



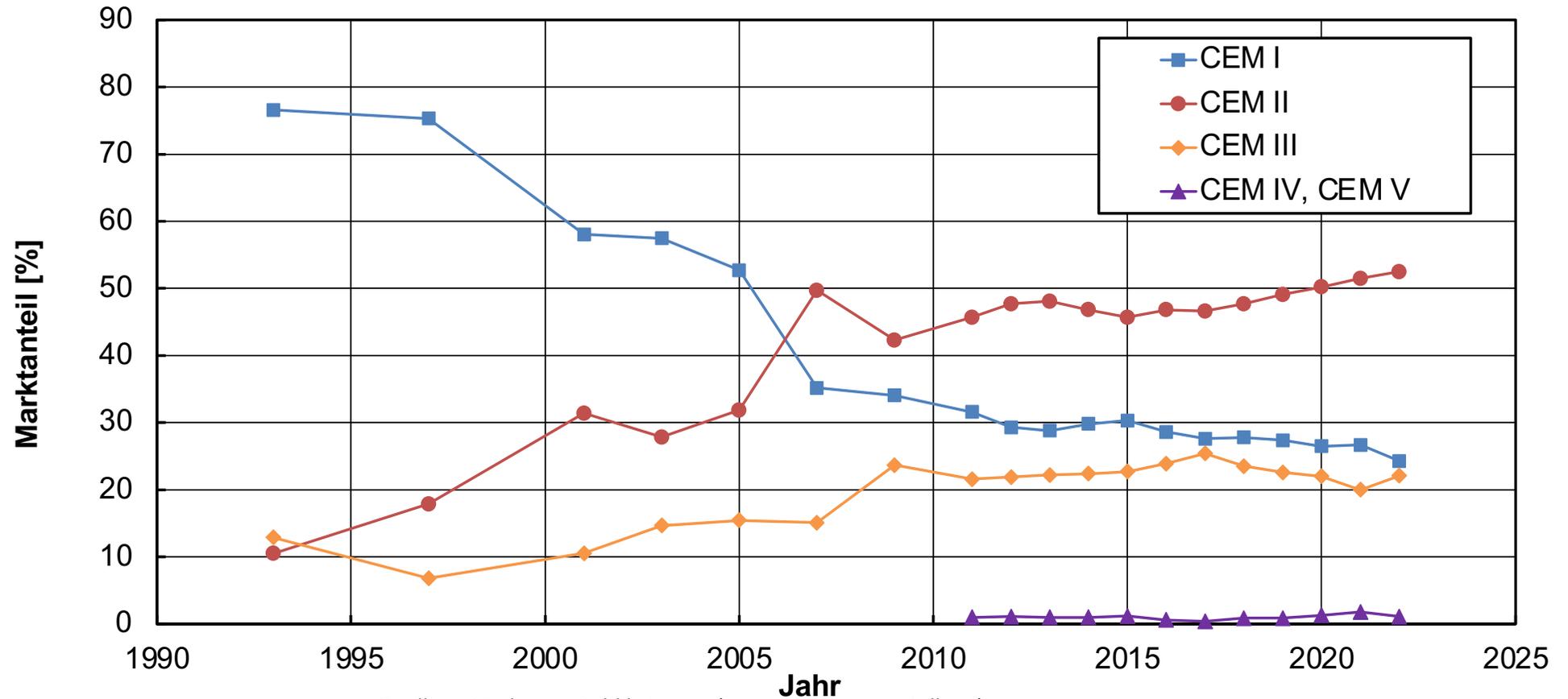
Normalbeton Bindemittel

Zemente nach DIN EN 197-1

Zementart	Bezeichnung		Hauptbestandteile						Nebenbestandteile ²⁾
			Portlandzementklinker K	Hütten- sand S	natür- liches Puzzolan P	kiesel- säurereiche Flugasche V	gebrannter Schiefer T	Kalk- stein L	
CEM I	Portlandzement	CEM I	95 bis 100						0 bis 5
CEM II	Portlandhütten- zement	CEM II/A-S	80 bis 94	6 bis 20					0 bis 5
		CEM II/B-S	65 bis 79	21 bis 35					0 bis 5
	Portlandpuzzolan- zement	CEM II/A-P	80 bis 94		6 bis 20				0 bis 5
		CEM II/B-P	65 bis 79		21 bis 35				0 bis 5
	Portlandflugasche- zement	CEM II/A-V	80 bis 94			6 bis 20			0 bis 5
	Portlandölschiefer- zement	CEM II/A-T	80 bis 94				6 bis 20		0 bis 5
		CEM II/B-T	65 bis 70				21 bis 35		0 bis 5
	Portlandkalkstein- zement	CEM II/A-L	80 bis 94					6 bis 20	0 bis 5
Portlandflugasche- hüttenzement	CEM II/B-SV	65 bis 79	10 bis 20		10 bis 20			0 bis 5	
CEM III	Hochofenzement	CEM III/A	35 bis 64	30 bis 55					0 bis 5
		CEM III/B	20 bis 34	66 bis 80					0 bis 5

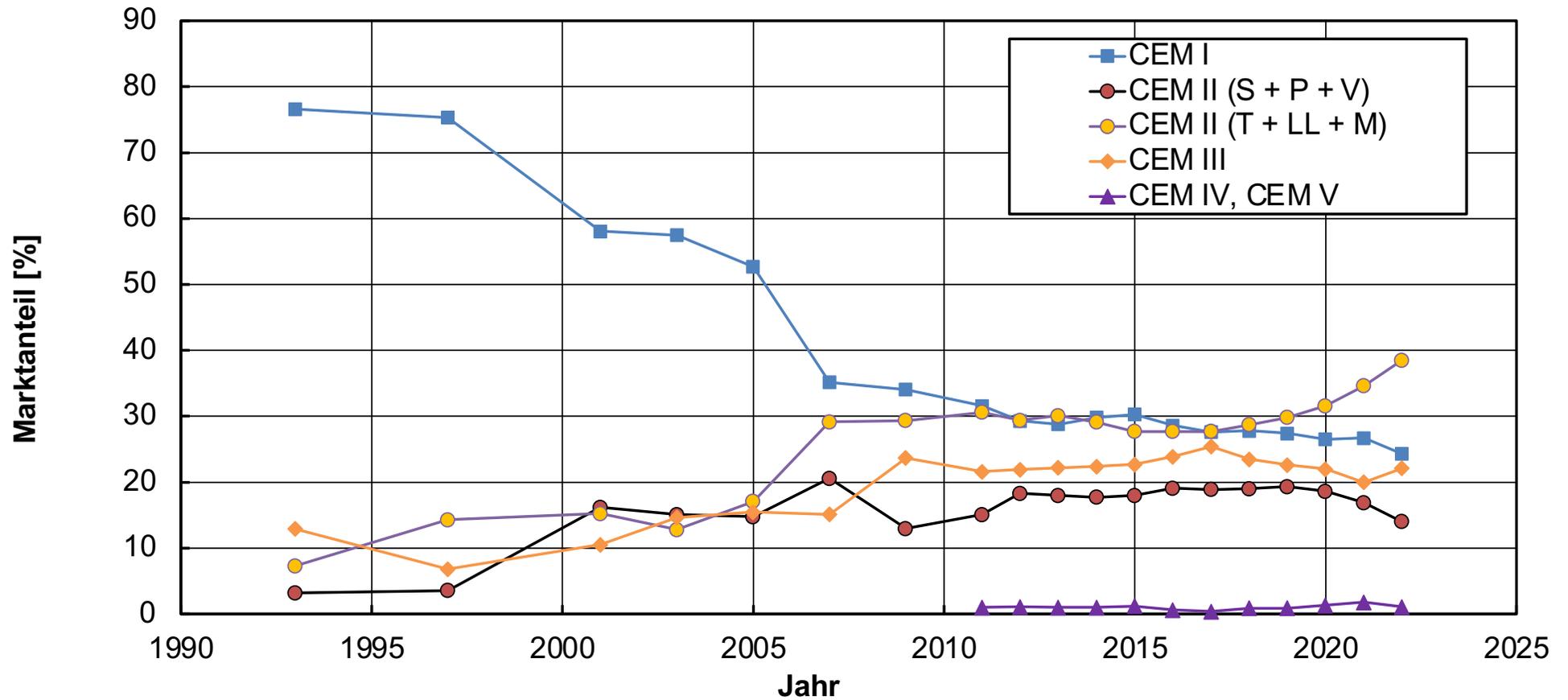
¹⁾ Die in der Tabelle angegebenen Werte beziehen sich auf die aufgeführten Haupt- und Nebenbestandteile des Zements ohne Calciumsulfat und Zementzusatzmittel.
²⁾ Nebenbestandteile können Füller sein oder eine oder mehrere Hauptbestandteile sowie sie nicht Hauptbestandteile des Zements sind.

