KURZFASSUNG DER BEITRÄGE

Kollo quium

Forschung & Entwicklung für Zement und Beton

2020

acr austrian cooperative research
TU WIEN smartminerals science to design the future
VÖZ

Auf dem Weg zur Klimaneutralität

im Zeichen des „5C Approach“

Inhalt

3 **Abtrennung und Nutzung von CO_2 aus der Zementerzeugung – sektorübergreifende Zusammenarbeit im Projekt C2PAT**
C1 - Clinker · C2 - Cement
Joseph Kitzweger, LafargeHolcim

6 **Potenziale der CO_2-Einsparung bei vorgefertigten Betonbauteilen – ein Zwischenbericht**
C3 - Concrete
Stefan Peters, **David Gierlinger**
Institut für Tragwerksentwurf, TU Graz

10 **Concrete roads can strongly contribute to CO_2-reduction – new facts and figures on albedo and fuel consumption**
C4 - Construction
Luc Rens, EUPAVE

14 **Energiespeicher Beton – aktuelle Vorzeigeprojekte zur Bauteilaktivierung in Wien**
C4 - Construction
Thomas Kreitmayer, Stadt Wien, MA 20 Energieplanung

18 **Beton als CO_2-Senke – welchen Beitrag kann die Carbonatisierung leisten?**
C5 - Carbonation
Peter Lunk, Holcim Schweiz

Kollo quium

Kollo quium
Forschung & Entwicklung für Zement und Beton
2020

Kollo quium
Forschung & Entwicklung für Zement und Beton
2020

Abtrennung und Nutzung von CO_2 aus der Zementerzeugung – sektorübergreifende Zusammenarbeit im Projekt C2PAT

C1 - Clinker · C2 - Cement

Joseph Kitzweger
LafargeHolcim

acr austrian cooperative research
TU WIEN smartminerals science to design the future
VÖZ

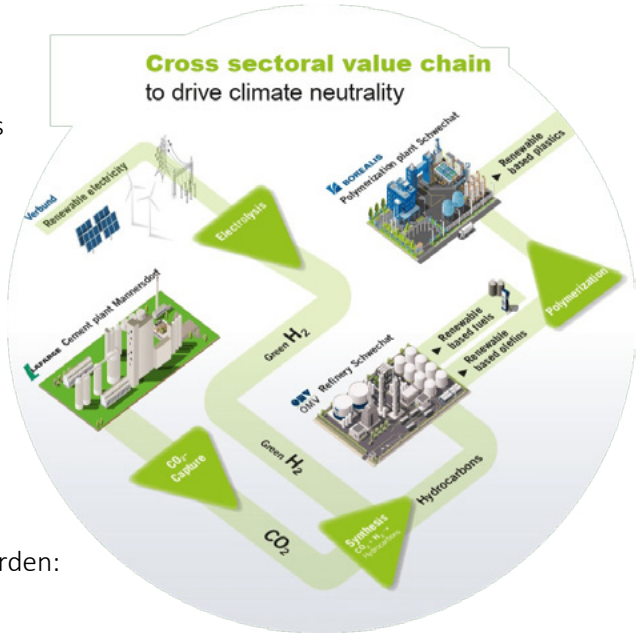
Abtrennung und Nutzung von CO_2 aus der Zementerzeugung – sektorübergreifende Zusammenarbeit im Projekt C2PAT

Dr. Joseph Kitzweger
Lafarge Zementwerke GmbH,
Nachhaltige Entwicklung, Wien
joseph.kitzweger@lafargeholcim.com
www.lafarge.at

Bei der Transformation der Europäischen Wirtschaft zur Erreichung einer Klimaneutralität bis 2050 spielen die Zementindustrie und die chemische Industrie eine entscheidende Rolle. Österreich verfolgt darüber hinaus bereits das Ziel der Klimaneutralität bis 2040.
In den letzten Jahrzehnten hat die Europäische Zementindustrie ihre CO_2-Emissionen pro Tonne Zement von etwa 800 kg CO_2 auf rund 650 kg CO_2 reduziert. In Österreich wurde bereits eine Reduktion bis knapp über 500 kg CO_2 pro Tonne Zement erzielt. Bei etwa 400 - 500 kg CO_2 pro Tonne Zement ist man an der wesentlichen Hürde der prozessbezogenen Emissionen angelangt. Eine weitere umfassende Reduktion der CO_2-Emissionen bis auf Null ist nur mehr durch neue innovative und bahnbrechende Maßnahmen möglich, die sogenannten Breakthrough-Technologien. Diese innovativen Technologien sind ansatzweise bereits verfügbar, wurden jedoch noch nicht im industriellen Großmaßstab erprobt. Um die Transformation der österreichischen und europäischen Industrie in Richtung einer Klimaneutralität zu ermöglichen, müssen darüber hinaus neue Lösungen in sektorübergreifenden Wertschöpfungsketten sowie kreislauffähige Ansätze im industriellen Maßstab entwickelt werden.

