

SCI4climate.NRW

Biomassepotential bzw. -einsatz in der Stahl- und Zementindustrie

BFI, VDZ



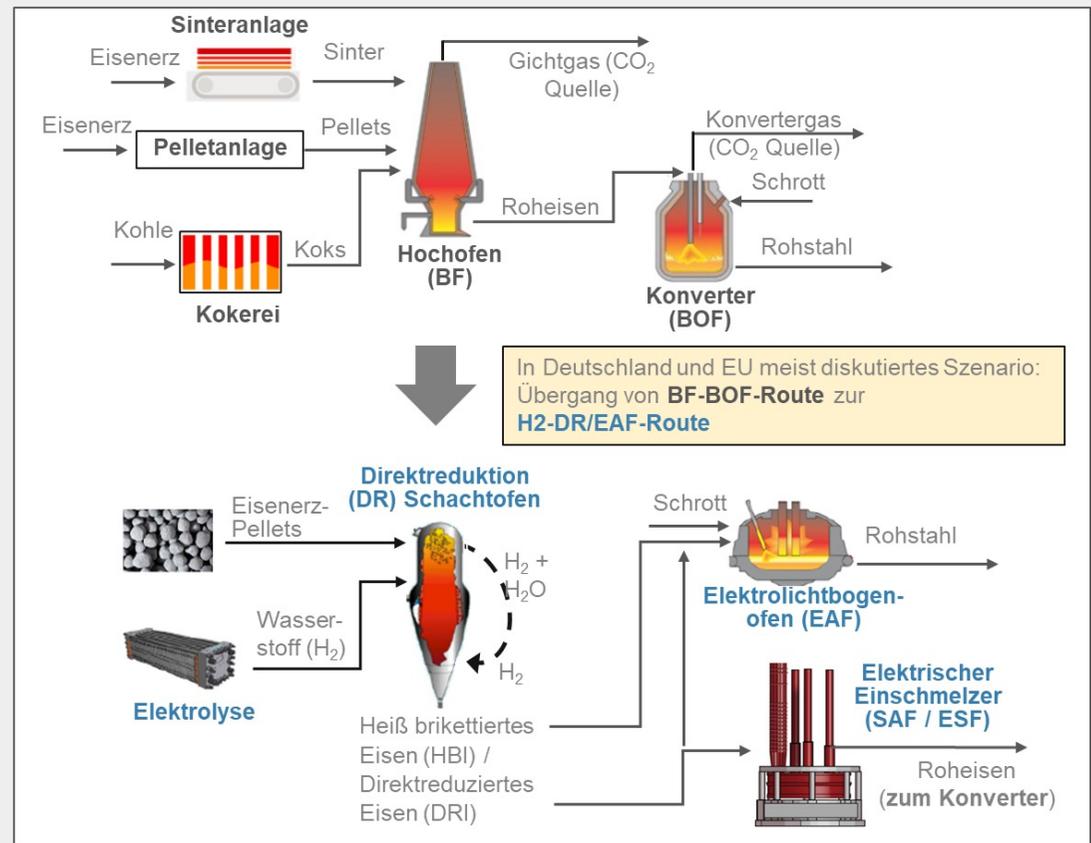
SCI4CLIMATE
.NRW

IN4climate.NRW Plenumsitzung
27. März 2025
Gelsenkirchen

Biomassepotential in der deutschen Stahlindustrie

Transformation der deutschen Stahlindustrie - Vermeidung fossiler CO₂-Emissionen

- **Primär-Stahlerzeugung (aus Eisenerz)**
 - Ersatz von fossilem Kohlenstoff als Reduktionsmittel durch „grünen“ H₂ (Direktreduktion)
 - Elektrische Energie zum Einschmelzen (EAF oder SAF/ESF)
- **Sekundär-Stahlerzeugung (aus Schrott)** unverändert über Elektrolichtbogenofen



Spezifischer Kohlenstoffbedarf nach Transformation der Stahlindustrie

- Es verbleibt Bedarf an **festem Kohlenstoff** in elektrischen Schmelzaggregaten sowie in der Sekundärmetallurgie
- Fester Kohlenstoff bis 100 % austauschbar durch **Bio-Kohlenstoff** -> aus Biomasse (Holz oder vglb.)