Entwicklung der Zement-Versandmengen in D



Quelle: VDZ, diverse Publikationen (eigene Zusammenstellung)

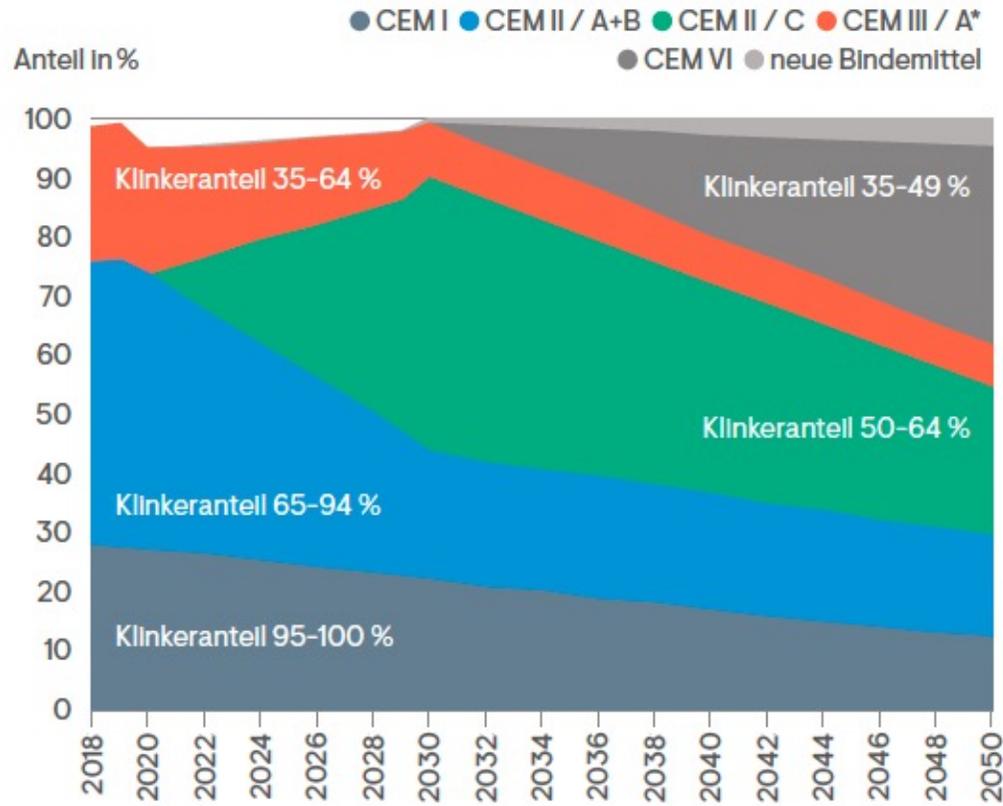
Entwicklung der Zement-Versandmengen in D



Quelle: VDZ, diverse Publikationen (eigene Zusammenstellung)

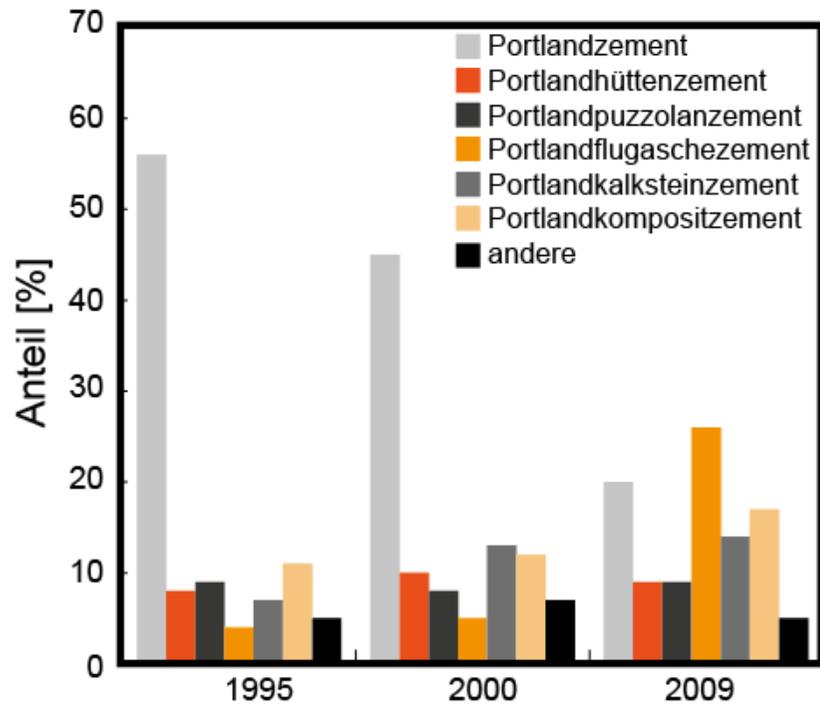
CO₂-Minderung im Betonbau bis 2050

Ziel Klimaneutralität

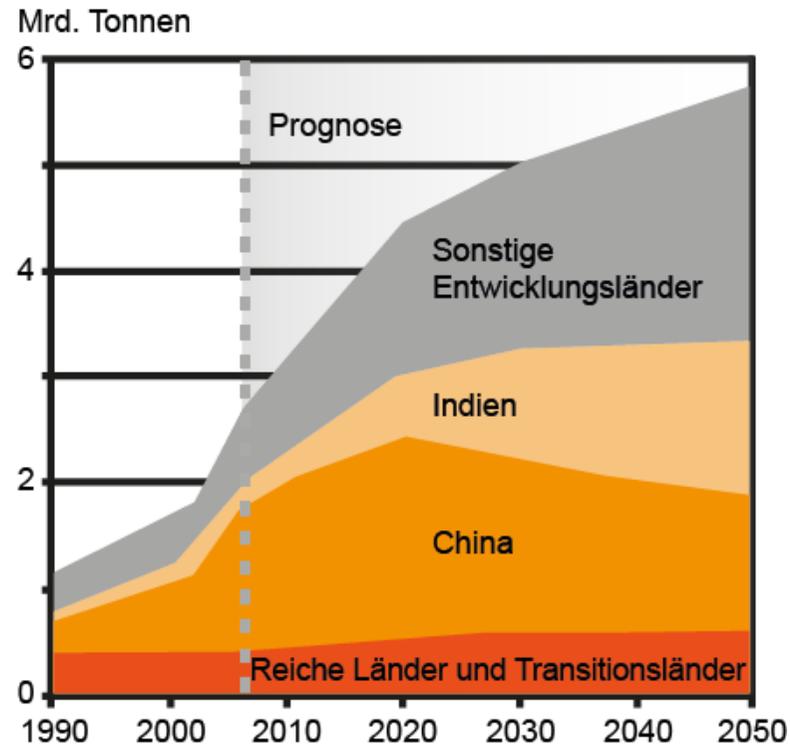


Verein Deutscher Zementwerke e. V. *Dekarbonisierung von Zement und Beton – Minderungspfade und Handlungsstrategien*; Düsseldorf, 2020; p 60.