C2PAT – Eine sektorübergreifende Wertschöpfungskette für Kohlenstoff

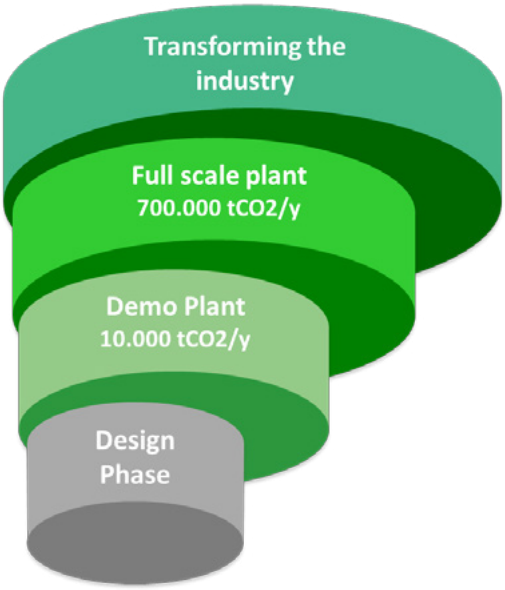
C2PAT zielt auf die Demonstration einer neuartigen, sektorübergreifenden Wertschöpfungskette für Kohlenstoff im industriellen Maßstab ab. Es wird das erste Projekt seiner Art sein, mit dem der Kreislauf von Kohlenstoff vollständig geschlossen wird.
10.000 Tonnen CO_2 pro Jahr werden aus der Zementherstellung abgetrennt und mit grünem Wasserstoff in einen Rohstoff für die chemische Industrie transformiert, aus dem erneuerbarer Kunststoff hergestellt wird.



Das gesamte Projekt basiert auf dem integrierten und gemeinsamen Betrieb von unterschiedlichen Technologien, welche zu einer neuartigen und ganzheitlichen Wertschöpfungskette kombiniert werden:

- Eine Anlage zur Abtrennung von CO_2,
- eine Wasserelektrolyse zur Herstellung von grünem Wasserstoff und
- ein neuer Synthesepfad für Methanol, über eine "Reverse Watergas-Shift-Reaktionsanlage" und eine Methanol-Synthese, werden am Standort des Lafarge Zementwerks in Mannersdorf (Österreich) errichtet.
- Eine Methanol-zu-Propylen-Anlage wird in die OMV Raffinerie integriert und
- schließlich wird erneuerbarer Kunststoff in der Polymerisierungsanlage von Borealis in Schwechat hergestellt.

Wegweisend für eine Transformation der Industrie zur CO_2-Neutralität



Im Zuge der Demonstration der Machbarkeit des gesamten Systems wird C2PAT in durchdachter und ausgeklügelter Weise innovative Betriebs- und Businessmodelle ermöglichen, welche die Entwicklung eines Konzeptes im Großmaßstab vorantreiben werden. Die Schlüsselinnovation liegt dabei bei der Verwertung von CO_2 aus der Zementproduktion als wertvollen Rohstoff für die Herstellung petrochemischer Produkte: Hierbei handelt es sich um einen sektorübergreifenden Ansatz, wie er bislang noch nie verwirklicht wurde.

Neues Wissen wird bei der weiteren Ausbaustufe der Demonstrationsanlage gewonnen werden:
eine Großanlage im industriellen Maßstab, welche in der Lage ist, 700.000 Tonnen CO_2 pro Jahr in erneuerbare Produkte zu verwandeln. Das österreichische Konsortium unter der Leitung der Lafarge Zementwerke mit dem VERBUND, der OMV sowie der Borealis als Projektpartner hat sich darauf verständigt, auf Basis der gewonnen Erfahrungen aus C2PAT in größerem Maßstab weiterzuarbeiten.

C2PAT wird darüber hinaus die Kreislaufwirtschaft in der Zementindustrie und der chemischen Industrie demonstrieren, indem die erneuerbar erzeugten Kunststoffe auf unterschiedliche Art und Weise rezykliert und wiederverwendet werden. C2PAT wird das Marktpotential für erneuerbare Produkte erforschen und Modelle für die Steuerung und Optimierung der gesamten Wertschöpfungskette vorantreiben.

Kollo quium
Forschung & Entwicklung für Zement und Beton
2020

Potenziale der CO2-Einsparung bei vorgefertigten Betonbauteilen – ein Zwischenbericht

C3 - Concrete

Stefan Peters, David Gierlinger
Institut für Tragwerksentwurf, TU Graz

austrian cooperative research
TU WIEN smartminerals science to design the future
VÖZ

Potenziale der CO_2-Einsparung bei vorgefertigten Betonbauteilen – ein Zwischenbericht

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Stefan Peters
Assoc.Prof. Dipl.-Ing. Dr.nat.techn. Andreas Trummer
Dipl.-Ing. David Gierlinger
Institut für Tragwerksentwurf, TU Graz
tragwerksentwurf@tugraz.at
www.ite.tugraz.at

