

> Nils Urbanus, Tom Ackers,
Conrad Kunze, Paulina Orozco,
Matthias Schmelzer

Zementproduktion: Kosten, Schäden und Alternativen

Zu den globalen Auswirkungen
einer nicht umweltfreundlichen
Industrie



Nils Urbanus, Tom Ackers, Conrad Kunze,
Paulina Orozco, Matthias Schmelzer

Zementproduktion: Kosten, Schäden und Alternativen

Zu den globalen Auswirkungen einer
nicht umweltfreundlichen Industrie

Studie im Auftrag der Rosa-Luxemburg-Stiftung

Diese Studie ist eine Kurzfassung der englischen Originalfassung „Concrete Destruction: Costs and Damages of the Concrete and Cement Industry and the Future of Construction“ von Tom Ackers, Conrad Kunze, Paulina Orozco, Matthias Schmelzer, Nils Urbanus, die 2026 ebenfalls bei der Rosa-Luxemburg-Stiftung erscheint.

Nils Urbanus hat Physik und Wirtschaftswissenschaften studiert. Er ist Klimagerechtigkeitsaktivist und Gründungsmitglied der Gruppe End Cement.

Tom Ackers hat Philosophie studiert und schreibt heute über die politische Ökonomie der Energiewende, mit einem Fokus auf die gebaute Umwelt. Er ist Doktorand an der New York University.

Conrad Kunze forscht zur Energiewende sowie zu europäischen Autokulturen. Er ist promovierter Soziologe und Gründungsmitglied deutscher Klimagerechtigkeitsgruppen.

Paulina Orozco (ein Pseudonym) ist Chemieingenieurin und arbeitet in der südamerikanischen Zementindustrie. Sie forscht zu emissionsärmeren Alternativen zu Portlandzement.

Matthias Schmelzer ist Wirtschaftshistoriker, Transformationsforscher und Sozialtheoretiker. Er ist Professor für sozial-ökologische Transformation an der Universität Flensburg und Direktor des Norbert-Elias-Zentrums für Transformationsdesign und -forschung.

Impressum

STUDIEN 4/2026

wird herausgegeben von der Rosa-Luxemburg-Stiftung

V. i. S. d. P.: Henning Heine

Straße der Pariser Kommune 8A · 10243 Berlin · www.rosalux.de

ISSN 2194-2242 · Redaktionsschluss: Dezember 2025

Titelfoto: putradigitalid/Shutterstock

Redaktion: Stefan Thimmel

Übersetzung: Camilla Elle, Charlotte Thießen für Gegensatz Translation Collective

Korrektur: TEXT-ARBEIT, Berlin

Layout/Herstellung: MediaService GmbH Druck und Kommunikation

Gedruckt auf Circleoffset Premium White, 100% Recycling

Erstellt mit finanzieller Unterstützung des Auswärtigen Amtes (AA). Für diese Publikation ist alleine die Herausgeberin verantwortlich. Die hier dargestellten Positionen geben nicht den Standpunkt des Zuwendungsgebers wieder. Die Publikation wird kostenlos abgegeben und darf nicht zu Wahlkampfzwecken verwendet werden.

Inhalt

Ulrich Brand, Stefan Thimmel	
Beton ist überall. Und das ist das Problem.	5
Kurzzusammenfassung	7
1 Warum Zement?	10
1.1 Zement: Unterschiedliche Rezepturen gleiches Grundprinzip	10
1.2 Portlandzement	10
1.3 Die Erfolgsgeschichte von Portlandzement	11
1.4 Die Zementriesen von Heute	11
2 Die sozial-ökologischen Folgen der Zementindustrie	13
2.1 Ein geheimer Klimakiller	13
2.1.1 Die Emissionsquellen	13
2.1.2 Das Problem der Größenordnung	13
2.1.3 Beton als Kohlenstoffsенke?	14
2.2 Umweltzerstörung	15
2.2.1 Die Folgen des Kalksteinabbaus	16
2.2.2 Die Folgen von Kies- und Sandabbau	16
2.2.3 Rettet uns die Renaturierung?	17
2.3 Luftverschmutzung	17
2.3.1 Ein staubiges Geschäft	18
2.3.2 Mögliche Gegenmaßnahmen	18
2.4 Hitze, Überflutungen und Städte, die sinken	18
2.4.1 Zunehmende Hitze in urbanen Räumen	18
2.4.2 Versiegelte Flächen	18
2.4.3 Sinkende Städte	19
2.5 Exzessiver Müll	19
2.5.1 Die kurze Lebensdauer von Beton	19
2.5.2 Das Problem mit der Wegwerfarchitektur	19
2.5.3 Bergeweise Müll	19
2.6 Macht und Ausbeutung	20
2.6.1 Ausbeutung im Bausektor	20
2.6.2 Beton als militärische Waffe	20
2.6.3 Eine lange Liste ...	20
3 Die Klimapläne der Zementindustrie	21
3.1 Der Kampf der Zement-Lobby	21
3.2 Alles verschlingendes Wachstum	21
3.3 CCS: Verzockt oder Ass im Ärmel?	22

4 Alternative Maßnahmen	24
4.1 Alternativer Zement	24
4.2 Andere Baustoffe	25
4.2.1 Holz und Bambus	25
4.2.2 Stroh, Steine, Lehm und Hanf	25
4.2.3 Begrenzte Lösung	25
4.3 Weniger Baustoffe	26
4.3.1 Baustoffeffizienz	26
4.3.2 Reparieren, Bewahren und Sanieren	26
4.3.3 Bullshit-Abriss beenden	26
4.3.4 Bedürfnisorientierung	27
5 Welche politischen Strategien sind möglich?	28
5.1 Widerstand gegen die Zementindustrie	28
5.2 Schluss mit «Bullshit-Bauprojekten»	28
5.3 Regulierung von Bauvorhaben	29
5.4 Geplanter Ausstieg aus Portlandzement	29
5.5 Geplanter Einstieg in regenerative Bauweisen	29
5.6 Umverteilung und Demokratisierung	29
5.7 (Rück-)Bau von unten	30
Referenzen	31

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Der moderne Zementherstellungsprozess (Illustration der Autor*innen).	11
Abbildung 2: Jährliche Zementproduktion der größten Produzenten, 1880–2023.	12
Abbildung 3: Jährliche globale CO ₂ -Emissionen aus der Zement- und Betonproduktion im Vergleich zur CO ₂ -Aufnahme durch Karbonatisierung, 1940–2023.	14
Abbildung 4: Jährliche globale Produktion von Sand und Kies für die Betonherstellung sowie von Kalkstein für die Zementproduktion im Vergleich zur Förderung fossiler Brennstoffe, 1970–2020.	17
Abbildung 5: Bisherige und projizierte CO ₂ -Einsparung der Zementindustrie.	22
Abbildung 6: Konzeptuelle Darstellung eines möglichen Phase-Outs von Portlandzement.	24

Beton ist überall. Und das ist das Problem.

Kein Baustoff prägt unsere Welt so sehr wie Beton – und kein Baustoff richtet so viel Schaden an. 40 Prozent der gesamten anthropogenen Masse auf diesem Planeten beruhen auf Zement – flüssigem Stein, gegossen in Brücken, Dämme, Wohnblöcke, Datenzentren. Selbst der KI-Boom steht wortwörtlich auf Betonfundamenten. Die Bilanz ist verheerend: Beton ist für acht bis neun Prozent der globalen CO₂-Emissionen verantwortlich, für zerstörte Ökosysteme, vergiftete Luft, absinkende Städte, Berge von Abfall. Und dennoch wachsen Produktion und Verbrauch: 25 Milliarden Tonnen jährlich, Tendenz steigend.

Die Studie «Zementproduktion: Kosten, Schäden und Alternativen Zu den globalen Auswirkungen einer nicht umweltfreundlichen Industrie» von Tom Ackers, Conrad Kunze, Paulina Orozco, Matthias Schmelzer und Nils Urbanus – hier in einer gekürzten deutschen Fassung vorliegend¹ – zeigt, dass Zement der offensichtliche Schmierstoff der «imperialen Bauweise»² ist. Die Nebenwirkungen werden mit viel Aufwand unsichtbar gemacht. Nicht zufällig, denn mächtige Industrien haben ein Interesse daran, dass das so bleibt.

Zement ermöglicht relativ günstiges, schnelles, skalierbares Bauen – und damit die Ausweitung einer Bautätigkeit, die laut dem Architekturprofessor Werner Sobek für über 50 Prozent der klimaschädlichen CO₂-Emissionen verantwortlich ist, rechnet man Transport, Abriss und Recycling mit ein. Beton ist nicht neutral. Er ist der Stoff, aus dem die imperiale Lebensweise³ gemacht ist – einerseits auf Kosten der Natur und andererseits auf dem Rücken der Arbeitskräfte – zum Beispiel auf den Baustellen weltweit und vor allem im globalen Süden.

Das zeigt sich konkret bei einem der großen Player: Heidelberg Materials. Als einer der weltgrößten Zementkonzerne betreibt er über seine israelische Tochtergesellschaft Werke und Steinbruch in den besetzten palästinensischen Gebieten (Westjordanland), aber auch in der Westsahara. Pakistanische Bäuer*innen klagen das Unternehmen an, weil die Emissionen ihre Lebensgrundlagen zerstören, was unter anderem bei den verheerenden Flutkatastrophen im Sommer 2022 sichtbar wurde.

Die zerfallenden Brücken in aller Welt erzählen die Schattenseite des billigen Massenbauens – Beton hat eine relativ kurze Lebensdauer und ist gebaut auf Verschleiß. Zehn Milliarden Tonnen Betonschrott jährlich, downgecycelt oder einfach weggeworfen. Das ist kein Versagen. Das ist System.

Die Industrie hat ihre ganz eigenen Antworten parat: Netto-Null bis 2050 – das Ziel ist hier also keine absolute «Null» an Emissionen, sondern ein Gleichgewicht, bei dem netto kein zusätzliches CO₂ in die Atmosphäre gelangt. Das soll erreicht werden über Carbon Capture and Storage als zentrale technologische Innovation. Das soll wirken wie ein Ass im Ärmel. Doch hinter diesem Versprechen steckt eine aggressive Lobbymaschine, die Klimaregulierungen blockiert, Milliarden an überschüssigen CO₂-Zertifikaten kassiert und auf Technologien setzt, die entweder nicht existieren oder viel zu langsam

¹ Die englische Originalstudie erscheint im April 2026 ebenfalls bei der Rosa-Luxemburg-Stiftung unter dem Titel «Costs and Damages of the Cement Industry».

² Thimmel, Stefan: Der Markt regelt es nicht, in: Stadt.Land.Politik. Henselmann-Journal 7, 1/2022, 27–28.

³ Brand, Ulrich/Wissen, Markus: Imperiale Lebensweise. Zur Ausbeutung von Mensch und Natur im globalen Kapitalismus, München 2017.

kommen. Seit 1990 haben sich die Emissionen verdreifacht – bei gleichzeitiger Vervierfachung der Produktion. Die «Netto-Null»-Rhetorik der Branche ist, beim Namen genannt, Greenwashing oder «Betonwashing».

Die eigentliche Frage lautet also nicht: Wie produzieren wir Beton grüner? Sie lautet: Wie bauen wir anders, weniger und besser? Weg von der imperialen Bauweise, hin zu lokal verankerten, regenerativen Baustoffen. Holz, Lehm, Stroh, Bambus, Stein: Materialien mit Geschichte, mit Zukunft, mit lokaler Verankerung vor Ort. Wo Beton unvermeidbar bleibt, braucht es emissionsärmere Alternativen und eine radikal verlängerte Nutzungsdauer. Und vor allem braucht es den politischen Mut zu fragen, ob und wenn ja, wann und wo Neubau überhaupt nötig ist – und wo Bestände umverteilt, Flächen aufgeteilt und Wohnraum als gemeinwohlorientiert begriffen werden könnten.

Die durchschnittliche Wohnfläche liegt in Deutschland bei 45 Quadratmetern pro Kopf und ist in den letzten Jahrzehnten kontinuierlich angestiegen. Immer noch werden jährlich schätzungsweise bis zu 158 Quadratkilometer Fläche versiegelt, für Bebauung, aber auch für Verkehrsflächen. Vom sogenannten «30-Hektar-Ziel» sind wir kilometerweit entfernt.

Das alles ist kein Naturgesetz und keine technische Frage, sondern eine politische. Deshalb braucht es mutige politische Antworten: Moratorien gegen sinnlose Abriss- und Neubauprojekte (wie die 2024 u. a. von Architektenkammern unterstützte «Anti-Abriss-Allianz»), einen geplanten Ausstieg aus der

konventionellen Portlandzementproduktion vergleichbar dem 2020 vereinbarten Kohleausstieg und eine Demokratisierung des Wohnens durch Vergesellschaftung, Gemeinschaftseigentum und partizipative Planungen. Viele Architekt*innen und Planer*innen sind hier schon längst weiter als die Politik. Es braucht auch Druck von unten – zum Beispiel von Anwohner*innen und Aktivist*innen.

Die ökologische Krise ist kein Zukunftsszenario. Sie ist gelebter Alltag. Ein Weiter-so ist keine Option – und erst recht kein auf reine Zahlen ausgerichtetes «Bauen, Bauen, Bauen». Beton zementiert nicht nur Gebäude und Straßenverkehr. Er zementiert Machtverhältnisse, Ausbeutungsstrukturen, kurz: eine imperiale Lebens- und Bauweise, die die planetaren Grenzen längst überschritten hat. Diese Studie legt die Kosten offen. Es ist Zeit, am Fundament zu rütteln.

Wien/Berlin, März 2026

Ulrich Brand ist gelernter Hotelfachmann und Politikwissenschaftler. Er arbeitet, lehrt und forscht als Professor für Internationale Politik an der Universität Wien und ist Mitglied im Vorstand der Rosa-Luxemburg-Stiftung.

Stefan Thimmel ist gelernter Zimmermann, Dipl.-Ing. Architekt und Journalist. Er verantwortet als Referent seit 2018 den Bereich Wohnungs-, Mieten- und Stadtpolitik der Rosa-Luxemburg-Stiftung. Er ist Mitglied im Vorstand der Hermann-Henselmann-Stiftung.

Kurzzusammenfassung

Zement ist ein antikes Material, das heute im Zentrum moderner Gesellschaften steht. Sein Hauptderivat, Beton, ist der weltweit meistgenutzte Baustoff – nur Wasser wird mehr verwendet. Gleichzeitig entwickelt sich dieser Baustoff zu einem global wachsenden Problem: er trägt zur Überschreitung mehrerer planetarer Grenzen bei und zementiert zugleich wortwörtlich ausbeuterische Machtverhältnisse.

Geschichte und Entwicklung

Indem Kalkstein mit weiteren Materialien gebrannt und gemahlen wird, entsteht Zement, ein Klebstoff, der, gemischt mit Wasser, Sand und Kies, zu Beton aushärtet. Zement wird seit der Antike verwendet, doch seine globale Dominanz in Form von Portlandzement begann erst nach 1945, als die Eigenschaften des Materials perfekt zu den Anforderungen der industriellen Moderne und den Interessen kapitalistischer Entwicklung zu passen schien.

Während Beton heute bereits 40 Prozent der gesamten anthropogenen Masse ausmacht, wird aufgrund des weltweiten Bedarfs an Wohnraum und Infrastruktur teils angenommen, dass seine enorme Produktion (25 Milliarden Tonnen jährlich) noch weiter steigen wird. Gleichzeitig lenken prävalente ökonomische Strukturen das Material kaum dorthin, wo es am dringendsten gebraucht wird, während sich die Schäden häufen.

Die sozial-ökologischen Folgen

Die sozialen und ökologischen Schäden, die die (Beton- und) Zementindustrie direkt und durch den breiten Einsatz ihrer Produkte verursacht, erstrecken sich über sechs Hauptbereiche:

1. CO₂-Emissionen: Die Produktion von Beton und Zement verursacht 8 bis 9 Prozent der globalen menschengemachten CO₂-Emissionen. Diese stammen größtenteils aus der Verbrennung von fossilen Energien als auch der Kalzinierung von Kalkstein – Prozesse, die zurzeit bei der Herstellung von Portlandzement unvermeidbar sind.

2. Umweltzerstörung: Die Industrie verschlingt allein mit ihrem Gebrauch von Kies, Sand und Kalkstein mehr Ressourcen (23 Milliarden Tonnen) als jeder andere industrielle Prozess. Für ihre Extraktion werden Landschaften massiv verändert, Wassersysteme beschädigt und Ökosysteme verwüstet – und damit letztlich das sechste Artensterben vorangetrieben.

3. Luftverschmutzung: Zementwerke tragen erheblich zur Luftverschmutzung bei, insbesondere durch Stickoxide (8 Prozent der globalen Emissionen), Schwefeloxide (5 Prozent) und teils Schwermetalle wie Quecksilber (9 Prozent). Zusätzlich entsteht giftiger Staub (5 Prozent) entlang der gesamten Produktionskette von Beton – vom Kieswerk bis zur Baustelle – mit entsprechenden Folgen für Arbeiter*innen und Anwohner*innen.

4. Hitze, Überflutungen und Städte, die sinken: Die massive Ansammlung von Beton verändert städtische Umgebungen. Städte erleben höhere Temperaturen, heftigere Sturzfluten und sinkende Böden – teils durch die Wärmespeicherfähigkeit des Baustoffs, seine versiegelnden Fähigkeiten sowie sein Gewicht.

5. Auftürmender Müll: Betonbauten haben meist eine kurze Lebensdauer (typischerweise unter 50 Jahren), insbesondere wenn sie in «Wegwerfarchitektur» oder als Stahlbeton verwendet werden. Der resultierende Betonabfall (10 Milliarden Tonnen jährlich) wird entweder deponiert oder minderwertig wiederverwertet («downgecycled»).

6. Macht und Ausbeutung: Die Formbarkeit und Berechenbarkeit von Beton ermöglichen größere Ausbeutung von Arbeiter*innen, die Zentralisierung von Kontrolle und die Verankerung von Machthierarchien innerhalb der Industrie und der gebauten Umwelt. Seine einfache und schnelle Anwendbarkeit machen Beton zu einem wichtigen Instrument für Krieg und Vertreibung.

Die Klimapläne der Zementindustrie

Die Schäden in allen Bereichen sind beträchtlich, jedoch erscheint es besonders unmöglich, die CO₂-Emissionen bei der Herstellung von Portlandzement vollständig zu vermeiden. Dennoch hat die Zementindustrie offiziell das Ziel formuliert, bis 2050 Netto-Null-Emissionen zu erreichen. Doch diese hohen Versprechungen verstecken eine aggressive Lobbymaschine, die versucht, staatliche Klimamaßnahmen zu verhindern oder zu verwässern. So wurde insbesondere die Regulierung durch das EU-Emissionshandelssystem so vehement bekämpft, dass die Branche nicht nur keine starke Regulierung zu befürchten hatte, sondern Milliarden Gewinne durch überschüssige CO₂-Zertifikate erzielte.

Dazu sind die Versprechungen auf einem wackeligen Fundament aus technologischen Hoffnungen gebaut. Bewehrte Reduktionsmaßnahmen sind dabei effizientere Öfen, partielle Klinker-Substitution und alternative Brennstoffe. Mit diesen hat die Industrie bereits moderate Reduktionen erzielt, die jedoch durch das enorme Produktionswachstum aufgezehrt wurden (Verdreifachung der Emissionen bei Vervierfachung der Produktionsmengen zwischen seit 1990). Doch da diese die Hauptursache der Emissionen, die Produktion des Zementklinkers, damit nicht angegangen wird, basieren die Pläne Industrie essenziell auf «Carbon Capture and Storage (CCS)»: CO₂ wird weiter emittiert, jedoch am Werk herausgefiltert und anschließend deponiert. Dieses vermeintliche Ass im Ärmel, basiert jedoch auf einem umfangreichen technologischen Ausbau, der mit erheblichen Kosten, hohem Energieverbrauch und Risiken verbunden ist und dazu weitaus langsamer als gebraucht. Die «Netto-Null»-Rhetorik der Branche stellt daher weitestgehend Wunschdenken dar.

Alternative Maßnahmen

Um trotz der zerstörerischen Folgen den globalen Wohnungs- und Infrastrukturbedarf zu decken, sind drei Maßnahmen notwendig:

1. Alternativer Zement: Portlandzement kann durch emissionsärmere Zementarten ersetzt werden. Zahlreiche Alternativen werden derzeit erforscht und genutzt. Sie benötigen jedoch knappe Rohstoffe und aufwändige Produktionsprozesse. Daher können diese nur dort eingesetzt werden, wo es anders nicht möglich ist.

