

KURZFASSUNG DER BEITRÄGE

Kollo quium

Forschung & Entwicklung
für Zement und Beton

2016

ACR

AUSTRIAN COOPERATIVE RESEARCH
KOOPERATION MIT KOMPETENZ

TU
WIEN



smartminerals
science to design the future

VÖZ

VEREINIGUNG DER ÖSTERREICHISCHEN
ZEMENTINDUSTRIE

VÖZ Schwerpunkt: Energiespeicher Beton

Mit Wind und Beton Häuser heizen und kühlen

DI Sebastian Spaun, Vereinigung der Österr. Zementindustrie, *Wien*

SoSPONGEhigh – Hohe solare Deckungsgrade durch thermisch aktivierte Bauteile

DI Thomas Ramschak, AEE Institut für Nachhaltige Technologien, *Gleisdorf*

VIVA – ein Forschungspark gibt Auskunft

DI Katharina Böck, Baunit Beteiligungen GmbH, *Wopfing*

Forschung & Entwicklung im Hoch- und Wohnbau

Flachdach aus Beton: Betontechnologie statt Abdichtung – Qualität verbessern – Bauablauf beschleunigen – Kosten reduzieren

Wolfgang Schober, Bmstr. Ing. Hans Brandner, *Sild GmbH, Jenig*

Betondrucken – Erfahrungen – Entwicklungsstand – Anwendung

DI Bernhard Nopp, Bautechnisches Institut, *Puchenu bei Linz*

BauMinator – 3D-Druck mit zementären Mörteln

DI Peter Weißmann, Baunit Beteiligungen GmbH, *Wopfing*

Steinhaut, Schaukelstuhl und Sitzheizung – Kreative Lösungen mit Textilbeton

GF Lars Schmieder, *Paulsberg, Dresden, D*

Denken in anderen Dimensionen: das Messner Museum am Kronplatz

Kruno Stefan Thaleck, Bau & Technologie GmbH/CEton-GRC GmbH, *Raubing, D*

Neues Transportankersystem für Doppelwände

Bmstr. DI Bernhard Krug, Franz Oberndorfer GmbH & Co KG, *Gunskirchen*

Material(R)evolution: Textile Faltung aus Beton

DI Martin Murero, DI Georg Grasser, ARGE Grasser Murero, *Wien*

Forschung & Entwicklung Betontechnologie

Versuche zur Studie des Querkraftversagens bei Durchlaufträgern

DI Christoph Betschoga, TU Graz, Institut für Betonbau, *Graz*

Nachrechnung der Querkrafttragfähigkeit einer bestehenden Spannbetonbrücke auf Basis des FSC-Modells

DI Tobias Huber, TU Wien, Institut für Tragkonstruktionen, *Wien*

Rechnerische Dimensionierung von Betondecken

DI Pia Mandahus, TU Wien, Institut für Verkehrswissenschaften, *Wien*

Ein neues Verfahren zur Herstellung der Fahrbahnplatte von Stahl-Beton-Verbundbrücken

DI Kerstin Fuchs, TU Wien, Institut für Tragkonstruktionen, *Wien*

Hochfester Beton als nachhaltige Lösung für Aufbetone und Deckschichten

DI Dr. Martin Peyerl, Smart Minerals GmbH, *Wien*

Entwicklung von Prüfverfahren und Anforderungen für Fugen- und Bettungsmörtel für die gebundene Pflasterbauweise

Ing. Peter Nowotny, Forum Qualitätspflaster, *Wien*

DI Dr. Wolfgang Kluger-Eigl, TU Wien, Institut für Verkehrswissenschaften, *Wien*

Abplatzpotential von Tunnelinnenschalen im Niedertemperaturbereich bis 450 °C

DI Gerald Maier, DI Dr. Martin Peyerl, Smart Minerals GmbH, *Wien*

DI Dr. Johannes Kirnbauer, Ass.Prof. DI Dr. Heinrich Bruckner,

TU Wien, Institut für Hochbau und Technologie, *Wien*

Aktuelle Entwicklungen bei der Modellierung und Simulation von „Jungem Beton“

DI Dr. Alexander Reinisch, Doka GmbH, *Amstetten*

Michael Schmid, BSc. MSc., Universität Innsbruck, AB Materialtechnologie, *Innsbruck*

VÖZ
VEREINIGUNG DER ÖSTERREICHISCHEN
ZEMENTINDUSTRIE

www.zement.at

Solarthermie

Energiespeicher Beton

Wind

Photovoltaik

Wärmepumpe und Warmwasserspeicher

Mit Wind und Beton Häuser heizen und kühlen
BUILDINGS AS MICRO ENERGY-HUBS DELIVERING CLIMATE SOLUTIONS
Sebastian Spaun, VÖZ

Sebastian Spaun

Thermische Bauteilaktivierung | November 2016

0

VÖZ
VEREINIGUNG DER ÖSTERREICHISCHEN
ZEMENTINDUSTRIE

www.zement.at

Solarthermie

Energiespeicher Beton

Wind

Photovoltaik

Wärmepumpe und Warmwasserspeicher

Inhalt

- Die Dekarbonisierung der Erzeugung von Raumwärme ist sinnvoll und möglich
 - Fluktuierende Energiequellen werden zum Faktum
- Ein Umsetzungsbeispiel aus der Praxis
- Der Energiespeicher Beton im Vergleich
- Wie geht es weiter?

Sebastian Spaun

Thermische Bauteilaktivierung | November 2016

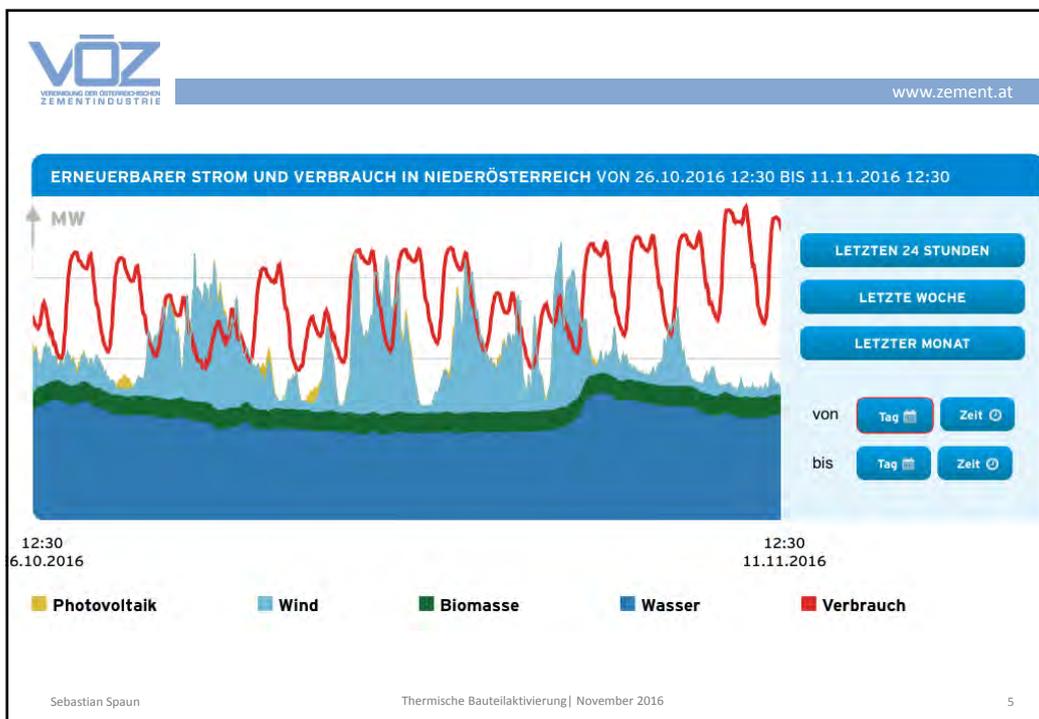
1



1. Die Pariser Klimavereinbarung ist überraschend schnell am 4. November 2016 in Kraft getreten
2. Unabhängig davon gibt es einen globalen Trend zur Dekarbonisierung

16. Februar 2016:

- Europäische Kommission legt **erstmalig** eine **Strategie zur Wärme- und Kälteerzeugung in Gebäuden und der Industrie** vor
- Die Wärme- und Kälteerzeugung verschlingt gewaltige **50 % des jährlichen europäischen Energieverbrauchs**
- Die Schwerpunkte der Strategie:
 - Den Energieverbrauch von Gebäuden senken
 - Erneuerbare Energien deutlich steigern
 - Speichertechnologien als Schlüssel
 - Einbeziehung von Verbrauchern und Industrie
 - Möglichkeiten bekannt machen (built up skills)

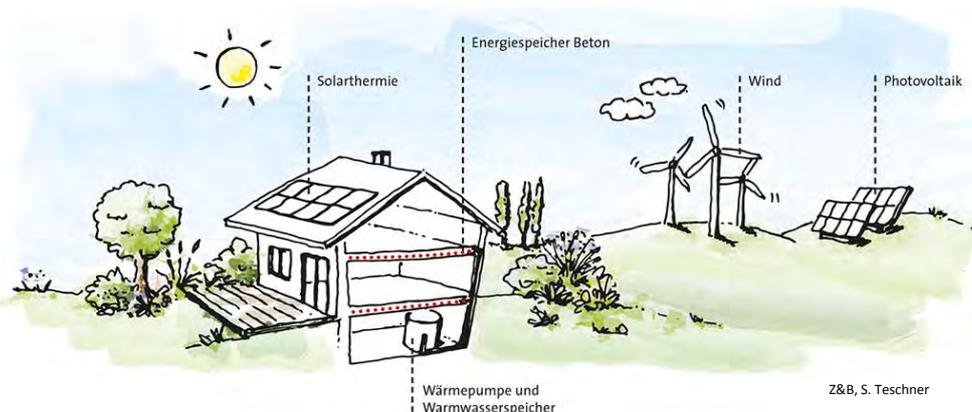


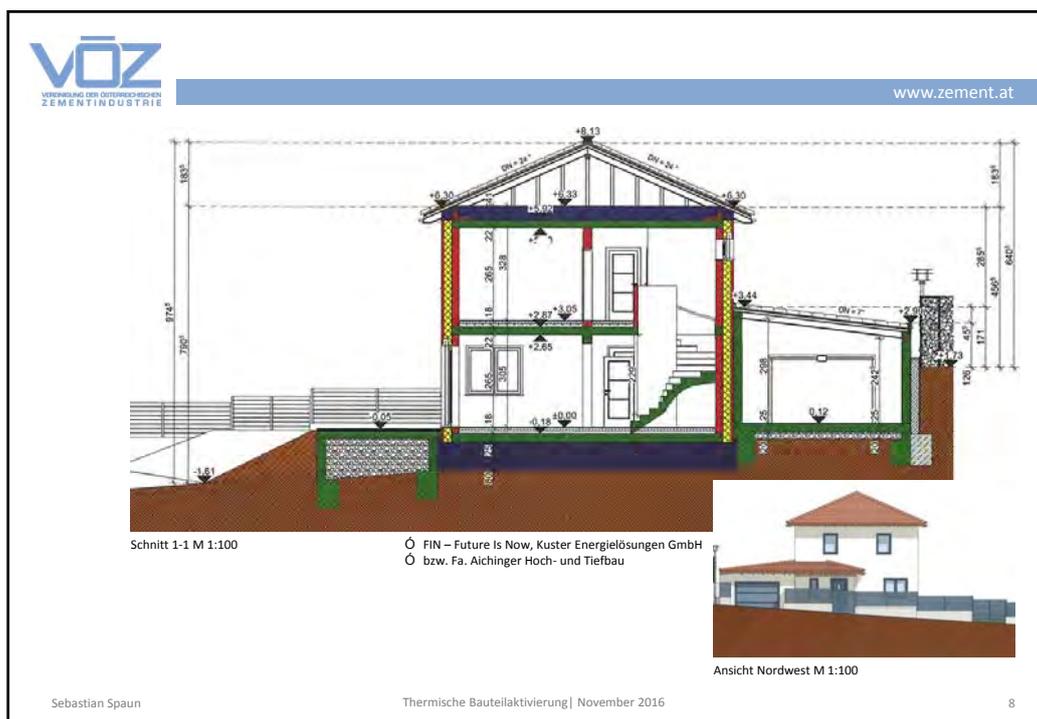
Bundesminister Mag. Jörg Leichtfried, Sept. 2016
 Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie

„Wir müssen mit der Energie besser haushalten. Meine Vision ist, Städte als eine Art Akku zu nutzen, die Energie für längere Zeit speichern können, etwa im Mauerwerk der Häuser.“

Die Thermische Bauteilaktivierung, also Heizen und Kühlen mit Beton, ist dafür eine der wichtigsten technischen Neuerungen.“

Die Lösung: Einbindung erneuerbarer Energie über konstruktive Bauteile





VÖZ
VEREINIGUNG DER ÖSTERREICHISCHEN
ZEMENTINDUSTRIE

www.zement.at

Das Projekt: Massives Einfamilienhaus im Weinviertel

Hochwertige **Passivbauweise**, ca. 120 m² WNFL

Bauzeit | Mitte Juli 2015 bis Mitte November 2015

Zielsetzung

- Kostenoptimierte Energieversorgung ausschließlich über Wärmepumpe
 - Überschüssiger Spitzenstrom aus Windkraft (Partner W.E.B Windenergie)
 - Erdkollektor (Sole als Transportmedium)
- Möglichst einfache Anlage
- Möglichst einfache Bauweise
- Möglichst einfache Steuerung
- Möglichst wirtschaftliche Lösung

Planung der Anlage | FIN – Future Is Now, Kuster Energielösungen GmbH
Begleitforschung (Simulation auf Basis des Rechenkerns) | Dipl.-Ing. Dipl.-Ing. Dr. Simon Handler

Sebastian Spaun

Thermische Bauteilaktivierung | November 2016

9

VÖZ
VEREINIGUNG DER ÖSTERREICHISCHEN
ZEMENTINDUSTRIE

www.zement.at

Einfach und kostengünstig!