	Prozess	Kohlenstoff-träger (fossil)	Spezifische Einsatzmenge in kg/t Rohstahl bzw. Roheisen		Austauschrate Bio-Kohlenstoff	Einsatzform	Stoffliche Anforderungen an Kohlenstoff-träger	Option zur Kohlenstoff-Kreislauf-schließung
			min	max				
Elektrostahlwerk	Elektrolichtbogenofen (EAF)	Satzkohle	5	12	50-100 %	Grobstückig, agglomeriert	Geringer/mittlerer Anteil flüchtiger Komponenten möglich	CCU aus EAF-Prozessgas (technisch schwierig umsetzbar)***
		Einblaskohle (Schlackeschäumen)	5	10	50-100 %	Feinkörnig, pneumatisch förderbare Injektionsmischung		
		EAF-Graphitelektroden	1	3	0 %	-		
	Sekundärmetallurgie (Elektrostahlwerk)	Aufkohlungsmittel	1,4		50-100 %	Kleinstückig, agglomeriert	Flüchtige Komponenten weitgehend unerwünscht	CCU technisch nicht sinnvoll
DRI-Einschmelzer	DRI-Einschmelzer (SAF, ESF)	Aufkohlungs- und Reduktionsmittel	35 *	50 **	50 – 100 % (vgl. Satzkohle EAF)	Grobstückig, agglomeriert	Flüchtige Komponenten weitgehend unerwünscht	CCU aus Einschmelzer- und Konverter-Prozessgas (technisch gut umsetzbar)
		Graphit- oder Söderberg-Elektroden Einschmelzer	1		0 %	-		
	Sekundärmetallurgie (Oxygenstahlwerk)	Aufkohlungsmittel	0,25		50-100 %	Kleinstückig, agglomeriert	Flüchtige Komponenten weitgehend unerwünscht	CCU technisch nicht sinnvoll

* Abgeschätzt: bei Roheisen-Aufkohlung auf 3 %, zzgl. 5 kg/t zur Reduktion;
 ** Abgeschätzt: bei Roheisen-Aufkohlung auf 4,5 %, zzgl. 5 kg/t zur Reduktion;
 *** abhängig von Art der Prozessführung

Quelle: VDEh-Betriebsforschungsinstitut GmbH, Sci4Climate.NRW

Szenario – Stahlproduktion 2045

Rohstahl-Produktionsmenge (unlegiert/niedrig legiert)			
Basisdaten: Jahr 2019			
	Oxygenstahl in mio t/a	Elektrostahl in mio t/a	Summe in mio t/a
Deutschland	27,4	11,3	38,7
NRW	13,9	0,3	14,2

Quelle: VDEh-Betriebsforschungsinstitut GmbH, Sci4Climate.NRW

- Anteil Produktionsmenge DRI-Einschmelzer-Route an Gesamt-Rohstahlerzeugung (Abgeschätzt nach aktuellen Transformationsplänen deutscher Stahlhersteller):
 - NRW: 60 %
 - Deutschland: 22 %

Kohlenstoffbedarf bzw. Bio-C-Potential bei vollständig transformierter Stahlerzeugung

- **Kohlenstoffbedarf bzw. Bio-C-Potential**
 - Deutschland: bis zu 1,1 Mio t/a
 - NRW: bis zu 0,56 Mio t/a

Kohlenstoffträger	Deutschland			NRW		
	Stahl- Erzeugung in Mio t/a	Bio-C- Potential (min) in t/a	Bio-C- Potential (max) in t/a	Stahl- Erzeugung in Mio t/a	Bio-C- Potential (min) in t/a	Bio-C- Potential (max) in t/a
Primärstahlerzeugung über DRI-Einschmelzer						
Reduktionskohle Einschmelzer	8,5	42.500	42.500	8,5	42.500	42.500
C zur Aufkohlung im Einschmelzer		255.000	382.500		255.000	382.500
Aufkohlungsmittel Sekundärmetallurgie (Oxygenstahlwerk)		2.125	2.125		2.125	2.125
Primär- und Sekundärstahlerzeugung über Elektrolichtbogenofen						
EAF-Satzkohle	30,2	150.750	361.800	5,7	28.500	68.400
EAF-Einblaskohle		150.750	301.500		28.500	57.000
Aufkohlungsmittel Sekundärmetallurgie (Elektrostahlwerk)		42.210	42.210		7.980	7.980
Summe	38,7	643.335	1.132.635	14,2	364.605	560.505