2. Andere Baustoffe: Beton kann durch alternative, nachhaltigere Baustoffe ersetzt werden. In nicht-tragenden Bauteilen können insbesondere Stroh,

Stein, Lehm und Hanf eine zentrale Rolle übernehmen, während in tragenden Strukturen Holz und Bambus zentral sind. Genutzt mit lokale Lieferketten und traditionellen Bauweisen, kombiniert mit modernen Techniken, können diese viele ökologische und soziale Schäden von Beton vermeiden. Eine vollständige Substitution ist jedoch unrealistisch, da insbesondere Land für An- und Abbau begrenzt ist.

3. Weniger Baustoffe: Der Verbrauch von Baustoffen kann durch technologische und soziale Veränderungen gesenkt werden. Neubauten, insbesondere im Globalen Norden, können weitgehend vermieden werden – etwa durch eine gerechtere Verteilung vorhandener Gebäude, eine verlängerte Nutzungsdauer, die Einschränkung von Luxus-, Prestige- und Spekulationsprojekten sowie einer klaren Bedürfnisorientierung. Überschüssiger Materialeinsatz kann zusätzlich durch effizientere Bauweisen, Wiederverwendung von Baustoffen und eine kompaktere, mit Natur durchsetzte, gebaute Umwelt reduziert werden.

In ihrer Gesamtheit ergibt sich so als Vision die Transformation der gebauten Umwelt von einem extraktiven, global vereinheitlichten und profitorientierten System aus Beton hin zu einer regenerativen, lokal verankerten und demokratisierten gebauten Umwelt.

Politische Strategien

Um diese Vision zu verwirklichen, ist kollektiver Widerstand von Aktivist*innen, Arbeiter*innen und Anwohner*innen nötig, die sich fest verankerten Machtstrukturen entgegenstellen – mit disruptiven Aktionen, transformative Reformen und präfigurativen Praktiken. Sieben politische Hebel, abgeleitet aus bestehenden und vergangenen Kämpfen, können dabei eine zentrale Rolle spielen:

1. Widerstand gegen die Industrie: Durch Kampagnen und direkte Aktionen die Narrative und ausbeuterischen Praktiken der Zementindustrie sowie ihre vermeintlichen Lösungen direkt anfechten.

2. Schluss mit «Bullshit-Bauprojekten»: Schädliche Bau- und Abrissprojekte mithilfe von Moratorien, direkten Aktionen und Streiks stoppen.

3. Regulierung von Bauvorhaben: Gesetzliche Vorschriften durchsetzen, Langlebigkeit, Reparierbarkeit und gemeinschaftliche Mitgestaltung von Bauprojekten sichern, höhere Quoten für regenerative und lokal erzeugte Baustoffe festlegen und den Ausbau von sozialem Wohnraum fördern.

4. Geplanter Ausstieg aus Portlandzement: Ähnlich wie bei Kohle, Öl und Gas einen staatlich gelenkten Ausstieg aus Portlandzement erkämpfen, begleitet durch Maßnahmen für einen gerechten Übergang für Beschäftigte im Bausektor.

5. Geplanter Einstieg in regenerative Bauweisen: Staatliche Regulierung und Investitionen erkämpfen, die die Produktion regenerativer Bauweisen fördern.

6. Umverteilung und Demokratisierung: Die gebaute Umwelt umverteilen und demokratisieren, etwa durch die Vergesellschaftung großer Wohnungsunternehmen, Förderung gemeinschaftlicher Eigentumsformen und partizipative Planungsprozesse.

7. (Rück-)Bau von unten: Mit Realexperimenten wie gemeinschaftlich organisierten Entsiegelungs-Initiativen und selbstgebautem Wohnraum die Vision einer alternativen gebauten Umwelt im Hier und Jetzt erfahrbar machen.

Zement und Beton prägen moderne Gesellschaften, sind zugleich aber hochgradig zerstörerisch. Ihr grenzenloses Wachstum ist mit planetarer und sozialer Stabilität unvereinbar. Die Zementproduktion muss vorrangig auf die Deckung grundlegender Bedürfnisse ausgerichtet und andernorts rasch ersetzt und reduziert werden. Nur so kann das Fundament für eine tatsächlich nachhaltige, gerechte und lebendige Welt gelegt werden.

1 Warum Zement?

Beton ist überall zu finden: in unseren Wohnungen und Büros, in Brücken, Dämmen und Tunneln sowie in der Wasser-, Strom- und Sanitärinfrastruktur. Häufig als «flüssiger Stein» bezeichnet, macht er heute rund 40 Prozent des Gesamtgewichts sämtlicher von Menschen geschaffener Materialien auf der Erde – der sogenannten anthropogenen Masse – aus.⁴

Eine zentrale Rolle dafür spielt die globale Zementindustrie, die Kalkstein zu Zement verarbeitet – jenem Pulver, das, mit Wasser vermengt, Sand und Kies zu Beton bindet. Zement hat eine weitreichende Expansion der gebauten Umwelt ermöglicht, allerdings zu einem hohen Preis: gewaltige CO₂-Emissionen, lokale Umweltverschmutzung, die Ausbeutung von Ressourcen und Arbeitskräften, die Zerstörung kulturellen Erbes, überhitzte Städte und wachsende Abfallberge. Der vorliegende Bericht untersucht diese Schäden und mögliche Gegenmaßnahmen. Eine ausführlichere Analyse ist in der englischsprachigen Fassung *Concrete Destruction: Costs and Damages of the Concrete and Cement Industry and the Future of Construction* verfügbar. Zunächst jedoch etwas Kontext.

1.1 Zement: Unterschiedliche Rezepturen gleiches Grundprinzip

Zement begleitet die Menschheit seit mindestens 10.000 Jahren und wurde in vielen unterschiedlichen Formen verwendet. Zwar variierten die Rezepturen – die Römer*innen etwa fügten Vulkanasche hinzu, während man in China mitunter Reis beimischte –, doch der zentrale Bestandteil blieb stets derselbe: Kalkstein, der vor Millionen von Jahren zumeist aus Korallen und anderen Organismen entstand. Erhitzt, mit Tonerde oder anderen Materialien vermischt und anschließend zermahlen, wurde in unterschiedlichen Kulturen ein wirkungsvolles Bindemittel hergestellt.⁵

Wird nun Sand, Kiesel und Wasser hinzugefügt, entsteht Beton, und damit jene graue Masse, die zu ä-

ßerst festem Stein aushärtet. Sowohl das Kolosseum und das Pantheon in Rom als auch die Hagia Sophia in Istanbul sind eindrucksvolle Beispiele für römischen Beton, die bis heute erhalten geblieben sind.⁶

1.2 Portlandzement

Ein Großteil des heute verwendeten Zements ist sogenannter «Portlandzement», der Mitte des 19. Jahrhunderts entwickelt wurde. Die industrielle Kohlefeuerung in Westeuropa ermöglichte es, Brennöfen auf über 1.400 °C zu erhitzen und damit ein festeres und einheitlicheres Material herzustellen. Heute gibt es eine Vielzahl an Portlandzementen, die jedoch alle auf demselben Prozess basieren:⁷

Schritt 1: Kalkstein wird im Steinbruch gesprengt oder abgebaut.

Schritt 2: Der Kalkstein wird über Förderbänder, Lastwagen oder Seilbahnen zu einem nahegelegenen Zementwerk transportiert, wo er zerstoßen und mit anderen Materialien wie Ton, Aluminium- und Eisenoxid vermischt wird.

Schritt 3: Das zentrale Element eines Zementwerkes ist der Drehrohrofen, eine moderne «Megamaschine», die rund um die Uhr betrieben werden muss, um wirtschaftlich zu sein.⁸ Dort wird die Mischung zunächst auf etwa 1.000 °C erhitzt; dabei setzt der Kalkstein das in ihm gebundene CO₂ frei (Kalziniierung). Anschließend wird das Material auf über 1.400 °C erhitzt, bis sogenannter Zementklinker entsteht.

Schritt 4: Der Klinker wird meist unter Zugabe von Gips zu feinem Pulver zermahlen.

⁴ Elhacham u. a. 2020.

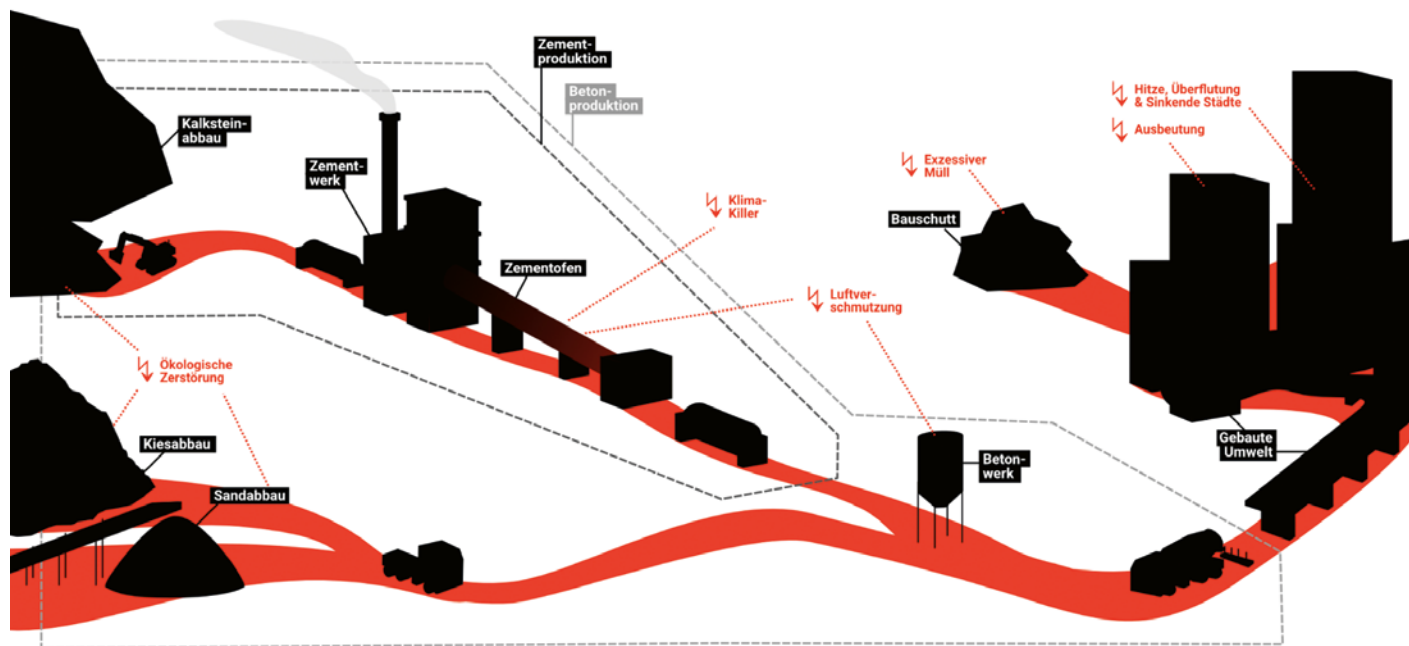
⁵ Covington u. a. 2022; Ronca u. a. 2023.

⁶ Rodríguez-Navarro 2012.

⁷ Moore 2024; Rodríguez-Navarro 2012; Van Oss & Padovani 2002.

⁸ Förster 2023.

Abbildung 1: Der moderne Zementherstellungsprozess (Illustration der Autor*innen).



Quelle: Illustration der Autor*innen

Schritt 5: Der Zement wird in einem Betonfertigteilwerk, auf der Baustelle oder in einem Transportbetonwerk mit Wasser, Sand und Kies zu Beton verarbeitet. Rund ein Drittel des Betons wird in technischen Bauwerken (wie etwa Straßen, Brücken oder Abwassersysteme) eingesetzt, ein weiteres Drittel im Wohnungsbau, und das verbleibende Drittel in allen übrigen Bauwerken.

in den vergangenen drei Jahrzehnten ist besonders eindrucksvoll: Zwischen 2011 und 2013 produzierte China mehr Zement als die USA im gesamten 20. Jahrhundert. Seither hat sich die Produktion dort auf über 2 Milliarden Tonnen pro Jahr stabilisiert, während die weltweite Produktion bei etwa 4 Milliarden Tonnen liegt.¹⁰

1.3 Die Erfolgsgeschichte von Portlandzement

Portlandzement fand in der aufstrebenden kapitalistischen «Fossilwirtschaft» Westeuropas schnell Verbreitung und insbesondere ab 1945 auch weltweit (siehe Abb. 2). Der Baustoff schien die Anforderungen der Zeit perfekt zu erfüllen und eignete sich sowohl für den Ausbau industrieller Kapazitäten, den Aufbau von Energie-, Verkehrs- und Sanitärinfrastruktur sowie für den Massenwohnungsbau und andere zivile und kommerzielle Gebäude. So stieg der Anteil von Beton an der anthropogenen Masse von 6 Prozent im Jahr 1900 auf 12 Prozent im Jahr 1945 und liegt heute bei 40 Prozent.⁹

Während im 20. Jahrhundert westliche Länder die Zementproduktion dominierten, nehmen heute China, Indien und Vietnam eine zentrale Rolle ein. Das Ausmaß der chinesischen Zementproduktion

1.4 Die Zementriesen von Heute

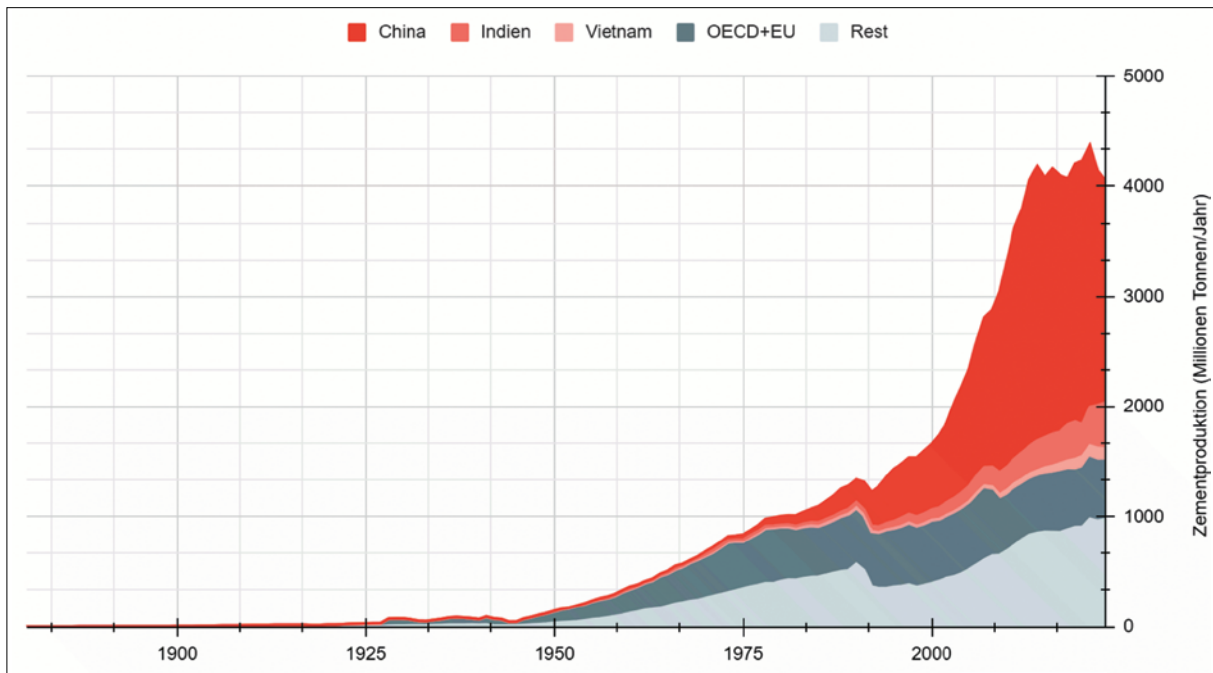
Die Produktion von Zement ist heute von regionalen Oligopolen geprägt. Hoher Materialeinsatz, kapitalintensive Anlagen und standardisierte Produkte führen in der Regel dazu, dass eine einzige große Zementfabrik ohne nennenswerte internationale Konkurrenz und mit kaum Preiswettbewerb eine ganze Region versorgt. Zunehmend dominieren jedoch globale Konzerne, die ihre Präsenz in verschiedenen Ländern nutzen, um regionale Nachfrageschwankungen auszugleichen.¹¹ Da die Produktion von Zement und Beton zu einem hohen Maße vertikal integriert ist und ohnehin eng verzahnt ist, bezeichnen wir in diesem Text mit «Zementindustrie» die Hersteller von Zement und Beton.

⁹ Elhacham u. a. 2020.

¹⁰ Swanson 2015; United States Geological Survey 2024.

¹¹ Cook 2011.

Abbildung 2: Jährliche Zementproduktion der größten Produzenten, 1880–2023.¹²



Quelle: Grafik der Autor*innen

Heidelberg Materials: Ein globaler Zementgigant

Heidelberg Materials (HDM) steht exemplarisch für die Zementindustrie. Das 1873 in Heidelberg gegründete Unternehmen ist nach dem Schweizer Konzern Holcim und dem chinesischen Unternehmen CNBM der drittgrößte Zementhersteller der Welt. Es ist in rund 50 Ländern auf allen Kontinenten mit Ausnahme Südamerikas tätig. Sein Geschäftsmodell umfasst die gesamte Wertschöpfungskette: von Kalksteinbrüchen und der Sand- und Kiesgewinnung über die Beförderung, bis hin zu Transportbeton- und Betonfertigteilwerken sowie rund 130 Zementwerken.¹³

Diese enorme Präsenz generiert riesige Gewinne, von denen ein Großteil nach Europa zurückfließt. Der größte Anteilseigner des Unternehmens, Ludwig Merckle, hat ein Vermögen von rund 12 Milliarden US-Dollar angehäuft.¹⁴ Gleichzeitig summieren sich entlang der Produktionsstätten soziale und ökologische Schäden, gegen die sich zunehmend Widerstand formiert. Einige dieser Kämpfe sind in diesem Bericht dokumentiert.

Das Weltwirtschaftsforum prognostiziert bis 2050 einen Anstieg der weltweiten Zementnachfrage um bis zu 50 Prozent.¹⁵ Das Material gilt als unverzichtbar: Es sorgt für wirtschaftliches Wachstum im Globalen Süden, bildet buchstäblich das Fundament der Rechenzentren, die den KI-Boom antreiben und verankert die Windkraftanlagen und Hochspannungsmasten der Energiewende. Nehmen wir allerdings die ökologische Krise ernst, so erweist sich sogar das aktuelle Produktionsniveau als unhaltbar. Die Zementnachfrage muss politisiert werden, statt sie als unvermeidlich darzustellen. Dabei muss zwischen wesentlichen Bedürfnissen und solchen, die verschwenderisch oder schädlich sind, unterschieden werden, wie im Kapitel über alternative Maßnahmen näher erläutert wird.

¹² Daten siehe Andrew 2019. Das Produktionsvolumen von Beton ist sechsmal so hoch wie das von Zement.

¹³ Heidelberg Materials 2025a.

¹⁴ Forbes 2025.

¹⁵ World Economic Forum 2022: 44.

2 Die sozial-ökologischen Folgen der Zementindustrie

Der globale Zement- und Betonboom hat riesigen Schaden hinterlassen. Nirgends wird dies so deutlich wie bei seinem Einfluss auf das Klima.