Hydraulik-Schema der Fa. FIN - Future Is Now,
Kuster Energielösungen GmbH - Vorabzug

Sebastian Spaun Thermische Bauteilaktivierung | November 2016 10

VÖZ
VEREINIGUNG DER ÖSTERREICHISCHEN
ZEMENTINDUSTRIE

www.zement.at

Einfaches Anbringen der BTA-Verrohrung auf einer Beton- Elementdecke

Fotos: Firma Aichinger, NÖ

Sebastian Spaun Thermische Bauteilaktivierung | November 2016 11



Fotos: Firma Aichinger Hoch- und Tiefbau, NÖ



Sebastian Spaun

Thermische Bauteilaktivierung | November 2016

12



Einfamilienhaus im Weinviertel



Fotos: Firma Aichinger Hoch- und Tiefbau, NÖ

Sebastian Spaun

Thermische Bauteilaktivierung | November 2016

13

Einfamilienhaus
im
Weinviertel



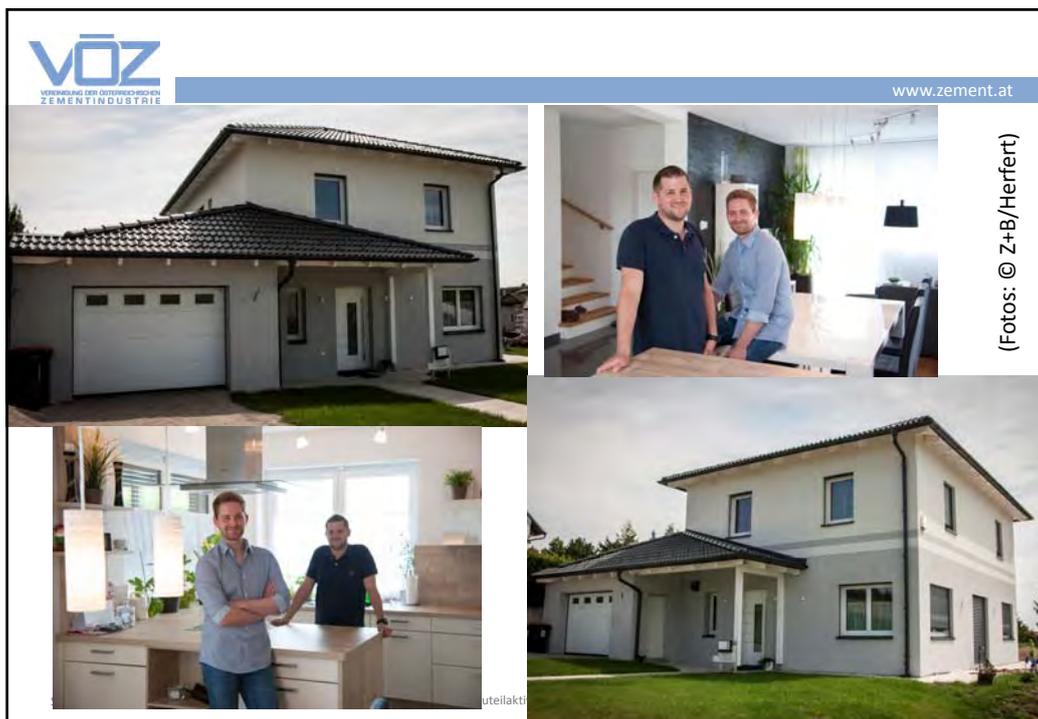
Fotos: Firma Aichinger
Hoch- und Tiefbau, NÖ
Sebastian Spaun

Thermische Bauteilaktivierung | November 2016



Sebastian Spaun

Thermische Bauteilaktivierung | November 2016



VÖZ
VEREINIGUNG DER ÖSTERREICHISCHEN
ZEMENTINDUSTRIE

www.zement.at

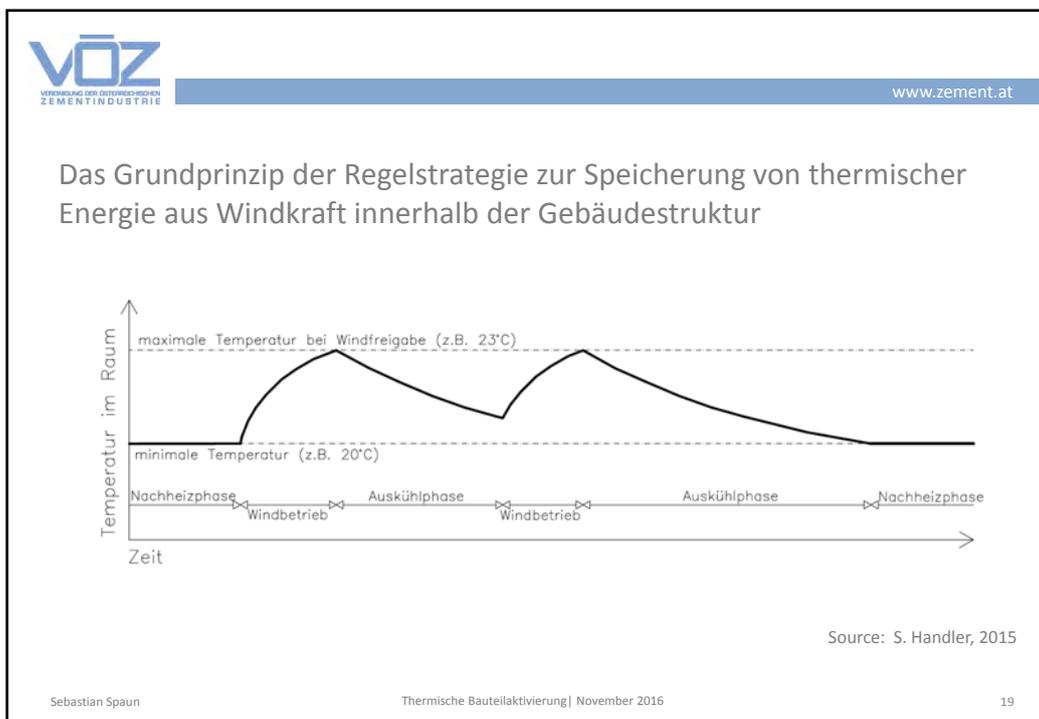
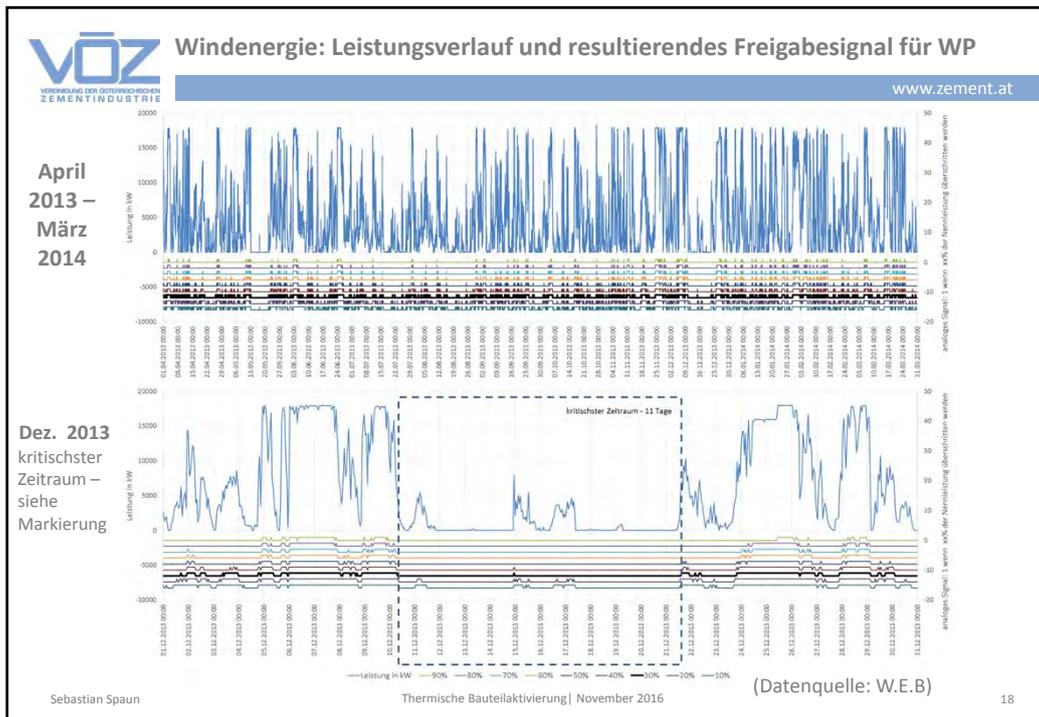
Das Zusammenspiel von Windüberschussenergie und den speichernden Bauteilen wurde vorweg simuliert.

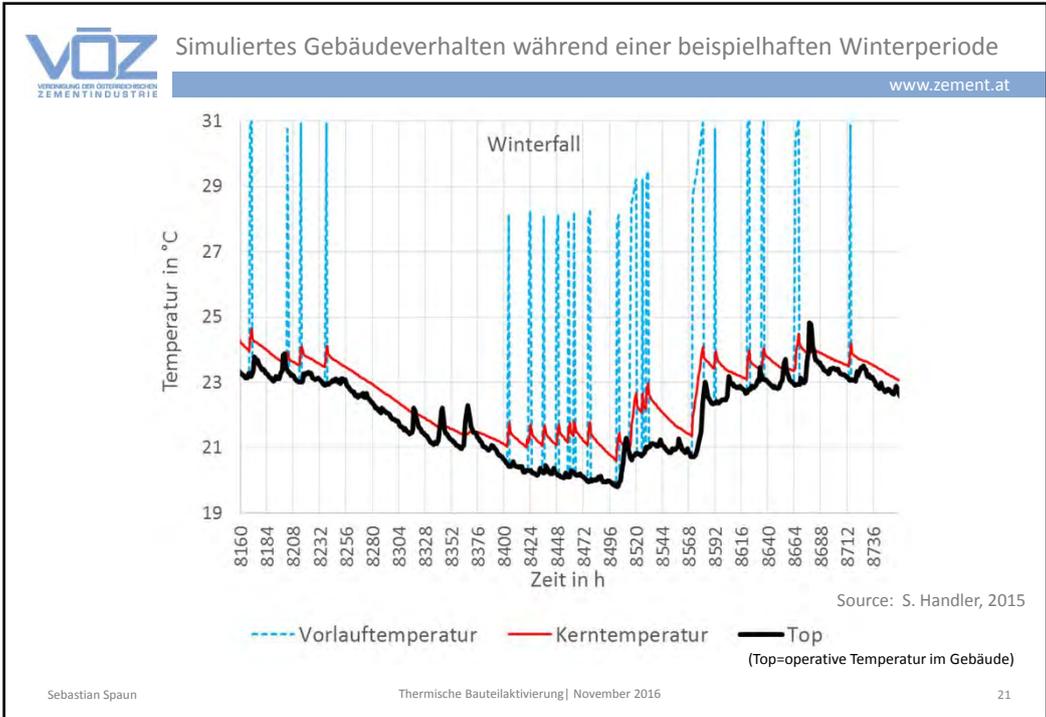
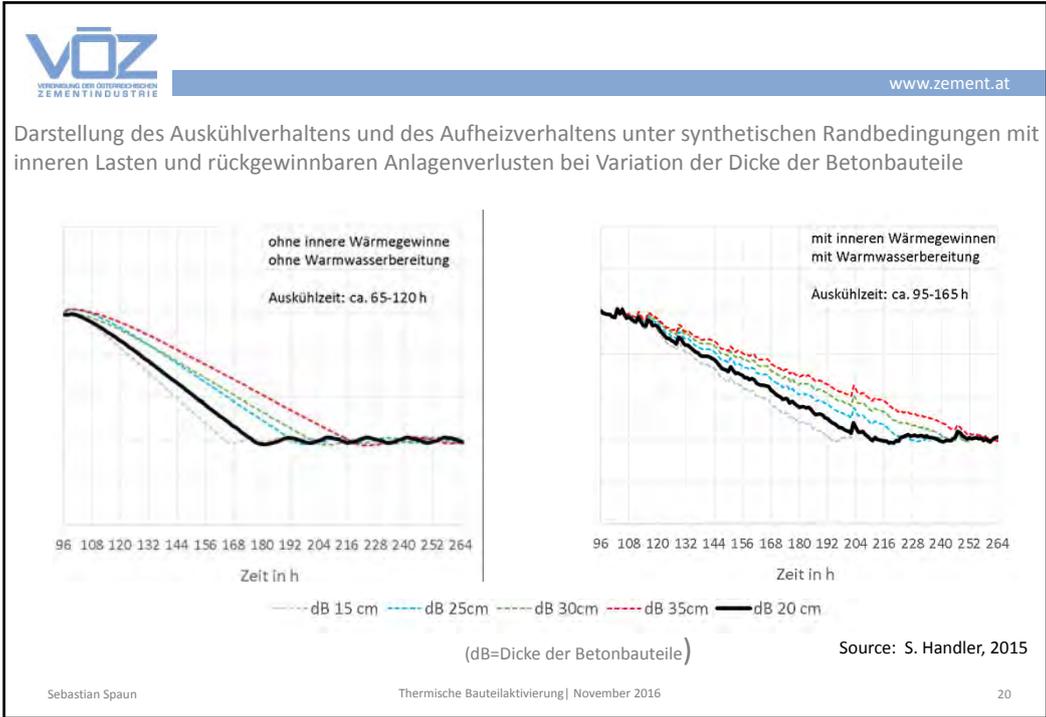
In der Studie (S. Handler, 2016) wurde das Systemverhalten des geplanten Gebäudes für den Zeitraum von April 2013 bis März 2014 untersucht.