Der Klimawandel gilt als eine der größten Herausforderungen unserer Zeit. Das Bauwesen ist dabei von wesentlicher Bedeutung, denn alleine auf die Errichtung und Nutzung von Gebäuden entfallen 36 % des weltweiten Energieverbrauchs und rund 40 % der globalen Emissionen. Der Erzeugung und Herstellung von Baustoffen und Bauprodukten können 11 % der globalen Emissionen zugeordnet werden, diese Emissionen werden im Allgemeinen als *graue Emissionen* bezeichnet [1]. Eine Betrachtung dieser grauen Emissionen ist von besonderer Bedeutung, da in der Vergangenheit vorwiegend eine Optimierung der operativen Emissionen von Gebäuden forciert wurde. Aus dieser Entwicklung heraus stellen die grauen Emissionen zukünftig den dominierenden Anteil der Gebäudeemission dar [2]. Die aktuelle Studie präsentiert die großen Optimierungspotentiale zur CO_2 Einsparung bei vorgefertigten Betonbauteilen und zeigt auf, dass rund ein Viertel der Emissionen in diesem Wirtschaftssektor vermieden werden könnten.

Emissionen von vorgefertigten Betonbauteilen

Im Jahr 2017 wurden in Österreich etwa 3,73 Mio. t vorgefertigte Betonbauteile abgesetzt, knapp über 50 % davon sind dem Hochbau zuzuordnen. Weitere 40 % entfallen auf den Sektor Tiefbau, sowie 10 % auf sonstige Bauteile [3]. Mit dem Umweltindikator GWP (global warming potential) für Frischbeton [4] und Bewehrungsstahl [5] konnten für die österreichische Betonfertigteilindustrie Emissionen in der Höhe von 536 000 t CO_2e ermittelt werden. Als Ziel sollen bis zum Jahr 2030 40 % der Emissionen in dieser Branche eingespart werden, dies entspricht einer Reduktion von etwa 214 000 t CO_2e, siehe Abbildung 1a).

Einsparungspotenziale

Die Einsparungspotenziale umfassen unterschiedlichste Bereiche entlang der Wertschöpfungskette und können in die Kategorien *Werkstoff, Produkt, Betrieb und Planungskultur* eingeordnet werden. Untersucht wurden beispielsweise Einsparungen durch Aussparungskörper in diversen Bauteilen, optimierte Betonrezepturen, Veränderungen im verwendeten Strom-Mix sowie Auswirkungen im

Sektor Transport. Potenziale im Bereich der Bewehrung wurden in dieser Studie nicht untersucht. Ebenso sind potenzielle Verbesserungen bei der Zementherstellung nicht miteinbezogen.

Ergebnisse

Durch die untersuchten Potenziale wurden Einsparungen in der Höhe von 152.620 t CO_2e aufgezeigt, oder etwa 28 % der gesamten Emissionen für vorgefertigte Betonbauteile. Etwa 57 % der Einsparungen werden der Kategorie *Produkt* zugeordnet, gefolgt von 18 % in der Kategorie *Werkstoff*, weitere 16 % in der Kategorie Betrieb und 9 % in der Kategorie *Planungskultur*. Mit den Einsparungen könnten rund 70 % des Ziels von 214.400 t CO_2e realisiert werden. Aufgrund der mit Unsicherheiten behafteten Annahmen ergeben sich Abweichungen von ±30 %, siehe Abbildung 1b).

Ausblick

Ein wesentlicher Punkt für die Realisierung der Einsparungen ist ein Bewusstsein aller Bauschaffenden für das Potenzial in gebauten Strukturen [7]. In der Lehre und Ausbildung muss der Entwurfsaspekt GWP für Tragwerke verstärkt vermittelt werden. Eine Intensivierung der Kooperation von Forschung und Wissenschaft ist essenziell für die Umsetzung von Einsparungen, wie bereits an erfolgreichen Projekten wie der *COEBRO* Decke [6] und dem Öko²Beton gezeigt wurde.