Weltweite Entwicklung der Zementmärkte



Verteilung Zement.pdf
aus Schneider, CCR 2011

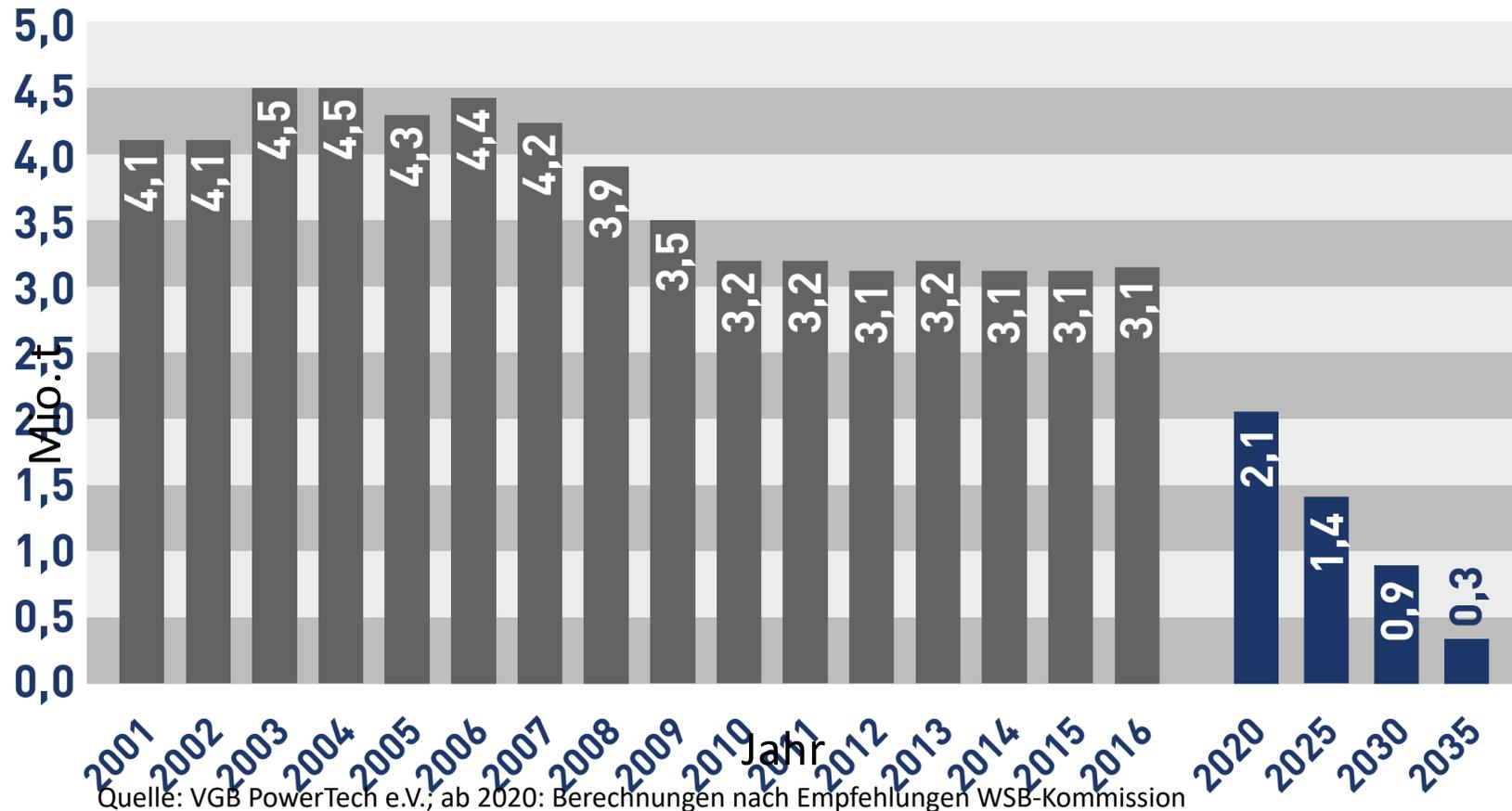


Quelle: WWF International, 2008

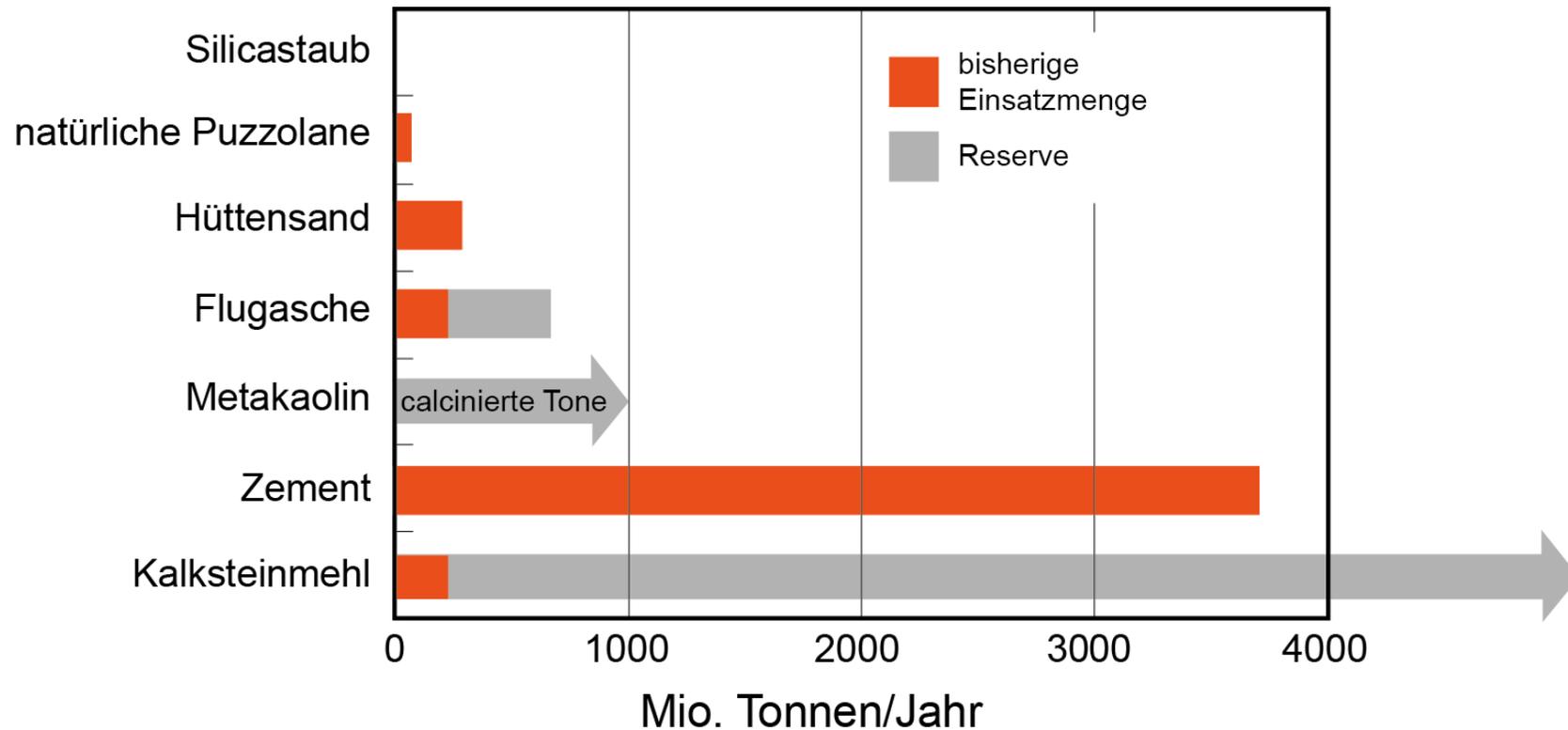
Quelle: Müller NH, J. A: Blueprint for a Climate Friendly Cement Industry – How to Turn Around the Trend of Cement Related Emissions in the Developing World. In: Partnership RpfW-LC, editor. Nürnberg 2008. p. 94.