2.1 Eingehheimer Klimakiller

Die Beton- und Zementindustrie ist heute eine der größten Einzelquellen von Treibhausgasen: Fast 3 Milliarden Tonnen CO₂ werden jährlich freigesetzt, das entspricht 8 bis 9 Prozent aller menschengemachten CO₂-Emissionen. Dieser Anteil steigt stetig, und derzeit übertreffen die Emissionen der Zementindustrie jene des globalen Flugverkehrs um das Dreifache.¹⁶

2.1.1 Die Emissionsquellen

Ein Großteil der Emissionen (2,6 Milliarden Tonnen) entsteht in der Zementproduktion und stammt aus zwei Hauptquellen: Kalzinierungs- und Verbrennungsemissionen, die jährlich jeweils rund 1,6 und 0,9 Milliarden Tonnen CO₂ verursachen. Die Kalzinierungsemissionen (oder auch Prozessemissionen) resultieren aus der für die Zementherstellung grundlegenden chemischen Reaktion. Diese ist denkbar einfach: Kalkstein (CaCO₃), der sich vor Millionen Jahren zumeist aus Korallen, Schwämmen und anderen Meeresorganismen gebildet hat, wird zerkleinert und so stark erhitzt, dass er sich in Branntkalk (CaO) und Kohlendioxid spaltet. Allein dieser Schritt setzt fast eine halbe Tonne Kohlendioxid für jede Tonne Kalkstein frei, die in den Ofen kommt.¹⁷ Für diese Reaktion müssen die Öfen auf über 1.400 °C erhitzt

werden. Die Hitze wird nach wie vor überwiegend aus fossilen Brennstoffen, vor allem Kohle, gewonnen, was enorme Verbrennungsemissionen verursacht. Im Gegensatz zu anderen Schwerindustrien haben sich weder Strom noch Wasserstoff bisher als praktikable Alternativen erwiesen.¹⁸

Sowohl Kalzinierungs- als auch Verbrennungsemissionen sind derzeit unvermeidbare Bestandteile der Herstellung von Portlandzement. Ihre Beseitigung würde völlig andere chemische und materialtechnische Verfahren erfordern als die, auf denen die heutige Industrie basiert. Hinzu kommen kleinere CO₂-Mengen entlang der Wertschöpfungskette, insbesondere durch den Stromverbrauch beim Mahlen der Rohstoffe und des Klinkers. Diese lassen sich in der Regel leichter reduzieren.

2.1.2 Das Problem der Größenordnung

Pro Kilogramm hat Zement einen geringeren CO₂-Fußabdruck als die meisten anderen Baustoffe. Problematisch ist vor allem die schiere Menge, die zum Einsatz kommt und ihr sprunghafter Anstieg in den vergangenen Jahrzehnten. Bis in die 1970er Jahre wurde ein Großteil der Emissionen im Globalen Norden freigesetzt. Heute entfällt der Löwenanteil der Emissionen jedoch auf China, das seit den 2010er Jahren für etwa die Hälfte der gesamten Emissionen aus der Zementproduktion verantwortlich ist. Auch multinationale Unternehmen tragen ihren Teil dazu bei: Der CO₂-Fußabdruck von Heidelberg Materials übersteigt den ganzer Länder wie etwa Österreich oder Rumänien.¹⁹

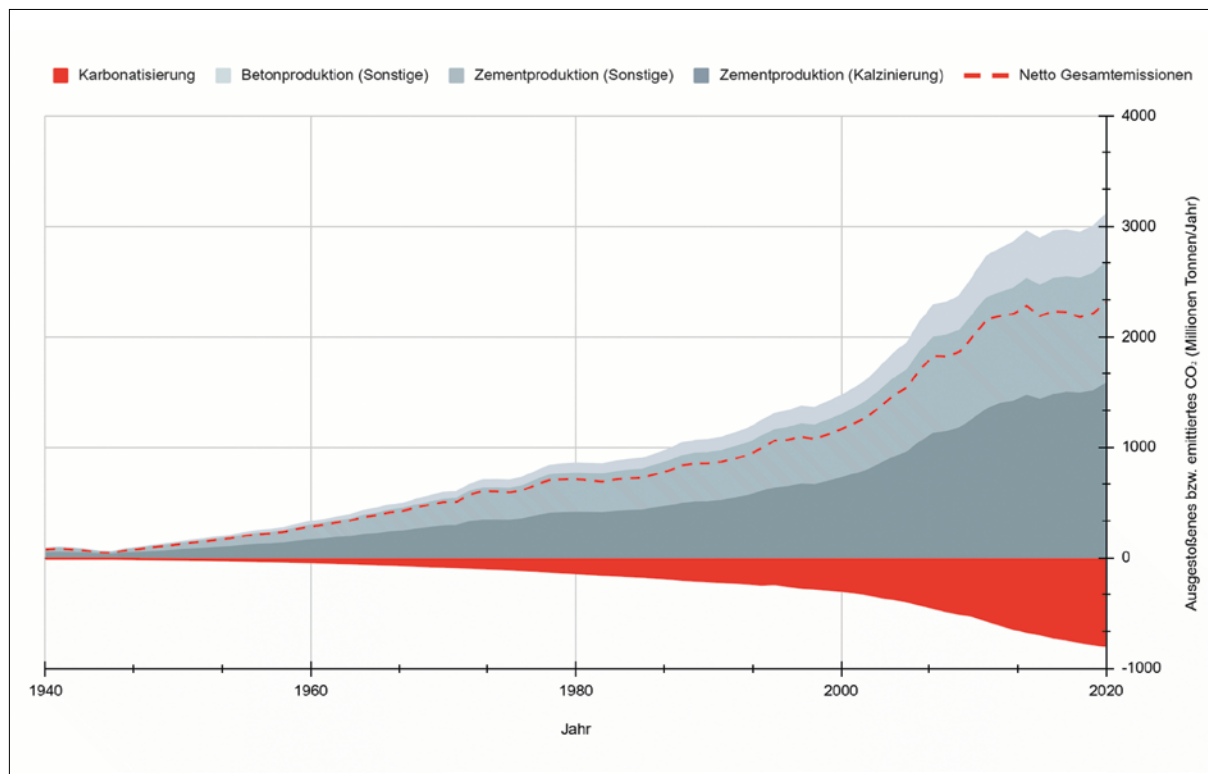
¹⁶ Friedlingstein u. a. 2023; Watari, Cao, u. a. 2023.

¹⁷ Huang u. a. 2023; Watari, Cao, u. a. 2023.

¹⁸ Griffiths u. a. 2023.

¹⁹ Eigene Berechnungen basierend auf Friedlingstein u. a. 2023; Heidelberg Materials 2025a.

Abbildung 3: Jährliche globale CO₂-Emissionen aus der Zement- und Betonproduktion im Vergleich zur CO₂-Aufnahme durch Karbonatisierung, 1940–2023.²⁰



Quelle: Grafik der Autor*innen

2.1.3 Beton als Kohlenstoffsenke?

In diesem Zusammenhang ist jedoch eine wichtige Eigenschaft von Zement zu erwähnen: Mit der Zeit absorbiert der ausgehärtete Zement im Beton allmählich CO₂ aus der Atmosphäre. In diesem Prozess, der als Karbonatisierung bezeichnet wird, können theoretisch CO₂-Emissionen der Zementherstellung wieder aufgenommen werden (höchstens jedoch die Menge, die bei der Kalzinierung freigesetzt wurde), da sich erneut Kalzit (CaCO₃) bildet.

Dieses Potential wird jedoch aus zwei Gründen nur selten ganz ausgeschöpft. Erstens ist der Prozess unter normalen Bedingungen äußerst langsam. Eine Betonstruktur nimmt innerhalb von 50 Jahren lediglich etwa 6 Prozent des während der Zementproduktion freigesetzten Kohlendioxids (12 Prozent der Kalzinierungsemissionen) wieder auf. Die globale Karbonatisierung, die jährlich rund 800 Millionen Tonnen CO₂ bindet, mag daher zwar beträchtlich erscheinen, ist aber im Verhältnis zu den jährlichen Emissionen aus der Zementproduktion vergleichsweise gering.²¹ Ohne einen drastischen Produktionsrückgang oder eine technologische Beschleunigung des Prozesses wird die Karbonatisierung also den

Rückstand nicht aufholen können. Zweitens kann Karbonatisierung schwerwiegende strukturelle Folgen für Gebäude und Infrastruktur haben, da sie die physische Beschaffenheit des Zements schwächt und Risse sowie Korrosion des Bewehrungsstahls im Beton verursacht (siehe unten). Aus diesem Grund versagen Betonstrukturen häufig lange vor ihrer «natürlichen» Lebensdauer und müssen ersetzt werden, was wiederum zusätzlichen Zementbedarf und weitere Emissionen zur Folge hat.

²⁰ Daten siehe Friedlingstein u. a. 2023; Van Roijen u. a. 2024; Watari, Cao, u. a. 2023.

²¹ Cao u. a. 2020; Van Roijen u. a. 2024.

Ausblick: Kämpfe rund um Heidelberg Materials

Weltweit formieren sich Anwohner*innen, Arbeiter*innen und Aktivist*innen gegen die sozialen und ökologischen Schäden, die Heidelberg Materials verursacht. In der englischsprachigen Fassung dieser Studie werden die Kämpfe ausführlicher betrachtet. Im Folgenden werden exemplarische Konflikte aus Indonesien, Palästina, Schweden und Frankreich vorgestellt.

Indonesien: Kampf der Samin

In Zentraljava stoßen die Pläne für eine Zementfabrik und einen Steinbruch in den Kendeng-Karstbergen seit 2006 auf heftigen Widerstand seitens der lokalen Kleinbauern und -bäuerinnen. Diese sind größtenteils Teil der Indigenen Gemeinschaft der Sedulur Sikep («die freundlich Gesinnten»), für die die Kendeng-Berge heilig sind und ihre landwirtschaftlichen Praktiken als eine Form der Umarmung dieser Berge sieht. Daher hat sich eine lokale Bewegung gegen die Pläne von HDM gebildet, die bis heute den Bau der Fabrik verhindert haben. Der Kampf wird überwiegend von Frauen angeführt und setzt auf juristische Schritte, Demonstrationen sowie zivilen Ungehorsam.²²

Palästina: Völkerrechtswidrige Profite

HDM erwarb 2007 den Steinbruch Nahal Raba im besetzten Westjordanland. Der Steinbruch wurde in den 1980er Jahren auf dem Land des palästinensischen Dorfes al-Zawiya errichtet, dessen Einwohner*innen seitdem weder das Land bewirtschaften noch über die dortigen natürlichen Ressourcen entscheiden können. Darüber hinaus wurde festgestellt, dass LKW-Lieferungen von HDM Siedlungen im Westjordanland versorgen und damit die anhaltende Besatzung unterstützen. Obwohl HDM den Betrieb des Steinbruchs im Jahr 2023 eingestellt hat, bemühte sich das Unternehmen erfolgreich um eine Erweiterung des Abbaugebiets und versucht nun, den Steinbruch zu verkaufen, anstatt ihn endgültig zu schließen. Beschwerden und Petitionen der lokalen palästinensischen Bevölkerung stießen auf taube Ohren, obwohl der Druck seit den Desinvestitionen mehrerer Versicherer und Pensionsfonds aus dem globalen Norden sowie einer Blockade durch die israelisch-palästinensische Klimaaktivist*innengruppe «One Climate» im Jahr 2020 offenbar zugenommen hat.²³

Schweden: Das grüne Leuchtturmprojekt?

Auf Gotland befindet sich Schwedens wichtigste Zementfabrik, die 75 Prozent der nationalen Versorgung abdeckt. Sie ist das Herzstück des größten CCS-Projekts von HDM (siehe Kapitel 3.3), das bis 2030 eine nahezu vollständige Abscheidung der Emissionen verspricht. Seit 2017 protestieren Anwohner*innen und Umweltverbände gegen das Werk, da es eine Gefahr für die Artenvielfalt und das Grundwasser darstellt. Obwohl vor Gericht ein Sieg gegen die Erweiterung errungen werden konnte, hat die Regierung schnell ein spezifisches und höchst umstrittenes Gesetz verabschiedet, das dieses Urteil außer Kraft setzt und HDM die Fortsetzung des Vorhabens ermöglicht.²⁴

Frankreich: Die Aufstände der Erde

In Frankreich ist die Zementindustrie seit 2019 zunehmend ins Visier von Klimaaktivist*innen gerückt, insbesondere der Gruppe Les Soulèvements de la Terre (Die Aufstände der Erde). Seitdem werden Steinbrüche besetzt und Zementwerke blockiert – darunter auch Anlagen von HDM. Eine besonders aufsehenerregende Aktion war die Besetzung des Holcim-Werks in Bouc-Bel-Air durch 200 Aktivist*innen, bei der Maschinen und elektrische Anlagen sabotiert wurden.²⁵

²² Kunz u. a. 2024.

²³ Abdallah & de Leeuw 2020; Human Rights Watch 2016; One Climate o. J.

²⁴ Hofverberg 2021.

²⁵ Climate Litigation Database 2024; Les Soulèvements de la Terre 2024.

2.2 Umweltzerstörung

Die Betonproduktion verschlingt mehr Ressourcen als jeder andere industrielle Prozess und kann ohne Weiteres als die größte «Commodity Frontier»²⁶ des modernen Kapitalismus bezeichnet werden – das heißt als Prozess, in dem Land, Arbeit und Ressourcen zum ersten Mal in globale Warenketten eingebunden werden –, mit entsprechend gravierenden Umweltschäden. Für die Zementproduktion werden jährlich mindestens 3 Milliarden Tonnen Kalkstein benötigt, während die für Beton benötigte Menge an Sand und Kies inzwischen bei rund 20 Milliarden Tonnen liegt und der Abbau in seiner Dimension sogar die Förderung fossiler Brennstoffe übertrifft. Gips (200 Millionen Tonnen) und Wasser (2 Milliarden Tonnen) erhöhen die Umweltbelastung zusätzlich.²⁷ Betrachten wir nur diese drei Inputs, wird klar, welche enormen Belastungen allein durch ihren benötigten Umfang für Ökosysteme und lokale Bevölkerungen einhergehen.

2.2.1 Die Folgen des Kalksteinabbaus

Regionen mit großen Kalksteinvorkommen (sogenannte «Karstgebiete») beherbergen komplexe Landschaften und Wassersysteme (darunter Höhlen, Dolinen, einzigartige Felsformationen und unterirdische Flüsse), da Kalkstein sich im Kontakt mit kohlendioxidhaltigem Wasser leicht auflöst.²⁸ Daher beheimaten diese Gebiete eine enorme Artenvielfalt, darunter seltene und gefährdete Pflanzen- und Tierarten, die teils nur sehr begrenzte Gebiete an der Erdoberfläche oder im Untergrund besiedeln. Oft leiden diese Ökosysteme stark unter dem Abbau von Kalkstein, sei es aufgrund der direkten Zerstörung von Vegetation und fruchtbarem Boden oder den Erschütterungen und Vibrationen, die durch Bohrungen und Sprengungen verursacht werden.²⁹

Auch die Wassersysteme können stark in Mitleidenschaft gezogen werden, und Schäden sich unvorhersehbar und weit über den Abbauort hinaus ausbreiten: Wasserläufe werden umgeleitet, Grundwasserreservoirs geleert oder der Grundwasserspiegel gesenkt. Wenn schützende Bodenschichten entfernt werden, kann auch die Wasserqualität abnehmen, es entsteht Staub und Abbauschadstoffe wie etwa Öl sammeln sich an.³⁰

Oft leidet die lokale Bevölkerung unter der Beeinträchtigung ihrer landwirtschaftlichen Produktion oder der Zerstörung ihrer kulturellen und spirituellen Stätten, wie etwa die Entfernung taoistischer, hinduistischer und buddhistischer Tempel zugunsten eines Holcim-Steinbruchs in Malaysia. Daher kommt

es häufig zu lokalem Widerstand gegen neue oder erweiterte Steinbrüche. Insbesondere im Globalen Süden ist Landraub durch Zementunternehmen keine Seltenheit und wird regelmäßig durch die Staatsgewalt unterstützt. In Togo und Indonesien werfen Gemeinschaften etwa Heidelberg Materials vor, Landraub zu betreiben.³¹

2.2.2 Die Folgen von Kies- und Sandabbau

Beton benötigt bestimmte Arten von Sand und Kies (sogenannte Zuschlagstoffe). Wüstensand zum Beispiel eignet sich nicht dafür. Daher ist die Betonindustrie weitgehend auf Sand und Kies aus Flüssen, Meeren oder aus dem Tagebau angewiesen.

Kies- und Sandgruben haben ähnliche Auswirkungen wie Kalksteinbrüche, der Abbau in Flüssen und Küstenregionen bringt jedoch zusätzliche Probleme mit sich. Hier zerstört er Lebensräume, verschlechtert die Wasserqualität und verursacht Erosion. Besonders gravierend ist der Abbau in Flussdeltas wie etwa dem Mekongdelta in Vietnam. Dort greift er direkt in Biodiversitäts-Hotspots ein. Eine häufig genutzte Alternative ist Meeressand. Sowohl Strände als auch der Meeresboden sind allerdings ebenso wichtige Lebensräume. Der Meeresboden beherbergt zahlreiche Mikroorganismen und Cyanobakterien, die die Grundlage des marinen Lebens und insbesondere vieler Meerespflanzen sind. Diese zählen zu den bedeutenden Kohlenstoffsinken. Küstensysteme erodieren in der Folge, wodurch die Stabilität der Küstenlinie geschwächt wird und aufgewirbelte Sedimente mitunter noch mehrere Kilometer jenseits der Abbaustellen Schäden verursachen.³² Dass dies auch Folgen für die Lebensgrundlagen und das Wohlergehen lokaler Bevölkerungen hat, liegt auf der Hand. Besonders Bevölkerungsgruppen, die von der Fischerei leben, verzeichnen nicht selten erhebliche Rückgänge ihrer Fangmengen.³³ Eine weitere gravierende Folge ist die Unterbrechung natürlicher Küsten- und Hochwasserschutzsysteme und damit verbundenen stärkeren und häufigeren Überschwemmungen. Angesichts der Klimakrise, die das Risiko für Überschwemmungen deutlich erhöht, kann der Sandabbau den Küstenschutz von Millionen Menschen untergraben.

²⁶ Berg 2021.

²⁷ Watari, Cao, u. a. 2023.

²⁸ Carrasqueira u. a. 2024; Goldscheider 2019.

²⁹ Goldscheider 2019; Langer 2001.

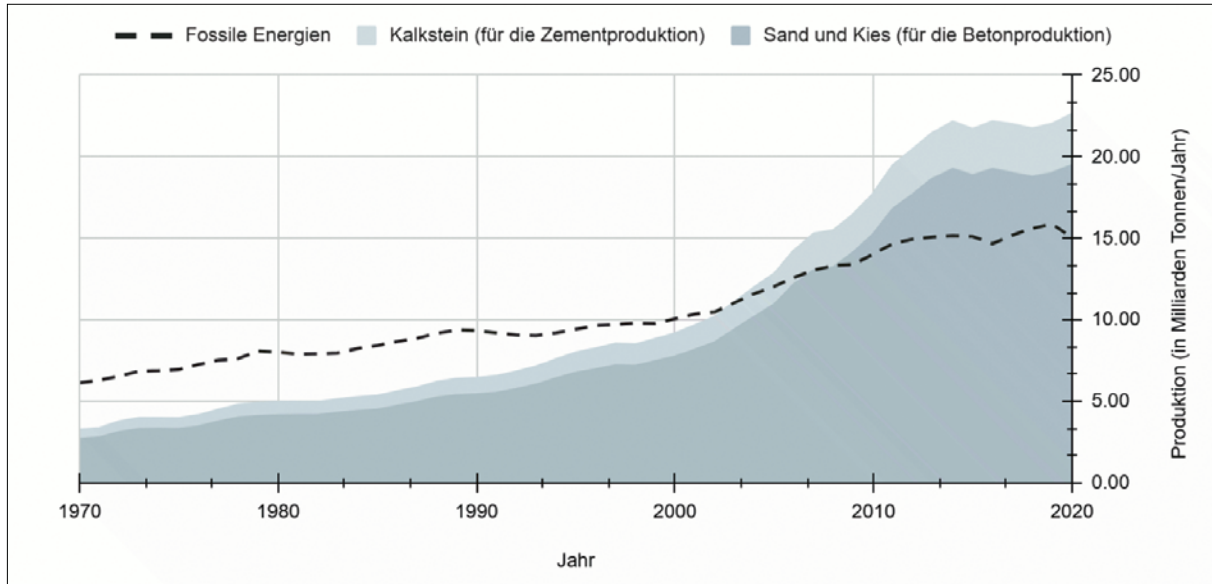
³⁰ ebd.

³¹ ebd.; Koch & Abraham 2021; Tong 2021.

³² Torres u. a. 2017; United Nations Environment Programme 2022.

³³ Bendixen u. a. 2021.

Abbildung 4: Jährliche globale Produktion von Sand und Kies für die Betonherstellung sowie von Kalkstein für die Zementproduktion im Vergleich zur Förderung fossiler Brennstoffe, 1970–2020.³⁴



Quelle: Grafik der Autor*innen

Inzwischen ist der Sandabbau für viele Menschen eine wichtige Einnahmequelle geworden. Allein in Indien sind schätzungsweise rund 12 Millionen Menschen im handwerklichen und kleingewerblichen Abbau tätig. Gleichzeitig gehen selbst konservative Schätzungen von mehreren hundert Todesopfern unter Aktivist*innen, Staatsbediensteten und Dorfbewohner*innen aus, die sich dem Abbau widersetzen.³⁵ Hinzu kommt, dass derartige Konflikte rund um den Rohstoff nicht nur auf Landesebene zunehmen, sondern sich zunehmend auch zu geopolitischen Konflikten ausweiten. So verwies etwa die taiwanische Küstenwache 2019 mehrere tausend Male chinesische Boote, die Sand abbaggerten, ihrer Gewässer.³⁶

2.2.3 Rettet uns die Renaturierung?

Um der Kritik zu begegnen, führen Unternehmen hydrologische und ökologische Bewertungen durch, organisieren Konsultationen mit Anwohner*innen, setzen Biodiversitätsmaßnahmen um und renaturieren Abbauflächen bereits während und nach dem Abbau. Einige schaffen Ausgleichsflächen, um den Verlust von Biodiversität an anderen Orten zu kompensieren.