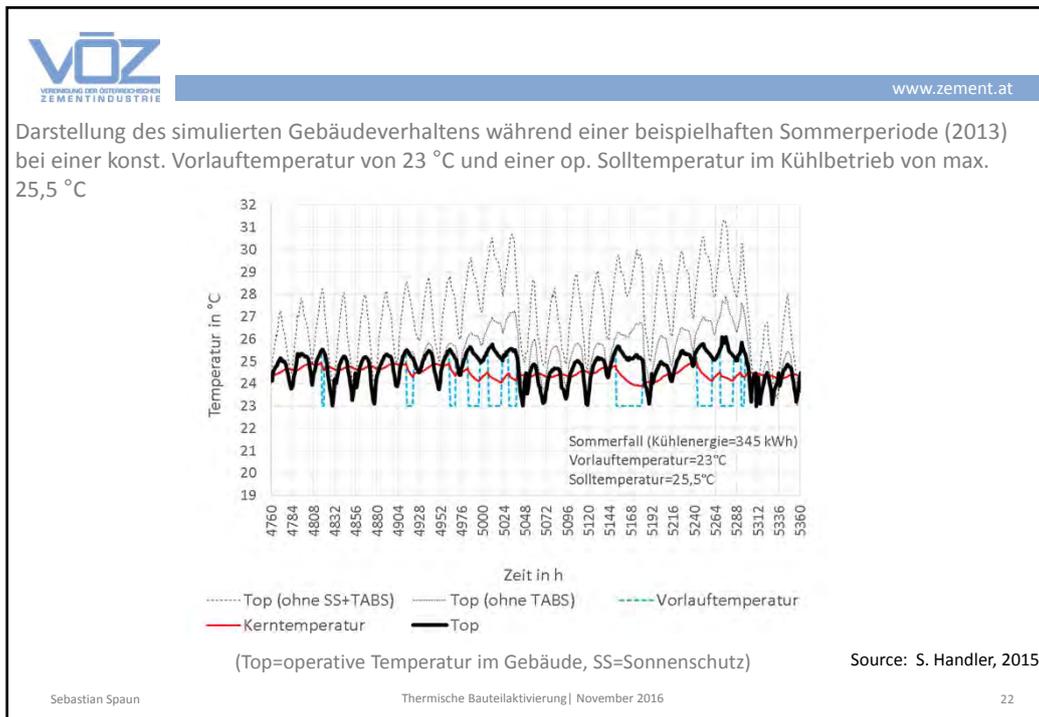
- Mit den Klimadaten der TU Wien (Standort Wien)
- Mit den Winddaten des W.E.B. Windparks Neuhof

Sebastian Spaun Thermische Bauteilaktivierung | November 2016 www.zement.at

17



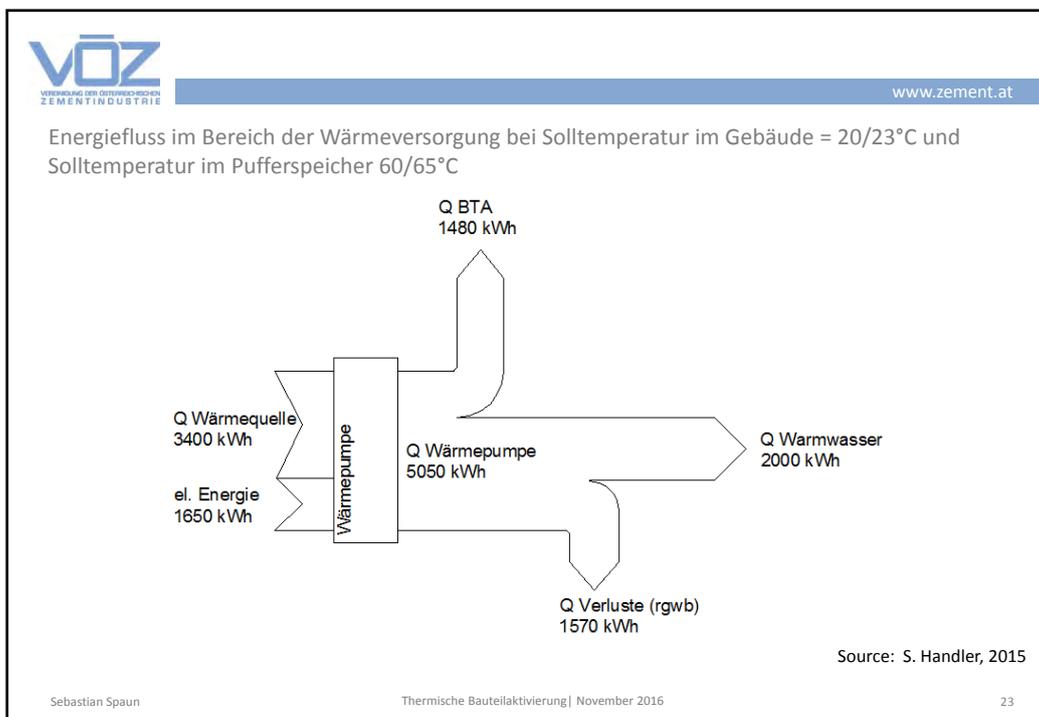




Sebastian Spaun

Thermische Bauteilaktivierung | November 2016

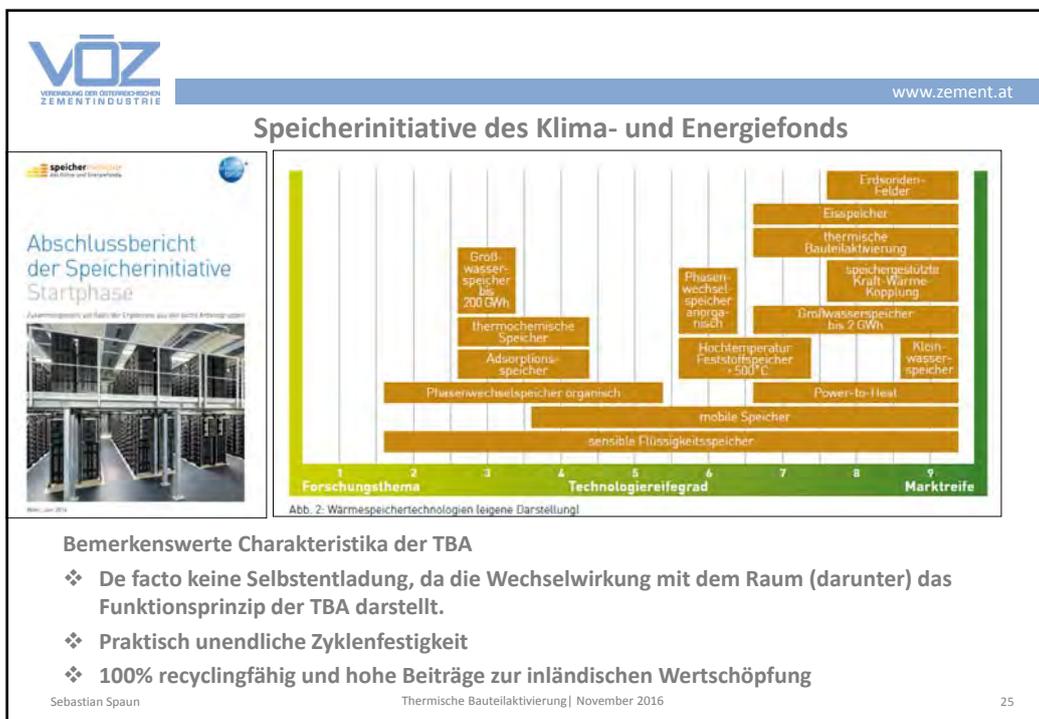
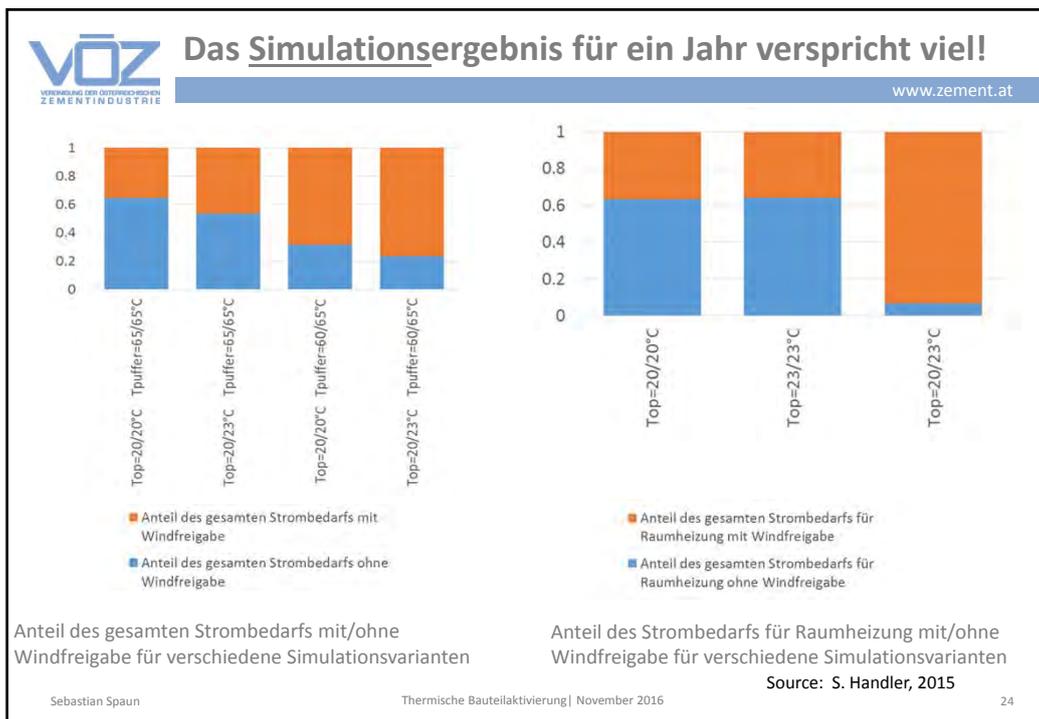
22



Sebastian Spaun

Thermische Bauteilaktivierung | November 2016

23



26

VÖZ
VEREINIGUNG DER ÖSTERREICHISCHEN
ZEMENTINDUSTRIE

www.zement.at

Die thermische Bauteilaktivierung (TBA) im Kosten-Vergleich:

• Power to heat Lösungen	80 - 180	€/kWh
• Blei Batterie	100 bis 250	€/kWh
• Li-ion (LIB) 4V (2Gen)	Invest: ~ 300- ~ 700	€/kWh
• (Elon Musk „150 \$/kWh“)		
• Pumpspeicher Neubau	Invest: 3.000 - 5.000	€/kW
• Pumpspeicher Umbau	Invest: 1.000 - 3.000	€/kW
• Die thermische BTA (TBA)		wenige €/kWh

www.speicherinitiative.at
www.zement.at

Sebastian Spaun Thermische Bauteilaktivierung | November 2016

VÖZ
VEREINIGUNG DER ÖSTERREICHISCHEN
ZEMENTINDUSTRIE

www.zement.at

Der Planungsleitfaden für Einfamilienhäuser und Reihenhäuser

Autoren: Felix Friembichler, Simon Handler, Klaus Krec, Harald Kuster



- 4.000 Bücher gedruckt
- 1.500 Exemplare bis heute verteilt
- Grundlage für die Aus- und Weiterbildung
 - Mit ganz konkreten Berechnungsbeispielen
- Übersetzung ins Englische in Vorbereitung

Sebastian Spaun Thermische Bauteilaktivierung | November 2016 27

VÖZ
VEREINIGUNG DER ÖSTERREICHISCHEN
ZEMENTINDUSTRIE

www.zement.at

Inhalt

Vorwort
Was der Zukunft? Immer weg weg...
Was das, so einfach wie das? Nicht so, denn das ist die Zukunft!

