



Interpretation

Interpretation der LCA Ergebnisse

- Infill zeigt kleine Vorteile gegenüber Verwertung von Altreifen via Pyrolyse
- Pyrolyse zeigt 25 % weniger Emissionen als der deutsche Durchschnitt
- Pyrolyse zeigt deutliche Klimavorteile gegenüber thermischer Verwertung
- Gutschrift für Carbon Black und EPDM Infill zeigen die größte Sensitivität
 - Daten sind aber belastbar
- Leichte Unterschiede in der Zusammensetzung der Altreifen
 - Pyrum verwertet neben Altreifen (LKW, PKW) auch Karkassen aus Runderneuerung mit niedrigerem Gummigehalt
 - Metallgehalt für Referenzen: 14,7 % / 26,9 % (Pyrum)
 - Fasergehalt für Referenzen: 12,4 % / 9,5 % (Pyrum)
 - Gummimischungsgehalt für Referenzen: **72,5 % / 63,6 %** (Pyrum)
 - Geringerer Gummigehalt führt zu weniger Carbon Black Substitut, welches die Bilanz dominiert
 - **Konservativer Ansatz** (höherer Gummianteil führt zu höheren Einsparungen)
- Netto positive Emissionen durch EBS-Kraftwerk deckt sich nicht mit Literaturangaben
 - Aktuelle Berechnungen erscheinen plausibel für die durchschnittliche Situation in Deutschland
 - Ursachen für die Unterschiede
 - Emissionen aus Verbrennung etwas höher
 - Geringerer Wirkungsgrad EBS Kraftwerk
 - Berücksichtigung Wärmeverlust bei Fernwärme

Bewertung der Zirkularität

Zusätzliche Betrachtung

Zirkularität

- Durch das Pyrolyseverfahren können Metalle, Öl und vor Allem Carbon Black zurückgewonnen werden
 - Stoffliche Verwertung: 75 %
 - Energetische Verwertung: 25 %
- Infill: nur die Fasern werden thermisch verwertet
 - 87,6 % stofflich
 - 12,4 % thermisch
- Bei energetischer Nutzung werden nur (zum Teil) die Metalle zurückgewonnen
- Auch wenn stoffliche Verwertungsquote bei Infill höher ist, ist der Markt für Infill deutlich begrenzter
 - Zudem kann der via Pyrolyse recycelte Reifen auch ins Infill gehen und das Infill kann wieder in die Pyrolyse gehen
 - → die Pyrolyse kann die Materialien auch über mehrere Lebenszyklen im Kreislauf halten
 - → **maximale Zirkularität** wird erreicht über **Kombination von Pyrolyse und stofflicher Verwertung** von Altreifen

Verwertungsbilanz Pyrolyse

1 Tonne Altreifen

269	kg Stahl
313	kg Carbon Black
166	kg Pyrolyseöl
748	kg stofflich
95	kg Fasern
135	kg Pyrolysegas
22	kg Reste
252	thermisch

Aktuelle Informationen zur Ökobilanzierung finden Sie hier:

<https://www.umsicht.fraunhofer.de/de/forschung-fuer-den-markt/oekobilanzierung-life-cycle-assessment.html>

Kontakt

Dr. Daniel Maga
Gruppe Nachhaltigkeitsbewertung
Tel. +49 208 8598-1191
Fax +49 208 8598-1289
daniel.maga@umsicht.fraunhofer.de

Fraunhofer UMSICHT
Osterfelder Str. 3
46047 Oberhausen
www.umsicht.fraunhofer.de



Fraunhofer-Institut für Umwelt-,
Sicherheits- und Energietechnik
UMSICHT



Dr.-Ing. Daniel Maga
Nachhaltigkeit und Partizipation
Gruppenleiter Nachhaltigkeitsbewertung
☎ +49 (0) 208-8598-1191
✉ daniel.maga@umsicht.fraunhofer.de



Venkat Aryan M.Eng., MSc.-MiM
Nachhaltigkeit und Partizipation
Nachhaltigkeitsbewertung
☎ +49 (0) 208-8598-1417
✉ venkat.aryan@umsicht.fraunhofer.de



Dr.-Ing. Jan Blömer
Nachhaltigkeit und Partizipation
Nachhaltigkeitsbewertung
☎ +49 (0) 208-8598-1406
✉ jan.bloemer@umsicht.fraunhofer.de

Vielen Dank für Ihre
Aufmerksamkeit

Referenzen

[Bianco-2021]	Bianco, Isabella; Panepinto, Deborah; Zanetti, Mariachiara (2021): End-of-Life Tyres: Comparative Life Cycle Assessment of Treatment Scenarios. In: Applied Sciences 11 (8), S. 3599. DOI: 10.3390/app11083599.
[Dehoust-2016]	Dehoust, G.; Möck, A.; Merz, C.; Gebhardt, P. (2016): Umweltpotenziale der getrennten Erfassung und des Recyclings von Wertstoffen im Dualen System. Öko-Institut e.V. (Hg.). Berlin, 2016.
[ETRMA-2016]	ETRMA (2022): Circular Economy. Online verfügbar unter https://www.etrma.org/key-topics/circular-economy/ .
[Merlin-2020]	Merlin, Charlotte B.; Vogt, Regine (2020): Life cycle assessment of waste tyre treatments: Material recycling vs. coincineration in cement kilns. Hg. v. FORCE Technology und ifeu – Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg GmbH, zuletzt geprüft am 02.09.2022.
[Sphera-2022]	Sphera Solutions GmbH: Gabi Software System and Database for Life Cycle Engineering; Dataset: DE: District heating Sphera
[TNO-2020]	Chikri, Y. Abdallas; Wetzels, W. (2020): Decarbonisation options for the Dutch carbon black industry. Hg. v. TNO und PBL Netherlands Environmental Assessment Agency. The Hague, zuletzt geprüft am 02.09.2022.
[UBA-2018]	Sabine Flamme, Jörg Hanewinkel, Peter Quicker, Dr. Kathrin Weber: Energieerzeugung aus Abfällen Stand und Potenziale in Deutschland bis 2030. Hg. v. Umweltbundesamt, zuletzt geprüft am 02.09.2022.