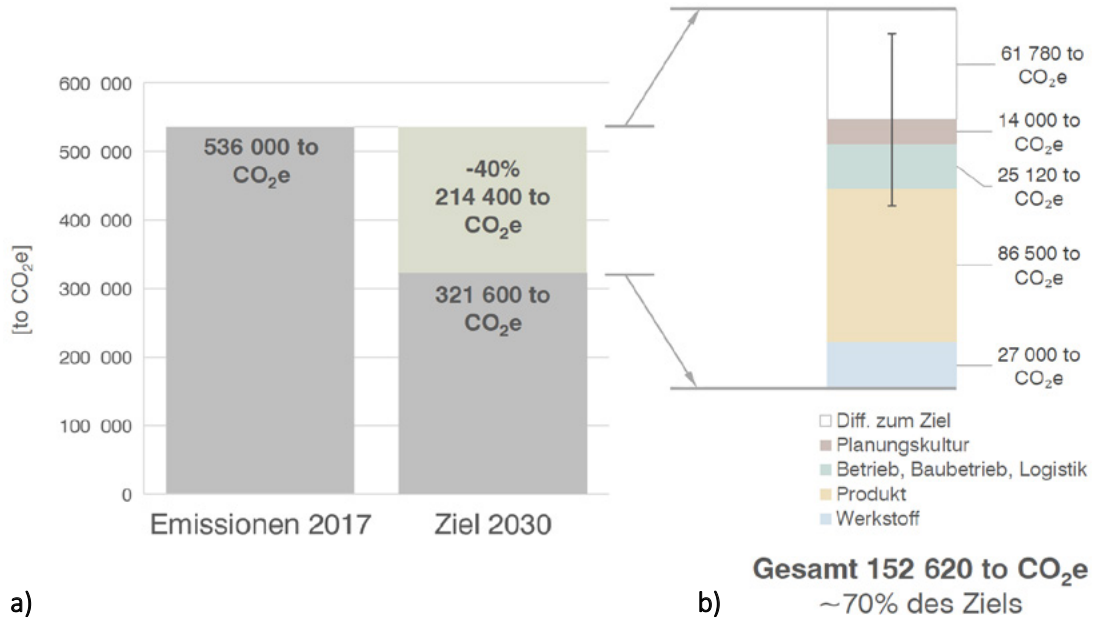


Abbildung 1: a) Zeigt die Emissionen im Jahr 2017 die der Beton- und Fertigteilindustrie zugeordnet werden können, sowie das Ziel im Jahr 2030 40 % weniger CO_2e zu verursachen. b) Stellt eine Vergrößerung des Einsparungsziels von 214.400 t CO_2e dar, respektive die Anteile am Ziel, die durch die untersuchten Potenziale realisiert werden könnten.

Literatur

[1] *IEA & UNEP (2018); 2018 Global Status Report: towards a zero emission, efficient and resilient buildings and construction sector*

[2] *Passer, Krainer et al. (2017); IEA Energie in Gebäuden und Kommunen (EBC) Annex 57: Evaluierung der konstruktionsspezifischen CO2-Emissionen und der grauen Energie*

[3] *STATISTIK AUSTRIA (2019); Konjunkturstatistik im Produzierenden Bereich 2017*

[4] *VÖB-EPD (2015); Frischbeton für vorgefertigte Betonerzeugnisse*

[5] Gervasio & Dimova (2018); Model for Life Cycle Assessment (LCA) of buildings
[6] Peters & Trummer (2020); Gedruckte Schalungen für den Stahlbeton-Leichtbau
[7] Gierlinger (2020); Klimaauswirkungen von Tragstrukturen im mehrgeschoßigen Skeletthochbau

Kollo quium
Forschung & Entwicklung für Zement und Beton
2020

Concrete roads can strongly contribute to CO2-reduction – new facts and figures on albedo and fuel consumption

C4 - Construction

Luc Rens
EUPAVE

acr austrian cooperative research
TU WIEN smartminerals science to design the future
VÖZ

Concrete roads can strongly contribute to CO_2 reduction – new facts and figures on albedo and fuel consumption

ir. Luc Rens
EUPAVE, Brussels
L.Rens@Eupave.eu
www.eupave.eu

Since its creation in 2007, EUPAVE's bylaws mention in the goal of the association the topics of „fuel consumption" and „sustainable construction". In its publication „Concrete roads: a smart and sustainable choice" (2009), all different aspects of environmental, economic and societal aspects of concrete pavements were already described.

In 2019, following the increasing focus in Europe on carbon reduction and circular economy, EUPAVE decided to set up a Working Group Environmental Strategy. The aim of the WG is to promote and communicate the environmental benefits of concrete pavements. A first achievement was an infographic entitled „Concrete pavements make roads more sustainable". A second action point was the creation of fact sheets, which give more background information about the different topics. The first two fact sheets on „High Albedo" and „Less Fuel Consumption" will be presented.

Fact Sheet on High Albedo

Albedo is the ability of a surface to reflect light rays. In case of a light-coloured concrete surface (high albedo: 0.20 to 0.40), more energy is reflected in the atmosphere compared to a black surface (lower albedo: 0.05 to 0.15), which absorbs the heat. The high albedo of concrete pavements offers several benefits.

Slowing down the global heating

Changing 1 m² of black asphalt surface into a light concrete helps countering the climate change as if 22.5 kg CO_2 were not emitted. That is enough to off-set 30 to 60 % of the CO_2 emitted during the manufacturing process of the cement used in that concrete pavement.

Reducing the Urban Heat Island Effect (UHIE)

UHIE is the warming effect that occurs in large metropolitan areas. Light-coloured pavements have lower heat absorption; they limit the harmful impacts of UHIE by a reduction of the ambient temperature, the number of extreme heat days and the likelihood of smog.

Saving cost and energy for road lighting
Road lighting designers base themselves on the reflected light as it is perceived by the driver of a vehicle. The superior reflectivity of concrete makes it possible to achieve savings by placing fewer lighting columns or by using lamps of a lower luminance. In both cases costs can be reduced up to 35 %, either by the lower number of lighting columns or by reduced lighting power, both resulting in less electricity consumption.

Offering a better visibility
When road lighting is not available, the light coloured surface of a concrete road still offers a better visibility, especially in difficult circumstances when visibility plays an important role: at night and in bad weather conditions such as heavy rain or dense fog.