Inhalt

Voraussetzungen
Energieversorgung
Entwicklung eines Energiekonzepts
Das Gebäude als Energieproduzent
Bauteilaktivierung als Wärmelagere- bzw. Wärmespeichersystem
Alte und passive Kühlung
Systemvarianten
Variante 1: Energieerzeugung über Solarthermie
Variante 2: Energieerzeugung mittels Photovoltaik und Wärmepumpe
Variante 3: Energieerzeugung mittels Windenergie und Wärmepumpe
Anlagenplanung

Planungsgrundlagen
Berechnung der Raumkühlleistung
Modellberechnung für einen Mehrzweckraum
Verlärterberechnung nach PMP
Berechnung der Bauteilflächen
Anforderungen an die Gebäudeteile
Aufbau der Wärmelagere- bzw. Wärmespeichersysteme
Ausführungsbeispiel
Berechnungsbeispiel
Modellberechnung nach PMP für ein gerades Haus
Verlärterberechnung nach PMP für die Wohnküche
Anlage der Bauteilflächen
Verzeichnisse
Abkürzungsverzeichnis
Literaturverzeichnis
Übersichtstabelle
Impressum

Auftragsgang
Auftragsgang der thermischen Bauteilaktivierung: Montage der Bauteilflächen, Druckprüfung und Brücken der Decke, Einbau von 2. Teilbauteilen

3D-Darstellung des Gebäudemodells

3D-Darstellung des Gebäudemodells

Sebastian Spaun Thermische Bauteilaktivierung | November 2016 28

VÖZ
VEREINIGUNG DER ÖSTERREICHISCHEN
ZEMENTINDUSTRIE

www.zement.at

Thermische Bauteilaktivierung – Mit Wind, Sonne und Beton Energie sparen

STADT der Zukunft

Datum: Montag, 19. September 2016 13:15-18:00 Uhr
Ort: TÜHneSKY Technische Universität Wien Getreidemarkt 9, 1060 Wien

150 Teilnehmer, weitere 70 Anmeldungen, Übertragung via Livestream)

Fotos: Z&B, P. Blauensteiner

Sebastian Spaun Thermische Bauteilaktivierung | November 2016 29

3. Oktober 2016: VÖZ und BM Aichinger gewinnen ACR-Kooperationspreis 2016 „Mit Wind und Beton Energie sparen“



(Foto: © ACR/APA-Fotoservice/Schedl)

Kurzfilm über das Siegerprojekt: <https://www.youtube.com/user/ACRVerein>

Sebastian Spaun

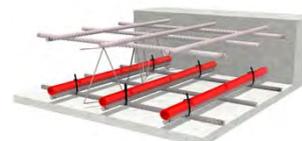
Thermische Bauteilaktivierung | November 2016

30

Die Thermische Bauteilaktivierung



- ist ohne großen technischen Aufwand und v.a. kostengünstig umsetzbar
- ermöglicht uns höchsten thermischen Wohnkomfort durch die Nutzung von Wärmestrahlung
- ermöglicht energieeffizientes und gesundes Kühlen
- ist durch die Puffermöglichkeit des Betons für die Nutzung volatiler erneuerbarer Energiequellen prädestiniert



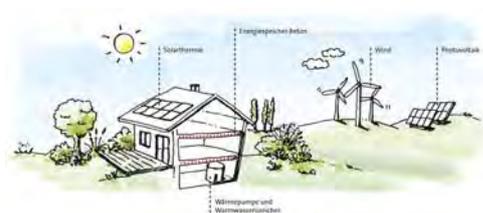
Sebastian Spaun

Thermische Bauteilaktivierung | November 2016

31

Nächste Schritte

- Forschungsbegleitete Implementierung der TBA im Mehrfamilienhaus
- Ausbildungsplattform
- Normative Verankerung
- Dissemination



Die BTA ist ein ungehobener „Schatz“ in Sachen Energieeffizienzsteigerung im Gebäudesektor!

Forschungsergebnissen und Datengrundlagen:
<http://zement.at/services/publikationen/energiespeicher-beton>

Danke für die Aufmerksamkeit!

Vereinigung der österreichischen Zementindustrie

Dipl.-Ing. Sebastian Spaun



SolSPONGEhigh

Hohe solare Deckungsgrade durch thermisch aktivierte Bauteile

Thomas Ramschak, Christian Fink

AEE – Institut für Nachhaltige Technologien (AEE INTEC)
8200 Gleisdorf, Feldgasse 19, AUSTRIA

- Zielsetzung
- Referenzgebäude
- Solare Versorgungskonzepte
- Technische Bewertung
- Ökonomische und ökologische Bewertung
- Sensitivitätsanalysen
- Fazit

Ziel SolSPONGEhigh



VEREINIGUNG DER
ÖSTERREICHISCHEN
ZEMENTINDUSTRIE



FIN – Future is Now
Kuster Energielösungen GmbH



- Intensive Nutzung von thermisch aktivierbaren Bauteilen
- Verschiedene Gebäude (EFH, MFH, nicht Wohngeb.)
- Einsatz von Solartechnologien (Thermie bzw. PV)
- Hohe Solare Deckungsgrade (nahe 100%)
- Einbindung von Wärmepumpen (Luft-WP/ Sole-WP)



Quelle: www.kuster.co.at

Referenzgebäude

Einfamilienhaus

- 3 Stockwerke: KG (unbeheizt), EG, OG
- Netto-Abmessungen je Stockwerk:
Höhe 2.8 m, Breite 5 m, Länge 12 m, Grundfläche 60 m²
- Beheizte Nettofläche: 120 m² (EG, OG)
- Dämmstandard (OIB):
 - HWB 17 kWh/m²a
 - HWB 42 kWh/m²a
- Wärmeabgabefläche: TAB (25cm Betondecke)



Quelle: AEE INTEC

Versorgungssysteme

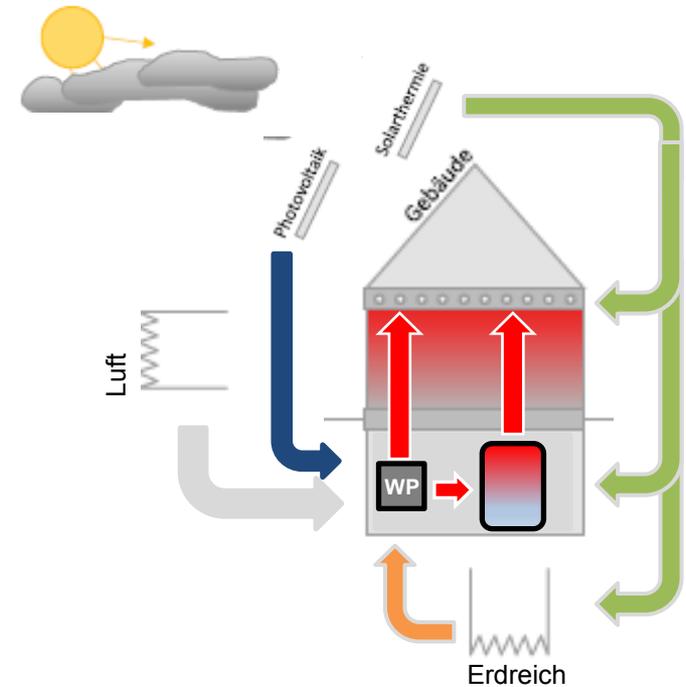
- WP / Solarthermie
- Sole-WP / Solarthermie
- Luft-WP / Photovoltaik
- E-Patrone / Solarthermie
- E-Patrone / Photovoltaik

Beladungskonzepte

- direkte / indirekt Beladung

Bauweise

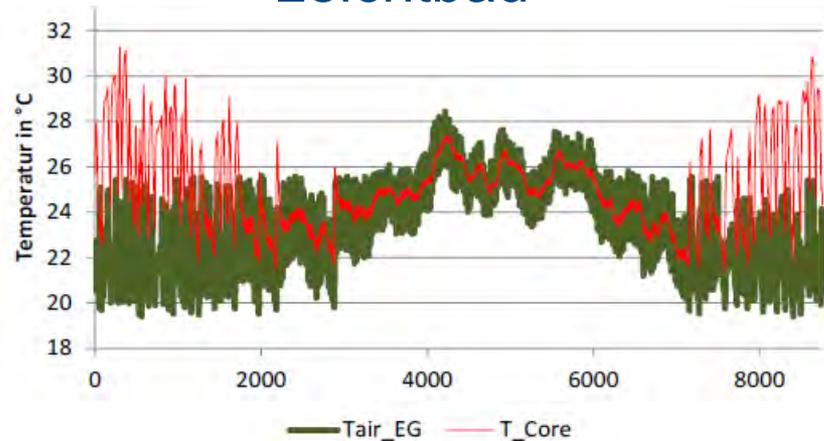
- Massivbau / Leichtbau



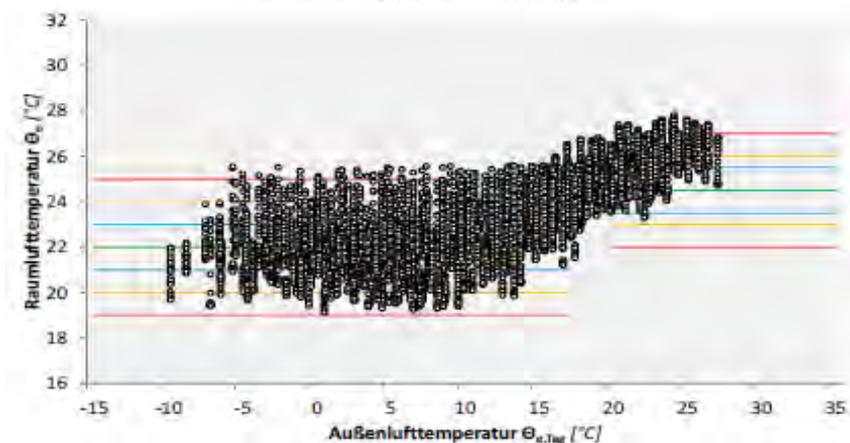
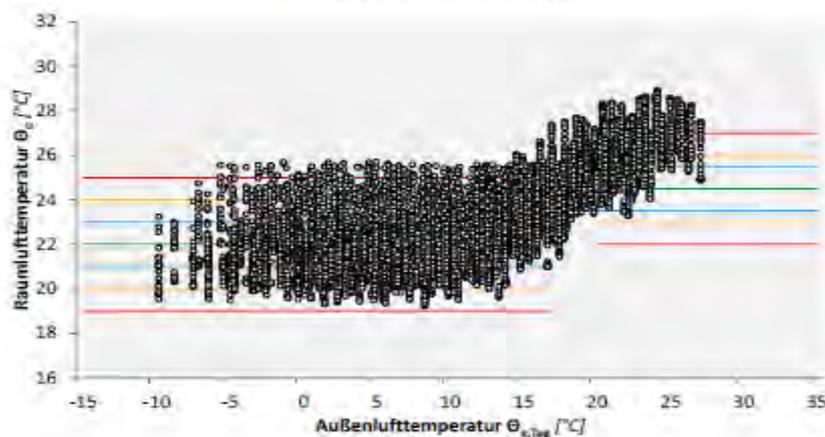
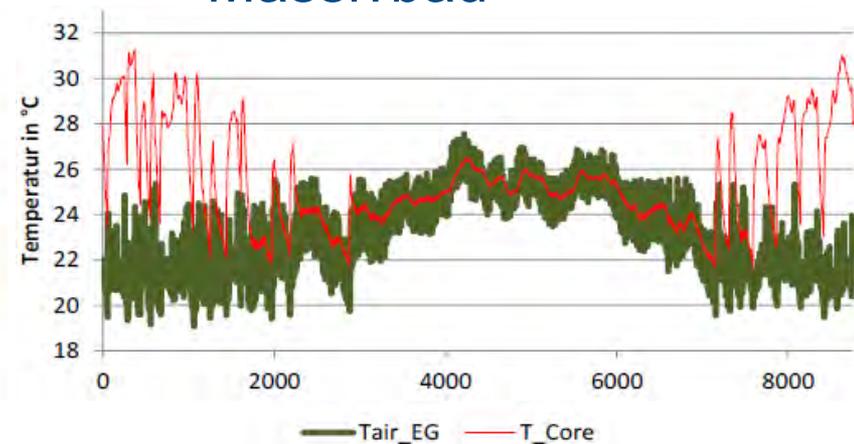
Quelle: i.A.a Energiespeicher Beton