Trotz dieser Fortschritte bleiben die Auswirkungen gravierend. (Karst-)Ökosysteme sind komplex und bestehen aus eng miteinander verbundenen Elementen, sodass Abbauschäden nicht vollständig eingedämmt werden können. In Unternehmensberichten

werden häufig Vögel und Säugetiere hervorgehoben, Arten, die unmittelbar auf spezielle Karstgebiete angewiesen sind, wie viele Schnecken, jedoch vernachlässigt. Selbst mit umfangreichen Rekultivierungsmaßnahmen wird das Abbaugelände höchstwahrscheinlich eine verringerte Biodiversität, verminderte Nährstoffzirkulation, weniger Nahrungs-, Faser- und Energiequellen sowie einen weniger regulierten Wasserkreislauf aufweisen. Auch bei vollständiger Renaturierung eines Gebiets, bliebe ein erheblicher Zeitraum, in dem Ökosysteme geschädigt sind und Arten im schlimmsten Fall aussterben.³⁷ Renaturierungsmaßnahmen können die Zerstörung also verringern, verhindern sie jedoch nicht.

2.3 Luftverschmutzung

Die Herstellung von Zement und Beton führt zu erheblicher Luftverschmutzung, die Ökosysteme, Beschäftigte und Anwohner*innen schwer belastet. Dabei entstehen drei zentrale Arten von Schadstoffen: Stickoxide, Schwefeloxide und Staub, wobei die Branche jeweils für 7,8 Prozent, 4,8 Prozent und 5 Prozent der weltweiten Emissionen dieser Stoffe

³⁴ Daten zu Kies, Sand und fossilen Energien siehe Watari, Cao, u. a. 2023. Daten zu Kalkstein berechnet mit Kalzinierungsemissionsdaten siehe Friedlingstein u. a. 2023.

³⁵ Bisht & Gerber 2017 zitiert nach Bendixen u. a. 2021.

³⁶ Aduda & Bolf 2024; Jensen 2020.

³⁷ Burman 2020; Ruiz u. a. 2023.

verantwortlich ist.³⁸ Die Stickoxide entstehen primär durch die hohen Temperaturen und Stickstoffverbindungen im Brennofen. In hohen Konzentrationen können sie den Atmungsorganen schaden sowie sauren Regen verursachen, der Pflanzen schädigt und Flüsse und Seen vergiftet. Schwefeloxide haben ähnliche Auswirkungen, stammen jedoch größtenteils aus Schwefelverbindungen in den Roh- und Brennstoffen.³⁹

2.3.1 Ein staubiges Geschäft

Der sichtbarste Teil der Luftverschmutzung ist die große Menge an Staub, die anfällt. Von Sprengungen und Bohrungen in Steinbrüchen über das Mahlen von Klinker bis hin zum Transport und dem Mischen des Betons: bei jedem Produktionsschritt entsteht Staub. Das ist nicht nur lästig, sondern beeinträchtigt mitunter Ökosysteme und damit auch die Landwirtschaft, da er sich auf Pflanzen und Böden absetzt, Sonnenlicht blockiert und Erträge mindert. Sind die Staubpartikel klein genug, gelangen sie in die Lunge und den Blutkreislauf und richten dort großen Schaden an.⁴⁰ In der Regel enthält der Staub zudem Silikatpartikel, die Silikose, Lungenkrebs und andere Krankheiten auslösen können. Je nach den verwendeten Materialien und Brennstoffen enthält der Staub zudem hohe Mengen an Schadstoffen wie Benzol, Arsen und Ammoniak sowie Schwermetalle wie Chrom, Nickel, Kobalt, Blei und Quecksilber. In der Schweiz sorgte die bereits stark regulierte Zementindustrie für Schlagzeilen, als aufgedeckt wurde, dass zwischen 2007 und 2021 etwa 240 Tonnen Benzol freigesetzt wurden, das als Krebserreger bekannt ist.⁴¹ All diese Faktoren beeinträchtigen die Lebensmittelsicherheit, reduzieren die Biodiversität und mindern landwirtschaftliche Erträge. Anwohner*innen von Zementwerken, die tendenziell ohnehin einkommensschwach und marginalisiert sind, werden besonders stark belastet. Am stärksten betroffen sind jedoch die Beschäftigten der Industrie selbst. Sie sind insbesondere einem erhöhten Risiko für Lungenkrebs und andere lungenspezifische Erkrankungen ausgesetzt.⁴²

2.3.2 Mögliche Gegenmaßnahmen

Im Gegensatz zu vielen anderen Schäden, die durch die Industrie hervorgerufen werden, lässt sich die Luftverschmutzung technisch deutlich reduzieren. Vor allem in der Europäischen Union und in China kommen zunehmend Filter, Staubabscheider, Belüftungssysteme, Nebelanlagen, geschlossene Fahrerkabinen, Atemschutzmasken und weitere Maßnahmen zum Einsatz. In den industrialisierten Ländern ist die Luftverschmutzung durch die Branche dadurch erheblich gesunken. Diese Maßnah-

men könnten auch weltweit umgesetzt werden. Da sie mit höheren Produktionskosten verbunden sind, kommen sie allerdings nur unter behördlichem Druck zum Einsatz. Aufgrund der starken Lobby der Industrie ist dieser Druck jedoch vielerorts gering, während die Richtlinien lasch sind oder kaum durchgesetzt werden. Lokale Gemeinschaften können mitunter jahrelang oder sogar jahrzehntelang protestieren, ohne dass Behörden eingreifen oder Verbesserungen erzielt werden.⁴³

2.4 Hitze, Überflutungen und Städte, die sinken

Beton wird in solch gewaltigen Mengen eingesetzt, dass sein massenhafter Gebrauch besonders in Städten mittlerweile weitreichende physische Auswirkungen hat.

2.4.1 Zunehmende Hitze in urbanen Räumen

Alle, die schon einmal in der heißen Sonne barfuß auf Betonboden gelaufen sind, werden wissen, dass Beton Hitze mit großer Leichtigkeit absorbiert und speichert. An besonders heißen Tagen erreicht er Temperaturen bis zu 65 °C. Zusammen mit anderen Faktoren, wie schwindender Vegetation, führt dies häufig dazu, dass sich der städtische Raum verglichen mit ländlicher Umgebung stark aufheizt und ein sogenannter städtischer Wärmeinseleffekt entsteht. Mit zunehmenden Hitzewellen infolge der Erderwärmung kommt es verbreitet zu extrem hohen Temperaturen. Diese bringen eine erhöhte Sterblichkeit für ältere Menschen sowie besonders hohe Risiken für einkommensschwache oder marginalisierte Bevölkerungsgruppen, Kinder und Menschen mit Behinderungen mit sich.⁴⁴

2.4.2 Versiegelte Flächen

Gleichzeitig hat der massive Einsatz von Beton und Asphalt zur Versiegelung großer Teile der Erdoberfläche geführt. Darunter- und umliegende Böden und Ökosysteme werden zerstört und es entstehen Barrieren zwischen Landschaftsräumen, die die Umgebung fragmentieren und einen Verlust an

³⁸ Miller & Moore 2020.

³⁹ Hasanbeigi u. a. 2022; United States Environmental Protection Agency 2023, 2024; Van Oss & Padovani 2003.

⁴⁰ Adeyanju & Okeke 2019; Hasanbeigi u. a. 2022; Sairanen u. a. 2018; Van Oss & Padovani 2003.

⁴¹ Al-Bakri u. a. 2022; Marsh u. a. 2024; Niederhäuser 2023; Wüthrich 2020.

⁴² Adeyanju & Okeke 2019; Marsh u. a. 2024; Oberschelp u. a. 2023.

⁴³ Leukhardt 2018; Wüthrich 2020; Yan u. a. 2024.

⁴⁴ S. Chen u. a. 2024; Intergovernmental Panel on Climate Change 2022: 924; Zafra 2023.

Biodiversität zur Folge haben.⁴⁵ Da Betonoberflächen weitgehend wasserundurchlässig sind, wird die natürliche Wasserfilterung reduziert und das Hochwasserrisiko erhöht sich. Letzteres stellt angesichts des Klimawandels eine besonders gravierende Bedrohung dar. Immer häufiger auftretende und zunehmend schwerwiegendere Stürme führen zu immer verheerenderen Sturzfluten, da das Niederschlagswasser nicht versickern kann. Aufgrund ihrer Geschwindigkeit, Unvorhersehbarkeit und Wucht können solche Fluten desaströs sein und gehören aktuell zu den tödlichsten Naturgefahren.⁴⁶

2.4.3 Sinkende Städte

Die enormen Mengen an Beton, Zuschlagstoffen und Asphalt, die sich in den Städten anhäufen, führen sogar dazu, dass Küstenstädte unter dem Gewicht der Gebäude und Infrastrukturen absinken. Mit dem klimawandelbedingten Anstieg des Meeresspiegels sind immer größere Teile dieser Städte von Überschwemmungen und Überflutungen bedroht. Eine Studie des US Geological Survey zu den 48 größten Küstenstädten der Welt, in denen heutzutage rund ein Fünftel der globalen Stadtbevölkerung lebt, kam zu folgendem Ergebnis: In 44 dieser Städte gibt es Gebiete, die aufgrund von erhöhtem Gewicht, Grundwasserentnahme und anderen Faktoren schneller absinken, als der Meeresspiegel steigt.⁴⁷

2.5 Exzessiver Müll

2.5.1 Die kurze Lebensdauer von Beton

Betonstrukturen weisen teils eine außerordentlich lange Lebensdauer auf. Die bekanntesten Beispiele hierfür sind viele der erhaltenen Gebäude des antiken Roms. Allerdings können Hitze, häufige Frost-Tau-Wechsel, Karbonatisierung, starke Vibrationen, Feuchtigkeit, Salze und chemische Einflüsse dazu führen, dass Beton Risse bildet oder zerfällt. In der Folge kann sich auch die Lebensdauer erheblich verkürzen, zumal heutige Infrastrukturen intensiver genutzt werden und Gebäude nicht mehr mit solch massiven Mauern wie etwa das Kolosseum errichtet werden.⁴⁸

Die meisten modernen Betonkonstruktionen weisen jedoch noch eine zusätzliche Schwäche auf, da sie aus Stahlbeton gebaut sind: Stahlbewehrungen werden in den Beton eingelassen, um Zugfestigkeit zu gewährleisten. Diese Bewehrung wird jedoch zur «Achillesferse»: Sie korrodiert im Laufe der Zeit, dehnt sich aus und sprengt den Beton von innen. Die Folge ist, dass die Zug- oder Druckfestigkeit so weit abnimmt, dass die Konstruktion ihre Tragfähig-

keit verliert. Dieser schleichende Verfall lässt sich nicht verhindern, sondern lediglich verlangsamen, etwa durch eine Verdickung der Betonummantelung. Die meisten Betonstrukturen haben daher nur eine Lebensdauer von 50 bis 100 Jahren.⁴⁹ Selbst Staudämme mit ihren massiven Betonwänden sind von diesem Prozess bedroht. Bis 2050 wird mehr als die Hälfte der Weltbevölkerung stromabwärts von Tausenden von großen Dämmen leben, deren vorgesehene Lebensdauer sich dem Ende neigt oder bereits überschritten ist.⁵⁰

Das führt zu enormen Kosten und hat zugleich sozialpsychologische Folgen: Verfallende Infrastruktur erzeugt häufig Gefühle des Abgehängtseins und der Machtlosigkeit, die wiederum einen perfekten Nährboden für rechte Politik bilden.⁵¹ Versäumte Reparaturen oder die fortgesetzte Nutzung beschädigter Strukturen können zudem gravierende Auswirkungen auf die Gesundheit und Sicherheit der Bevölkerung haben. Besonders verheerend sind plötzliche Einstürze wie der Kollaps der Koror-Babeldaob-Brücke in Palau im Jahr 1996, der Ponte Morandi in Genua 2018, der Carola-Brücke in Dresden 2024 oder Zusammenbruch des Concorde-Viadukts in Kanada im Jahr 2006.

2.5.2 Das Problem mit der Wegwerfarchitektur

Tatsächlich wird viel Beton verschwendet, – nicht einmal aufgrund struktureller Schäden, sondern weil funktionstüchtige Strukturen abgerissen und ersetzt werden. Dies lässt sich weitgehend auf das Phänomen der «Wegwerfarchitektur»⁵² zurückführen, bei der Strukturen oft nicht für eine Lebensdauer von mehr als 50 Jahre geplant werden. Hauptgründe dafür sind Profitinteressen und ein ästhetisches Streben nach Modernisierung. Zugleich ist es kein Zufall, dass diese kurzlebige Architektur überwiegend aus Beton besteht: Beton ist in der Anschaffung günstig, und die kurz- wie langfristigen Schäden seines Verfalls werden im Rahmen dieses Modells kaum berücksichtigt, da die Abriss- und Neubauzyklen ohnehin kürzer sind als die mögliche Lebensdauer der Gebäude. Zudem prädestiniert die Formbarkeit des Baustoffs seinen Einsatz für wechselnde Bautrends und kurzlebige Modeströmungen.

⁴⁵ Ibisch u. a. 2016; Scalenghe & Marsan 2009.

⁴⁶ Anees & Kapir 2024.

⁴⁷ Parsons 2021.

⁴⁸ Wan-Wendner 2018.

⁴⁹ Courland 2011: 23, 320–321; European Commission, Dimova u. a. 2024; Gagg 2014.

⁵⁰ Perera u. a. 2021.

⁵¹ Deppisch 2021; European Commission, Dimova u. a. 2024.

⁵² Lampugnani 2023.

2.5.3 Bergeweise Müll

Infolgedessen häufen sich weltweit Bau- und Abbruchabfälle. Jedes Jahr entstehen rund 10 Milliarden Tonnen Betonabfall – mehr als die Hälfte des global erzeugten Mülls.⁵³

Beton ist jedoch nicht ohne Weiteres wiederzuverwenden. Mit dem Aushärten wird aus dem formbaren Werkstoff eine feste, starre Substanz: Der «flüssige Stein» erstarrt. Um seine Formbarkeit zurückzuerlangen, muss er zerkleinert und erneut mit Zement gemischt werden. Die Wiederverwertung als frischer, gießbarer Beton erfordert daher zusätzliche Ressourcen und verursacht ähnlich hohe Emissionen, da der emissionsintensive Prozess der Zementherstellung erneut anfällt. Obwohl die Wiederverwendung natürliche Ressourcen einsparen und Deponien entlasten würde, bevorzugen Bauunternehmen zumeist neu abgebauten Sand und Kies, statt altem zermahlenden Beton, da der Baustoff aus diesen Materialien stärker und zuverlässiger ist.⁵⁴ Altbeton wird stattdessen deponiert oder zu Schotter verarbeitet, der für Straßenfundamente, Verfüllungen oder ähnliche Zwecke genutzt wird, was einer effektiven Abwertung des Materials entspricht.⁵⁵

2.6 Macht und Ausbeutung

2.6.1 Ausbeutung im Bausektor

Ausbeutung und Zwangsarbeit sind im Bausektor weit verbreitet und so auch in der Arbeit mit Beton und Zement. Weltweit verrichten 2,8 Millionen der 160 Millionen Bauarbeiter*innen Zwangsarbeit, viele von ihnen Migrant*innen, die durch überhöhte Vermittlungsgebühren oder andere betrügerische und missbräuchliche Praktiken in Abhängigkeit geraten. Während insbesondere Katars Umgang mit Arbeitsmigrant*innen internationale Aufmerksamkeit erregte, sind auch westliche Länder betroffen: Intransparente Subunternehmerketten und Menschenhandel untergraben systematisch den Arbeiterschutz, wobei migrantische Arbeitskräfte besonders vulnerabel sind.⁵⁶

Beton hat diese Dynamiken historisch verstärkt. Seine Einführung ermöglichte eine scharfe Trennung zwischen geistiger und manueller Arbeit, entwertete viele qualifizierte Tätigkeiten auf dem Bau und schwächte die Verhandlungsmacht der Arbeiter*innen, die in hierarchischen Systemen leichter ersetzt werden konnten.⁵⁷

2.6.2 Beton als militärische Waffe

Bereits 1918 stellte der US Geological Survey fest,

dass die «militärische Bedeutung von Zement kaum überschätzt werden kann.»⁵⁸ Die Fähigkeit des Baustoffs, schnell gegossen werden zu können und zu synthetischen Stein auszuhärten, machte ihn zu einem wichtigen Werkzeug, mit dem sich in umstrittenen Gebieten schnell «Fakten schaffen» lassen – eine Rolle, die er auch in heutigen Konflikten spielt. Ein prägnantes Beispiel ist der US-geführte Krieg im Irak (2003–2011), in dem der Militärexperte John Spencer Beton als «die effektivste Waffe auf dem modernen Schlachtfeld» bezeichnete.⁵⁹ In ähnlicher Weise setzt Israel im Westjordanland Beton in Form von Straßen und Gated Communities als technisches Instrument der Besatzung ein.⁶⁰

2.6.3 Eine lange Liste ...

Die Gesamtauswirkungen der Zement- und Betonindustrie sind enorm. Die Branche trägt erheblich zu Luftverschmutzung, zu Biodiversitätsverlust, Arbeitsausbeutung und zu urbanen Problemen wie überhitzten und sinkenden Städten bei.

Eine Studie aus dem Jahr 2020 zeigte, dass in vielen Ländern – darunter auch den USA – allein die Gesundheitskosten durch Kohlendioxid- und Luftschadstoffemissionen den wirtschaftlichen Nutzen der Industrie übersteigen. Dies wirft die Frage auf, ob sie gesellschaftlich überhaupt als tragfähig gelten kann.⁶¹

Die Reaktion der Industrie auf die von ihr verursachten Schäden lässt sich bestenfalls als verhalten bezeichnen. In Bezug auf Schäden durch die Endnutzung lehnen sie jede Verantwortung ab, während prestigeträchtige und angeblich «nachhaltige» Projekte, die mit ihrem Zement gebaut wurden, auf ihren Webseiten prominent präsentiert werden. Schäden, die im Rahmen der Produktion entstehen, werden zunehmend mit technischen Maßnahmen wie Staubunterdrückung, Luftfilterung oder Wasseraufbereitung adressiert, allerdings nur in dem Umfang, der zur Einhaltung staatlicher Richtlinien oder zur Abwehr von Protesten erforderlich ist. Nur im Bereich Treibhausgas-Emissionen scheint die Industrie eine vergleichsweise proaktive Rolle einzunehmen, die im nächsten Kapitel kritisch betrachtet wird.

⁵³ Wiedenhofer u. a. 2021.

⁵⁴ Miller u. a. 2024.

⁵⁵ Griffiths u. a. 2023; Tam 2009.

⁵⁶ Deleu 2023; International Labour Organization 2022: 31–34; WBYA? 2017.

⁵⁷ Ferro 2017.

⁵⁸ Zitiert nach Lesley u. a. 1924: 182–183.

⁵⁹ Spencer 2016.

⁶⁰ Weizman 2007.

⁶¹ Miller & Moore 2020.

3 Die Klimapläne der Zementindustrie

Mit zunehmender Aufmerksamkeit für die Klimakrise steigt auch der Handlungsdruck in der Zementindustrie. Wie seine Konkurrenten gibt sich auch Heidelberg Materials, «entschlossen, eine nachhaltigere Zukunft zu gestalten»⁶² und veröffentlichte Hochglanzbroschüren mit Dekarbonisierungsfahrplänen. Doch was beinhalten diese Versprechen tatsächlich? Und was hat die Industrie bislang konkret geliefert?