Fact Sheet on Less Fuel Consumption

Fuel consumption is not only influenced by the vehicle (type of engine, aerodynamic profile, tyres …) but also by the pavement it is driving on. The factors related to the surface of the pavement are the evenness, the surface texture and the deflection. While texture and evenness can be made the same for asphalt and concrete roads, this is not the case for deflection.

The deformation (not at scale) of an asphalt road under a wheel load has the same effect as a vehicle driving uphill, requiring more energy, fuel and CO_2.

Several research projects indicate around 2 % fuel savings for trucks driving on concrete pavements compared to asphalt. This was found both in theoretical studies (by MIT) and in field tests. The differences are higher for slower traffic speeds and for higher outside temperatures.

When calculating a LCA for a motorway, reduced greenhouse gas emissions due to lower fuel consumption should be taken into account in the use phase of the pavement, together with other influencing factors. Based on data of the European road transport network, the difference in GWP over 50 years can be estimated at 78 kg CO_2/m^2 of pavement (changed from flexible to rigid). This more than offsets the CO_2 emission during the construction phase of the concrete pavement. Considering the total motorway network and freight road transport in Europe, there is a total potential of saving 2.5 million tonnes of CO_2 per year. In addition, reduced fuel consumption also means less pollution and less operating costs for truck transport companies.

Further actions from EUPAVE

More fact sheets are being prepared on, amongst others, recycling, resilience, long service life and sustainable water management. A next step is to elaborate comparative LCAs on different types of road structures and pavements, in which all the environmental benefits are considered. EUPAVE will further promote a holistic approach, based upon a complete life cycle of the road, both for environmental (LCA) and economic (LCCA) assessments.

Literature

[1] EUPAVE, Fact Sheet High Albedo, www.eupave.eu, June 2020

[2] EUPAVE, Fact Sheet Less Fuel Consumption, www.eupave.eu, September 2020

Kollo quium
Forschung & Entwicklung für Zement und Beton
2020

Energiespeicher Beton – aktuelle Vorzeigeprojekte zur Bauteilaktivierung in Wien

C4 - Construction

Thomas Kreitmayer
Stadt Wien, MA 20 Energieplanung

acr austrian cooperative research
TU WIEN smartminerals science to design the future
VÖZ

Energiespeicher Beton – aktuelle Vorzeigeprojekte zur Bauteilaktivierung in Wien

Thomas Kreitmayer, MSc
Stadt Wien – Energieplanung
www.wien.gv.at/stadtentwicklung/energie/

Städte spielen eine entscheidende Rolle bei der Energiewende sowie bei der Erreichung der Klimaziele. Mehr als die Hälfte der Weltbevölkerung lebt in dichten Siedlungsräumen, die zwar nur einen Bruchteil der bebaubaren Erdoberfläche beanspruchen, aber für etwa 71 % der energiebedingten Emissionen[1] verantwortlich zeichnen. Durch intelligente Lösungen bietet sich in Städten jedoch das besondere Potenzial, mit wenigen Maßnahmen große Wirkung zu erzielen und damit das Energiesystem nachhaltig umzugestalten.

So kann etwa das unstetige Aufkommen erneuerbarer Energien wie Photovoltaik oder Windstrom z.B. über Wärmepumpen (Power 2 heat) kurzfristig in Boilern, mittelfristig in Fern- und Nahwärmenetzen und langfristig in Erdsondenfeldern eingespeichert werden, um Bedarfe auch dann zu bedienen, wenn gerade keine erneuerbare Energie gewonnen werden kann.

Raumwärme macht mehr als ein Drittel des Wiener Endenergiebedarfes aus[2]. Damit wird der Gebäudesektor zu einem zentralen Element der Dekarbonisierung des Energiesystems. Gebäude im städtischen Kontext umfassend oder gar ausschließlich mit erneuerbaren Energien zu versorgen, gilt vielerorts noch heute als besondere technische, vor allem jedoch wirtschaftliche Herausforderung. Wien hat die Zeichen der Zeit erkannt und setzt bei Neubauprojekten bereits zunehmend auf klimaverträgliche Energielösungen. Als ein entscheidender Erfolgsfaktor hat sich die thermische Aktivierung schwerer Gebäudemassen herausgestellt. So werden die ohnehin eingesetzten Stahlbeton-Zwischendecken im Kern thermisch bewirtschaftet und gleichsam zum Heizen sowie zum Kühlen der Wohn- oder Nutzräume herangezogen.

---

[1] https://www.klimafakten.de/sites/default/files/images/reports/printversion/klimawandelundstaedte.pdf
[2] Energieflussbild der Stadt Wien, http://ma20.23degrees.io/#/sankey/00

Durch thermische Bauteilaktivierung wird das Gebäude selbst zum Energiespeicher. Dank hoher Wärmedämmstandards und Luftdichtheit moderner Gebäudehüllen können Häuser, deren Speichermassen thermisch bewirtschaftet werden, ihre Temperatur auch aufrechterhalten, wenn die Heizung oder Kühlung aufgrund fehlenden volatilen Aufkommens mehrere Tage nicht betrieben werden kann. Es zeigt sich, dass Tag-Nacht-Schwankungen der Außentemperatur nahezu keine Auswirkung auf die Raumtemperatur haben.