Quelle: VDEh-Betriebsforschungsinstitut GmbH, Sci4Climate.NRW

Primär-Biomassepotential (Holz/Restholz) der zukünftigen Stahlindustrie in Deutschland und NRW



Zukunftsszenarien	Bio-C-Potential in t/a		Feststoff- ausbeute Holz-> Bio-C (Pyrolyse)	Primär-Biomasse (Holz/Restholz) in t/a	
	min	max		min*	max*
Deutschland					
22 % der Gesamt- Rohstahlerzeugung über DRI- Einschmelzer, Rest über EAF	643.335	1.132.635	30 %	2.140.000	3.780.000
NRW					
60 % der Gesamt- Rohstahlerzeugung über DRI- Einschmelzer, Rest über EAF	364.605	560.505	30 %	1.220.000	1.870.000

Quelle: VDEh-Betriebsforschungsinstitut GmbH, Sci4Climate.NRW

- **Geschätztes Potential an Primär-Biomasse**
 - Deutschland: bis 3,8 Mio t/a
 - NRW: bis 1,9 Mio t/a

Von der Biomasse zum Bio-Kohlenstoff

- Typische Verfahren zur Biomasse-Vorbehandlung

Thermo-Chemische Biomasse-Umwandlung	Temperatur in °C	Behandlungszeit	Eigenschaften
Torrefizierung	200 bis 300	15 Min. bis mehrere Stunden	Max. Feststoff-Output
Pyrolyse (langsam)	300 bis 800	15 Min. bis mehrere Stunden	Hohes Ausbringen in Form von festem C => Biokohlenstoff
Pyrolyse (schnell)	300 bis 800	Wenige Sekunden (schnelles Aufheizen)	Höheres Ausbringen in Form von Biogas und Biokraftstoff
Vergasung	600 bis >1800	k.A.	Max. Ausbringen in Form von Synthesegas (CO, H ₂)

- Großes Spektrum an Bio-C Typen
 - Chargierung in Form von stückigem Material oder Agglomeraten
 - Injektion von Feinmaterial



Ausblick & Forschungsbedarf

- › **Entwicklung qualitätsgesicherter biogener/alternativer Kohlenstoff-Produkte für den Einsatz in metallurgischen Prozessen (z.B. Agglomerate, Injektionsmischungen)**
 - › Auswahl und ggf. Mischung von Biomasse Rohstoffen
 - › Entwicklung angepasster Aufbereitungs- bzw. Agglomerationstechniken (z.B. Pyrolyse; Brikettierung -> Bindemittelauswahl)
- › **Versuche zum Einsatz biogener/alternativer Kohlenstoff-Produkte in metallurgischen Prozessen**
 - › Prozessbilanzierung & Bewertung evtl. Einflüsse auf die Stahlqualität
 - › Bestimmung großtechnisch erzielbarer Kohlenstoff-Austauschverhältnisse (biogen <-> fossil)
- › **Kohlenstoffkreislaufschließung**
 - › „Carbon Capture and Usage/Storage“ (**CCU/S**) an Punktquellen (EAF, DRI-Einschmelzer, BOF)
-> bei Bio-C-Einsatz negative CO₂ Emissionen

Biomasseinsatz und -potential in der deutschen Zementindustrie

Abfalleinsatz in der deutschen Zementindustrie

Abfälle können sowohl natürliche Rohstoffe als auch fossile Brennstoffe ersetzen

• Alternative Rohstoffe

- Hüttensand
- Gießereialtsande
- Flugaschen und andere Aschen
- Kalkschlämme
- Gips aus der Rauchgasentschwefelung
- Einsatzstoffe aus der Metallindustrie

Stoffliche Verwertung

Alternative Brennstoffe

- Altreifen
- Fraktionen aus Industrie- und Gewerbeabfällen (Kunststoffe etc.)
- Aufbereitete Fraktionen aus Siedlungsabfällen
- Klärschlamm
- Tiermehle und -fette
- Altöl
- Lösemittel
- Organische Destillationsrückstände