3.1 Der Kampf der Zement-Lobby

Hinter der grünen Rhetorik verbirgt sich eine aggressive Lobbymaschine, die eine düstere Realität offenbart. Ein besonders prägnantes Beispiel ist der Widerstand des europäischen Dachverbands der Zementindustrie (Cembureau) gegen das EU-Emissionshandelssystem. Cembureau hat das System vehement bekämpft und erreicht, dass das weltweit erste Klimagesetz mit echter Wirkungskraft für den Sektor entscheidend geschwächt wurde: Die Vorschriften wurden verwässert, die Grenzwerte niedrig angesetzt, und große Zementunternehmen erhielten kostenlose Emissionszertifikate, die ihre tatsächlichen Emissionen weit überstiegen.⁶³ Allein zwischen 2008 und 2014 erzielte die Zementindustrie über 3 Milliarden Euro an Zufallsgewinnen aus dem Verkauf überschüssiger Zertifikate und damit mehr als jede andere Branche.⁶⁴

Und das ist nicht alles. Große Zementkonzerne haben ihren politischen Einfluss zudem genutzt, um das Portlandzementmonopol unter anderem durch restriktive Normen zu schützen, die die Entwicklung alternativer Zementsorten ausbremsen (siehe Abb. 4.1).⁶⁵ Kurzum: Während die Industrie sich öffentlich als Vorreiterin des Klimaschutzes inszeniert, blockiert sie hinter den Kulissen aktiv den notwendigen Wandel.

3.2 Alles verschlingendes Wachstum

Dennoch beteuern Vertreter*innen der Industrie nach wie vor, entschlossen auf eine nachhaltige Zukunft hinzuarbeiten und bereits zahlreiche emissionsmindernde Maßnahmen entlang der Produktionskette von Portlandzement eingeführt zu haben. Die erste Maßnahme bestand darin, auf effizientere Ofenmodelle umzurüsten, allerdings ist ihr Potenzial inzwischen weitgehend ausgeschöpft.⁶⁶ Die zweite Maßnahme bestand darin, den Klinkeranteil im fertigen Zement zu reduzieren und teilweise durch alternative Stoffe zu ersetzen, etwa durch Abfallprodukte aus der Stahl- und Kohleindustrie (sogenannte Flugasche) oder kalzinierten Ton. Dadurch konnte das Verhältnis von Klinker und Zement von ursprünglich 95 Prozent auf etwa 70 Prozent gesenkt werden und eine weitere Reduzierung auf 60 Prozent ist möglich, wesentlich mehr jedoch nicht.⁶⁷ Drittens haben die Hersteller einen Teil der fossilen Brennstoffe durch sogenannte «alternative Brennstoffe» ersetzt. Diese machen inzwischen rund 23 Prozent des Brennstoffmixes aus und bestehen größtenteils aus Abfällen, darunter entweder Biomasse (z. B. Sägespäne, Tiermehl) oder fossile Reststoffe (z. B. Reifen, Haushaltskunststoffe).⁶⁸ Zwar erzielen Zementunternehmen durch diese «Verwaltung» von Abfallströmen Gewinne, doch ist fraglich, ob dadurch tatsächlich Emissionen gesenkt werden. Letztlich verlässt etwa die gleiche Menge CO₂ den Ofen, oder sogar mehr, da die Verbrennung von Abfällen weniger

⁶² Heidelberg Materials 2025b.

⁶³ Carbon Market Watch 2022.

⁶⁴ de Bruyn u. a. 2021.

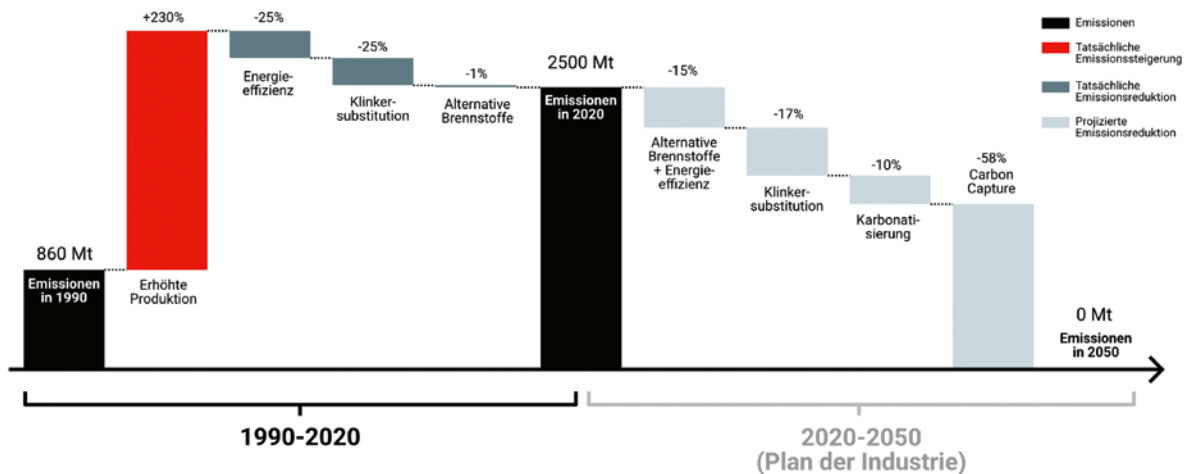
⁶⁵ Alliance for Low-Carbon Cement & Concrete 2023; Carbon Market Watch 2022; Wesseling & van der Vooren 2017.

⁶⁶ Brown & Pruss 2021; C. Chen u. a. 2022; Scrivener u. a. 2018; Zhi u. a. 2021.

⁶⁷ Global Cement and Concrete Association, 2021, 2024; Scrivener u. a. 2018.

⁶⁸ Global Cement and Concrete Association, 2024.

Abbildung 5: Bisherige und projizierte CO₂-Einsparung der Zementindustrie.⁶⁹



Quelle: Grafik der Autor*innen

energieeffizient ist. Die Emissionen werden lediglich der CO₂-Bilanz eines anderen Sektors zugerechnet.⁷⁰

All diese Maßnahmen werden von Zementherstellern bereits seit langem umgesetzt, allerdings hauptsächlich um die Produktionskosten zu senken.⁷¹ Ohne diese Maßnahmen lägen die jährlichen CO₂-Emissionen der Branche heute rund 450 Millionen Tonnen höher. Gleichzeitig ist die Industrie jedoch so stark gewachsen, dass diese Einsparungen kaum ins Gewicht fallen.

Insgesamt haben sich die Zementemissionen zwischen 1990 und 2020 nahezu verdreifacht und sämtliche Effizienzgewinne wurden damit aufgezehrt (siehe Abb. 5). Selbst ohne zukünftiges Wachstum und unter Annahme der äußerst optimistischen Vorhersagen der Industrie, erreichen die drei wichtigsten Effizienzmaßnahmen zusammen bis 2050 nicht mehr als eine Einsparung von etwa 35 Prozent (siehe Abb. 5). Der Grund dafür liegt auf der Hand: Die Industrie weigert sich, die Hauptursache anzugehen: die Klinkerproduktion selbst.

3.3 CCS: Verzockt oder Ass im Ärmel?

Die vermeintliche Trumpfkarte der Industrie ist die Kohlenstoffabscheidung und -speicherung (Carbon Capture and Storage, CCS), die laut ihren Angaben die verbleibenden 60 Prozent der Emissionen neutralisieren soll (weitere 10 Prozent gelten offiziell als «neutralisiert», wenn der Effekt der Karbonatisierung in die Klimabilanz eingerechnet wird).⁷² Theoretisch

ist der Prozess ganz simpel: Das CO₂ wird im Werk abgeschieden, unter hohem Druck transportiert und anschließend entweder industriell genutzt oder unterirdisch eingelagert.

In der Praxis stellt die Größenordnung allerdings ein massives Hindernis da. Nach zwei Jahrzehnten voller Subventionen und Fehlschläge wurde das weltweit erste CCS-Projekt der Zementbranche erst 2025 in Betrieb genommen: das Werk von Heidelberg in Brevik, Norwegen. Um bei den selbst prognostizierten Produktionsmengen bis 2050 «Netto-Null» zu erreichen, müsste die Branche jedes Jahr 130 Anlagen in der Größe der Anlage von Brevik errichten. Nichts, was diesem Ausmaß auch nur nahekäme, ist bislang in Planung.⁷³

Schlimmer noch, die Technologie selbst birgt weiterhin zahlreiche Probleme. CCS ist ungeheuer kostspielig, da jedes Projekt neue Herausforderungen mit sich bringt und sinkende Kosten (wie etwa bei den erneuerbaren Energien eingetreten) nicht abzusehen sind.⁷⁴ Zweitens erhöht die Technologie den Energieverbrauch eines Zementwerks um 50 bis 300 Prozent, während erneuerbare Energien in den kommenden Jahrzehnten nur begrenzt zur Ver-

⁶⁹ Frühere Daten siehe C. Chen u. a. 2022; Prognose ausgenommen der Strom-Emissionen siehe Global Cement and Concrete Association 2021.

⁷⁰ Global Cement and Concrete Association, 2021; Billig 2021; World Business Council for Sustainable Development 2011.

⁷¹ Skjærseth & Eikeland 2016.

⁷² Global Cement and Concrete Association 2021.

⁷³ Eigene Berechnungen, basierend auf Bukold 2024; Falkengaard 2023; Houg 2024; Loréa u. a. 2024.

⁷⁴ Bacilieri u. a. 2023.

fügung stehen werden.⁷⁵ Drittens verursacht CCS zusätzliche Risiken für Ökosysteme, Arbeiter*innen und lokale Bevölkerungsgruppen, etwa wenn Pipelines brechen. Leckagen könnten nicht nur die Ökosysteme verschmutzen, sondern auch dazu führen, dass ein erheblicher Teil der Emissionen erneut entweicht.⁷⁶ Und schließlich stehen einem derart groß angelegten Ausbau von CCS erhebliche technische Herausforderungen im Weg. Insbesondere die Skalierung der Treibhausgasspeicherung ist schwierig, da sie sich nicht standardisieren lässt und jedes Projekt einzigartig ist, individuelle geologische Gegebenheiten aufweist und maßgeschneiderte technische Lösungen erfordert, während Fachwissen rar ist. Die bisherige Geschichte von CCS ist daher eine Geschichte von Fehlschlägen: Die meisten geplanten Vorhaben wurden aufgegeben und die Anlagen, die fertiggestellt wurden, können oft weit weniger Kohlendioxid speichern als ursprünglich geplant.⁷⁷

Obwohl Zementunternehmen offiziell seit einem Vierteljahrhundert an ihrer Dekarbonisierung arbeiten, fallen die Ergebnisse äußerst unzureichend aus. Während die zentralen Akteure alternative Zementformen ausbremsen und ihre Effizienzmaßnahmen bereits ihr Potenzial erreichen, setzen ihre Dekarbonisierungsfahrpläne auf den riskanten, kostspieligen, energieintensiven und hochgradig ungewissen Ausbau der CCS. Statt dies offen zuzugeben ist ihr öffentliches Auftreten darauf fokussiert, den eklatanten Widerspruch zwischen ihrer Wachstumsstrategie und raschen Klimaschutzmaßnahmen zu verschleiern, indem sie äußerst optimistische und höchst ungewisse Erwartungen oder sogar Mythen verbreiten über zukünftige technologische Lösungen, die das Problem von selbst beheben sollen.

⁷⁵ Herzog 2024; Schneider u. a. 2023; Watari, Cabrera Serrenho, u. a. 2023.

⁷⁶ Bukold 2024; Fendt u. a. 2023; Gholami u. a. 2021; Permentier u. a. 2017.

⁷⁷ Bukold 2024; Fendt u. a. 2023; Martin-Roberts u. a. 2021; Watari, Cabrera Serrenho, u. a. 2023.

4 Alternative Maßnahmen

Während die Klimapläne der Zementindustrie versagen, besteht weltweit nach wie vor ein enormer Wohnungs- und Infrastrukturbedarf. Es braucht also dringend bessere Lösungen. Daher werden hier drei Ansatzpunkte für alternative Maßnahmen skizziert, die über den Tunnelblick der Industrie hinausgehen, um insbesondere die CO₂-Emissionen der Beton- und Zementindustrie zu verringern: 1. Alternativer Zement, 2. Andere Baustoffe und 3. Weniger Baustoffe.

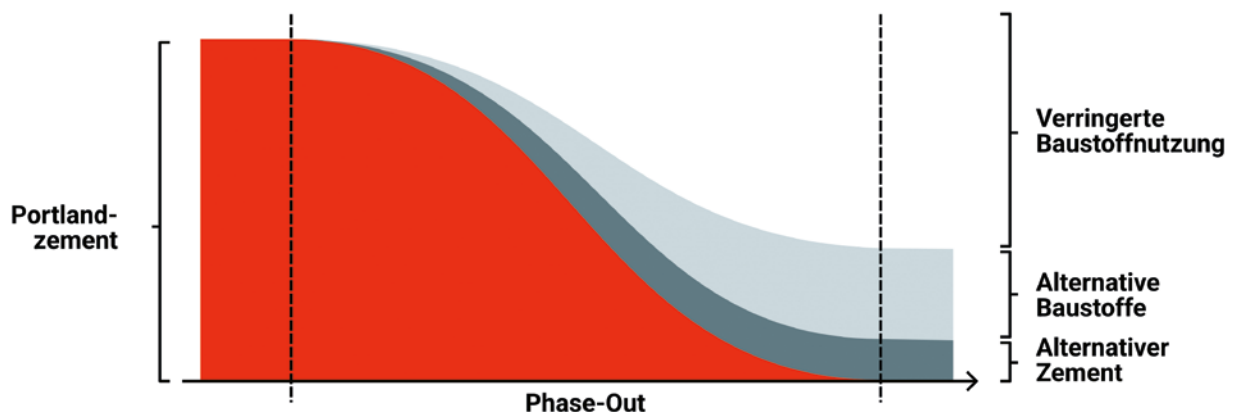
Diese Maßnahmen folgen einer klaren Hierarchie. Während alternativer Zement klar auf technologischen Lösungen beruht, basiert eine verringerte Baustoffnutzung größtenteils auf sozialen Lösungen, bei denen gesellschaftlich entschieden werden muss wie viel und wofür überhaupt neugebaut wird. Solche sozialen Lösungen bedrohen schnell bestehende Privilegien und Profitmodelle, weshalb diese in der Diskussion oft an den Rand gedrängt werden. Dabei haben diese ein enormes Potenzial soziale und ökologischen Schäden gleichzeitig zu reduzieren und im Gegensatz zu technologischen Lösungen schneller substanzielle Veränderungen erreichen.⁷⁸

4.1 Alternativer Zement

Wo Zement unvermeidbar ist, lässt sich klassischer Portlandzement in manchen Fällen durch emissionsärmere Alternativen mit ähnlichen Eigenschaften ersetzen. Insbesondere in Forschungsinstituten und kleineren Unternehmen wird mit neuartigen Zementsorten experimentiert, von denen vor allem drei Kategorien künftig eine wichtige Rolle spielen könnten: Zur ersten Kategorie gehören alkali-aktivierte Zemente (wie Zeobond), die nicht in einem Ofen, sondern durch die chemische Reaktion zwischen einer alkalischen Lösung und silizium- und aluminiumreichen Materialien produziert werden. Diese können die Emissionen zwar stark reduzieren, benötigen allerdings große Mengen spezieller Chemikalien. Zur zweiten Kategorie zählen karbonatisierungsbasierte Zemente (wie Solidia), die durch CO₂-Aufnahme aushärten. Sie weisen theoretisch das Potenzial auf, eine negative CO₂-Bilanz zu erreichen, befinden sich jedoch noch im Teststadium. Die dritte

⁷⁸ Nelson & Allwood 2021.

Abbildung 6: Konzeptuelle Darstellung eines möglichen Phase-Outs von Portlandzement.



Kategorie umfasst die Biozemente (wie Biomason). Diese werden anhand von Pilzen und Mikroorganismen geformt und ahmen den natürlichen Prozess der Bildung von Korallen und Schwämmen nach. Auch sie bieten perspektivisch die Möglichkeit, als Kohlenstoffsенke zu wirken, befinden sich jedoch noch in einem frühen Entwicklungsstadium.⁷⁹

Alle drei Ansätze sind vielversprechend, stehen jedoch vor derselben Herausforderung: der Skalierung. Die weltweite Zementproduktion hat derart immense Ausmaße, dass nur wenige Alternativen die Verfügbarkeit und räumliche Verteilung von Kalkstein ersetzen können. Hinzu kommen ungelöste technische Fragen wie Haltbarkeit, Kompatibilität mit der Stahlbewehrung und langwierige Zulassungsverfahren. Kurz gesagt: Keiner dieser alternativen Zemente stellt eine Patentlösung dar. Laut der Professorin für Baustoffwissenschaften und Chefredakteurin der Fachzeitschrift *Cement and Concrete Research* Karen Scrivener, gibt es «keinen neuen Wunderzement, der die CO₂-Emissionen vermeiden kann», wenn man die Mengen betrachtet, in denen Portlandzement heute verwendet wird. In kleinerem, lokalem Maßstab können alternative Bindungsmittel allerdings große Wirkung zeigen: als maßgeschneiderte Lösungen, die die verfügbaren Ressourcen nutzen, um regionale und spezifische Bedürfnisse zu decken.⁸⁰

4.2 Andere Baustoffe

Die zweite Option besteht darin, den Beton selbst zu ersetzen. Obwohl er heute unverzichtbar erscheint, ist der Baustoff historisch betrachtet eine junge Erfindung. Über Jahrtausende hinweg bauten Gesellschaften mit unterschiedlichen lokalen Materialien. Viele davon werden bis heute genutzt, sind allerdings oft nur noch eine Randerscheinung.

4.2.1 Holz und Bambus

Zwei der aussichtsreichsten Kandidaten sind Holz und Bambus. Beide sind erneuerbar und binden während ihres Wachstums Kohlendioxid, das so lange gespeichert wird, wie die Materialien erhalten bleiben. Sie haben somit nicht nur das Potenzial, CO₂-intensives Material zu ersetzen, sondern dienen selbst als Kohlenstoffsенke. Beide Materialien sind weit verbreitet, bieten Druck- wie Zugfestigkeit und können Beton somit in vielen tragenden Anwendungen ersetzen. Besonders industriell verarbeitete Formen wie Brettsperrholz oder laminiertes Bambus verfügen über erhebliches Potenzial, auch im mittel- oder hochgeschossigen Bau einge-

setzt zu werden, wie etwa beim 18-geschossigen Mjøstårnet in Norwegen, das 2019 fertiggestellt wurde.⁸¹

4.2.2 Stroh, Steine, Lehm und Hanf

Auch jenseits tragender Konstruktionen (und selbst dort manchmal) gibt es eine Vielzahl von Baustoffen, von denen einige biobasiert sind (wie Stroh und Hanf) und andere mineralisch (etwa Erde und Stein). Auch sie sind vielerorts verfügbar und können Zement insbesondere dort gut ersetzen, wo dieser lediglich aufgrund seiner einfachen Verbreitung genutzt wird (wie etwa in nichttragenden Wänden, Böden oder Verputz).⁸²

Der Wechsel zu alternativen Materialien ist jedoch kein automatischer Prozess. Jedes Material erfordert spezifische Techniken, Produktionskapazitäten und handwerkliche Fähigkeiten. Beton ist weltweit standardisiert und mit Hinsicht auf diese Parameter berechenbar, während alternative Materialien je nach Region, Klima und Kultur diesbezüglich variieren. Eine Möglichkeit bestände darin, sie zu industrialisieren und Rohstoffe zu einfach einsetzbaren, standardisierten Formen zu verarbeiten. Eine andere Option wäre es, ihre Variabilität und die lokalen Besonderheiten zu integrieren und mit ihrer Uneinheitlichkeit sowie saisonaler und regionaler Verfügbarkeit zu arbeiten, wie es im Bau schon immer der Fall war, bevor Beton und Stahl die Überhand gewannen. Dies würde auch lokale Lieferketten und handwerkliche Kompetenz wiederbeleben. Aus rein ökonomischer Sicht mag dies einem gewissen Produktivitätsrückgang gleichkommen, es könnte aber die Autonomie der Beschäftigten im Bauwesen erhöhen und das Bauen zu einem Prozess der Bildung und kulturellen Erneuerung machen. Industrialisierte Standardisierung und lokale, handwerkliche Ansätze müssen sich nicht gegenseitig ausschließen. Sie können koexistieren und je nach Kontext kombiniert werden.⁸³

4.2.3 Begrenzte Lösung

Der Ersatz von Beton durch andere Materialien ist jedoch kein Allheilmittel. Zum einen ist das Ausmaß des heutigen Betonverbrauchs enorm. Diesen Bedarf vollständig mit biobasierten Alternativen zu decken, würde riesige Wald- und Ackerflächen erfordern und neue Landkonflikte nach sich zie-

⁷⁹ The Institution of Structural Engineers, Astle u. a. 2024; Habert u. a. 2020; Shi u. a. 2019.