Vergleich Leichtbau vs. Massivbau

Leichtbau

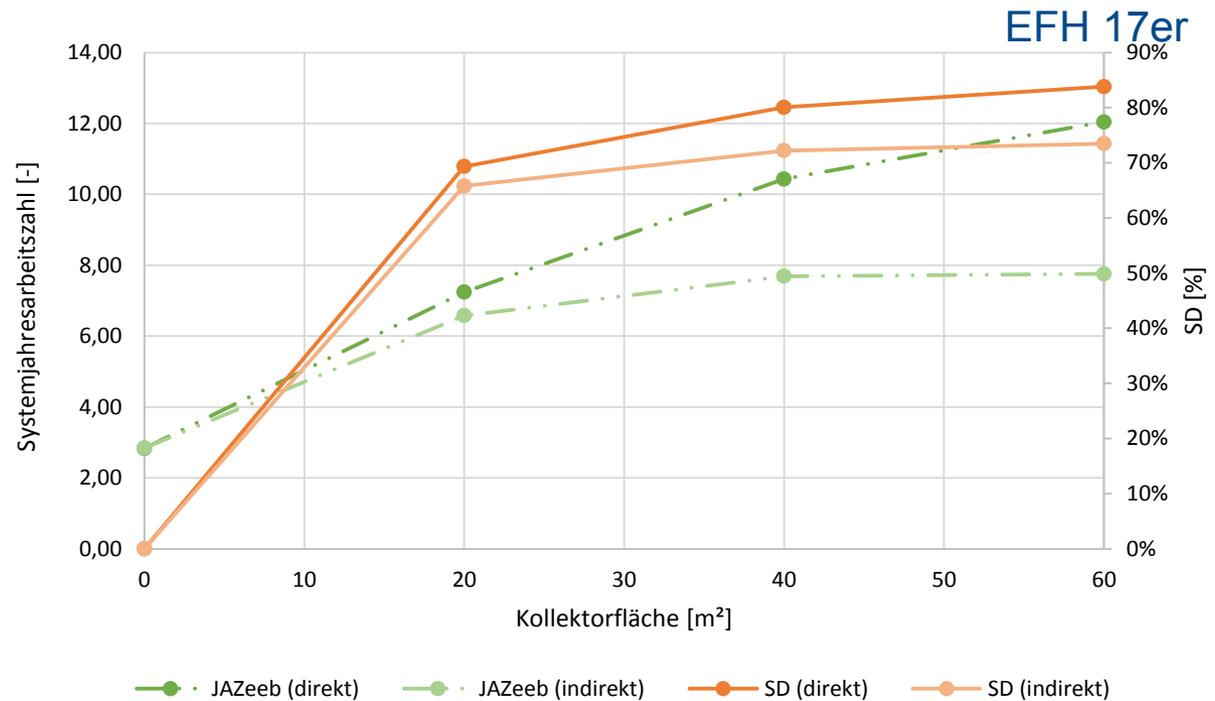
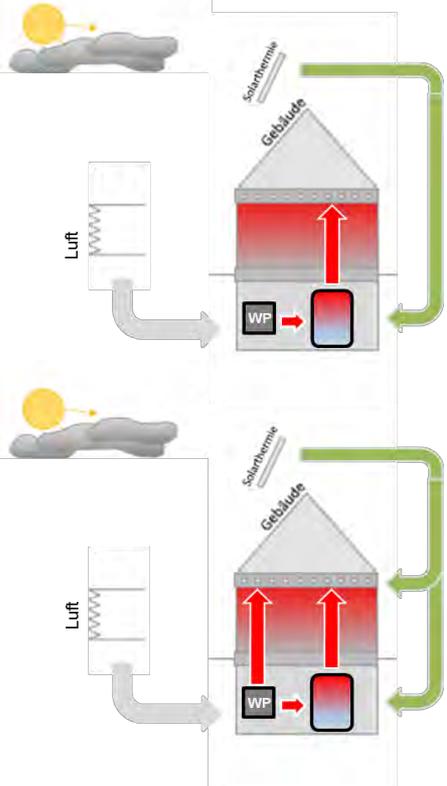


Massivbau



- Weniger Beladezyklen (Reduktion um 50% im Heizbetrieb)
- Verbesserte Behaglichkeit in Massivbauweise

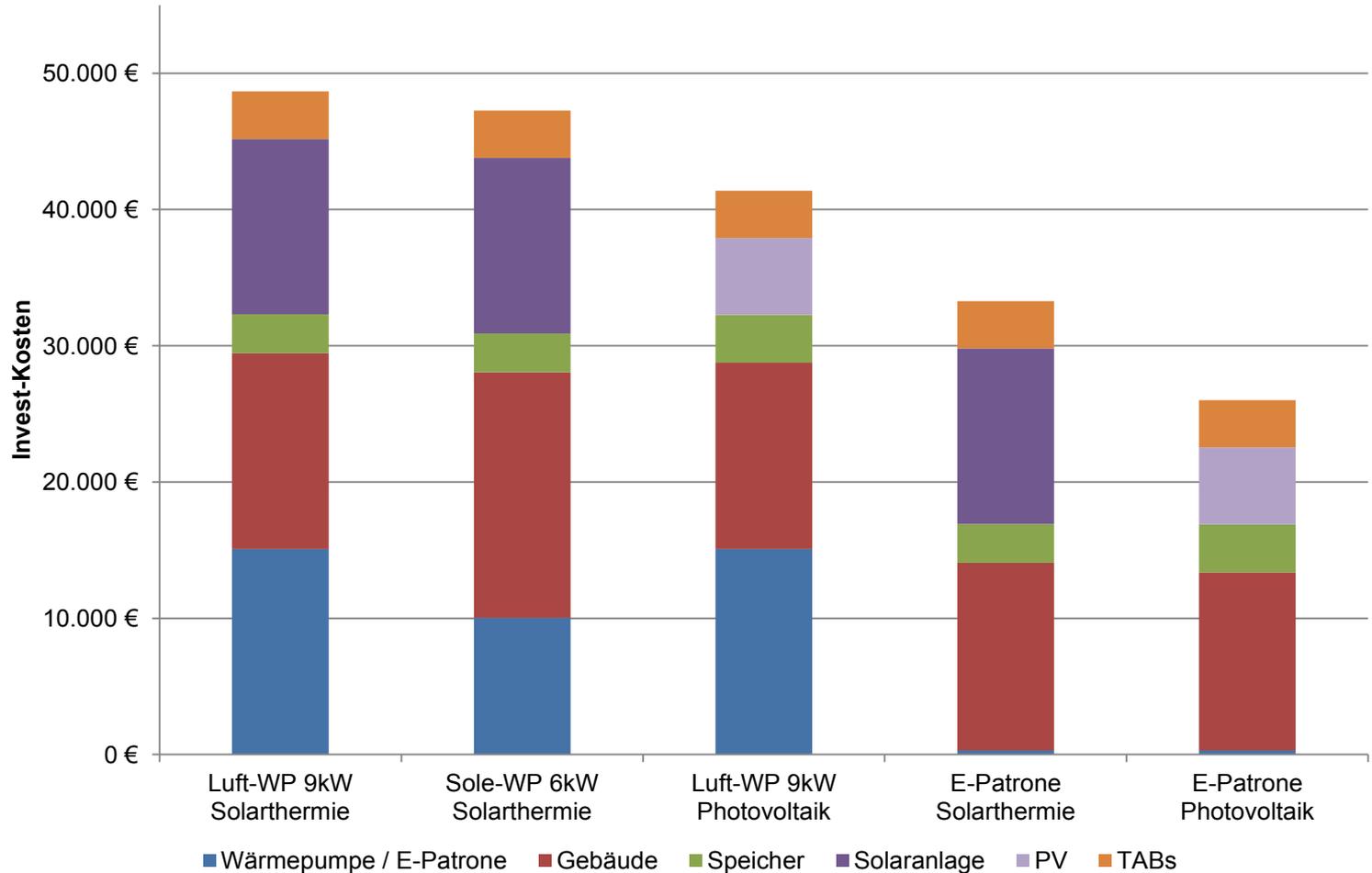
Vergleich direkte vs. indirekte Beladung der thermisch aktivierbaren Bauteile



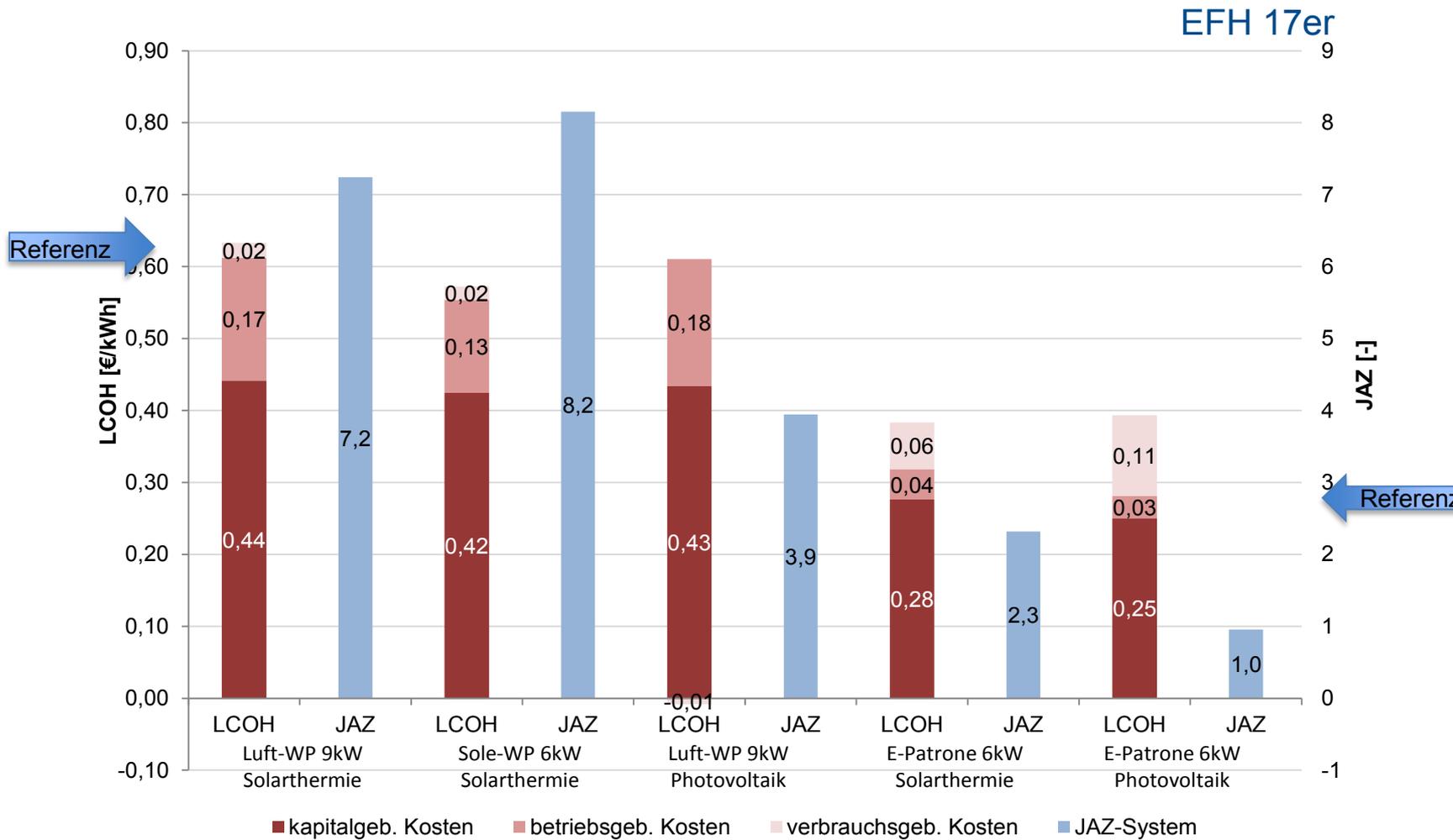
- Erhöhung der Systemarbeitszahlen
- Steigerung des spez. Solarertrages um bis zu 20%
- Steigerung solaren Deckungsgrad um bis zu 10%
- Reduktion der WP-Laufzeiten

