



CO2-reduzierte Konstruktionsbauweisen aus alternativen hydraulischen Bindemitteln und nachhaltigen Baustoffen als umweltfreundliche Alternative zu herkömmlichem Zement

Max Schroers

M.Sc. Landschaftsarchitektur und Landschaftsplanung

Junior-Landschaftsarchitekt AKNW/BDLA

Einleitung

- Zement und Beton einer der meistverwendeten Baustoffe/Bindemittel weltweit
 - Wirtschaftlichkeit, Verfügbarkeit und Leistungsfähigkeit
- Weltweite Zementproduktion ca. 4 Milliarden Tonnen jährlich²
 - fließt jährlich größtenteils in ca. 20 Milliarden Tonnen Beton ein¹
- Deutschland größter Zementmarkt innerhalb EU
 - 2022 wurden 32,9 Mio. t Zement in Deutschland produziert²

VS.

Klimawandel

Kreislaufwirtschaft

Klimaschutz

Nachhaltigkeit

Ressourcenknappheit

Klimaneutralität 2050

nachhaltiges Bauen

Ressourcenschonung ...

Problemstellung

- Zementklinkerherstellung ist mit hohen CO₂-Emissionen, Energieverbrauch und Ressourcenverbrauch verbunden
- Herstellung von 1 Tonne Zement verursachte 2022 im Durchschnitt 0,787 Tonnen CO₂¹
- Zementindustrie ist für 6% der globalen CO₂-Emissionen verantwortlich³
- Deutsche Zementindustrie verursachte 2023 16,1 Mio. t CO₂-Emissionen¹
 - entspricht ca. 5,6% der Gesamtemission Deutschlands¹
- Rohstoffeinsatz ca. 43,5 Mio. t + Energieverbrauch ca. 79,3 Mio. GJ - Zementindustrie 2023⁴
- Rohstoffeinsatz ca. 242,4 Mio. t (davon 13% Zement) - Betonindustrie 2020²

 Trägt erheblich zum Klimawandel bei

¹Umweltbundesamt und DEHSt Deutsche Emissions handelsstelle 2024

²vdz Verein Deutscher Zementwerke e.V 2022

³vdz Verein Deutscher Zementwerke e.V 2023

⁴vdz Verein Deutscher Zementwerke e.V 2024

Forschungspotenzial

- Unterschiedliche Ansätze
 - Bereits umsetzbare Ansätze existieren, während andere Verfahren noch in Forschung und Erprobung stehen
- In dieser Arbeit verfolgte Ansätze:
 - **Reduzierungen des Zementklinkeranteils im Zement** durch klinkereffiziente Zemente (alternative Hauptbestandteile zu Zementklinker, bspw. Hüttensand und Flugasche)
 - **Reduzierung von Zement in Beton**
 - **Alternative / Nachhaltige Baustoffe**

Zielsetzung und Forschungsfrage

- Ziel dieser Arbeit ist es, auf Basis recherchierter Ökobilanzdaten umweltfreundliche Baustoffe zu identifizieren und daraus nachhaltige Bauweisen zu entwickeln und praktisch umzusetzen, die als umweltfreundlichere Alternative zu herkömmlichem Zementbeton dienen können und deren technische Leistungsfähigkeit hinsichtlich der Druckfestigkeit zu untersuchen.
- „Inwiefern kann der Zementklinkeranteil durch den Einsatz alternativer hydraulischer Bindemittel und nachhaltiger Baustoffe reduziert werden, um dabei die Umweltwirkungen, insbesondere die CO₂-Emissionen, bei gleichzeitiger Beständigkeit der Leistungsfähigkeit zu verringern?“

Methodik

- Theoretischer und praktischer Ansatz
- Ökobilanzierung von Baustoffen
 - Ermittlung umweltfreundlicherer Baustoffe, z.B. Hanfbeton, Pflanzenkohle, rezyklierte Gesteinskörnung...
 - Fokus auf CO₂-Emission, Energie und Ressourcenverbrauch
- Entwicklung umweltfreundlicherer Betonzusammensetzungen
 - Festlegung eines typischen Betons in der Landschaftsarchitektur/GaLaBau (C25/30 XC4 XF1 XA1 Dmax 16 F3 MF WA)
 - Referenzmischung aus einem herkömmlichen Zementbeton mit einem CEM I
 - Insgesamt 14 Betonzusammensetzungen mit verschiedenen Wirkungsweisen