Einleitung

Produktionsmenge an Steinkohlenflugasche



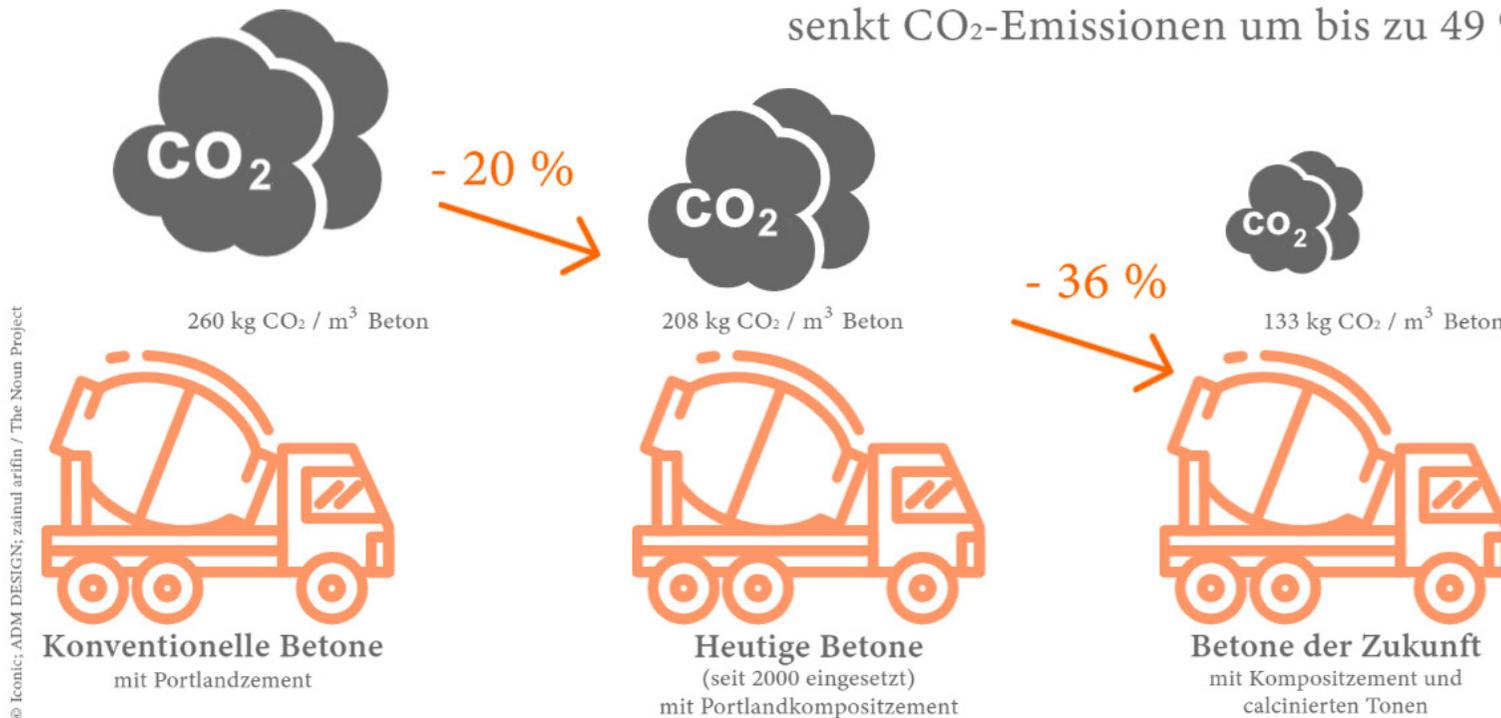
Verfügbarkeit Zementersatzstoffe (Supplementary cementitious material (SCM))



Quelle: Cement Sustainability Initiative (CSI) ECRAE. Development of State of the Art-Techniques in Cement Manufacturing: Trying to look ahead. CSI/ECRA-Technology Papers. Düsseldorf, Geneva 2009. p. 99.

Ökologischer Vorteil neuer Zemente mit calciniertem Ton

Beton der Zukunft senkt CO₂-Emissionen um bis zu 49 %



Normzemente nach DIN EN 197-1

Hauptzementarten	Bezeichnung 27 Produkte (Normalzementarten)		Zusammensetzung: (Massenanteile in Prozent) ¹⁾										Nebenbestandteile		
			Hauptbestandteile												
			Portlandzementklinker K	Hütten- sand S	Silica- staub D ²⁾	Puzzolane natür- lich P	natürl. getempert Q	Flugasche kiesel- säurereich V	kalk- reich W	Ge- brannter Schiefer T	Kalkstein L LL				
CEM I	Portlandzement	CEM I	95-100	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0-5
CEM II	Portlandhüttenzement	CEM II/A-S	80-94	6-20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0-5
		CEM II/B-S	65-79	21-35	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0-5
	Portlandsilicastaubzement	CEM II/A-D	90-94	-	6-10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0-5
		CEM II/A-P	80-94	-	-	6-20	-	-	-	-	-	-	-	-	0-5
	Portlandpuzzolan- zement	CEM II/B-P	65-79	-	-	21-35	-	-	-	-	-	-	-	-	0-5
		CEM II/A-Q	80-94	-	-	-	6-20	-	-	-	-	-	-	-	0-5
		CEM II/B-Q	65-79	-	-	-	21-35	-	-	-	-	-	-	-	0-5
		CEM II/A-V	80-94	-	-	-	-	6-20	-	-	-	-	-	-	0-5
	Portlandflugasche- zement	CEM II/B-V	65-79	-	-	-	-	21-35	-	-	-	-	-	-	0-5
		CEM II/A-W	80-94	-	-	-	-	-	6-20	-	-	-	-	-	0-5
		CEM II/B-W	65-79	-	-	-	-	-	21-35	-	-	-	-	-	0-5
		CEM II/A-T	80-94	-	-	-	-	-	-	6-20	-	-	-	-	0-5
	Portlandschiefer- zement	CEM II/B-T	65-79	-	-	-	-	-	-	21-35	-	-	-	-	0-5
		CEM II/A-L	80-94	-	-	-	-	-	-	-	6-20	-	-	-	0-5
	Portlandkalkstein- zement	CEM II/B-L	65-79	-	-	-	-	-	-	-	21-35	-	-	-	0-5
		CEM II/A-LL	80-94	-	-	-	-	-	-	-	-	6-20	-	-	0-5
CEM II/B-LL		65-79	-	-	-	-	-	-	-	-	21-35	-	-	0-5	
Portlandkomposit- zement ³⁾		CEM II/A-M	80-94	← 6-20 →										0-5	
	CEM II/B-M	65-79	← 21-35 →										0-5		
CEM III	Hochofenzement	CEM III/A	35-64	36-65	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0-5
		CEM III/B	20-34	66-80	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0-5
		CEM III/C	5-19	81-95	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0-5
CEM IV	Puzzolan- zement ³⁾	CEM IV/A	65-89	-	← 11-35 →					-	-	-	-	0-5	
		CEM IV/B	45-64	-	← 36-55 →					-	-	-	-	0-5	
CEM V	Komposit- zement ³⁾	CEM V/A	40-64	18-30	-	← 18-30 →			-	-	-	-	-	0-5	
		CEM V/B	20-38	31-50	-	← 31-50 →			-	-	-	-	-	0-5	