⁸⁰ Scrivener 2022.

⁸¹ Abrahamsen 2017; Material Cultures 2024: 56–63.

⁸² Material Cultures 2024: 78–85, 104–109.

⁸³ Belabid u. a. 2022; Fischer & Losacker 2024; Westerholm 2023.

hen, die die ökologischen Vorteile untergraben würden.⁸⁴ Zum anderen dürften insbesondere im Infrastrukturbereich viele Bauwerke weiterhin auf Beton angewiesen sein, darunter Fundamente, Dämme, Tunnel oder Windkraftanlagen. Und auch hohe Holzgebäude wie das Mjøstårnet fußen auf Betonfundamenten.

4.3 Weniger Baustoffe

Die dritte zentrale Maßnahme besteht in der Reduktion des Gesamtverbrauchs an Baumaterialien, wo immer dies möglich ist. Dies kann technische Maßnahmen zur Verringerung des Materialeinsatzes umfassen, erfordert jedoch in erster Linie gesellschaftliche, kulturelle und wirtschaftliche Veränderungen. Ein Schlüsselkonzept in diesem Zusammenhang ist die Suffizienz. Sie steht für einen ganzheitlichen Ansatz, der sicherstellt, dass die Grundbedürfnisse aller innerhalb ökologischer Grenzen gedeckt werden, während übermäßiger Konsum, besonders dort, wo Menschen mehr als genug haben, begrenzt wird.⁸⁵

4.3.1 Baustoffeffizienz

Auf technischer Ebene lässt sich die Materialnachfrage durch «Lean Design»⁸⁶, also materialeffizientes Planen, und vor allem durch Wiederverwertung senken. Über den Großteil der Menschheitsgeschichte war die Wiederverwendung von Baumaterialien vor allem aus Kostengründen gängige Praxis. Heute jedoch, da Materialien (insbesondere Beton) im Verhältnis zur Arbeitskraft günstig sind, hat die Wiederverwertung ihre Bedeutung im Bauwesen fast vollständig eingebüßt. Dies könnte sich ändern, wenn Gebäude und Infrastrukturen von Anfang an rückbaubar geplant würden – etwa durch Verzicht auf Farben und Klebstoffe – und wenn die Materialzusammensetzung in Materialpässen dokumentiert würde, um die spätere Rückgewinnung zu erleichtern.⁸⁷

Materialeinsparungen hängen auch davon ab, wie Städte gebaut werden. Eine kompakte, mittelhohe Stadtgestaltung reduziert den Bedarf an umfangreicher Betoninfrastruktur im Vergleich zu weitläufigen Vorstädten oder entfernt voneinander liegenden Hochhäusern deutlich und fördert zudem sozialen Austausch.⁸⁸ Sogenannte «naturbasierte Infrastrukturen» wie Mangrovensümpfe anstelle von Hochwasserschutzmauern oder Regengärten anstelle von Kanalisationsbeton stellen einen weiteren Ansatz dar. Solche grünen Infrastrukturen reduzieren den Betonbedarf, verbessern die Luftqualität, küh-

len Städte und bieten gleichzeitig Schutz vor Überschwemmungen.⁸⁹

4.3.2 Reparieren, Bewahren und Sanieren

Laut Carl Elefante, dem ehemaligen Präsidenten des American Institute of Architects, ist «Das nachhaltigste Gebäude [...] das, das bereits existiert.»⁹⁰ Die Lebensdauer bestehender Gebäude zu verlängern, sollte daher Priorität haben. Das heißt an erster Stelle, dass Strukturen gepflegt, instandgehalten und bei Bedarf repariert werden, um ihre Nutzungsdauer zu verlängern. Solche Maßnahmen werden jedoch häufig durch Sparmaßnahmen und renditeorientierte Immobilienunternehmen vernachlässigt, obwohl sie für den Nutzen und die Sicherheit der Gebäude unerlässlich sind. Zweitens können bestehende Strukturen umgenutzt werden, um Abrisse zu umgehen. Ein Vorgehen, das insbesondere für Kulturerbe und Infrastruktur von Belang ist. Drittens sollten Sanierung und Erweiterung bestehender Gebäude – etwa durch Aufstockungen – gegenüber Neubauten priorisiert werden. So hat eine Studie des Bundesinstituts für Bau-, Stadt- und Raumforschung aus dem Jahr 2023 festgestellt, dass durch eine Umnutzung und gewisse Aufstockung der bestehenden Gebäude in Deutschland jährlich um die 300.000 Wohnungen ohne Neubau schaffen ließen.⁹¹

4.3.3 Bullshit-Abriss beenden

Zu viele intakte Gebäude werden nicht aus Sicherheitsgründen abgerissen, sondern aufgrund politischer und wirtschaftlicher Entscheidungen, eine Praxis, die als «Bullshit-Abriss» bezeichnet werden kann und kritisch hinterfragt werden muss. Bewohnbare Gebäude werden oft abgerissen, um die Gewinne von Immobilienkonzernen zu maximieren, Investitionen anzuziehen oder vagen Vorstellungen einer «moderneren» Bauweise zu entsprechen. Prestigeprojekte – sei es für Städte, Bauträger oder Stadtviertel – setzen sich häufig über ökologische und soziale Kriterien hinweg.⁹²

⁸⁴ Göswein u. a. 2022; Material Cultures 2024: 58; Searchinger u. a. 2023.

⁸⁵ Hornberg u. a. 2024.

⁸⁶ Watari u. a. 2022.

⁸⁷ Hoolahan 2021; Institut Konstruktives Entwerfen u. a. 2021: 278–285.

⁸⁸ Lampugnani 2023: 50–54; Müller u. a. 2013; Pomponi u. a. 2021.

⁸⁹ United Nations Environment Programme 2023.

⁹⁰ Elefante o. J.

⁹¹ Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung im Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung u. a. 2023.

⁹² Imrie 2021: 123; Lemer 1996.

⁹³ Verheerende Zerstörung am Beispiel Gazas seit 2023 siehe

Über diese wirtschaftlich motivierte Verschwendung hinaus gibt es die noch gravierendere Verwüstung durch Krieg, in dem die gezielte Zerstörung durch Artillerie- und Bombenangriffe nicht nur zu unnötigen materiellen Schäden führt, sondern auch Tod, Vertreibung und Krankheit verursacht.⁹³

4.3.4 Bedürfnisorientierung

Die Zementnachfrage muss politisch geregelt werden. Baustoffe sollten an erster Stelle Grundbedürfnisse decken: sicheren Wohnraum für alle, sauberes Trinkwasser und sanitäre Versorgung sowie verlässliche Stromversorgung. Gleichzeitig muss der exzessive Verbrauch eingeschränkt werden. Das gilt für Luxusobjekte der wirtschaftlichen Eliten, wie etwa private Flughäfen oder exklusive Wohnkomplexe sowie für spekulative Immobilienprojekte, aber auch für den wachsenden Wohnflächen- und Material-

verbrauch der Mittelschichten, die zusammengenommen erheblich zur steigenden Betonnachfrage beitragen.

Zusammengenommen formen diese unterschiedlichen Maßnahmen eine klare Gegenvision zum techno-optimistischen Tunnelblick der Industrie: die einer regenerativen, lokalen und demokratisierten gebauten Umwelt. An die Stelle von betonintensiven Neubauten treten nachwachsende Baustoffe und die Pflege und Erhaltung bestehender Strukturen. Von globaler Standardisierung verschiebt sich der Fokus auf regionale Ressourcen, handwerkliches Wissen und kontextspezifische Bauweisen. Entscheidungen über Neubau, Abriss und Nutzung werden aus der Logik der Profitmaximierung herausgelöst und stattdessen gesellschaftlich verhandelt.

5 Welche politischen Strategien sind möglich?

Um eine regenerative, lokale und demokratisierte gebaute Umwelt zu erreichen, braucht es kollektive Kämpfe durch Aktivist*innen, Arbeiter*innen und Anwohner*innen. Ein Vertrauen auf den «Markt» oder einfache Appelle an Regierungen oder Unternehmen scheitert nicht zuletzt an dem erheblichen Widerstand derjenigen, die ihre Privilegien und Profitmodelle in Gefahr sehen. Daher werden im Folgenden sieben politische Strategien skizziert, die von disruptiven Aktionen über transformative Reformen bis hin zu präfigurativen Praktiken reichen.

5.1 Widerstand gegen die Zementindustrie

Der erste Ansatzpunkt besteht darin, die Narrative und ausbeuterischen Praktiken der Zementindustrie sowie ihre vermeintlichen Lösungen direkt anzufechten. Dabei kommt sozialen Bewegungen eine zentrale Rolle zu, denn Protest – vor allem ziviler Ungehorsam – hat historisch entscheidend dazu beigetragen, Vorstellungen davon zu verändern, was gut und notwendig für Gesellschaften ist. Auf der ganzen Welt haben Menschen bereits damit begonnen: Sei es die Samin in Indonesien, Klimaaktivist*innen in Schweden oder Kleinbauern und -bäuerinnen in Slowenien.⁹⁴ Dabei haben die Beteiligten ein umfangreiches Repertoire an Taktiken genutzt – von Demonstrationen über rechtliche Schritte bis hin zu Blockaden und Sabotageaktionen –, um die Schäden nicht nur aufzudecken, sondern auch zu begrenzen.

5.2 Schluss mit «Bullshit-Bauprojekten»

Der zweite Ansatzpunkt besteht darin, «Bullshit-Bauprojekte» anzufechten und direkt zu stoppen – das heißt Bauvorhaben, die Eliten oder der Finanzspekulation dienen und sozial wie ökologisch

unverantwortlich sind. Bauträger und staatliche Institutionen stellen Megaprojekte und andere kapitalorientierte Infrastrukturvorhaben oft als unvermeidbar dar, während es zahlreichen Basisinitiativen überlassen bleibt, die potenziellen Schäden aufzudecken und alternative Lösungen zu entwickeln. Proteste dieser Art sind bereits weit verbreitet und werden zumeist von lokalen Bevölkerungsgruppen, Umweltverbänden und Mietaktivist*innen getragen. Ihre Bemühungen konzentrieren sich in der Regel auf den potenziellen Verlust biologischer Vielfalt, die Fragmentierung von Nachbarschaften, Denkmalschutz, Ressourcennutzung und die Vertreibung von Anwohner*innen. Eine erneuerte Allianz zwischen lokalen Bevölkerungsgruppen und Arbeiter*innen aus dem Bauwesen könnte für die Transformation der Bauindustrie von entscheidender Bedeutung sein, zumal sich Arbeitskräfte am Bau heutzutage an einem zusätzlichen Scheideweg befinden. Einerseits sind sie es, die tatsächlich den Beton gießen, andererseits gehören sie zu den Berufsgruppen, die durch die intensive Hitze während der Arbeit sehr unmittelbar vom Klimawandel betroffen sind.⁹⁵

Der Bottom-up-Ansatz, das direkte Stoppen unsinniger Bauvorhaben von unten, könnte durch ein von staatlichen Behörden auf lokaler und nationaler Ebene durchgesetztes Abrissmoratorium flankiert werden. Damit ließe sich vorschreiben, dass Bauträger, die ein Gebäude abreißen wollen, zunächst nachweisen müssen, dass die Sanierung oder Umnutzung ausgeschlossen ist. Zudem könnte eine Umweltverträglichkeitsprüfung zwingend werden. Die ultimative Wirkung eines solchen Moratoriums wäre nicht nur die unmittelbare Rettung von Materialien und Lebensraum. Es könnte vor allem zu einem Pa-

⁹⁵ Koffman 2021; Schaupp 2024.

⁹⁶ Architektenkammer Berlin 2022.

radigmenwechsel beitragen, der die Wegwerfarchitektur dauerhaft beendet.⁹⁶

5.3 Regulierung von Bauvorhaben

Der dritte große Ansatzpunkt ist der politische Kampf für dringend notwendige Vorschriften, die dafür sorgen, dass aktuelle und zukünftige Bauprojekte eine gebaute Umwelt anstreben, die den Bedürfnissen der Menschen dient und die Grenzen unseres Planeten respektiert. Dazu gehört zunächst einmal die Abschaffung restriktiver Bauvorschriften, die auf den traditionellen Portlandzement zugeschnitten sind oder die Zersiedelung und die Finanzialisierung des Wohnungswesens fördern.⁹⁷ Zweitens müssen fortschrittliche Kriterien für Neubauten festgelegt werden. Dazu zählen beispielsweise Obergrenzen für Portlandzement, eine Demokratisierung der Planungsprozesse sowie Vorgaben für die Errichtung rückbaubarer Gebäude.⁹⁸ Drittens sollte der Staat eine aktivere Rolle bei der Bereitstellung von gemeinwohlorientiertem Wohnraum und Infrastrukturen übernehmen, um sicherzustellen, dass der Bedarf gedeckt wird und keine Materialien verschwendet werden. Idealerweise erfolgt dies in Form von sozialem Wohnungsbau, der auf Partizipation und Suffizienz ausgerichtet ist.⁹⁹

5.4 Geplanter Ausstieg aus Portlandzement

Der vierte Ansatzpunkt ist ein staatlich gelenkter, bewusster Ausstieg von Portlandzement. Genau wie die Verbrennung von Kohle, Gas und Öl ist auch die Kalzinierung von Kalkstein ein inhärenter Klimakiller, der eingestellt werden muss. Dies könnte durch zusätzliche Steuern erreicht werden, allerdings wären klare Produktionsbeschränkungen zuverlässiger und gerechter.¹⁰⁰ Im Gegensatz zu fossilen Energien wird Kalkstein meist für den Bedarf vor Ort abgebaut, daher könnten nationale oder regionale Ausstiegspläne eine relevante Rolle spielen. Um sicherzustellen, dass es nicht die Arbeiter*innen sind, die von diesem Übergang am stärksten betroffen werden, gilt es, soziale Sicherungssysteme und Möglichkeiten zur Umschulung auf regenerative Materialien miteinzubeziehen.

5.5 Geplanter Einstieg in regenerative Bauweisen

Der fünfte Ansatzpunkt zielt auf die Wiedereinführung, Weiterentwicklung und Etablierung einer zukunftsfähigen, regenerativen und traditionellen Bauweise ab. Da diese Bauweise jeweils auf lokale Ressourcen und Arbeitskräfte angepasst werden muss, kann lokalen und regionalen Behörden hierbei die entscheidende Rolle zufallen, Produktionsketten neu zu konzipieren, zu fördern und aufzubauen.¹⁰¹ Nationale und supranationale Gremien müssen für angemessene regulatorische Vorgaben und die erforderlichen finanziellen Mittel sorgen. Außerdem ist eine Industriepolitik gefragt, die wesentliche Innovationen bei der Herstellung von alternativen Zementen und Zementersatzstoffen fördert.¹⁰²

5.6 Umverteilung und Demokratisierung

Der sechste Ansatzpunkt konzentriert sich auf die Umverteilung und Demokratisierung der gebauten Umwelt. Der erste Schritt hierfür muss darin bestehen, sich mit übermäßigem spekulativem Leerstand und Luxuswohnungen zu befassen, da beide den Wohnraum in den Städten für weniger wohlhabende Menschen verknappten. Der Staat kann hier eine zentrale Rolle übernehmen: Entweder indirekt durch Steuern auf übermäßige Wohnflächen und Immobilienspekulation oder direkt durch Vergesellschaftung großer Wohnungsunternehmen und deren Neuausrichtung auf bezahlbaren, gemeinschaftlich nutzbaren Wohnraum.

Der zweite Schritt sollte darin bestehen, die Verwaltung von Stadtvierteln, Wohngebieten und Städten zu demokratisieren, um gemeinsame Räume zu schaffen. Wie Mariana Mazzucato und Dan Hill argumentieren, geht es darum, «Wege zu eröffnen, um auf kleinerem individuellen Raum, aber mit größeren kollektiven Möglichkeiten zu leben und durch gemeinsame ›öffentliche Luxusgüter‹ Formen von größerem Wohlstand zu schaffen». Wesentliche

⁹⁷ Material Cultures 2022: 68; Mazzucato & Farha 2023.

⁹⁸ The Architecture Lobby 2021.

⁹⁹ Mazzucato & Farha 2023.

¹⁰⁰ Chivers 2024.

¹⁰¹ Eindrucksvolle Beispiele für lokale Umstellungen siehe Islam u. a. 2021; Islam & Moatazed-Keivani 2023.

¹⁰² Murau u. a. 2024.

¹⁰³ Hill & Mazzucato 2024: 27, 46.

Komponenten dabei sind partizipative Planungsprozesse und die Übertragung des Wohneigentums an Bewohner*innen.¹⁰³

5.7 (Rück-)Bau von unten

Der siebte und letzte Ansatzpunkt besteht darin, diese Vision von unten anzugehen. Anstatt auf einen Wandel des Gesamtsystems zu warten, setzt diese Strategie auf Praxisbeispiele, die eine Zukunft nach dem Betonzeitalter entwerfen und konkrete Räume für kulturelles Experimentieren schaffen.

Ein erster Schritt kann das sogenannte «Depaving» oder «Entsiegeln» sein, bei dem gemeinschaftlich Betonflächen entfernt und Grünflächen wiederhergestellt werden. Diese Praxis hat sich weltweit rasch verbreitet und bewirkt direkte Veränderungen in der gebauten Umwelt, während sie gleichzeitig starke Bindungen zwischen Nachbar*innen schafft.¹⁰⁴ Eine weitere Form von Bemühungen von unten kann der Selbstbau von Wohnraum außerhalb des klassischen Wohnungsversorgungssystems sein. Basierend auf jahrhundertealten traditionellen Bautechniken, modernen offenen Konzepten und ge-

meinschaftlichen Strukturen wie Community Land Trusts erlebt der Selbstbau von Wohnraum einen neuen Aufschwung, wie die Initiative WeCanMake in Bristol oder das Skylark-System von Wikihouse zeigen. Diese ermöglichen selbstorganisierten, nachhaltigen und modernen Wohnraum innerhalb der Leerstellen eines Viertels.¹⁰⁵

Sowohl die Entfernung von Betonflächen als auch der Selbstbau von Wohnraum sind kleine, unmittelbare Schritte auf dem Weg zum Wandel. Ihre größte Bedeutung liegt allerdings darin, dass sie eine andere Art des Bauens veranschaulichen und zugleich unter Beweis stellen, wie viel Gemeinschaft und «öffentlicher Luxus» dadurch gewonnen werden können.

Insgesamt bleibt die Herausforderung zwar gewaltig, doch es gibt viel zu gewinnen. Wenn wir über den technikoptimistischen Tunnelblick der Beton- und Zementindustrie hinausdenken, können wir unsere gebaute Umwelt von einem Klimakiller in eine Kohlenstoffsenke verwandeln und das Bauwesen von einer im Wesentlichen extraktiven Industrie zu einer lokalen, zirkulären und regenerativen Praxis umgestalten.

¹⁰⁴ Baraniuk 2024; Depave 2024; NK Tegelwippen o. J.

¹⁰⁵ Hill & Mazzucato 2024: 18–19.