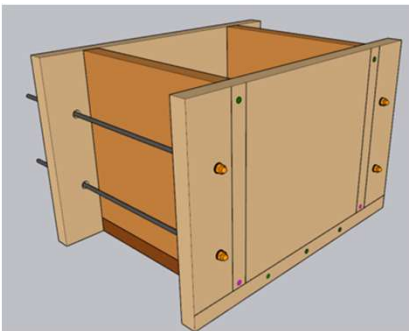
Tabelle 14: Mischungszusammensetzung W4

Reduktion des Zementklinkeranteils: 21-35% Reduktion natürlicher Gesteinskörnungen: 30% Reduktion des Zementgehalts: 10%									
	Zement CEM II (kg)	Wasser (l)	Sand 0/2 mm (kg)	Kies 2/8 mm (kg)	Kies 8/16 mm (kg)	RGK 0/11 mm (kg)	RGK 11/16 mm (kg)	Zusatzmittel FM (l)	Zusatzmittel LP (l)
1 m ³	279	153,45	512,40	256,20	512,40	329,40	219,60	1,4	0,7
WF 1	0,942	0,518	1,729	0,865	1,729	1,112	0,741	0,005	0,002
WF 2	7,533	4,143	13,835	6,917	13,835	8,894	5,929	0,038	0,021



Methodik

- praktische Umsetzung
- normgerechte Druckfestigkeitsprüfung zur Beurteilung der Leistungsfähigkeit
 - 15 x 15 x 15 cm große Prüfwürfelkörper nach DIN EN 206-1/DIN 1045-2 und DIN EN 12390 (Würfeldruckfestigkeit)
 - 30 x 30 x 30 cm große Würfelkörper für Lehrzwecke, mithilfe einer eigens geplanten und konstruierten Schalung



Ergebnisse

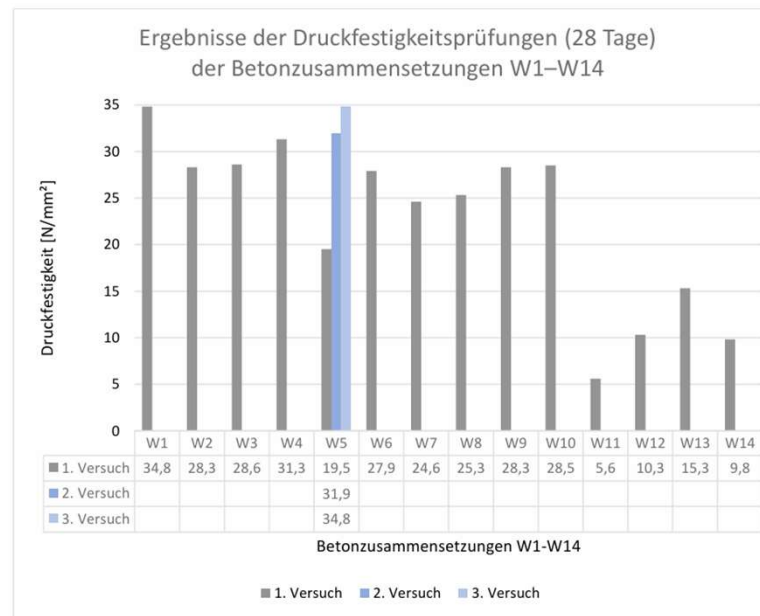
Ökobilanzierung

- Keine Vergleichbarkeit und Berechnung sowie ökologische Auswertung möglich
 - Datensätze variieren stark je nach herangezogener Literatur
- Lediglich eine erste Betrachtung und Abschätzung der Umweltwirkungen möglich auf Grundlage der Literatur
- Für zukünftigen Gebrauch bedarf es einer Vereinheitlichung
 - Standardisierte und verbindliche Methodik
 - Veröffentlichung produktspezifischer Ökobilanzen notwendig für breiteres belastbares Datenspektrum

➔ Vor allem der Einsatz von rezyklierten Gesteinskörnungen und Pflanzenkohle als Betonzusatzstoff führte zu einer Reduktion der CO₂-Emission und des Ressourcenverbrauchs bei gleichzeitig erreichter Druckfestigkeit.