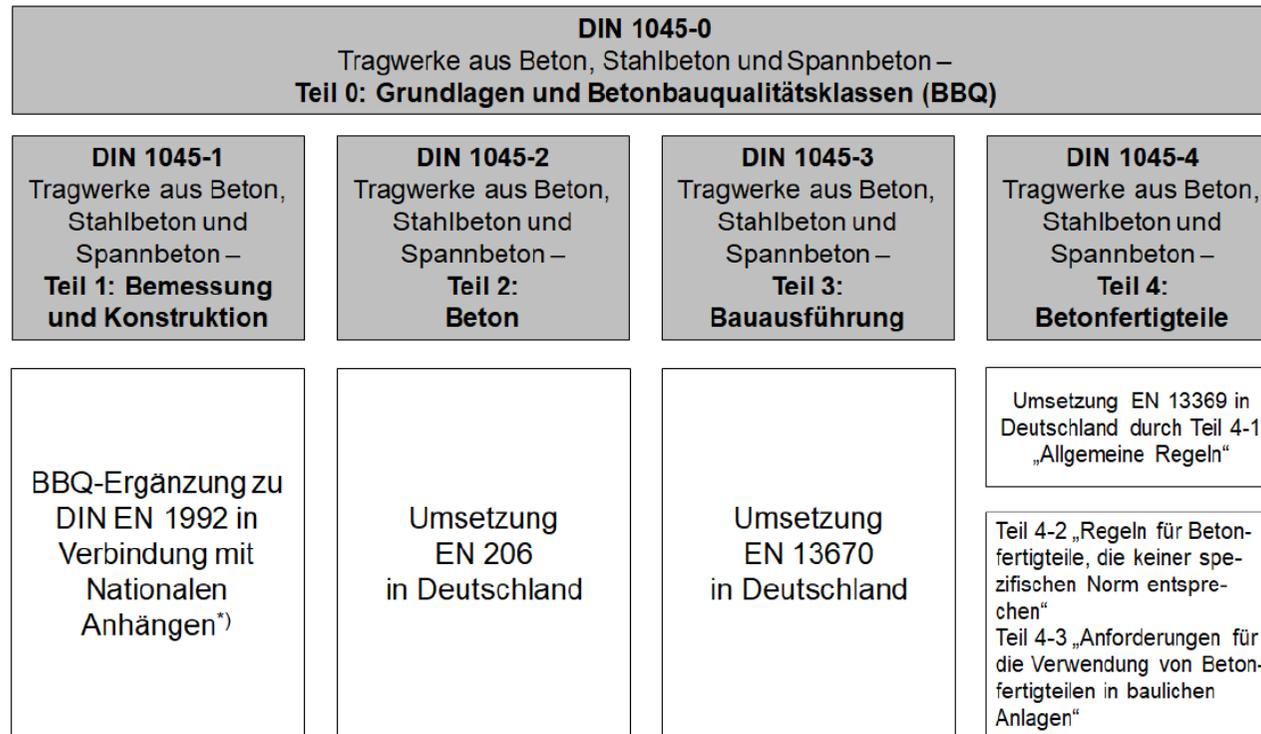
Normzemente nach DIN EN 197-5

Hauptarten	Bezeichnung der Produkte (Zementarten)		Zusammensetzung (Massenanteil in Prozent) ^a										
			Hauptbestandteile									Nebenbestandteile	
			Klinker	Hütten-sand	Silica-staub	Puzzolan		Flugasche		Gebrannter Schiefer	Kalkstein		
	natürlich	natürlich getempert				kieselsäure-reich	kalk-reich	L ^c	LL ^c				
Produkt-name	Produkt-bezeichnung	K	S	D ^b	P	Q	V	W	T	L ^c	LL ^c		
CEM II	Portland-komposit-zement ^d	CEM II/C-M	50 bis 64	←----- 36 bis 50 -----→									0 bis 5
CEM VI	Komposit-zement	CEM VI (S-P)	35 bis 49	31 bis 59	—	6 bis 20	—	—	—	—	—	—	0 bis 5
		CEM VI (S-V)	35 bis 49	31 bis 59	—	—	—	6 bis 20	—	—	—	—	0 bis 5
		CEM VI (S-L)	35 bis 49	31 bis 59	—	—	—	—	—	—	6 bis 20	—	0 bis 5
		CEM VI (S-LL)	35 bis 49	31 bis 59	—	—	—	—	—	—	—	6 bis 20	0 bis 5

Normzemente nach EDIN EN 197-6

Hauptarten	Bezeichnung der Produkte (Zementarten)		Zusammensetzung (Massenanteil in Prozent) ^a											Nebenbestandteile
			Hauptbestandteile										Kalkstein	
			Klinker	Recyclingmehl	Hütten-sand	Silica-staub	Puzzolan		Flugasche		Ge-brannter Schiefer			
	Natür-lich	Natürlich getemp-ert					kieselsäure-reich	kalk-reich	L ^c	LL ^c				
Produkt-name	Produkt-bezeichnung	K	F	S	D ^b	P	Q	V	W	T	L ^c	LL ^c		
CEM II	Port-land-Recyclingmehl-zement	CEM II/A-F	80-94	6-20	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0-5
	Port-land-kom-posit-zement ^d	CEM II/A-M	80-88	6-14	6-14								0-5	
		CEM II/B-M	65-79	6-20	6-29								0-5	
		CEM II/C-M	50-64	6-20	16-44								0-5	

Betonbauqualitätsklassen (BBQ)



*) Nach Überarbeitung der EN 1992 werden die Regelwerke zur Bemessung und Konstruktion in einer neuen DIN 1045-1 zusammengeführt.

Betonbauqualitätsklassen

Bauwerke/Bauteile mit **normalen** Anforderungen an Kommunikation, Planung, Bauausführung und Baustoffe

Bauwerke/Bauteile mit **erhöhten** Anforderungen an Kommunikation, Planung, Bauausführung und Baustoffe

Bauwerke/Bauteile mit **speziell festzulegenden** Anforderungen an Kommunikation, Planung, Bauausführung und Baustoffe

Anforderungen an Planung, Baustoffe und Bauausführung

Planungsklassen

PK-N, PK-E und PK-S;

Betonklassen

BK-N, BK-E und BK-S;

Ausführungsklassen

AK-N, AK-E und AK-S.

Verknüpfung der Klassensystematik

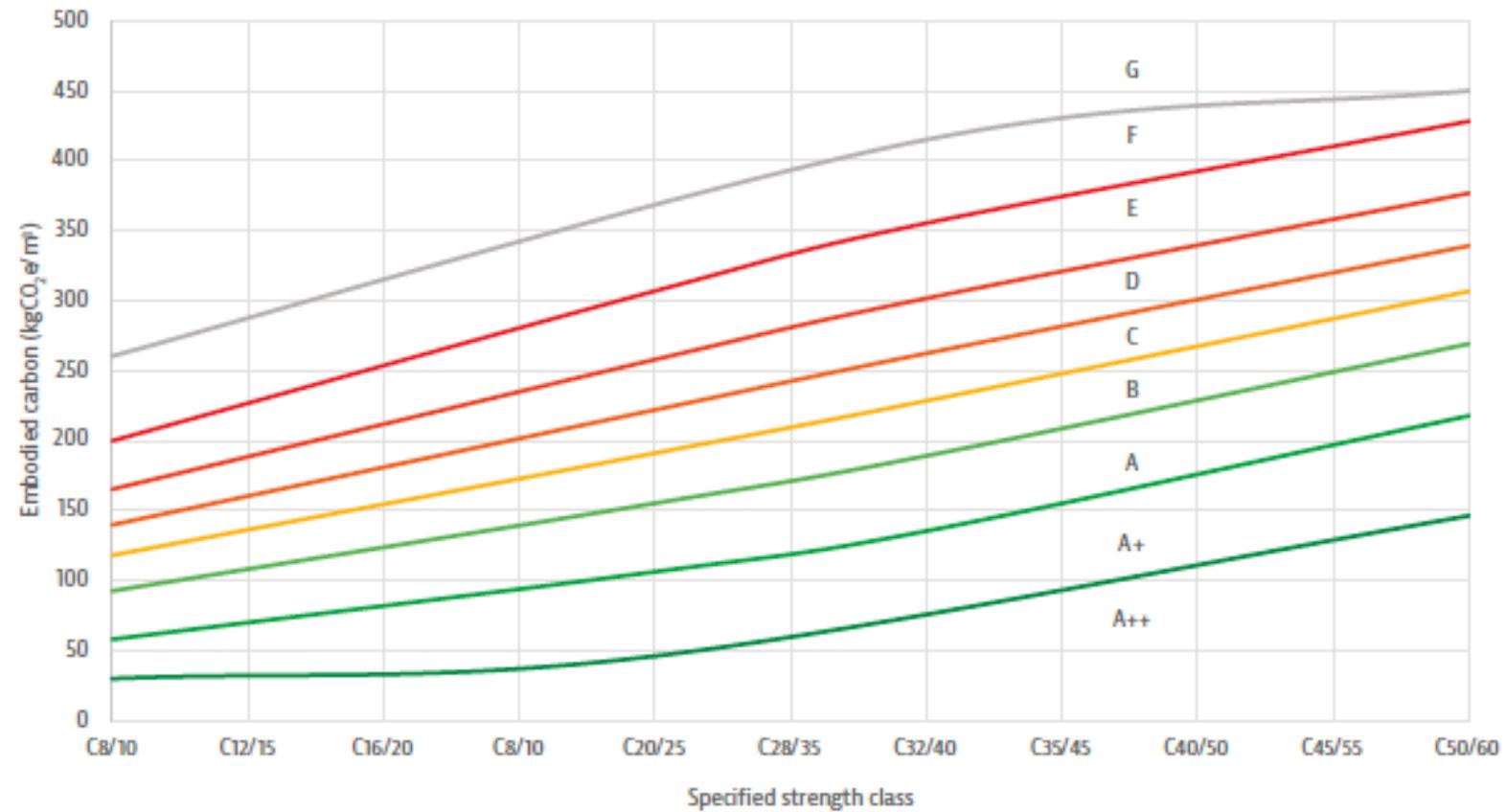
	1	2	3	4
	Anforderungen	Normal (N)	Erhöht (E)	Speziell festzulegen (S)
1	Planungs-, Beton- oder Ausführungsklasse	PK-N <u>und</u> BK-N <u>und</u> AK-N	PK-E <u>oder</u> BK-E <u>oder</u> AK-E	PK-S <u>oder</u> BK-S <u>oder</u> AK-S
2	Betonbauqualitäts-klasse	BBQ-N	BBQ-E	BBQ-S