Referenzen

A

- Abdallah, A. M., & de Leeuw, L. (2020):** *Violations set in stone: HeidelbergCement in the Occupied Palestinian Territory*, Stichting Onderzoek Multinationale Ondernemingen, Al-Haq, unter: <https://www.somo.nl/wp-content/uploads/2020/02/ViolationsSetInStone-EN.pdf>, zuletzt aufgerufen am 21. November 2025.
- Abrahamsen, R. (2017):** *Mjøstårnet – Construction of an 81 m tall timber building*, Internationales Holzbau-Forum IHF 2017, Garmisch-Partenkirchen, unter: <https://www.moelven.com/globalassets/moelven-limtre/mjostarnet/mjostarnet---construction-of-an-81-m-tall-timber-building.pdf>, zuletzt aufgerufen am 11. November 2024.
- Adeyanju, E., & Okeke, C. A. (2019):** Exposure effect to cement dust pollution: a mini review, *SN Applied Sciences*, 1(12), 1572, unter: <https://doi.org/10.1007/s42452-019-1583-0>, zuletzt aufgerufen am 21. November 2025.
- Aduda, L., & Bolf, L. (2024):** The conflict potential of sand: Illegal sand mining on the African continent, *Environment and Security*, 2(4), unter: <https://doi.org/10.1177/275382796241230583>, zuletzt aufgerufen am 21. November 2025.
- Al-Bakri, A. Y., Ahmed, H. M., & Hefni, M. A. (2022):** Cement Kiln Dust (CKD): Potential Beneficial Applications and Eco-Sustainable Solutions, *Sustainability*, 14(12), 7022, unter: <https://doi.org/10.3390/su14127022>, zuletzt aufgerufen am 21. November 2025.
- Alliance for Low-Carbon Cement & Concrete (2023):** *European Commission lets low-carbon cements down with proposed ETS benchmark reforms*, 15. Dezember 2023, unter: <https://alliancelccc.com/story/european-commission-lets-low-carbon-cements-down-with-proposed-ets-benchmark-reforms/>, zuletzt aufgerufen am 29. Oktober 2024.
- Anees, U., & Kapir, D. (2024):** *Water and Wastewater Visioning for Large, Sense Unplanned Settlements in an Era of Climate Risk: A Case Study of Sangam Vihar, Delhi*, Centre for Science and Environment, 14. Mai 2024, unter: <https://www.cseindia.org/water-and-wastewater-visioning-for-large-dense-unplanned-urban-settlements-in-an-era-of-climate-risk-12177>, zuletzt aufgerufen am 10. November 2024.
- Andrew, R. M. (2019):** Global CO₂ emissions from cement production, 1928-2018, *Earth System Science Data*, 11(4), 1675-1710, unter: <https://doi.org/10.5194/essd-11-1675-2019>, zuletzt aufgerufen am 20. November 2019.
- Architektenkammer Berlin (2022):** Abrissmoratorium: Ein offener Brief an Bundesbauministerin Klara Geywitz, 19. September 2022, unter: <https://www.ak-berlin.de/baukultur/meldungen/meldung/abrisssmoratorium-ein-offener-brief-an-bundesbauministerin-klara-geywitz/>, zuletzt aufgerufen am 21. November 2025.

B

- Bacilieri, A., Black, R., & Way, R. (2023):** *Assessing the relative costs of high-CCS and low-CCS pathways to 1.5 degrees*, Working Paper Nr. 23-08, Oxford Smith School of Enterprise and the Environment, unter: <https://www.smithschool.ox.ac.uk/sites/default/files/2023-12/Assessing-the-relative-costs-of-high-CCS-and-low-CCS-pathways-to-1-5-degrees.pdf>, zuletzt aufgerufen am 29. Oktober 2024.
- Baraniuk, C. (2024):** The cities stripping out concrete for earth and plants, *BBC*, 23. Februar 2024, unter: <https://www.bbc.com/future/article/20240222-depaving-the-cities-replacing-concrete-with-earth-and-plants>, zuletzt aufgerufen am 5. Dezember 2024.
- Belabid, A., Elminor, H., & Akhzouz, H. (2022):** The Concept of Hybrid Construction Technology: State of the Art and Future Prospects. *Future Cities and Environment*, 8(1), 1-16, unter: <https://doi.org/10.5334/fce.159>, zuletzt aufgerufen am 21. November 2025.
- Bendixen, M., Iversen, L. L., Best, J., et al. (2021):** Sand, gravel, and UN Sustainable Development Goals: Conflicts, synergies, and pathways forward, *One Earth*, 4(8), 1095-1111, unter: <https://doi.org/10.1016/j.oneear.2021.07.008>, zuletzt aufgerufen am 21. November 2025.
- Berg, M. (2021):** Commodity frontiers: concepts and history, *Journal of Global History*, 16(3), 451-455, unter: <https://doi.org/10.1017/S1740022821000036>, zuletzt aufgerufen am 21. November 2025.

- Billig, M. (2021):** Das schmutzige Millionen-Geschäft: So lukrativ ist das Verbrennen von Müll für die Zementindustrie und darum wird so ein Geheimnis daraus gemacht, *Business Insider*, 13. Mai 2021, unter: <https://www.businessinsider.de/wirtschaft/das-schmutzige-millionen-geschaeft-so-lukrativ-ist-das-verbrennen-von-muell-fuer-die-zementindustrie-und-darum-wird-so-ein-geheimnis-daraus-gemacht-c/>, zuletzt aufgerufen am 18. März 2024.
- Brown, K., & Pruss, K. (2021):** *A Better Foundation: Addressing Consolidation in the Cement and Concrete Industries to Secure Low-Carbon Alternatives*, Working Paper Series On Corporate Power Nr. 11, American Economic Liberties Project, unter: <https://www.economicliberties.us/our-work/a-better-foundation-addressing-consolidation-in-the-cement-and-concrete-industries-to-secure-low-carbon-alternatives/>, zuletzt aufgerufen am 29. Oktober 2024.
- Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung im Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (Hrsg.) (2023):** *Unterstützung von Suffizienzansätzen im Gebäudebereich*, BBSR-Online-Publikation 09/2023, unter: <https://www.bbsr.bund.de/BBSR/DE/veroeffentlichungen/bbsr-online/2023/bbsr-online-09-2023.html>, zuletzt aufgerufen am 21. November 2025.
- Bukold, S. (2024):** *CSS – A Wrong Track. Why carbon dioxide disposal sites block climate protection*, J. James, Übers., Greenpeace Germany (Hrsg.), unter: <https://www.greenpeace.de/publikationen/ccs-a-wrong-track>, zuletzt aufgerufen am 19. Januar 2025.
- Burman, A. (2020):** *Ecological compensation and mineral extraction: A rocky path*, unter: <https://lup.lub.lu.se/student-papers/search/publication/9031385>, zuletzt aufgerufen am 21. November 2025.
- C**
- Cao, Z., Myers, R. J., Lupton, R. C., et al. (2020):** The sponge effect and carbon emission mitigation potentials of the global cement cycle, *Nature Communications*, 11, 3777, unter: <https://doi.org/10.1038/s41467-020-17583-w>, zuletzt aufgerufen am 21. November 2025.
- Carbon Market Watch (Hrsg.) (2022):** *Concrete solutions for decarbonising the EU's cement sector*, unter: <https://carbonmarketwatch.org/publications/decarbonising-cement-options-for-reforming-the-eu-emissions-trading-system/>, zuletzt aufgerufen am 29. Oktober 2024.
- Carrasqueira, J., Afonso, C., Gil, M. M., et al. (2024):** Digging Deeper: Assessing the Impact of Limestone Exploitation and Use Worldwide, *Environments*, 11(12), 283, unter: <https://doi.org/10.3390/environments11120283>, zuletzt aufgerufen am 21. November 2025.
- Chen, C., Xu, R., Tong, D., et al. (2022):** A striking growth of CO₂ emissions from the global cement industry driven by new facilities in emerging countries, *Environmental Research Letters*, 17(4), unter: <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ac48b5>, zuletzt aufgerufen am 21. November 2025.
- Chen, S., Zhou, M., Liu, D. L., et al. (2024):** Mortality burden of diabetes attributable to high temperature and heatwave under climate change scenarios in China, *Npj Climate and Atmospheric Science*, 7, 1–9, unter: <https://doi.org/10.1038/s41612-024-00839-3>, zuletzt aufgerufen am 21. November 2025.
- Chivers, D. (2024):** A new treaty promises to halt fossil fuel extraction, *New Internationalist*, 1. September 2024, unter: <https://newint.org/climate/2024/new-treaty-promises-halt-fossil-fuel-extraction>, zuletzt aufgerufen am 19. November 2024.
- Climate Litigation Database (2024):** ZAD de la Colline, Holcim, Switzerland, *Climate Litigation Database*, unter: <https://climatecasechart.com/non-us-case/zad-de-la-colline-holcim-switzerland/>, zuletzt aufgerufen am 29. Oktober 2024.
- Cook, G. (2011):** *Investment, Carbon Pricing and Leakage: A cement sector perspective*, Climate Strategies, unter: <https://www.jstor.org/stable/resrep15960.4>, zuletzt aufgerufen am 23. November 2024.
- Courland, R. (2011):** *Concrete Planet: The Strange and Fascinating Story of the World's Most Common Man-Made Material*, Illustrated edition, Prometheus Books Amherst, New York.
- Covington, M. D., Martin, J. B., Toran, L. E., et al. (2022):** Carbonates in the Critical Zone, *Earth's Future*, 11(1), unter: <https://doi.org/10.1029/2022EF002765>, zuletzt aufgerufen am 21. November 2025.
- D**
- de Bruyn, S., Juijn, D., & Schep, E. (2021):** *Additional profits of sectors and firms from the EU ETS 2008-2019*, CE Delft, unter: https://carbonmarketwatch.org/wp-content/uploads/2021/06/CE_Delft_Additional_Profits_ETS.pdf, zuletzt aufgerufen am 29. Oktober 2024.
- Deleu, T. (2023):** The weakest link – How construction workers are exploited in subcontracting chains, *Euractiv*, 25. Mai 2023, unter: <https://www.euractiv.com/section/economy-jobs/opinion/the-weakest-link-how-construction-workers-are-exploited-in-subcontracting-chains/>, zuletzt aufgerufen am 13. Februar 2025.

Depave (2024): What We Do, unter: <https://www.depave.org/what-we-do>, zuletzt aufgerufen am 5. Dezember 2024.

Deppisch, L. (2021): «*Where people in the countryside feel left behind populism has a clear path*»: – *An analysis of the popular media discourse on how infrastructure decay, fear of social decline, and right-wing (extremist) values contribute to support for right-wing populism*, Thünen Working Paper 119a, Thünen Institut, unter: <https://ageconsearch.umn.edu/record/310729>, zuletzt aufgerufen am 13. November 2024.

E

Elefante, C. (o. J.): The Greenest Building ... is the one that is already built, <https://carlelefante.com>, unter: <https://carlelefante.com/insights/the-greenest-building-is/>, zuletzt aufgerufen am: 13. Dezember 2024.

Elhacham, E., Ben-Uri, L., Grozovski, J., et al. (2020): Global human-made mass exceeds all living biomass, *Nature*, 588, 442–444, (7838), unter: <https://doi.org/10.1038/s41586-020-3010-5>, zuletzt aufgerufen am 21. November 2025.

European Commission, Dimova, S., Polo Lopez, C. S., et al. (2024): *Impact of climate change on the corrosion of the European reinforced concrete building stock*, Publications Office of the European Union, Luxemburg, unter: <https://doi.org/10.2760/016004>, zuletzt aufgerufen am 21. November 2025.

F

Falkengaard, M. J. (2023): Cost of Norwegian Norcem's CCS effort up by EUR 94m, J. S. Hollaender, Übers., *EnergyWatch*, 3. Oktober 2023, unter: <https://archive.is/5J3sN>, zuletzt aufgerufen am 29. Oktober 2024.

Fendt, L., Reisch, N., & Feit, S. (2023): *Deep Trouble: The Risks of Offshore Carbon Capture and Storage*, Center for International Environment Law, 16. November 2023, unter: <https://www.ciel.org/reports/deep-trouble-the-risks-of-offshore-carbon-capture-and-storage-november-2023/>, zuletzt aufgerufen am 15. März 2024.

Ferro, S. (2017): Concrete as Weapon, A. Fiuza & S. Kapp, Übers., *Harvard Design Magazine*, 46, 2018.

Fischer, L., & Losacker, S. (2024): Competing or complementary?: Socio-technical imaginaries of a bio-based construction sector, *TATuP – Zeitschrift für Technikfolgenabschätzung in Theorie und Praxis*, 33(3), 15–21, unter: <https://doi.org/10.14512/tatup.7145>, zuletzt aufgerufen am 21. November 2025.

Forbes (2025): Ludwig Merckle, 12. Februar 2025, unter: <https://www.forbes.com/profile/ludwig-merckle/>, zuletzt aufgerufen am 21. November 2025.

Förster, K. (2023): The Kiln, in C. Howe, J. Diamanti, & A. Moore (Hrsg), *Solarities: elemental encounters and refractions*, Punctum Books, New York, 2023, 1. Aufl., 231–260.

Friedlingstein, P., O'Sullivan, M., Jones, et al. (2023): Global Carbon Budget 2023, *Earth System Science Data*, 15(12), 5301–5369, unter: <https://doi.org/10.5194/essd-15-5301-2023>, zuletzt aufgerufen am 21. November 2025.

G

Gagg, C. R. (2014): Cement and concrete as an engineering material: An historic appraisal and case study analysis, *Engineering Failure Analysis*, 40, 114–140, unter: <https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2014.02.004>, zuletzt aufgerufen am 21. November 2025.

Global Cement and Concrete Association, (2021): *Concrete Future: The GCCA 2050 Cement and Concrete Industry Roadmap for Net Zero Concrete*, 12. Oktober 2021, unter: <https://gccassociation.org/concretefuture/wp-content/uploads/2022/10/GCCA-Concrete-Future-Roadmap-Document-AW-2022.pdf>, zuletzt aufgerufen am 21. März 2024.

Global Cement and Concrete Association, (2024): *Getting the Numbers Right 2.0, Emissions Report 2024*, unter: <https://gccassociation.org/gnr/>, zuletzt aufgerufen am 12. November 2024.

Gholami, R., Raza, A., & Iglauer, S. (2021): Leakage risk assessment of a CO₂ storage site: A review, *Earth-Science Reviews*, 223, unter: <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2021.103849>, zuletzt aufgerufen am 21. November 2025.

Goldscheider, N. (2019): A holistic approach to groundwater protection and ecosystem services in karst terrains, *Carbonates and Evaporites*, 34, 1241–1249, unter: <https://doi.org/10.1007/s13146-019-00492-5>, zuletzt aufgerufen am 21. November 2025.

Göswein, V., Arehart, J., Phan-huy, C., et al. (2022): Barriers and opportunities of fast-growing biobased material use in buildings, *Buildings & Cities*, 3(1), 745–755, unter: <https://doi.org/10.5334/bc.254>, zuletzt aufgerufen am 21. November 2025.

Griffiths, S., Sovacool, B. K., Furszyfer Del Rio, D. D., et al. (2023): Decarbonizing the cement and concrete industry: A systematic review of socio-technical systems, technological innovations, and policy options, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 180, unter: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2023.113291>, zuletzt aufgerufen am 21. November 2025.

H

Habert, G., Miller, S. A., John, V. M., et al. (2020): Environmental impacts and decarbonization strategies in the cement and concrete industries, *Nature Reviews Earth & Environment*, 1(11), 559–573, 22, unter: <https://doi.org/10.1038/s43017-020-0093-3>, zuletzt aufgerufen am 21. November 2025.

Hasanbeigi, A., Bhadbhade, N., & Ghosh, A. (2022): *Air Pollution from Global Cement Industry – An International Benchmarking of Criteria Air Pollutants Intensities*, Global Efficiency Intelligence, unter: <https://static1.squarespace.com/static/5877e86f9de4bb8bce72105c/t/62ef78a371716a77fcb7790f/1659861171704/Cement+CAP+Study-final.pdf>, zuletzt aufgerufen am 21. November 2025.

Heidelberg Materials (2025a): *Geschäfts- und Nachhaltigkeitsbericht 2024*, 25. März 2025, unter: <https://www.heidelbergmaterials.com/de/investor-relations/finanzkalender/gnb-2024>, zuletzt aufgerufen am 21. November 2025.

Heidelberg Materials (2025b): Sustainability, 21. Januar 2025, unter <https://www.heidelberg-materials.com/en/sustainability>, zuletzt aufgerufen am 21. Januar 2025.

Herzog, H. (2024): If a fossil fuel power plant uses carbon capture and storage, what percent of the energy it makes goes to the CCS equipment?, *MIT Climate Portal*, 28. März 2024, unter: <https://climate.mit.edu/ask-mit/if-fossil-fuel-power-plant-uses-carbon-capture-and-storage-what-percent-energy-it-makes>, zuletzt aufgerufen am 19. Januar 2025.

Hill, D., & Mazzucato, M. (2024): *Modern housing. An environmental common good*, Council on Urban Initiatives, UCL Institute for Innovation and Public Purpose Working Paper Series: IIPP WP 2024-03, unter: <https://www.ucl.ac.uk/bartlett/public-purpose/publications/2024/mar/modern-housing-environmental-common-good>, zuletzt aufgerufen am 20. Januar 2025.

Hofverberg, E. (2021): Sweden: Council on Legislation Finds Proposed Environmental Law Amendments Violate Constitution, *Global Legal Monitor, Library of Congress*, 16. September 2021, unter: <https://www.loc.gov/item/global-legal-monitor/2021-09-26/sweden-council-on-legislation-finds-proposed-environmental-law-amendments-violate-constitution/>, zuletzt aufgerufen am 9. September 2024.

Hoolahan, R. (2021): How can Material Passports support material reuse of existing buildings?, *Orms*, 12. Januar 2021, unter: <https://www.orms.co.uk/posts/how-can-material-passports-support-the-material-reuse-of-existing-buildings>, zuletzt aufgerufen am 21. Dezember 2024.

Hornberg, C., Kemfert, C., Köck, W., et al. (2024): *Suffizienz als «Strategie des Genug»: Eine Einladung zur Diskussion*, Geschäftsstelle des Sachverständigenrates für Umweltfragen, Berlin, unter: https://www.umweltrat.de/SharedDocs/Downloads/DE/04_Stellungnahmen/2020_2024/2024_03_Suffizienz.pdf?__blob=publicationFile&v=26, zuletzt aufgerufen am 21. November 2025.

Houg, V. (2024): *Pioneering carbon capture in the cement industry: The Brevik CCS project*, 10. Juli 2024, unter: https://www.heidelbergmaterials.com/sites/default/files/2024-07/Vetle_Houg_Pioneering_carbon_capture_in_the_cement_industry.pdf, zuletzt aufgerufen am 19. Januar 2025.

Huang, Z., Wang, J., Bing, L., et al. (2023): Global carbon uptake of cement carbonation accounts 1930–2021, *Earth System Science Data*, 15(11), 4947–4958, unter: <https://doi.org/10.5194/essd-15-4947-2023>, zuletzt aufgerufen am 21. November 2025.

Human Rights Watch (2016): *Occupation, Inc: How settlement businesses contribute to Israel's violations of Palestinian rights*, Human Rights Watch, 19. Januar 2016, unter: <https://www.hrw.org/report/2016/01/19/occupation-inc/how-settlement-businesses-contribute-israels-violations>, zuletzt aufgerufen am 8. November 2024.

I

Ibisch, P. L., Hoffmann, M. T., Kreft, S., et al. (2016): A global map of roadless areas and their conservation status, *Science*, 354 (6318), 1423–1427, unter: <https://doi.org/10.1126/science.aaf7166>, zuletzt aufgerufen am 21. November 2025.

International Labour Organization (2022): *Global estimates of modern slavery forced labour and forced marriage*, ILO, Walk Free, and International Organization for Migration (IOM), unter: https://www.ilo.org/sites/default/files/2025-09/ILO_GEMS-2022_Report_EN_Web.pdf, zuletzt aufgerufen am 21. November 2025.

Imrie, R. (2021): *Concrete Cities: Why We Need to Build Differently*, Bristol University Press, unter: <https://bristoluniversitypress.co.uk/concrete-cities>, zuletzt aufgerufen am 25. Oktober 2024.

Intergovernmental Panel on Climate Change (Hrsg.) (2022): *Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Working Group II Contribution to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Cambridge University Press, Cambridge, UK und New York, USA, 2022.

Institut Konstruktives Entwerfen, ZHAW Departement Architektur, Gestaltung und Bauingenieurwesen et al. (Hrsg.) (2021): *Bauteile wiederverwenden: Ein Kompendium zum zirkulären Bauen*, Zürich, Park Books.

Islam, S., & Moatazed-Keivani, D. (2023): *Wetlands and Construction: An opportunity for Berlin-Brandenburg*, Material Cultures, Bauhaus Earth, unter: <https://materialcultures.org/2023-wetlands-and-construction-report/>, zuletzt aufgerufen am 19. November 2024.

Islam, S., Walport, E., Hart, T., et al. (2021): *Circular Biobased Construction in the North East and Yorkshire*, Islam, S., Walport, E. (Hrsg.), Material Cultures, Arup, unter: <https://materialcultures.org/2021-circular-biobased-construction-in-the-north-east-and-yorkshire/>, zuletzt aufgerufen am 19. November 2024.

J

Jensen, S. (2020): Illegal Offshore Sand Mining Around Taiwan Destroys Ocean Habitats, *The Oxygen Project*, 8. September 2020, unter: <https://www.theoxygenproject.com/post/illegal-offshore-sand-mining-around-taiwan-destroys-ocean-habitats/>, zuletzt aufgerufen am 30. Januar 2025.

K

Koch, N., & Abraham, L. (2021): Vertrieben für Zement, *ruprecht. Heidelberger Studierendenzzeitung*, 16. Oktober 2021, unter: <https://www.ruprecht.de/2021/10/16/vertrieben-fuer-zement/>, zuletzt aufgerufen am 29. Oktober 2024.