Wiener Wohnbau als „Game-Changer" der Gebäudeenergieversorgung

Bei der ca. 160 Wohnungen umfassenden Wohnhausanlage in der Mühlgrundgasse im 22. Wiener Gemeindebezirk kommen erstmals im sozialen Wohnbau thermische Bauteilaktivierung sowie eine rein regenerative Energieversorgung zum Einsatz. Das Projekt charakterisiert sich durch sein klimaverträgliches Energiekonzept, durch ganzjährig höchsten Wohnkomfort, durch Leistbarkeit der Energieversorgung und durch seine Möglichkeit, Netzdienstleistungen anzubieten.
Besonders hervorzuheben ist die Sommertauglichkeit des Projektes, die dadurch erreicht wird, dass sommerliche Temperaturüberschüsse über die Bauteilaktivierung im freien Kühlbetrieb wieder in das Erdreich eingebracht werden. Das ermöglicht einerseits eine nahezu kostenlose Kühlung der Wohnungen und andererseits trägt es zu einem erheblich effizienteren Heizbetrieb im nächsten Winter bei. Der Großteil der benötigten Energie wird aus dem Erdreich neben und unter den Gebäuden gewonnen. Der zum Betrieb der Wärmepumpen erforderliche Antriebsstrom wird über das öffentliche elektrische Verteilnetz von einem Windparkbetreiber aus Niederösterreich bezogen. Die Wärmepumpen werden überwiegend immer dann betrieben, wenn Windstrom-Überschüsse verfügbar sind, die sonst zum Zeitpunkt der Gestehung keine Abnahme erfahren würden.
Die Wohnungen werden ganzjährig in einem Bereich von ca. 22 bis 27 °C gehalten. Durch die sehr konstante Quellentemperatur in Erdreich von 10 °C +/- 5 Grad sowie die sehr gleichmäßige Raumtemperatur ist ein höchsteffizienter Wärmepumpenbetrieb möglich.

Weitere Projekte mit mehr Wohnungen befinden sich kurz vor der Errichtung.

Bildungsbauten profitieren von Bauteilaktivierung und erneuerbaren Energien

Auch im Wiener Bildungsbau setzt man auf innovative Energiekonzepte, die dank Bauteilaktivierung und erneuerbaren Energien ganzjährig höchsten Komfort bieten und im Hinblick auf die Lebenszykluskosten der Energieversorgung sogar bedeutend günstiger betrieben werden können, als dies mit vergleichbaren konventionellen Lösungen möglich wäre. Neben dem Pilotprojekt des Bildungscampus Aspern Nord, in dem ganzjährig, also auch im Sommer ca. 1.400 Kinder und Jugendliche pädagogisch betreut werden, entstehen in Wien bereits vier weitere Bildungsbauten in ähnlicher Größe. Sie alle zeichnen sich durch einen klimaneutralen Betrieb und angenehme Temperaturen auch im Sommer aus.

Sommertauglichkeit als kritischer Erfolgsfaktor für die Energiewende

Die Folgen des Klimawandels zeichnen sich international bereits deutlich ab. Auch hierzulande muss man sich beinahe schon jährlich auf einen neuen Jahrhundert-Rekordsommer einstellen. Als Konsequenz fehlender Bewältigungsstrategien werden Jahr für Jahr mehr energie- und kostenintensive Klimageräte installiert, die ihrerseits das Problem der städtischen Überwärmung weiter verstärken. Die

internationale Energieagentur beschreibt den Energiebedarf zur Raumkühlung als die am schnellsten wachsende Energienutzungsart im Gebäude[3]. Diese Entwicklung unterstreicht einmal mehr die Bedeutung der Bauteilaktivierung in Verbindung mit erneuerbaren Energien als Antwort auf die Frage nach der langfristigen Sommertauglichkeit der Gebäude.

Abbildung 1 – MGG22 © Stadt Wien – Energieplanung/Fürthner

[3] https://nachhaltigwirtschaften.at/de/iea/publikationen/the-future-of-cooling.php

Kollo quium
Forschung & Entwicklung für Zement und Beton
2020

Beton als CO_2-Senke – welchen Beitrag kann die Carbonatisierung leisten?

C5 - Carbonation

Peter Lunk
Holcim Schweiz

austrian cooperative research
TU WIEN smartminerals science to design the future
VÖZ

Beton als CO_2-Senke – Welchen Beitrag kann die Carbonatisierung leisten?