Energetische und stoffliche Verwertung der Aschen

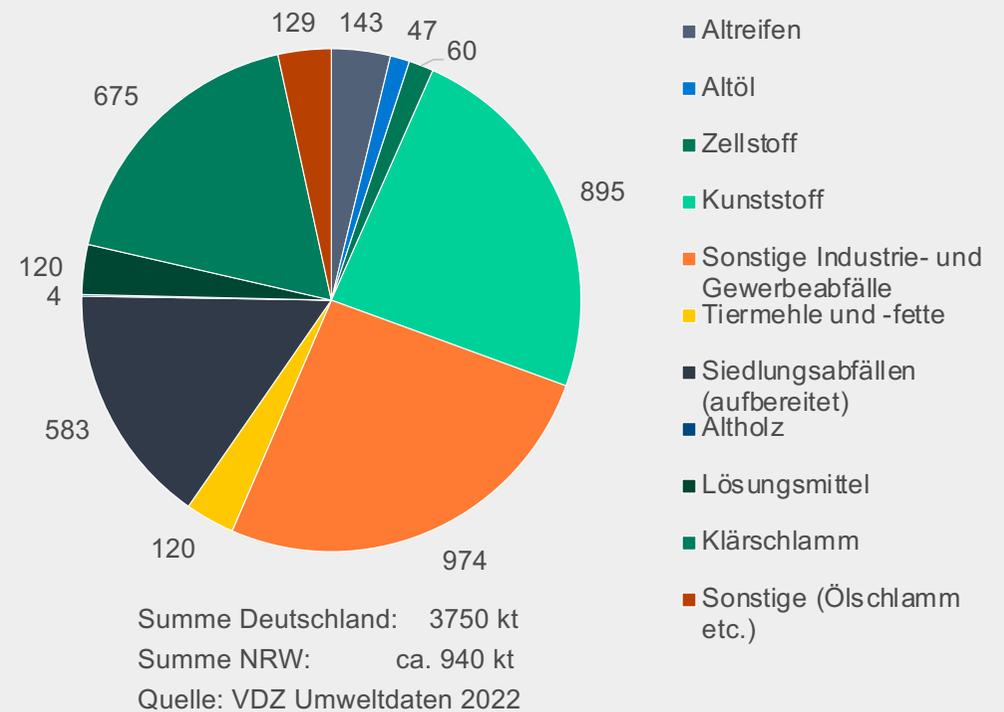
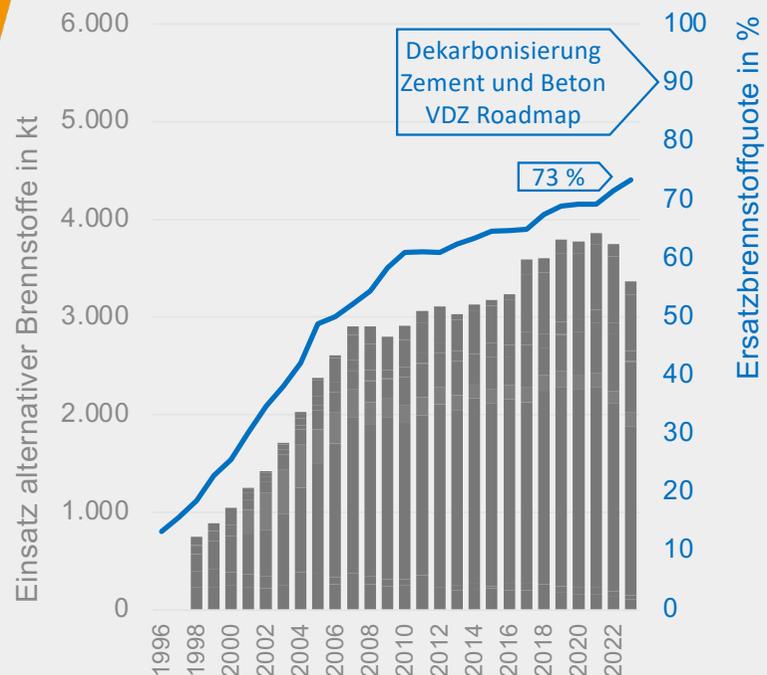
Alternative Brennstoffe aus Abfällen mit Biomasse