Koffman, C. (2021): Remembering Australia's Green Bans, *Tribune*, 29. März 2021, unter: <https://tribunemag.co.uk/2021/03/remembering-australias-green-bans>, zuletzt aufgerufen am 19. November 2024.

Kunz, Y., Hein, J., & Sobirin, M. (2024): Beyond Protection, toward Respect: Struggle for Environmental Justice in the Kendeng Mountains, *Society & Natural Resources*, 37(5), 826–844, unter: <https://doi.org/10.1080/08941920.2023.2267497>, zuletzt aufgerufen am 21. November 2025.

L

Lampugnani, V. M. (2023): *Gegen Wegwerfarchitektur: Weniger, dichter, dauerhafter bauen*, Klaus Wagenbach, Berlin.

Langer, W. H. (2001): *Potential Environmental Impacts of Quarrying Stone in Karst. A Literature Review*, Open-File Report OF-01-0484, U.S. Department of the Interior, U.S. Geological Survey (Hrsg.), unter: <https://pubs.usgs.gov/of/2001/ofr-01-0484/ofr-01-0484so.pdf>, zuletzt aufgerufen am 21. November 2025.

Lemer, A. C. (1996): Infrastructure Obsolescence and Design Service Life, *Journal of Infrastructure Systems*, 2(4), 153–161, unter: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)1076-0342\(1996\)2:4\(153\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)1076-0342(1996)2:4(153)), zuletzt aufgerufen am 21. November 2025.

Les Soulèvements de la Terre (2024): 5 avril - 2 nouvelles mises en examen dans l'affaire Lafarge - Appel à rassemblement devant le tribunal d'Aix-en-Provence, <https://lessoulevementsdelaterre.org/>, unter: <https://lessoulevementsdelaterre.org/blog/5-avril---2-nouvelles-mises-en-examen-dans-laffaire-lafarge---appel-a-rassemblement-devant-le-tribunal-daix-en-provence>, zuletzt aufgerufen am 29. Oktober 2024.

Lesley, R. W., Bartlett, G. S., & Lober, J. B. (1924): *History of the Portland cement industry in the United States: with appendices covering progress of the industry by years and an outline of the organization and activities of the Portland Cement Association*, International Trade Press, Chicago.

Leukhardt, N. (2018): Absprachen, Ausnahmen, Ängste: Wie mächtig ist die Zementlobby?, *Schwäbische*, 15. Juni 2018, unter: <https://www.schwaebische.de/regional/zollernalb/dotternhausen/absprachen-ausnahmen-aengste-wie-maechtig-ist-die-zementlobby-2270275>, zuletzt aufgerufen am 29. Oktober 2024.

Loréa, C., Sanchez, F., & Torres-Morales, E. (2024): *Green Cement Technology Tracker*, Leadership Group for Insutry Transition, unter: <https://www.industrytransition.org/green-cement-technology-tracker>, zuletzt aufgerufen am 29. Oktober 2024.

M

Marsh, A. T. M., Parker, R., Mdee, A. L., et al. (2024): Inequalities in the production and use of cement and concrete, and their consequences for decarbonisation and sustainable development, *Environmental Research: Infrastructure and Sustainability*, 4(3), 035002, unter: <https://doi.org/10.1088/2634-4505/ad59c2>, zuletzt aufgerufen am 21. November 2025.

Martin-Roberts, E., Scott, V., Flude, S., et al. (2021): Carbon capture and storage at the end of a lost decade, *One Earth*, 4(11), 1569–1584, unter: <https://doi.org/10.1016/j.oneear.2021.10.002>, zuletzt aufgerufen am 21. November 2025.

Material Cultures (2024): *Material reform: building for a post-carbon future*, C. Malterre-Barthes (Hrsg.), Second edition, Mack Books, 2024.

- Mazzucato, M., & Farha, L. (2023):** *The Right to housing. A mission-oriented and human rights-based approach*, Council on Urban Initiatives, UCL Institute for Innovation and Public Purpose (Hrsg.), Working Paper Series: IIPP WP 2023-07, unter: <https://www.ucl.ac.uk/bartlett/public-purpose/publications/2023/may/right-housing-mission-oriented-and-human-rights-based-approach>, zuletzt aufgerufen am 20. Januar 2025.
- Miller, S. A., Juenger, M., Kurtis, K. E., et al. (2024):** Cement and Alternatives in the Anthropocene, *Annual Review of Environment and Resources*, 49(2024), 309–335, unter: <https://doi.org/10.1146/annurev-environ-112621-070104>, zuletzt aufgerufen am 21. November 2025.
- Miller, S. A., & Moore, F. C. (2020):** Climate and health damages from global concrete production, *Nature Climate Change*, 10(5), 439–443, unter: <https://doi.org/10.1038/s41558-020-0733-0>, zuletzt aufgerufen am 21. November 2025.
- Moore, D. (2024):** Cement Kilns, About Cement, unter: <https://www.cementkilns.co.uk/cement.html>, zuletzt aufgerufen am 19. November 2024.
- Müller, D. B., Liu, G., Løvik, A. N., et al. (2013):** Carbon Emissions of Infrastructure Development, *Environmental Science & Technology*, 47(20), 11739–11746, unter: <https://doi.org/10.1021/es402618m>, zuletzt aufgerufen am 21. November 2025.
- Murau, S., Haas, A., & Guter-Sandu, A. (2023):** Monetary architecture and the Green Transition, *Environment and Planning A: Economy and Space*, 56(2), 382–401, unter: <https://doi.org/10.1177/0308518X231197296>, zuletzt aufgerufen am 21. November 2025.
- N**
- Nelson, S., & Allwood, J. M. (2021):** The technological and social timelines of climate mitigation: Lessons from 12 past transitions, *Energy Policy*, 152, 112155, unter: <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2021.112155>, zuletzt aufgerufen am 21. November 2025.
- Niederhäuser, S. (2023):** Teures Gift: Die geheimen Kosten der Schweizer Zementindustrie, *Correctiv*, 16. Dezember 2023, unter: <https://correctiv.org/aktuelles/klimawandel/2023/12/16/teures-gift-die-geheimen-kosten-der-schweizer-zementindustrie/>, zuletzt aufgerufen am 29. Oktober 2024.
- NK Tegelwippen (o. J.):** NK Tegelwippen, 2024, unter: <https://www.nk-tegelwippen.nl/>, zuletzt aufgerufen am 19. November 2024.
- O**
- Oberschelp, C., Pfister, S., & Hellweg, S. (2023):** Global site-specific health impacts of fossil energy, steel mills, oil refineries and cement plants, *Scientific Reports*, 13(1), 13708, 22, unter: <https://doi.org/10.1038/s41598-023-38075-z>, zuletzt aufgerufen am 21. November 2025.
- One Climate (o. J.):** Facebook Page, unter: <https://www.facebook.com/climatejustice4all>, zuletzt aufgerufen am 8. November 2024.
- P**
- Parsons, T. (2021):** The Weight of Cities: Urbanization Effects on Earth’s Subsurface, *AGU Advances*, 2(1), unter: <https://doi.org/10.1029/2020AV000277>, zuletzt aufgerufen am 21. November 2025.
- Perera, D., Smakhtin, V., Williams, S., et al. (2021):** Ageing Water Storage Infrastructure: An Emerging Global Risk, UNU-INWEH Report Series, United Nations University Institute for Water, Environment and Health (Hrsg.), unter: <https://collections.unu.edu/view/UNU:7930>, zuletzt aufgerufen am 13. November 2024.
- Permentier, K., Vercaemmen, S., Soetaert, S., et al. (2017):** Carbon dioxide poisoning: a literature review of an often forgotten cause of intoxication in the emergency department, *International Journal of Emergency Medicine*, 10, 14, unter: <https://doi.org/10.1186/s12245-017-0142-y>, zuletzt aufgerufen am 21. November 2025.
- Pomponi, F., Saint, R., Arehart, J. H., et al. (2021):** Decoupling density from tallness in analysing the life cycle greenhouse gas emissions of cities, *Npj Urban Sustainability*, 1, 1–10, unter: <https://doi.org/10.1038/s42949-021-00034-w>, zuletzt aufgerufen am 21. November 2025.
- R**
- Rodríguez-Navarro, C. (2012):** Binders in historical buildings: Traditional lime in conservation, in *Archaeometry and Cultural Heritage: the Contribution of Mineralogy. Seminario celebrado en Bilbao, 27. Juni 2012*, 91–112.
- Ronca, S., Mura, F., Brandano, M., et al. (2023):** Biogenic calcium carbonate as evidence for life, *Biogeosciences*, 20(19), 4135–4145, unter: <https://doi.org/10.5194/bg-20-4135-2023>, zuletzt aufgerufen am 21. November 2025.
- Ruiz, F., Safanelli, J. L., Perlatti, F., et al. (2023):** Constructing soils for climate-smart mining, *Communications Earth & Environment*, 4, 219, unter: <https://doi.org/10.1038/s43247-023-00862-x>, zuletzt aufgerufen am 21. November 2025.

S

- Sairanen, M., Rinne, M., & Selonen, O. (2018):** A review of dust emission dispersions in rock aggregate and natural stone quarries, *International Journal of Mining, Reclamation and Environment*, 32(3), 196–220, unter: <https://doi.org/10.1080/17480930.2016.1271385>, zuletzt aufgerufen am 21. November 2025.
- Scalenghe, R., & Marsan, F. A. (2009):** The anthropogenic sealing of soils in urban areas, *Landscape and Urban Planning*, 90(1), 1–10, unter: <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2008.10.011>, zuletzt aufgerufen am 21. November 2025.
- Schaupp, S. (2024):** Bauarbeit im Klimawandel: Expansive Nutzbarmachung und ökologischer Eigensinn, *PROKLA. Zeitschrift für kritische Sozialwissenschaft*, 54(216), 473–490, unter: <https://doi.org/10.32387/prokla.v54i216.2129>, zuletzt aufgerufen am 21. November 2025.
- Schneider, M., Hoenig, V., Ruppert, J., et al. (2023):** The cement plant of tomorrow, *Cement and Concrete Research*, 173, 107290, unter: <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2023.107290>, zuletzt aufgerufen am 21. November 2025.
- Scrivener, K. (2022):** Building for climate, *SDG Action*, 18. Oktober 2022, unter: <https://sdg-action.org/building-for-climate/>, zuletzt aufgerufen am 9. Dezember 2024.
- Scrivener, K., John, V., & Gartner, E. (2018):** Eco-efficient cements: Potential economically viable solutions for a low-CO₂ cement-based materials industry, *Cement and Concrete Research*, 114, 2–26, unter: <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2018.03.015>, zuletzt aufgerufen am 21. November 2025.
- Searchinger, T., Peng, L., Zions, J., et al. (2023):** The Global Land Squeeze: Managing the Growing Competition for Land, *World Resources Institute*, unter: <https://doi.org/10.46830/wriipt.20.00042>, zuletzt aufgerufen am 21. November 2025.
- Shi, C., Qu, B., & Provis, J. L. (2019):** Recent progress in low-carbon binders, *Cement and Concrete Research*, 122, 227–250, unter: <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2019.05.009>, zuletzt aufgerufen am 21. November 2025.
- Skjærseth, J. B., & Eikeland, P. O. (2016):** *Corporate Responses to EU Emissions Trading*, Routledge, London, 2013, unter: <https://doi.org/10.4324/9781315574301>, zuletzt aufgerufen am 21. November 2025.

- Spencer, J. (2016):** The Most Effective Weapon on the Modern Battlefield Is Concrete, *RealClearDefense*, 14. November 2016, unter: https://www.realcleardefense.com/articles/2016/11/15/the_most_effective_weapon_on_the_modern_battlefield_is_concrete_110348.html, zuletzt aufgerufen am 4. Februar 2025.
- Swanson, A. (2015):** How China used more cement in 3 years than the U.S. did in the entire 20th Century, *Washington Post*, 24. März 2015, unter: <https://www.washingtonpost.com/news/wonk/wp/2015/03/24/how-china-used-more-cement-in-3-years-than-the-u-s-did-in-the-entire-20th-century/>, zuletzt aufgerufen am 11. Februar 2025.

T

- Tam, V. W. Y. (2009):** Comparing the implementation of concrete recycling in the Australian and Japanese construction industries, *Journal of Cleaner Production*, 17(7), 688–702, unter: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2008.11.015>, zuletzt aufgerufen am 21. November 2025.
- The Architecture Lobby (2021):** *A Just Transition for the building sector: Toward a radical transformation of housing and the build environment*, unter: <https://architecture-lobby.org/news/a-just-transition-for-the-building-sector/>, zuletzt aufgerufen am 3. April 2024.
- The Institution of Structural Engineers, Astle, P., Dillon, T., Arnold, W., et al. (2024):** Concrete Technology Tracker, 29. Januar 2024, unter: <https://www.istructe.org/resources/guidance/concrete-technology-tracker/>, zuletzt aufgerufen am 2. November 2024.
- Tong, S. L. T. (2021):** Monks and Wildlife Come under Pressure from Malaysian Cement Company, *Mongabay*, 30. Juni 2021, unter: <https://news.mongabay.com/2021/06/monks-and-wildlife-come-under-pressure-from-malaysian-cement-company/>, zuletzt aufgerufen am 2. November 2024.
- Torres, A., Brandt, J., Lear, K., & Liu, J. (2017):** A looming tragedy of the sand commons, *Science*, 357(6355), 970–971, unter: <https://doi.org/10.1126/science.aao0503>, zuletzt aufgerufen am 21. November 2025.

U

- United Nations Environment Programme (2022):** *Sand and Sustainability: 10 strategic recommendations to avert a crisis*, UNEP, GRID-Geneva (Hrsg.), unter: <https://www.unep.org/resources/report/sand-and-sustainability-10-strategic-recommendations-avert-crisis>, zuletzt aufgerufen am 24. September 2024.

United Nations Environment Programme (2023): *Nature-based Infrastructure: How natural infrastructure solutions can address sustainable development challenges and the triple planetary crisis*, unter: https://content.unops.org/publications/Nature-based-Infrastructure_EN.pdf, zuletzt aufgerufen am 10. Oktober 2024.

United Nations Institute for Training and Research (2024): Gaza: Debris Generated by The Current Conflict Is 14 Times More Than the Combined Sum of All Debris Generated by Other Conflicts Since 2008, 1. August 2024, unter: <https://unitar.org/about/news-stories/news/gaza-debris-generated-current-conflict-14-times-more-combined-sum-all-debris-generated-other>, zuletzt aufgerufen am 26. Oktober 2024.

United States Environmental Protection Agency (2023): Sulfur Dioxide Basics, 31. Januar 2023, unter: <https://www.epa.gov/so2-pollution/sulfur-dioxide-basics>, zuletzt aufgerufen am 10. November 2024.

United States Environmental Protection Agency (2024): Basic Information about NO₂, 16. Juli 2024, unter: <https://www.epa.gov/no2-pollution/basic-information-about-no2>, zuletzt aufgerufen am 10. November 2024.

United States Geological Survey (2024): Cement Statistics and Information, unter: <https://www.usgs.gov/centers/national-minerals-information-center/cement-statistics-and-information>, zuletzt aufgerufen am 23. November 2024.

V

Van Oss, H. G., & Padovani, A. C. (2002): Cement Manufacture and the Environment: Part I: Chemistry and Technology, *Journal of Industrial Ecology*, 6(1), 89–105, unter: <https://doi.org/10.1162/1088198023-20971650>, zuletzt aufgerufen am 21. November 2025.

Van Oss, H. G., & Padovani, A. C. (2003): Cement Manufacture and the Environment Part II: Environmental Challenges and Opportunities, *Journal of Industrial Ecology*, 7(1), 93–126, unter: <https://doi.org/10.1162/108819803766729212>, zuletzt aufgerufen am 21. November 2025.

Van Roijen, E., Sethares, K., Kendall, A., & Miller, S. A. (2024): The climate benefits from cement carbonation are being overestimated, *Nature Communications*, 15(1), 4848, unter: <https://doi.org/10.1038/s41467-024-48965-z>, zuletzt aufgerufen am 21. November 2025.

W

Wan-Wendner, R. (2018): Aging concrete structures: a review of mechanics and concepts, *Die Bodenkultur: Journal of Land Management, Food and Environment*, 69(3), 175–199, unter: <https://doi.org/10.2478/boku-2018-0015>, zuletzt aufgerufen am 21. November 2025.

Watari, T., Cabrera Serrenho, A., Gast, L., et al. (2023): Feasible supply of steel and cement within a carbon budget is likely to fall short of expected global demand, *Nature Communications*, 14, 7895, unter: <https://doi.org/10.1038/s41467-023-43684-3>, zuletzt aufgerufen am 21. November 2025.

Watari, T., Cao, Z., Hata, S., et al. (2022): Efficient use of cement and concrete to reduce reliance on supply-side technologies for net-zero emissions, *Nature Communications*, 13, 4158, unter: <https://doi.org/10.1038/s41467-022-31806-2>, zuletzt aufgerufen am 21. November 2025.

Watari, T., Cao, Z., Serrenho, A. C., et al. (2023): Growing role of concrete in sand and climate crises, *iScience*, 26(5), 106782, unter: <https://doi.org/10.1016/j.isci.2023.106782>, zuletzt aufgerufen am 21. November 2025.

World Business Council for Sustainable Development (2011): *CO₂ and Energy Accounting and Reporting Standard for the Cement Industry. The Cement CO₂ and Energy Protocol Version 3.0*, unter: <https://docs.wbcsd.org/2011/05/CSI-CO2-Protocol.pdf>, zuletzt aufgerufen am 21. November 2025.

WBYA? (2017): *Who Builds Your Architecture?: A Critical Field Guide*, unter: <http://whobuilds.org/who-builds-your-architecture-a-critical-field-guide/>, zuletzt aufgerufen am 10. Januar 2025.

World Economic Forum (2022): *The Net-Zero Industry Tracker*, unter: https://www3.weforum.org/docs/WEF_NetZero_Industry_Tracker_2022_Edition.pdf, zuletzt aufgerufen am 29. Januar 2025.

Weizman, E. (2007): *Hollow Land: Israel's Architecture of Occupation*, London, New York, Verso.

Wesseling, J. H., & van der Vooren, A. (2017): Lock-in of mature innovation systems: the transformation toward clean concrete in the Netherlands, *Journal of Cleaner Production*, 155, 114–124, unter: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.08.115>, zuletzt aufgerufen am 21. November 2025.

Westerholm, N. (2023): *Unlocking the Potential of Local Circular Construction Materials in Urbanising Africa. Burkina Faso, Ghana, Kenya, Morocco, Nigeria, Rwanda, Senegal, South Africa and Uganda*, United Nations One Planet Sustainable Buildings and Construction Programme, unter: <https://www.oneplanetnetwork.org/news-and-events/news/unlocking-potential-local-circular-materials-urbanising-africa>, zuletzt aufgerufen am 2. Oktober 2024.

Wiedenhofer, D., Fishman, T., Plank, B., et al. (2021): Prospects for a saturation of humanity's resource use? An analysis of material stocks and flows in nine world regions from 1900 to 2035, *Global Environmental Change*, 71, 102410, unter: <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2021.102410>, zuletzt aufgerufen am 21. November 2025.

Wüthrich, M. (2020): *Holcim-Report. Eine Skandal-Recherche von Greenpeace Schweiz*, Greenpeace Schweiz, unter: <https://www.greenpeace.ch/de/publikation/60009/der-holcim-report/>, zuletzt aufgerufen am 10. November 2024.

X

ChenYan, X., Tong, D., Cao, Z., et al. (2024): Historical air pollutant emissions and future sustainable pathways of global cement plants, *Resources, Conservation and Recycling*, 211, 107896, unter: <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2024.107896>, zuletzt aufgerufen am 21. November 2025.

Z

Zafra, M. (2023): The floor is lava: How concrete, asphalt and urban heat islands add to the misery of heat waves, *Reuters*, 31. Juli 2023, unter: <https://www.reuters.com/graphics/CLIMATE-CHANGE/URBAN-HEAT/zgpormdkevdl/>, zuletzt aufgerufen am 28. Oktober 2024.

Zhi, C., Masanet, E., Tiwari, A., et al. (2021): *Decarbonizing Concrete: Deep decarbonization pathways for the cement and concrete cycle in the United States, India, and China*, Industrial Sustainability Analysis Laboratory, Northwestern University, unter: https://celitement.de/wp-content/uploads/2021/07/1-2021-03-Bericht-Decarbonizing_Concrete_US-India-China-_Climateworks-Foundation.pdf, zuletzt aufgerufen am 21. November 2025.

WWW.ROSALUX.DE