Dr. Peter Lunk
Holcim (Schweiz) AG, Zürich
peter.lunk@lafargeholcim.com
www.holcim.ch

Die Carbonatisierung von Beton ist eine natürliche CO_2-Senke. Während bei der Zementklinkerherstellung Kohlendioxid (CO_2) freigesetzt wird, wird es umgekehrt von Beton in seiner „Lebensphase“ wieder aufgenommen und dauerhaft eingebunden. Diese CO_2-Aufnahme im Beton (Recarbonatisierung) kann während verschiedener Lebenszyklusphasen – Herstellungs-, Nutzungs- und Recyclingphase, d.h. entlang der gesamten Wertschöpfungskette Klinker / Zement / Beton / Bauwerk / Abbruch – erfolgen. In aktuellen Ansätzen werden für die Nutzungsphase ein festigkeitsbasiertes Konzept für die Korrelation von Carbonatisierungsgeschwindigkeit und Druckfestigkeit verwendet. Dieser Ansatz wurde für Betone mit Portlandzement entwickelt und bildet damit den aktuellen Markt mit Portlandkompositzementen nicht ab. Basierend auf einer ausgezeichneten Korrelation zwischen der CO_2-Bindungskapazität von Beton und dem Carbonatisierungswiderstand, wurde in der Schweiz ein alternativer Ansatz entwickelt. Die Carbonatisierung während der Recyclingphase ist von vielen Faktoren abhängig. Weitere Untersuchungen sind hier noch notwendig, um das volle Potenzial in der Zukunft ausschöpfen zu können.

CO_2-Emissionen und Carbonatisierung

Bei der Zementklinkerherstellung wird Kohlendioxid emittiert. Zwei Drittel der CO_2-Emissionen stammen aus den naturbedingten Prozessemissionen der Decarbonatisierung des Kalksteins, d.h. das im Kalkstein eingebundene CO_2 wird beim Erhitzen des Kalksteins zwischen 600–900°C freigesetzt (“Entsäuerung”). Das restliche Drittel entsteht bei der Verbrennung der Brennstoffe.

Die Carbonatisierung ist die Umkehr der Entsäuerung und ein natürlicher Prozess im Beton, bei dem ein Teil des bei der Zementherstellung emittierten CO_2 wieder gebunden wird. Das Kohlendioxid der Luft reagiert mit dem Calciumhydroxid im Zementstein bei Anwesenheit von Feuchtigkeit zu Calciumcarbonat (Kalkstein). Die Carbonatisierungsgeschwindigkeit (Carbonatisierungswiderstand), mit der ein Beton karbonatisiert, nimmt mit der Zeit ab (Diffusionsprozess). Sie wird massgebend beeinflusst von Art und Gehalt des Zementes oder Bindemittels und der Porosität und Porengrössenverteilung (w/z-Wert) sowie von der relativen Feuchtigkeit und Temperatur (Exposition) und der Menge an verfügbarem CO_2.

Technische Standards

Die Carbonatisierung und die CO_2-Aufnahme von Beton werden in den folgenden europäischen Normen und Technischen Berichten eingehend beschrieben:

- EN 16757, Sustainability of construction works – EPD – Product Category Rules for concrete and concrete elements [1]
- CEN/TR 17310, Carbonation and CO_2 uptake in concrete [2]

Die europäische Zementindustrie – Cembureau – berücksichtigt in ihrer aktuellen Roadmap „Carbon neutral 2050“ [3] den Themenbereich Carbonatisierung auf der Grundlage der Studie des Swedish Environmental Research Institute (IVL) [4].

Phasen der CO_2-Aufnahme

Die CO_2-Aufnahme im Beton (Recarbonatisierung) kann gemäss CEN /TR 17310 während verschiedener Lebenszyklusphasen – Herstellungs-, Nutzungs- und Recyclingphase – erfolgen. In diesem Beitrag wird auf die CO_2-Aufnahme während der Nutzungs- und Recyclingphase eingegangen.

Nutzungsphase

Die aktuellen Ansätze für die Nutzungsphase verwenden in der Regel ein festigkeitsbasiertes Konzept für die Korrelation von Carbonatisierungsgeschwindigkeit und Druckfestigkeit. Dieser Ansatz wurde für Betone mit Portlandzement entwickelt. Andere Zementarten und für die Berechnung notwendige Parameter werden mit Hilfe von Korrekturfaktoren abgebildet. Basierend auf umfangreichen Untersuchungen wurde in der Schweiz ein alternativer Ansatz entwickelt, der eine ausgezeichnete Korrelation zwischen der CO_2-Bindungskapazität von Beton und der Carbonatisierungsgeschwindigkeit (Karbonatisierungswiderstand K_N) zeigt [5]. Die CO_2-Bindekapazität eines Zementes oder Bindemittels wird aus dem Wasser-zu-CaO-Verhältnis (w/CaO) im Beton berechnet. Dabei wird nur CaO berücksichtigt, das im Klinker und chemisch reaktiven Zusatzstoffen wie Flugasche oder Hochofenschlacke, jedoch nicht in nicht-reaktiven Zusatzstoffen wie Kalksteinmehl, enthalten ist. Dank des Massenverhältnisses zwischen Wasser (w) und Feststoff (CaO) gibt es zusätzliche Informationen über die Porosität und Mikrostruktur. Für geschützte (s) und ungeschützte (us) Expositionen können empirische Gleichungen für die Region Zürich-Dübendorf angegeben werden [5]:

$K_{N,s} = C \cdot (8.3 \cdot w/CaO - 4.7)$ mit $C = 1.00$ (1)