Ökonomische & Ökologische Bewertung Invest-Kosten

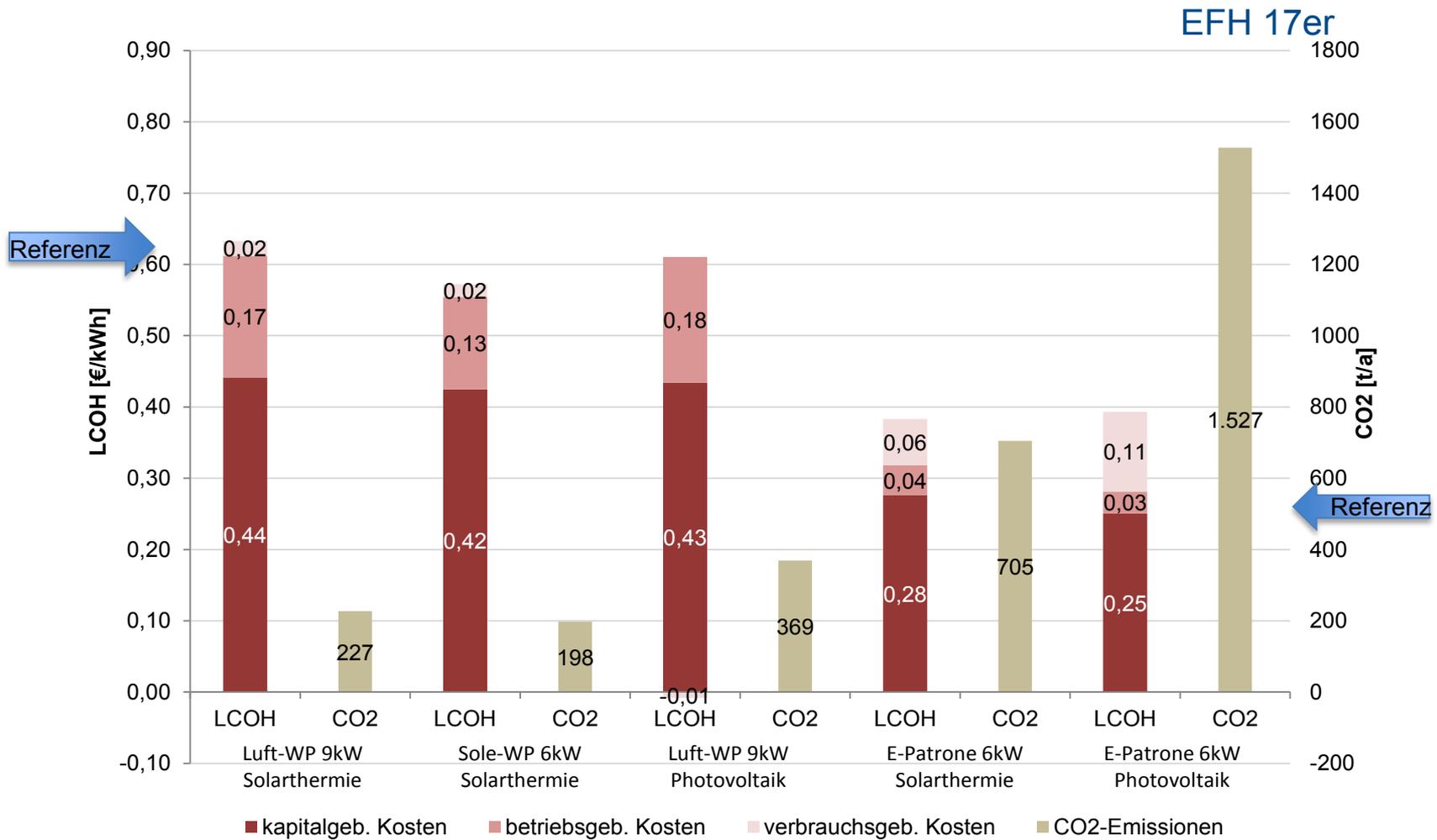
EFH 17er



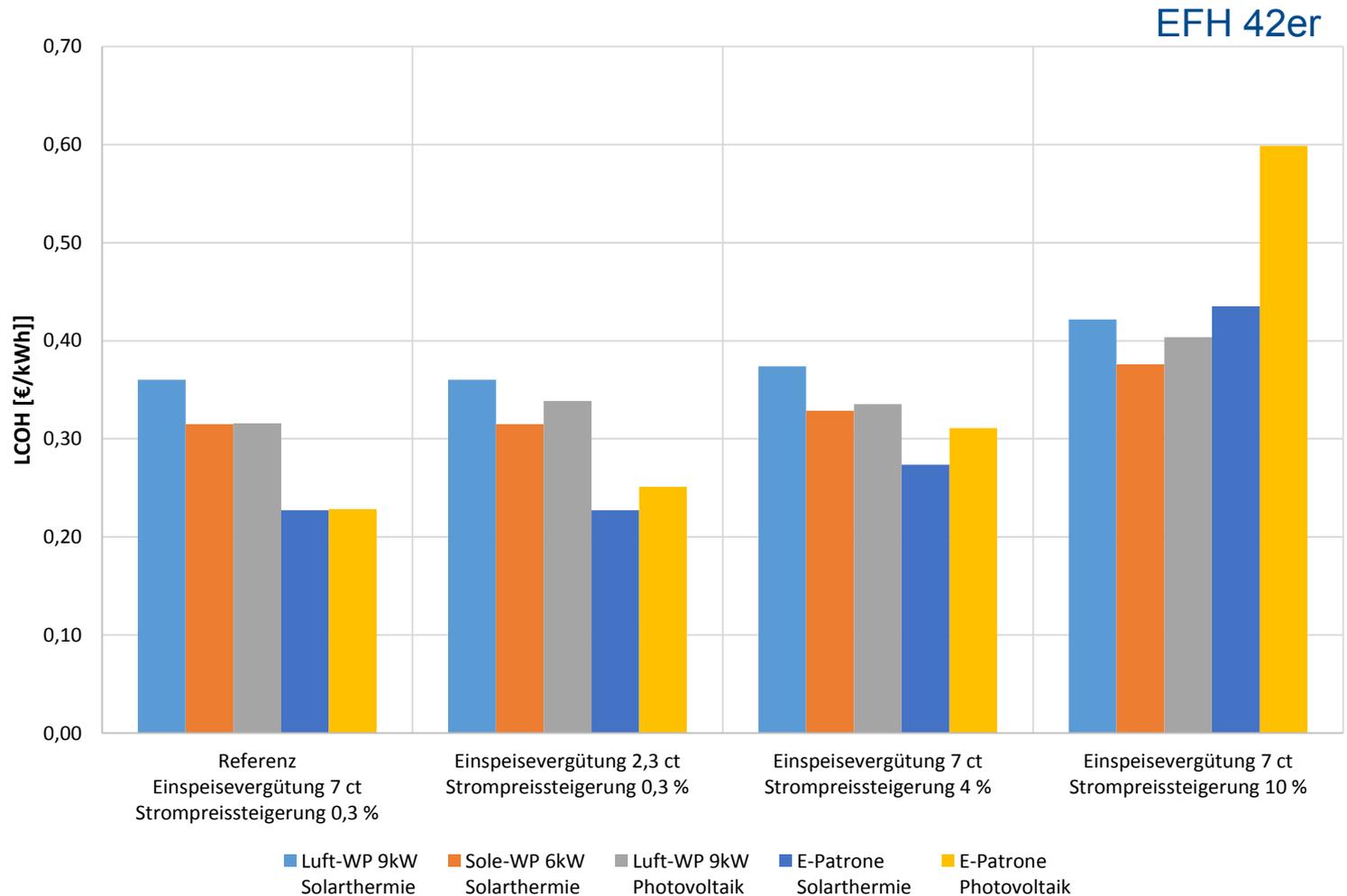
Ökonomische & Ökologische Bewertung LCOH und JAZ



Ökonomische & Ökologische Bewertung LCOH und CO2-Emissionen



Sensitivität Einspeisevergütung und Strompreissteigerung



- **Massive Bauweise** hat positive Auswirkungen auf Behaglichkeit
- **Hohe solar Deckungsgrade** mit geringem Speichervolumen durch thermische Bauteilaktivierung
- **Direkte Beladung** bringt energetische Vorteile und reduziert die Laufzeiten der WP
- Kombination von WP-Systemen mit **Solarthermie oder Photovoltaik** sind nahezu gleichwertig
- Geringe Investitionskosten machen Systeme mit **E-Patrone** aus ökonomischer Sicht **konkurrenzfähig** (Ökologie spricht für **Kombination mit ST**)



AEE INTEC

IDEA TO ACTION

**Danke für Ihre
Aufmerksamkeit**



Der Viva Forschungspark von Baunit

**„Wir wollen, dass sich Menschen
in ihrem Wohnumfeld gesund und lebendig fühlen.
Alles, was es dafür braucht, untersuchen wir hier.“**

Robert Schmid



Ideen mit Zukunft.




Der Viva Forschungspark von Baumit

- 10 Häuser als Mess-Stationen in Wopfing
→ größter Baustoff-Forschungspark Europas
- Erstmals werden Baustoffe und ihre Auswirkungen auf Gesundheit und Wohlbefinden in einem derart umfassenden Rahmen wissenschaftlich untersucht
- Externe Projektpartner führen Messungen, Analysen und Evaluierungen durch
- Pro Monat stehen über 1,5 Millionen Daten zur Auswertung zur Verfügung

Was wird gemessen?

- Relative Luftfeuchtigkeit
- Innenraumtemperaturen
- Wand- und Oberflächentemperaturen
- Luftionen, Feinstaub und Pollen
- VOC und Radon
- Relative Luftfeuchtigkeit
- Innenraumtemperaturen
- Wand- und Oberflächentemperaturen
- Luftionen, Feinstaub und Pollen
- VOC und Radon



Ideen mit Zukunft.




Temperatur – Puffereigenschaften und Schalldämmmaß

Tropenhitze: Außentemperatur bis +36° C

Wandbildner	Innentemperatur	Dämmung für U=0,15	Dämmstärke (cm)
25er-Ziegel	30° C	ohne Dämmung, Kalk/Zement-Putz	0
Holzständerwand	29° C	EPS plus	6
50er-Ziegel gefüllt	28° C	GrundPutz Leicht	2
Holz-Blockhaus	28° C	Holzfasern	20
25er-Ziegel	27° C	EPS open reflect	18
Beton	24° C	Resolution XS 022	14

In heißen Sommern bleiben die massiven Konstruktionen länger kühl, da diese mehr Energie speichern können.

Puffereigenschaften im Herbst

Wandbildner	Innentemperatur	Dämmung für U=0,15	Dämmstärke (cm)
25er-Ziegel	15° C	ohne Dämmung, Kalk/Zement-Putz	0
Holzständerwand	16° C	EPS plus	6
50er-Ziegel gefüllt	18° C	GrundPutz Leicht	2
Holz-Blockhaus	18° C	Holzfasern	20
25er-Ziegel	18° C	EPS open reflect	18
Beton	19° C	Resolution XS 022	14

Die in den massiveren Konstruktionen gespeicherte Energie, gibt diese dann langsam wieder ab, so dass erst später geheizt werden muss.

Kälteeinbruch: 2 Tage-Heizungsausfall bei -12° C

Wandbildner	Innentemperatur	Wandtemperatur an Putz	Dämmung
25er-Ziegel	4° C	1° C	Nein
Holzständerwand	11° C	7° C	U=0,15
50er-Ziegel gefüllt	13° C	12° C	U=0,15
Holz-Blockhaus	13° C	13° C	U=0,15
25er-Ziegel	15° C	15° C	U=0,15
Beton	17° C	17° C	U=0,15

Bei einem Heizungsausfall hat das ungedämmte Haus nach 2 Tagen eine Wandtemperatur von 1° C und eine Innenraumtemperatur von 4° C. Auch hier bleibt die Wärme mit der gedämmten Masse länger im Raum.

Schalldämmmaß

Wandbildner	Bau-Schalldämmmaß (dB)
Beton gedämmt	49
Holz-Blockhaus gedämmt	46
50er-Ziegel gefüllt	45
25er-Ziegel gedämmt	45
25er-Ziegel ungedämmt	42
Holzständerwand gedämmt	40

Je kleiner das Schalldämmmaß, desto lauter ist es im Haus. 10 dB Unterschied empfinden wir als doppelt so laut!

Ideen mit Zukunft.



Sitz:
Hermagor-
Presseggersee
FN: 307996 k
LG Klagenfurt
www.sild.at

Büro Süd:
9631 Jenig
Danz 7
Tel: 0676/6519333
Fax: 0676/6519335
office@sild.at

Büro Ost:
1190 Wien
Grinzinger Strasse 18
Tel: 01/328 29 25 30
Fax: 01/328 29 25 20
www.xypex.at



Generalvertretung Österreich

VOEZ Kolloquium 2016/14.11.2016

Betontechnologie statt Abdichtung - Flachdach aus Beton ohne zusätzliche Beschichtung

Seit nunmehr 10 Jahren werden in Österreich Flachdächer und Keller aus Beton mit XYPEX Admix C 1000 NF hergestellt. XYPEX beschäftigt sich seit 1968 mit der Thematik "Wasserdichtheit durch Betontechnologie". Qualitätsanspruch ist die "Weiße Wanne", Nutzungsklasse S, Wasserdruck größer 20m. Der fortschrittliche technische Ansatz hierbei ist im Wesentlichen die Konstruktion der „Weißen Wanne als Oberste Geschoßdecke“ und CO₂- Reduktion am Bauwerk zufolge dem Entfall herkömmlicher Abdichtungen.

Seit 2013 ist es uns gelungen in Kooperation mit dem Institut für Flachdachbau u. Bauwerksabdichtung eine Bauwerksdokumentation durchzuführen. Bis Ende dieses Jahres wird ein Forschungsprojekt zur Erarbeitung möglicher Bauwerksanschlüsse und Abschlüsse und der damit zusammenhängenden bauphysikalischen Gegebenheiten eingereicht. zukommen. Der Originalbericht umfasst 28 Seiten mit Bilddokumentation und stammt vom 31.5.2016.

Im Anschluss hier nur die Kurzfassung:

Errichtung: 2013-2014

Ort: 1210 Wien, Langenzersdorfer Str. 60

Dachaufbau: Stahlbetondecke C25/30 mit Beimengung von XYPEX Admix C 1000 NF, Gefälle 0,5%, XPS Wärmedämmung Dicke 24cm

Vlies

Kiesbett Dicke 20mm

Plattenbelag

Kiesbett Dicke 50mm alternativ zum Plattenbelag bei ungenutzten Terrassen.

Zusammenfassung der Erkenntnisse:

Für die Feuchtigkeitsabdichtungsmaßnahmen an gegenständlich ausgeführter Flachdachkonstruktion sowie den Terrassenflächen wurden bewusst nicht die einschlägigen Flachdachabdichtungsnormen herangezogen. Darunter ist zu verstehen, dass die Feuchtigkeitsabdichtungsschichten, welche im Regelfall aus Polymerbitumen, Kunststoffbahnen oder Flüssigkunststoffen hergestellt werden, nicht zur Anwendung kamen.

Die Betondeckenkonstruktion wurde mit XYPEX Admix C 1000 NF versehen um zusätzliche Abdichtungsmaßnahmen zu substituieren. Durch optimierte Stahlbewehrung wurden die Rissbreiten beschränkt und mit dem Betonzusatz XYPEX Admix C 1000 NF die Wasserdichtheit des Betons optimiert. Aufgrund des Entwässerungsgefälles von 0,5% ist von verbleibendem Restwasser auf der Betondeckenoberfläche auszugehen. Die Rissfreiheit des Betons kann nur mit wiederholten Prüfungen innerhalb des Nutzungszeitraums beurteilt werden. Ebenso wird die langfristige Funktionstauglichkeit hinsichtlich Wasserdichtheit regelmäßig in den Folgejahren erhoben.