Druckfestigkeitsprüfung

- Geforderte Würfelldruckfestigkeit von 30 N/mm²
- Ergebnisse als Anhaltswerte zu verstehen
 - Einzelprüfungen keine Aussagekraft
 - Nach Norm mind. 3 notwendig
 - Wiederholung notwendig, um Belastbarkeit der Daten zu erhöhen



Fazit

- Der Zementklinkeranteil in Beton lässt sich durch den Einsatz alternativer Bindemittel und nachhaltiger Baustoffe reduzieren, wodurch die Umweltwirkungen, insbesondere die CO₂-Emissionen, gesenkt werden können, ohne die Leistungsfähigkeit des Betons zwangsläufig zu beeinträchtigen.
- Nicht nur **materialtechnische Entwicklungen** auch **normative Anpassungen** und **planerische Strategien** notwendig
- **Planende zentrale Rolle** als Ausschreibende (Gestaltung), indirekter Einfluss als Bindeglied
- **Transformation** gelingt nur **gemeinsam!** - Zusammenspiel aller Akteure entlang der Wertschöpfungskette
- Ein zukunftsfähiges und nachhaltiges Bauen erfordert einen **integrativen Planungsansatz**, bei dem ökologische Verantwortung, wirtschaftliche Effizienz und soziale Verträglichkeit gleichwertig berücksichtigt werden.
- Zement und Beton auch zukünftig zentrale Rolle - Erforschung der Reduktion des Zementklinkeranteils und nachhaltiger Alternativen weiterhin große Bedeutung



**Vielen Dank für Ihre
Aufmerksamkeit**

Literaturverzeichnis

- Müller, Christoph; Mohr, Manuel (2021): Wie gelingt die Dekarbonisierung des Betonbaus in der Praxis? Online verfügbar unter <https://www.vdzonline.de/wissensportal/publikationen/wie-gelingt-die-dekarbonisierung-des-betonbaus-in-der-praxis>, zuletzt geprüft am 19.03.2025.
- Umweltbundesamt; DEHSt Deutsche Emissionshandelsstelle (2024): Emissionssituation im Europäischen Emissionshandel 2023. Emissionshandelspflichtige stationäre Anlagen und Luftverkehr in Deutschland. Berlin. Online verfügbar unter https://www.dehst.de/SharedDocs/downloads/DE/publikationen/VET-Bericht2023.pdf?__blob=publicationFile&v=4, zuletzt geprüft am 19.03.2025.
- vdz Verein Deutscher Zementwerke e.V (2022): Ressourcen der Zukunft für Zement und Beton – Potenziale und Handlungsstrategien. Unter Mitarbeit von Martin Schneider. Düsseldorf. Online verfügbar unter <https://www.vdzonline.de/wissensportal/publikationen/ressourcen-der-zukunft-fuer-zement-und-beton-potenziale-und-handlungsstrategien>, zuletzt geprüft am 19.03.2025.
- vdz Verein Deutscher Zementwerke e.V (2023): Zementindustrie im Überblick 2023/2024. Berlin. Online verfügbar unter <https://www.vdzonline.de/wissensportal/publikationen/zementindustrie-im-ueberblick-2023-2024>, zuletzt geprüft am 19.03.2025.
- vdz Verein Deutscher Zementwerke e.V (2024): Umweltdaten der deutschen Zementindustrie 2023. Düsseldorf. Online verfügbar unter <https://www.vdzonline.de/wissensportal/publikationen/umweltdaten-der-deutschen-zementindustrie-2023>, zuletzt geprüft am 01.08.2025.