Reduktion der CO₂-Emissionen

- Festlegung von Referenzbetonen
- Minderungsklassen in 10 %-Schritten

CO ₂ -Klassen	C20/25	C25/30	C30/37	C35/45	C45/55	C50/60
Maximal zulässige Treibhausgasemissionen [netto kg CO ₂ -Äq. / m ³] ²						
Branchenreferenzwert	213	237	261	286	312	325
GWP-Wert für einen Durchschnittsbeton /3/ (informativ)	178	197	219	244	286	300
Level 1 (↓ ≥ 30%)	149	166	183	200	218	228
Level 2 (↓ ≥ 40%)	128	142	157	172	187	195
Level 3 (↓ ≥ 50%)	107	119	131	143	156	163
Level 4 (↓ ≥ 60%)	85	95	104	114	125	130

Reduktion der CO₂-Emissionen



R-Beton

früher: RC-Beton

Ziel

Ressourcenschonendes Bauen

Maßnahme

partieller Ersatz normaler durch recycelte Gesteinskörnung

Anforderung an recycelte Gesteinskörnung

- Typ I
 - Die recycelte Gesteinskörnung muss zu mindestens 90 % aus Betonbruchstein oder Naturstein bestehen und darf maximal 10 % Nebenbestandteile wie Ziegel enthalten.
- Typ II
 - Die recycelte Gesteinskörnung muss zu mindestens 70 % aus Betonbruchstein oder Naturstein bestehen und darf maximal 30 % Nebenbestandteile, z. B. Ziegel, enthalten

Recycelte Gesteinskörnung

Spalte	1	2	3
Zeile	Bestandteile ^a	Kategorie der Gesteinskörnung	
		Typ 1	Typ 2
1	Rc + Ru	Rcu ₉₀	Rcu ₇₀
2	Rb	Rb ₁₀₋	Rb ₃₀₋
3	Ra	Ra ₁₋	Ra ₁₋
Spalte	1	2	3
Zeile	Bestandteile ^a	Kategorie der Gesteinskörnung	
		Typ 1	Typ 2
4	X + Rg	XRg ₁₋	XRg ₂₋
5	FL	FL ₂₋	FL ₂₋

^a Dabei bedeuten:

Rc: Beton, Betonprodukte, Mörtel, Mauersteine aus Beton;
 Ru: Ungebundene Gesteinskörnung, Naturstein, hydraulisch gebundene Gesteinskörnung;
 Rb: Mauerziegel (d. h. Mauersteine und Ziegel), Kalksandsteine, nicht schwimmender Porenbeton;
 Ra: Bitumenhaltige Materialien;
 Rg: Glas;
 X: Sonstige Materialien: Bindige Materialien (d. h. Ton und Boden), verschiedene sonstige Materialien: Metalle (Eisen- und Nichteisenmetalle), nicht schwimmendes Holz, Kunststoff, Gummi, Gips;
 FL: Schwimmendes Material im Volumen.

Zulässige Anteile rezyklierter Gesteinskörnungen > 2 mm in Vol. - %

	1	2	3	4
	Anwendungsbereich		Kategorie der Gesteinskörnung	
	Alkalirichtlinie ^a	DIN EN 206 und DIN 1045-2	Typ 1	Typ 2
1	WO	Karbonatisierung XC1	≤ 45 ^b	≤ 35
2	WF	Kein Korrosionsrisiko X0		
3		Karbonatisierung XC1 bis XC4	≤ 45	≤ 35
4		Frostangriff ohne Taumitteleinwirkung XF1 und XF3		
5		Beton mit hohem Wassereindringwiderstand nach 5.5.3		
6		Chemischer Angriff XA1 ^d	≤ 25	≤ 25
7	WA ^c	XD1 und XD2 XS1 und XS2 XF2 und XF4	≤ 30	≤ 20

^a Vorbeugende Maßnahmen gegen schädigende Alkalireaktionen im Beton (DAfStb-Alkali-Richtlinie) sowie zusätzliche Anforderungen siehe E.3.1.3.

^b Es dürfen feine rezyklierte Gesteinskörnungen des Typs 1 ≤ 20 % Volumenanteil der austauschbaren rezyklierten Gesteinskörnung eingesetzt werden, sofern sie aus einer Produktion der verwendeten groben rezyklierten Gesteinskörnung stammen, für die die Anforderungen an die stoffliche Zusammensetzung nach DIN EN 933-11 nachgewiesen wurde. Der Anteil der feinen rezyklierten Gesteinskörnung bezogen auf den Anteil der groben rezyklierten Gesteinskörnung darf dabei nicht größer sein, als der Anteil der gesamten feinen Gesteinskörnung bezogen auf den Anteil der gesamten groben Gesteinskörnung.

^c Die Feuchtigkeitsklasse WA darf nur für rezyklierte Gesteinskörnung mit nachgewiesener Alkaliempfindlichkeitsklasse E I-S nach DAfStb-Alkali-Richtlinie verwendet werden.

^d Die Regelung zum chemischen Angriff ist für XA1 durch die Betonklasse BK-N abgedeckt.

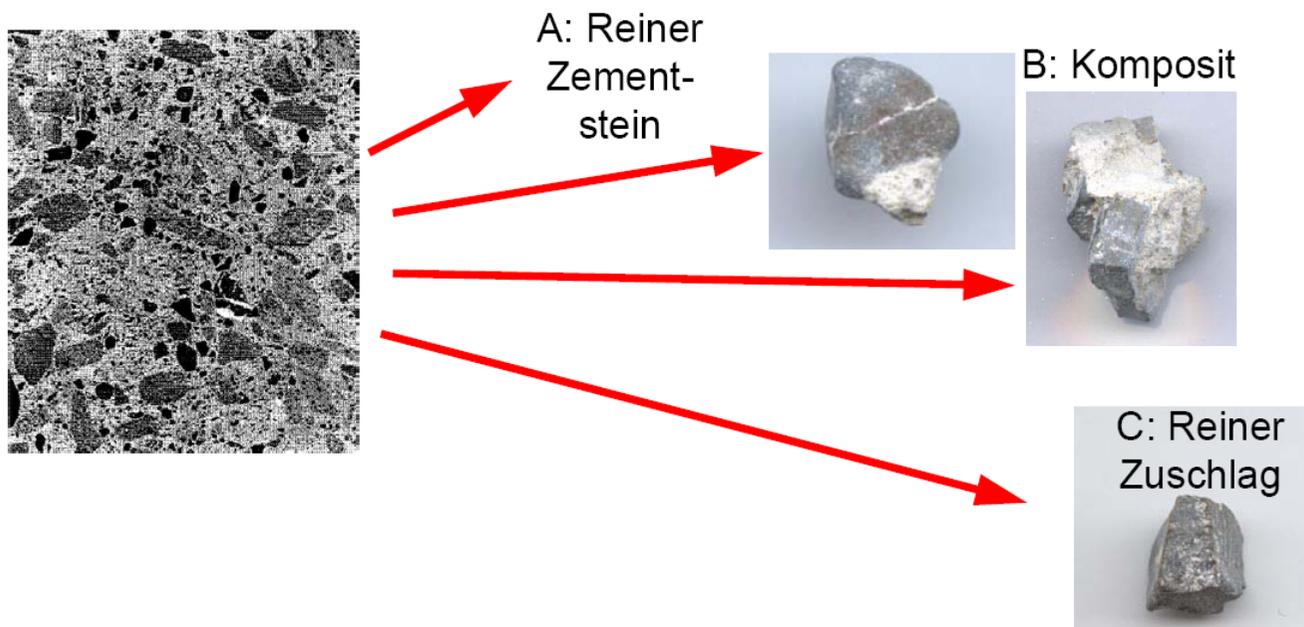
Wasseraufnahme RC-Gesteinskörnung

<i>Spalte</i>	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>
<i>Zeile</i>	<i>Wasseraufnahme</i>	<i>Kategorie der Gesteinskörnung</i>	
		<i>Typ 1</i>	<i>Typ 2</i>
<i>1</i>	<i>Höchstzulässige Wasseraufnahme nach 10 min, Massenanteil in Prozent</i>	<i>10</i>	<i>15</i>