Mit dieser Variante des Betonflachdaches möchte die Firma Sild einen Denkanstoß geben um bereits bekannte Systeme wie die „Weiße Wanne“ zu optimieren und flexibler zum Einsatz zu bringen.

Für Rückfragen stehen wir gerne zur Verfügung.

Flachdach aus Beton: Betontechnologie statt Abdichtung

Qualität verbessern – Bauablauf beschleunigen – Kosten reduzieren

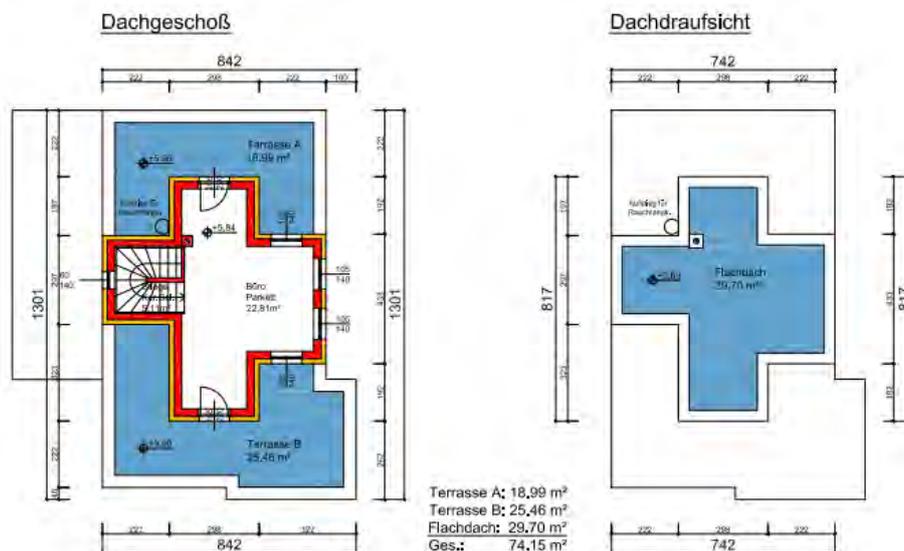
Ing. Wolfgang Hubner - IFB Institutsleiter

BM Ing. Hans Brandner - Geschäftsführender Gesellschafter sild gmbh – XYPEX Österreich

Wolfgang Schober – Vertrieb sild gmbh – XYPEX Österreich

Die Firma SILD hat in Zusammenarbeit mit dem IFB das Thema Flachdach aus Beton unter dem Aspekt **Betontechnologie statt herkömmlicher Abdichtung** bearbeitet.

Die Besonderheit ist die **nicht Beachtung der Flachdach-Abdichtungsnormen** und es kamen keine Feuchtigkeitsabdichtungsschichten zum Einsatz.



Die Besonderheit wie gesagt ist die **nicht Beachtung der Flachdach-Abdichtungsnormen** und es wurden **KEINE Feuchtigkeitsabdichtungsschichten** zu Einsatz gebracht.

Der Forschungsinhalt:

Umsetzung der Innovation „Wasserdichte Betondachaufbauten“

Flachdächer in Form von Terrassen und Balkonen

Erarbeitung und Entwicklung der Anschlussdetails

Die Evaluierung der bereits errichteten Gebäude in den letzten 10 Jahren



Die XYPEX-Technologie wurde 1968 in Kanada erforscht und 1970 auf den Markt gebracht. Xypex ist mineralisch, ungiftig und für den Einsatz in Verbindung mit Trinkwasser geeignet.

Wesentliche Produkteigenschaften sind

- Die dauerhafte Kristallstruktur innerhalb der Kapillaren
- Es wird zum integrierten Bestandteil von Beton
- Die Abdichtung erfolgt im gesamten Baukörper nicht nur an der Oberfläche wie herkömmliche Abdichtungssysteme
- Der Schutz gegen das Eindringen von Chlorid
- Unser Qualitätsanspruch ist die „Weiße Wanne“ in der Nutzungsklasse „S“ W4 also größer (>20m) Wassersäule und das bereits ab 20cm Betonstärke.
- Einzigartig ist auch das dauerhaft reaktivierbare Kristallwachstum bei Feuchtigkeitsveränderungen
- Risse und Kapillaren bis 0,4mm werden überbrückt somit ist eine Rissbreiten Bewehrung von 0,3mm ausreichend

Weitere Vorteile sind

- das Stoppen der Karbonatisierung
- der Schutz der Bewehrung vor Korrosion
- das Stoppen der Alkali-Kieselsäurereaktion (AKR)
- die sehr hohe Chemikalienbeständigkeit
- die Wiederherstellung der Tragfähigkeit im Sanierungsfall
- und die Senkung der Instandhaltungskosten durch Langlebigkeit

Es gibt zwei Einsatzbereiche für die XYPEX Technologie

Zum einen Für den Frischbeton

Da entspricht XYPEX den Anforderungen der
ÖNORM EN 934-2: Zusatzmittel für Beton, Mörtel und Einpressmörtel

Und zum anderen Für die Instandsetzung und Reparatur

Hier haben wir die Leistungserklärung nach
ÖNORM EN 1504-2: Produkte und Systeme für den Schutz und die Instandsetzung von Betontragwerken
– Oberflächenschutzprodukte und –Systeme für Beton
ÖNORM EN 1504-3: Produkte und Systeme für den Schutz und die Instandsetzung von Betontragwerken
– Statisch und nicht statisch relevante Instandsetzung

Ausblick und Lösungsansatz:

- Kostenreduktion im Sozialen Wohnbau durch optimierte Betonkonzepte
- Co² Reduktion durch Einsparungspotential bei Stahl und Beton
- Einsatz eines „situationselastischen“ Systemes im Bereich Hochbau statt herkömmlicher Abdichtungssysteme
- 2017 werden 6 Häuser die bereits Probezeiten von 4 - 12 Jahre hinter sich haben evaluiert.



Innovation – Wirtschaftlichkeit – Zuverlässigkeit

www.xypex.com



Instituzleiter Ing. Wolfgang Hubner

www.ifb.co.at

Betondrucken Erfahrungen, Entwicklungsstand, Einsatz

Das Projekt:

Im Zuge der ACR Junior Research-Projekte hat das BTI eine Förderung des Bundesministeriums für Wissenschaft Forschung und Wirtschaft erhalten und konnte das Projekt *Betondrucken* im Jahr 2015 umsetzen.

Abgewickelt wurde das Projekt vom BTI-Mitarbeiter Martin Staudinger, der seine Bachelor-Arbeit an der TU Graz über Drucken verfasst hat und dabei erste Erfahrungen mit der Hardware sammeln konnte. Partner des Projektes waren die Firma Staudinger - „sts Fertigteile“, Oberwang, welche Treppen und Sonderfertigteile aus Beton herstellt, und später dann die Firma Alp Fix, Leonding, welche unter anderem Betonzusatzmittel vertreibt.

Auf Grund von Markt- und Technologierecherchen sowie der Tätigkeitsbereiche der Partner war das Ziel recht schnell definiert: es sollten kleine Fertigteile mit einem Meter Größe und glatten, mehrfach gekrümmten Oberflächen gedruckt werden. Außerdem wurden Kontakte zu verschiedenen nationalen und internationalen „Betondruckern“ aufgenommen, um Kooperationen einzugehen und vor allem, um das Rad nicht neu erfinden zu müssen.

Grundsätzlich wird benötigt:

1. Technik = Hard- und Software
2. Material = Beton

Nachdem die Projektpartner aus dem Betonbau kommen, sollte das Material unser Anteil bleiben und die Technik mit Hilfe der Kooperationen beschafft werden.

Vom BTI wurde, wie von den meisten Betondruckern, das sogenannte Contour Crafting-Verfahren angewendet, bei dem der fertig gemischte Beton gefördert und eingebaut wird.

Aus heutiger Sicht ist das Entwickeln einer brauchbaren Betonrezeptur eher der einfachere Teil. Zu beachten ist allerdings, dass jede Änderung an der Hardware sofort eine Anpassung des Betons erfordert.

Betonrezeptur:

Bautechnisches Institut

Seite 2/2

Wegen der angestrebten glatten Oberfläche und der Feingliedrigkeit der Bauteile wurde GK 2 mm gewählt. Von der Zusammensetzung her ähnelt der verwendete Beton jenem von hochfestem Beton. Das Hauptaugenmerk liegt hier auf der Viskosität und nicht auf der Festigkeit oder sonstigen besonderen Eigenschaften.

Das Drucken erfolgt durch das schichtweise übereinanderlegen von Raupen, die sich unter Einwirkung der Schwerkraft zu einem angenähert ovalen Querschnitt verformen und verbinden. Vom BTI wurden Raupen mit einem Durchmesser von ca. 10 mm aufgetragen. Der Einbau einer Bewehrung wurde von uns zwar angedacht, konnten experimentell aber noch nicht getestet werden.

Die Technik stellte für uns die größte Herausforderung dar, weil es für unsere Dimension keine geeigneten Förder- und Auftragseinrichtungen gab und auch keine geeignete Software vorhanden war. Angewendet wurde schließlich ein adaptierter Mörtelmischer mit manueller Schlauchführung.

Das Betondrucken wird international in verschiedenen Varianten angewendet, wobei die meisten Anwender ebene Oberflächen herstellen und entsprechende Lizenzen oder Gesamtpakte anbieten. Verglichen mit der zentraleuropäischen Schal- und Fertigteiltechnik ist diese Produktionsmethode aber nicht wirtschaftlich.

Bei mehrfach gekrümmten Oberflächen dürfte die Uni Loughborough führend sein, deren Know-How aber an private Investoren verkauft wurde.

An einer interessanten Entwicklung wird an der UNI Dresden gearbeitet, weil man sich dort das Drucken von Wänden vor Ort unter Verwendung marktüblicher Betonpumpen zum Ziel gesetzt hat.

Zusammenfassung:

Im Unterschied zum Kunststoffdrucken werden beim Betondrucken wesentlich größere Bauteile erzeugt. Dadurch müssen höhere Volumina verarbeitet werden, was wiederum die Oberflächenqualität beeinträchtigt und damit die Marktchancen vermindert.

Wirtschaftlich am interessantesten erscheint das Drucken von mehrfach gekrümmten Bauteilen. Hier handelt es sich aber um Nischenprodukte, für die noch weitere, kostenintensive Entwicklungsarbeit geleistet werden muss.

Harald Mayr

BauMinator - 3D-Druck mit zementären Mörteln

Vortragender: DI Peter Weißmann/Baumit Beteiligungen GmbH

Einleitung:

Dem 3D-Druck wird in der Baustoffindustrie eine große Zukunft voraus gesagt. Die Baumit Beteiligungen GmbH hat daher vor mehreren Jahren ein großes F&E-Projekt gestartet mit dem Ziel zementäre Mörtel für den 3D-Druck zu entwickeln, zu diesem Zweck ein praxistaugliches, robustes 3D-Drucksystem zu generieren mit dem übergeordneten Ziel der Herstellung von innovativen, dreidimensionalen Bauteilen mittels Druck im additiven Filamentverfahren.

Technische Herausforderungen:

Im Projektverlauf stellte sich rasch heraus, dass die 3D-Druck-Technologie für Mörtel bzw. Betone einen sehr hohen Komplexitätsgrad aufweist und nur durch Zusammenwirken von unterschiedlichen, technischen Disziplinen praxistaugliche Lösungen resultieren können. So sind im gegenständlichen Projekt sechs Abteilungen des zentralen Baumit Headquarters in Wopfung beteiligt (Labor, Misch- und Fördertechnik, Automatisierungs- und Steuerungstechnik, IT, Mechatronik), darüberhinaus arbeiten an dem Projekt externe Partner mit.

Anforderungen an den 3D-Mörtel:

Folgende Anforderungen an die Mörteltechnologie konnten herausgearbeitet werden:

- Homogen misch- und förderbar
- Konsistenz/Viskosität
- Größtkorn an Bauteile/Verfahren angepasst
- Beschleunigung (mehrere Möglichkeiten und Konzepte)
- Standfestigkeit
- Offenzeit
- Verbund zwischen Lagen → „Klebrigkeit“
- Erstarrungs-/Erhärtungsverlauf
- Festigkeitsverlauf
- Bauteil- bzw. Mörtel-Eigenschaften je nach Expositionsanforderungen

Düsenführungssysteme und prinzipielles Funktionsprinzip von 3D-Druckern:

Die Düse als zentrales Bauelement des 3D-Drucksystems wird mittels 3D-Software räumlich gesteuert (ansteuern von Koordinaten x, y, z).

Neben kartesischen Druckersystemen sind Delta-Druckersysteme bzw. der Druck mittels Robotern derzeit angedachte Drucker- bzw. Düsenführungskonzepte.

Die prinzipielle Funktionsweise eines 3D-Druckers für zementäre Mörtel ist folgende: Mittels entsprechender Software (Autocad etc.) werden dreidimensionale Gebilde zeichnerisch erfasst, durch geeignete 3D-Software wird das Bauteil in Filamente unterteilt („Slicing“).

D. h. es werden automatisch Pfade generiert, welche der Mörtel mittels automatisierter Düsenführung beim späteren Druck nachbilden soll.