Aufbereitung alternativer Brennstoff



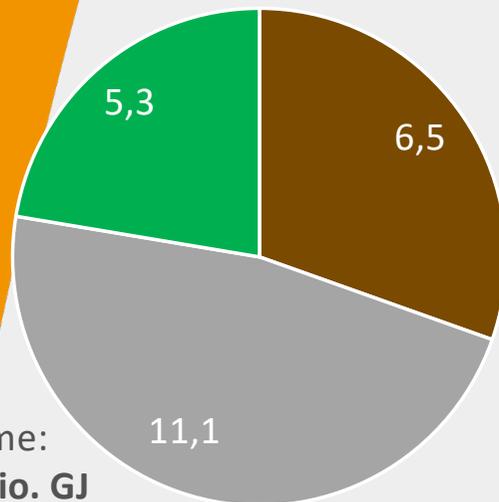
Einsatz alternativer Brennstoffe aus Abfällen in der Zementindustrie



Thermischer Energiebedarf 2022 und 2045

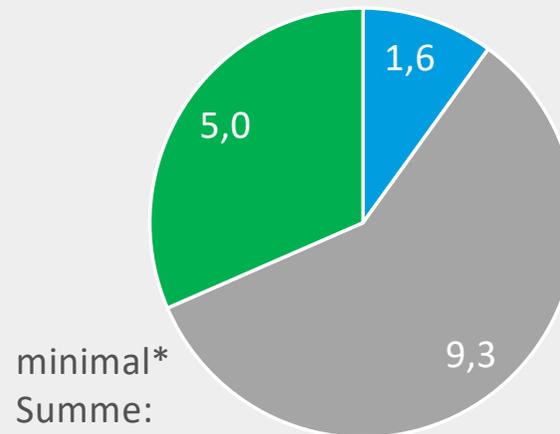
NRW, Zementindustrie, fossile und biogene Brennstoffe, Schätzungen

Thermischer Energieeinsatz
 2022 [Mio. GJ]

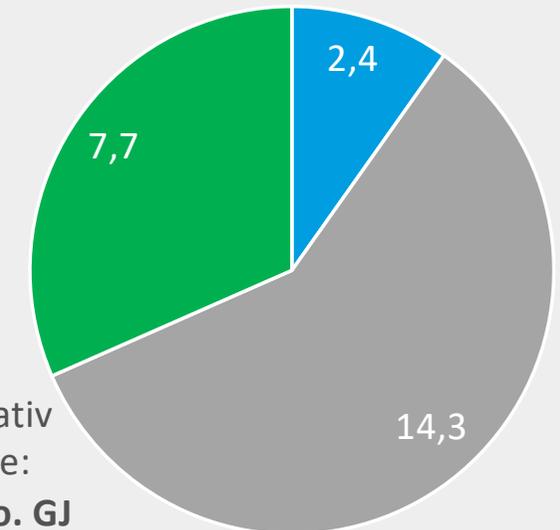


Summe:
23 Mio. GJ
 1,23 Mio. t **Biomasse: 0,39 Mio. t**

Thermischer Energiebedarf 2045
 für Klinkerherstellung und CO₂-Abscheidung [Mio. GJ]