Aufbereitung - Materialeigenschaften

Rohdichte, Wasseraufnahme

In Gesteinskörnungen aus Betonbruch können die Einzelpartikel sich stark in der Zusammensetzung unterscheiden. Mögliche Fälle sind:



Recyclinganlagen

Hauptmerkmale von Prallbrechern



- Funktionsprinzip:
Zerkleinerung findet an den Pralleisten und –platten statt
- Beanspruchungsart:
Prallbeanspruchung
- Einsatzgebiet:
Zerkleinerung von mineralischem Bauschutt

Recyclinganlagen

Hauptmerkmale von Backenbrechern



Funktionsprinzip:

Zerkleinerung findet zwischen einer festen und einer beweglichen Brechbacke statt

- Beanspruchungsart: Druckbeanspruchung
- Einsatzgebiet: Zerkleinerung von mineralischem Bauschutt

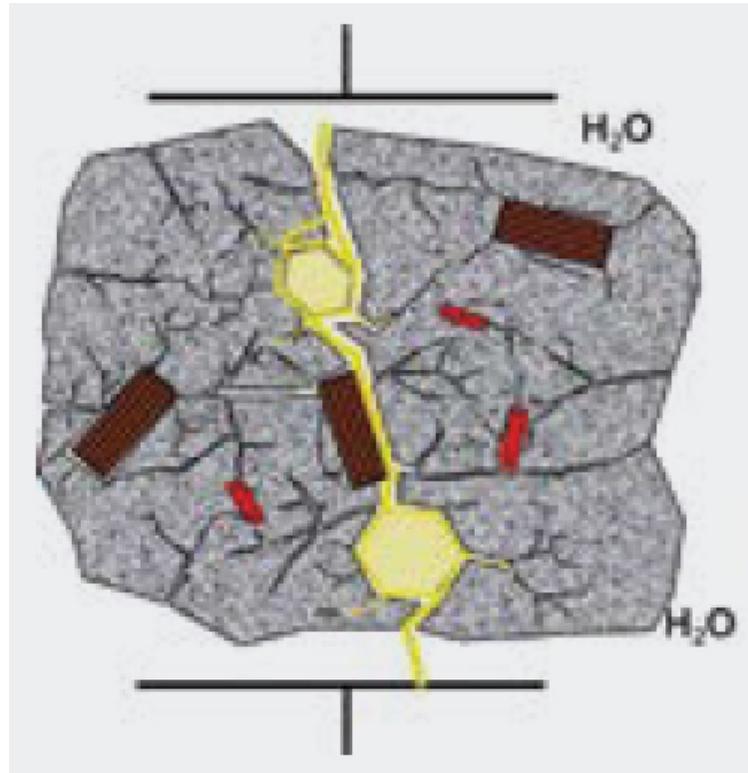
Elektrodynamische Fragmentierung

Recycling mit Blitz

- Die elektrische Durchschlagsfestigkeit – also der Widerstand, den jede Flüssigkeit und jeder Feststoff einem elektrischen Impuls entgegensetzt – keine physikalische Konstante ist: Sie ändert sich mit der Dauer des Blitzes
- unterhalb von 500 Nanosekunden besitzt Wasser eine höhere Durchschlagsfestigkeit als die meisten Festkörper
- 150 Nanosekunden-Blitz zerlegt unter Wasser Beton in seine Bestandteile

Elektrodynamische Fragmentierung

Prinzip



Quelle: IBP_087_PB_Bauchemie_Fragmentierung_03_web_de.pdf

Elektrodynamische Fragmentierung

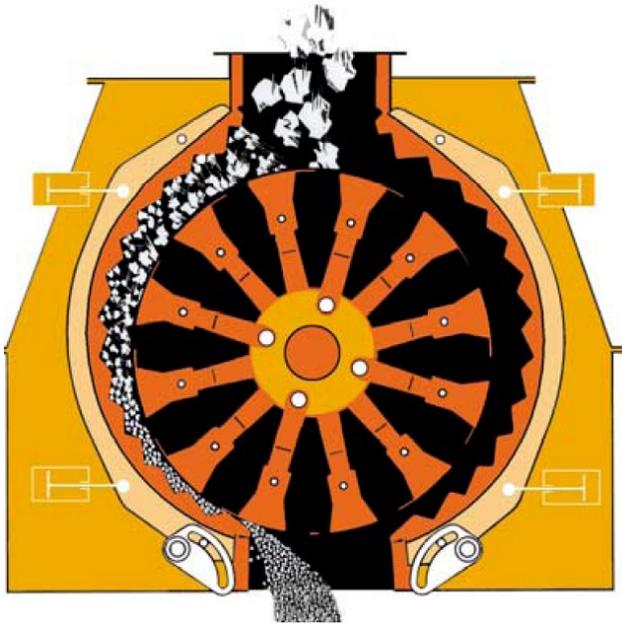
Recycling mit Blitz



<http://www.fraunhofer.de/de/presse/presseinformationen/2012/oktober/blitz-schlag-ein.html>

Recyclinganlagen

Hauptmerkmale von Hammerbrechern



- Funktionsprinzip:
Zerkleinerung findet zwischen beweglichen Hämmern und einer Mahlbahn statt
- Beanspruchungsart:
Schlag, Prall und Scherung
- Einsatzgebiet:
Zerkleinerung von Holz,
Haus- und Sperrmüll, Papier,
Brennstoffgemisch, Schrott

Bauwerke aus Recyclingbeton

“Waldspirale“ Friedensreich Hundertwasser



Wiederverwertung von Frischbeton

Recycelte Gesteinskörnung (RC-Körnung)

Betonklasse BK-N: Beton mit rezyklierten Gesteinskörnungen $\leq 25\%$ Volumenanteil

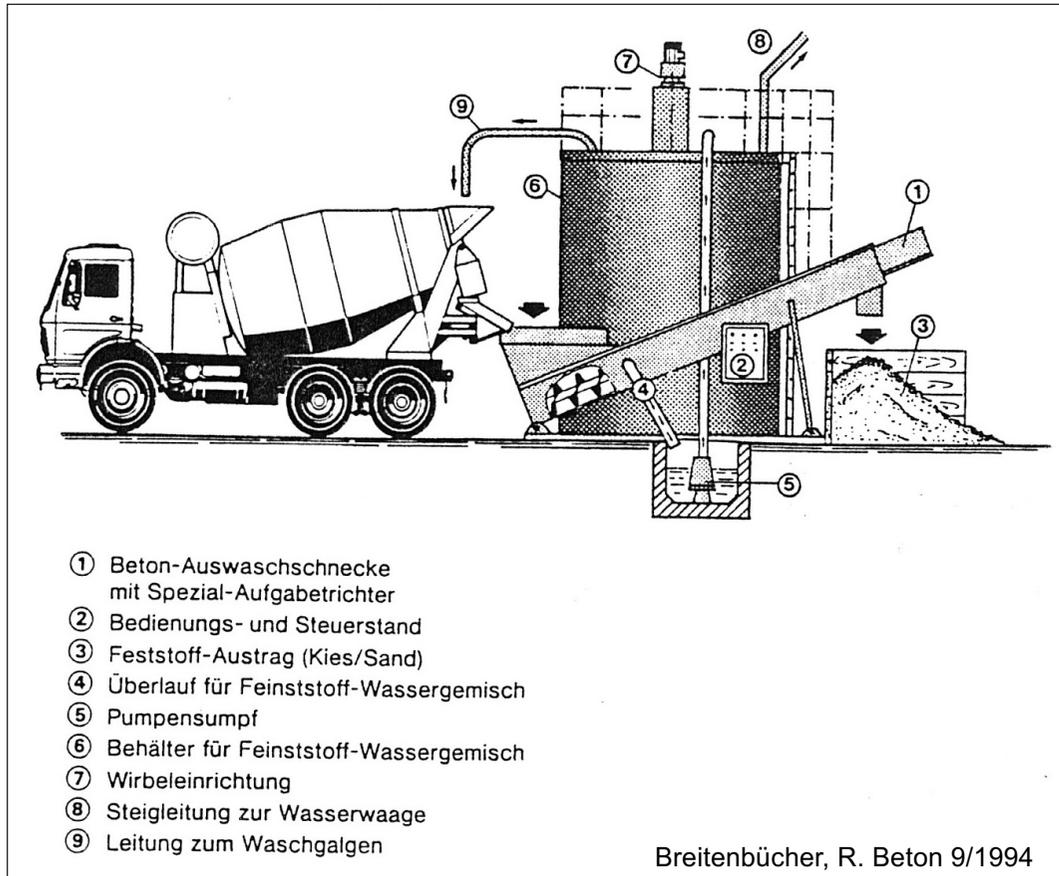
Betonklasse BK-E: Beton mit rezyklierten Gesteinskörnungen $> 25\%$ Volumenanteil