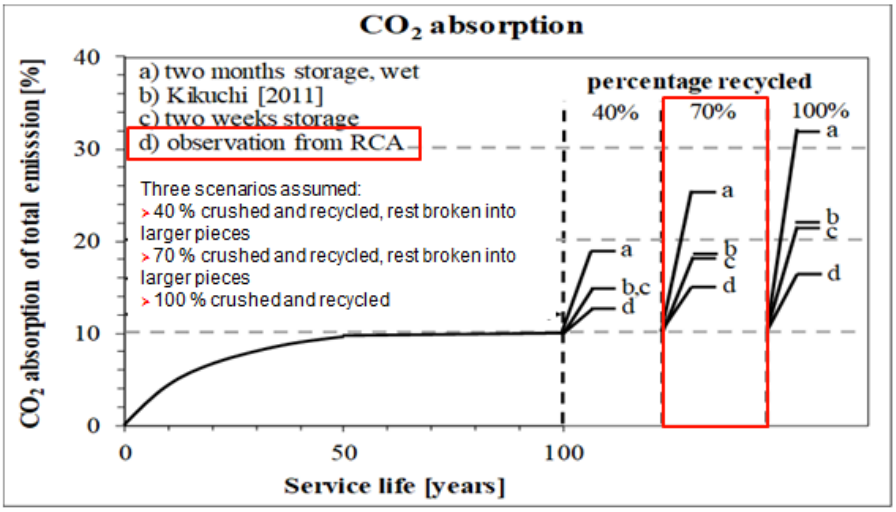
$K_{N,us} = C \cdot (8.3\ w/CaO - 4.7)$ mit $C = 0.47$ (2)

Mit Hilfe der vorgestellten Gleichungen und weiterer Annahmen kann die CO_2-Aufnahme in der Nutzungsphase zement- oder bindemittelspezifisch berechnet werden. Für einen typischen Hochbaubeton mit einer Nutzungsdauer von 100 Jahren werden die folgenden CO_2-Aufnahmen auf Basis der generischen, schweizerischen EPDs für Zement [6] wie folgt ermittelt.

Beton mit CEM I:	16.9 kg CO_2/m^3
Beton mit CEM II/A:	20.3 kg CO_2/m^3
Beton mit CEM II/B:	24.3 kg CO_2/m^3

Recyclingphase

Die Carbonatisierung während der Recyclingphase ist von vielen Faktoren abhängig, z.B. Recyclingquote, Carbonatisierungsgrad etc. In Abbildung 1 ist die CO_2-Aufnahme in der Recyclingphase für unterschiedliche Recyclingquoten und Lagerungsbedingungen dargestellt. Nach derzeitigem Wissensstand ist für die Schweiz mit ca. 70 % Recyclingquote das Szenario d.) am Zutreffendsten. Detaillierte Informationen sind in [7,8] aufgeführt.



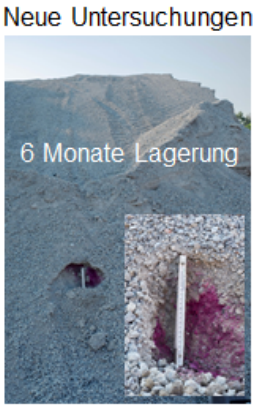


Abb. 1: Schematische Darstellung der CO_2-Aufnahme in der Recyclingphase für unterschiedliche Recyclingquoten und Lagerungsbedingungen

Folgerungen

In [1] wird pauschal eine CO_2-Aufnahme von 20 % in der Nutzungsphase und von 3 % in der Recyclingphase bezogen jeweils auf die Prozessemissionen bei der Zementklinkerherstellung angegeben. Die schweizerischen Untersuchungen [5, 7, 8] bestätigen diese Ergebnisse. In der Nutzungsphase kann je nach verwendetem Zement eine CO_2-Aufnahme von 13–24 % im Hochbau und in der Recyclingphase mit einer relativ hohen schweizerischen Recyclingquote ca. 8 % jeweils bezogen auf die Prozessemissionen erreicht werden. Die Untersuchungen sind hierbei noch nicht beendet. Beton nimmt damit im globalen CO_2-Kreislauf eine bedeutende Senkenfunktion ein.

Literatur

[1] *EN 16757, Sustainability of construction works – EPD – Product Category Rule for concrete and concrete elements (2017)*

[2] *CEN/TR 17310, Carbonation and CO_2 uptake in concrete (2019)*

[3] *Cembureau 2050 Carbon Neutrality Roadmap (2020)* https://cembureau.eu/library/reports/2050-carbon-neutrality-roadmap

[4] *Stripple, H. et al., CO_2 uptake in cement-containing products, Swedish Environmental Research Institute, IVL-report B2309 (2018)*

[5] *Leemann, A. et al., Assessing the CO_2-binding of concrete during its service life, SynerCrete, Madeira (2018)*

[6] *Cemsuisse EPD's für 4 Zemente (2016), www.cemsuisse.ch/umweltdeklarationen*

[7] *Nygaard, P. und Leemann A., Kohlendioxidaufnahme von Stahlbeton durch Karbonatisierung, Cemsuisse Projekt 201106, Bern (2012)*

[8] *Leemann, A., Karbonatisierungsgrad und CO_2-Aufnahme von Betongranulat, cemsuisse Projekt, Abschluss geplant 2021*