minimal*
 Summe:
16 Mio. GJ
 0,8 Mio. t **BM: 0,37 Mio. t**



alternativ
 Summe:
24 Mio. GJ
 1,3 Mio. t **BM 0,56 Mio. t**

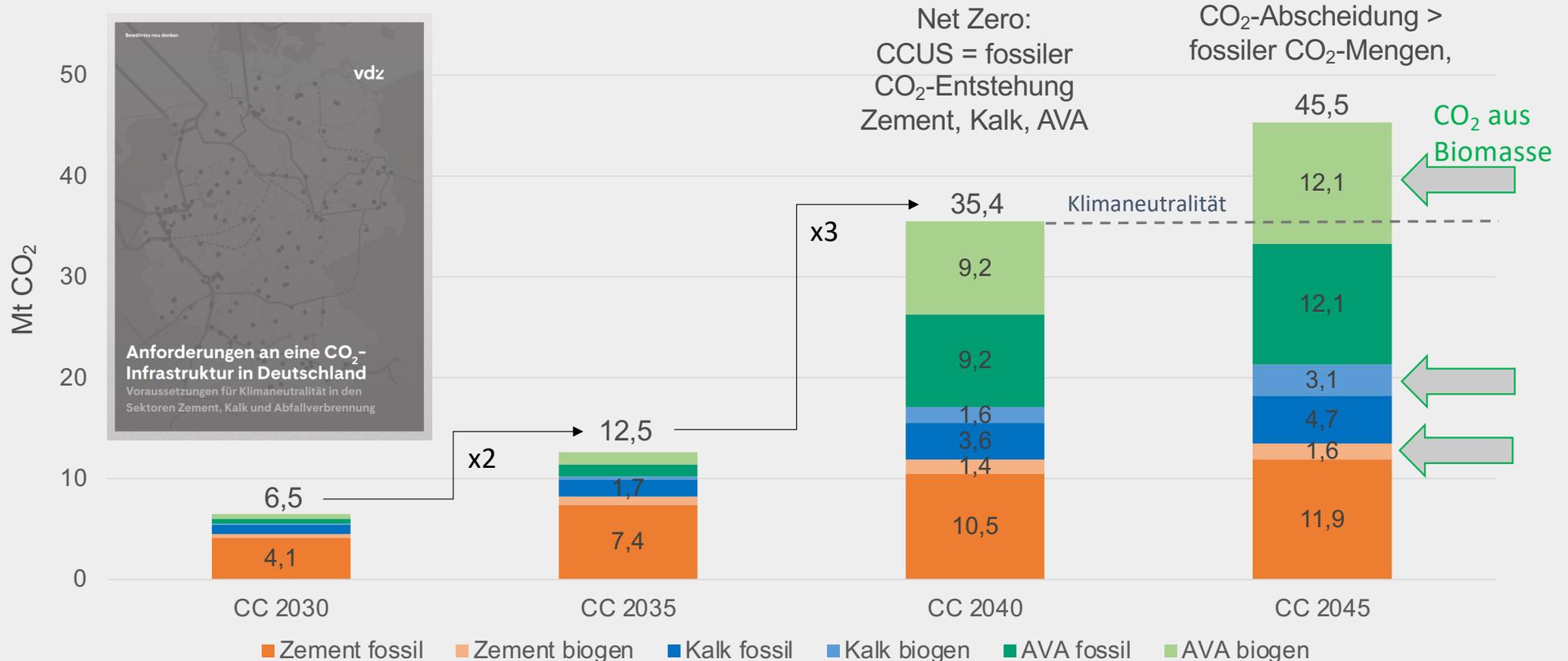
■ Fossile Brennstoffe, ■ fossile und biogene alternative Brennstoffe aus Abfall, ■ Wasserstoff

* insbesondere weit überwiegend Oxyfuel CO₂-Abscheidung, sehr niedriger Klinker/Zement-Faktor

Quelle: VDZ Technology gGmbH, Sci4Climate.NRW

CO₂-Abscheidemengen im Zeitverlauf

Deutschland, Szenario KN 2040, gesamte CO₂-Mengen (fossil & biogen)



Quelle: VDZ, Hrsg. Anforderungen an eine CO₂-Infrastruktur in Deutschland – Voraussetzungen für Klimaneutralität in den Sektoren Zement, Kalk und Abfallverbrennung.

Düsseldorf, 2024. <https://www.vdz-online.de/zementindustrie/klimaschutz/co2-infrastruktur>

Biomassebedarf & -verfügbarkeit

<u>Deutschland</u>	Bedarf/ Nachfragepotential	Verfügbarkeit	
	Prognostiziertes Biomassepotential* (Szenario 2045)	Prognostizierte Biomasse- bzw. biogene Abfallverfügbarkeit	Spezifikation Biomasse
Stahlindustrie	2,1 bis 3,8 Mio t/a	11,5 Mio t/a (2030)**	Max. mobilisierbares technisches Potential Waldrestholz (Nadel & Laub); Trockenmasse
Zementindustrie	1,5 bis 2,3 Mio t/a	12 bis 18 Mio t/a ***	Biogener Anteil im Bedarf für Abfallverbrennung

* Berechnet im Rahmen von SCI4Climate.NRW, **Abschlussbericht: Chemistry4Climate, 2023,

*** Einschätzung nach VDZ-Studie Anforderungen an eine CO₂-Infrastruktur in Deutschland, 2024

Wir danken für die Förderung dieser Projektarbeiten

Gefördert durch:

Ministerium für Wirtschaft,
Industrie, Klimaschutz und Energie
des Landes Nordrhein-Westfalen



Vielen Dank!

Gerald Stubbe, VDEh-Betriebsforschungsinstitut GmbH (BFI)

Dr. Johannes Ruppert, VDZ Technology gGmbH