RC-Körnung darf als separate Korngruppe bis zu einer Festigkeitsklasse C50/60 (ohne LP) mit einer Zugabemenge von *höchstens 25% Volumenanteil* der Gesamtmenge der Gesteinskörnung eingesetzt werden.

Nur feine rezyklierte Gesteinskörnung des Typ 1 darf eingesetzt werden.

Frischbetonrecycling

Recycling von Transportbeton



Wiederverwertung von Frischbeton

Wiedergewonnene Gesteinskörnung

Darf nur intern in Beton verwendet werden

Darf *ohne Einschränkungen* mit höchstens 5% Volumenanteil der Gesamtmenge der Gesteinskörnung zugefügt werden

Darf als separate Korngruppe bis zu einer Festigkeitsklasse C25/30 (ohne LP) mit einer Zugabemenge von *5% Volumenanteil bis höchstens 25% Volumenanteil* der Gesamtmenge der Gesteinskörnung eingesetzt werden.

Bei mehr als *25% Volumenanteil* ist sie wie rezyklierte Gesteinskörnung zu behandeln

Wiederverwertung von Frischbeton

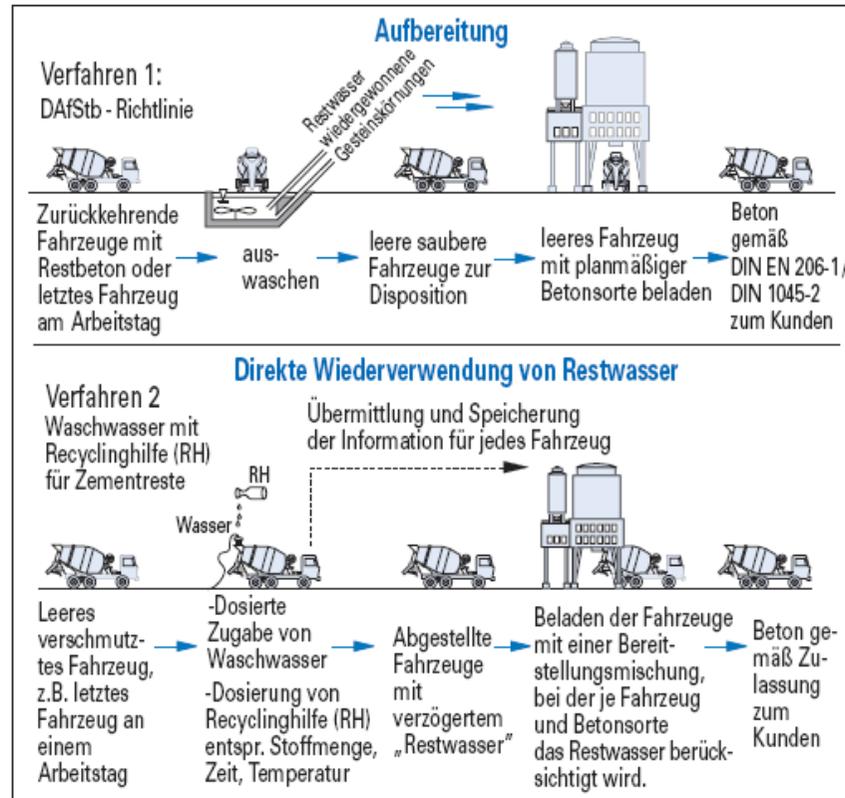
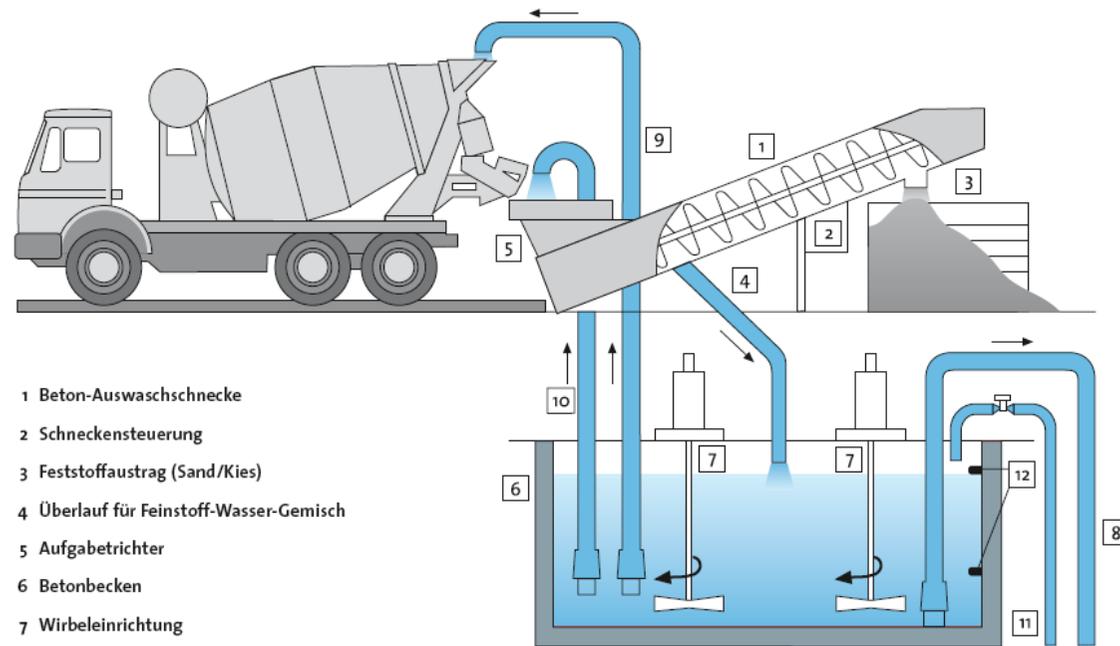


Bild II.16.1-1: Verfahren zum Frischbetonrecycling

Aus Vdz-online

Restwasser



- 1 Beton-Auswaschschncke
- 2 Schneckensteuerung
- 3 Feststoffaustrag (Sand/Kies)
- 4 Überlauf für Feinstoff-Wasser-Gemisch
- 5 Aufgabetrichter
- 6 Betonbecken
- 7 Wirbeleinrichtung
- 8 Leitung zur Wasserwaage im Mischturm
- 9 Leitung zum Waschgalgan für Fahrmischer
- 10 Spüleleitung für Schneckenrichter
- 11 Frischwasserzufuhr
- 12 Niveauschalter für Frischwasserzufuhr

Wiederverwertung von Frischbeton

Restwasser nach DIN EN 1008

Festlegung für die Probenahme, Prüfung und Beurteilung der Eignung von Wasser, einschließlich bei der Betonherstellung anfallendem Wasser, als Zugabewasser für Beton