Mittels sogenanntem G-Code wird das Düsenführungssystem elektronisch angesteuert und der vordefinierte Pfad im Druckbetrieb nachgefahren. Der Mörtelauftrag erfolgt schichtenweise, durch Verklebung der einzelnen Bahnen entsteht ein homogener Bauteil.

Entwicklungsprozess:

Anhand einiger Beispiele (Fotos und Film) wird der Entwicklungsprozess des Druckverfahrens dargestellt. Ausgehend von einfachen, händischen Mörtelversuchen mittels „Dressiersack“ erfolgten in einem zweitem Stadium Versuche mittels Delta-Drucker, ehe letztendlich die Wahl auf Roboter für die automatisierte Düsenführung fiel.

Anhand umfangreicher Materialversuche und sukzessiven Weiterentwicklungen am Drucksystem gelangen wesentliche Entwicklungsfortschritte, die Druckergebnisse konnten massgeblich verbessert werden, sodass mittlerweile relativ komplexe Bauteile gedruckt werden können (z. B. Stiegenelement).

Bild: 10:1 Modell (60x60m) eines BAUMIT-Klebeankers (Befestigungssystem für WDVS-Fassaden)



Im Vortrag wird auch kurz auf erste Materialprüfungen eingegangen: Frühfestigkeitsbestimmungen mittels Bolzensetz- und Ziehverfahren (angelehnt an Spritzbetonprüfungen), Prüfung des Schichtlagenverbundes in Abhängigkeit der Wartezeit des Layer-Auftrages sowie Biegezug- und Druckfestigkeitsprüfungen.

Ausblick:

Das zukünftige Potential des 3D-Drucks als Herstellverfahren für geformte Bauteile/Baustoffanwendungen wird durch den positiven Projektverlauf bestätigt. Wesentliche technologische Problemstellungen, wie Bauteil-Bewehrung, Glättung der Oberfläche etc. müssen jedoch noch gelöst werden, damit die Technologie einen Durchbruch erfahren kann.

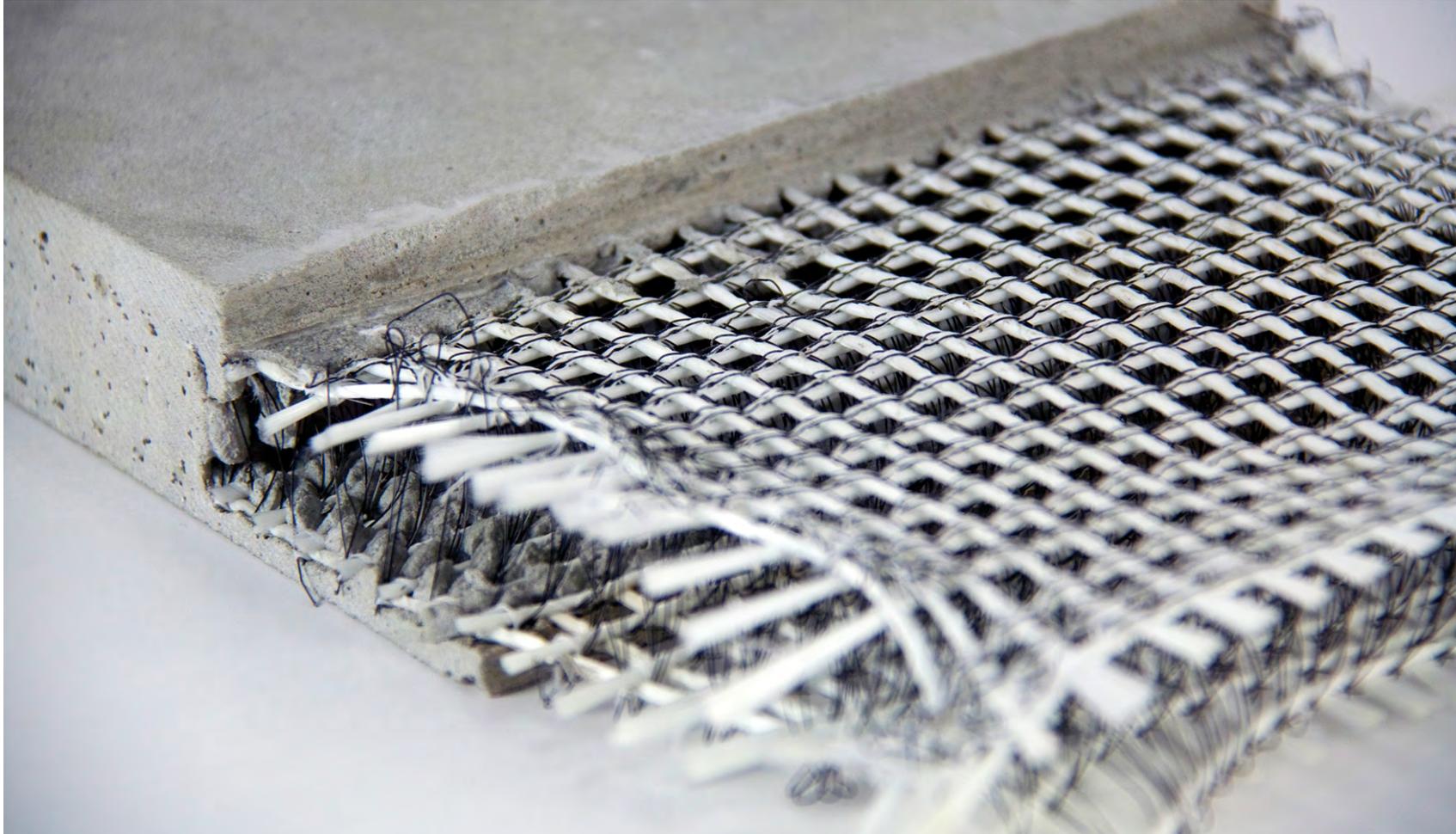
STEINHAUT, SCHAUKELSTUHL UND SITZHEIZUNG

Kreative Lösungen mit Textilbeton

EINFÜHRUNG – AGENTUR FÜR MARKENKOMMUNIKATION



BETON KANN ÜBERRASCHEN / TEXTILBETON ERLEBBAR MACHEN



BETON KANN ÜBERRASCHEN / TEXTILBETON ERLEBBAR MACHEN



BETON KANN ÜBERRASCHEN / TEXTILBETON ERLEBBAR MACHEN

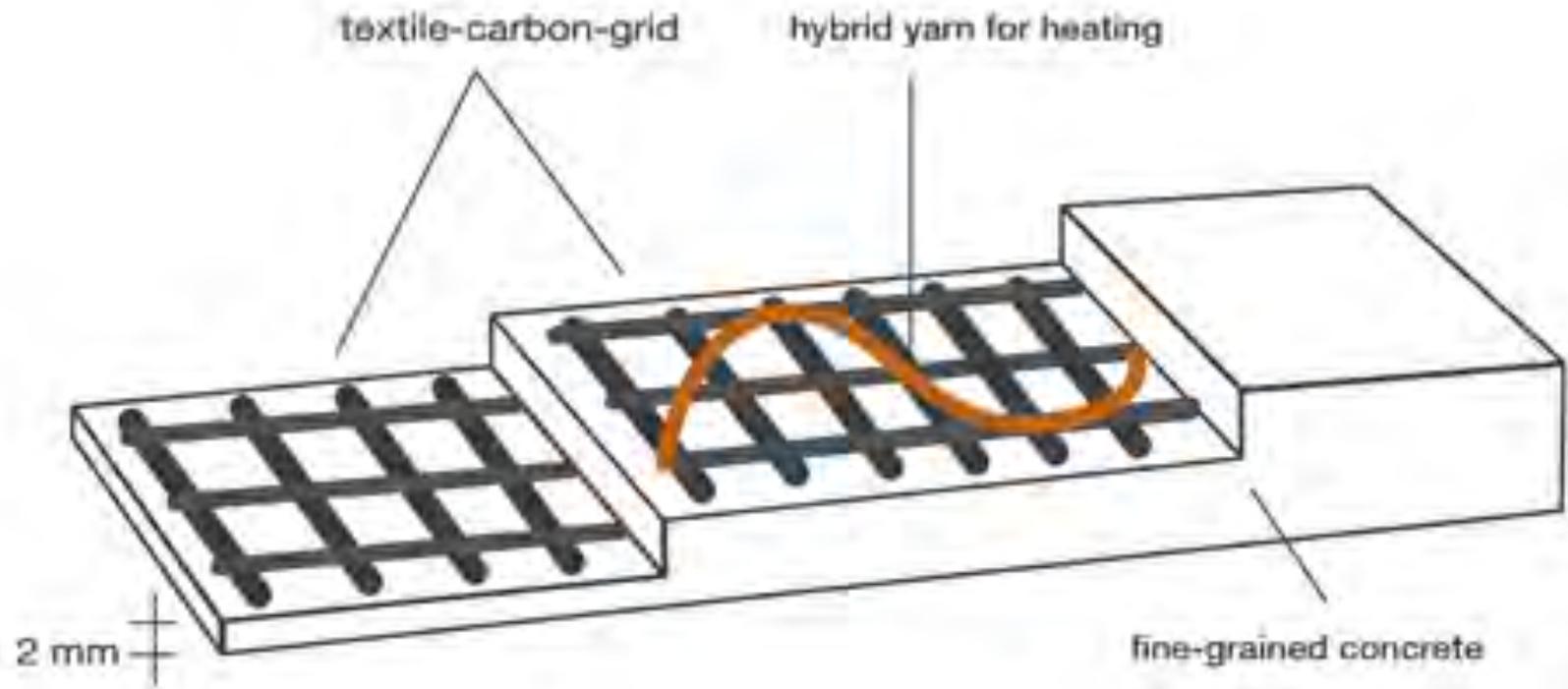


BETON KANN ÜBERRASCHEN / TEXTILBETON ERLEBBAR MACHEN

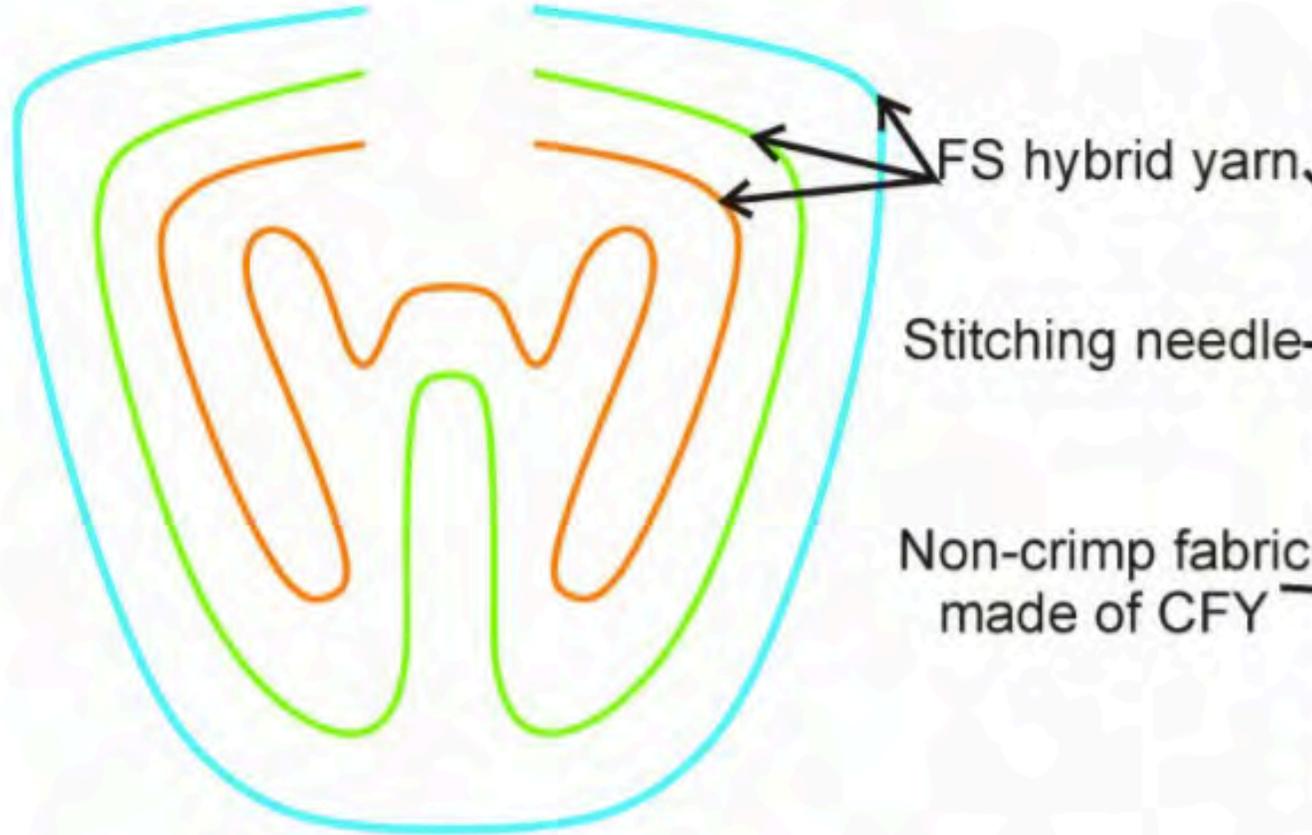


BETON KANN ÜBERRASCHEN / TEXTILBETON ERLEBBAR MACHEN

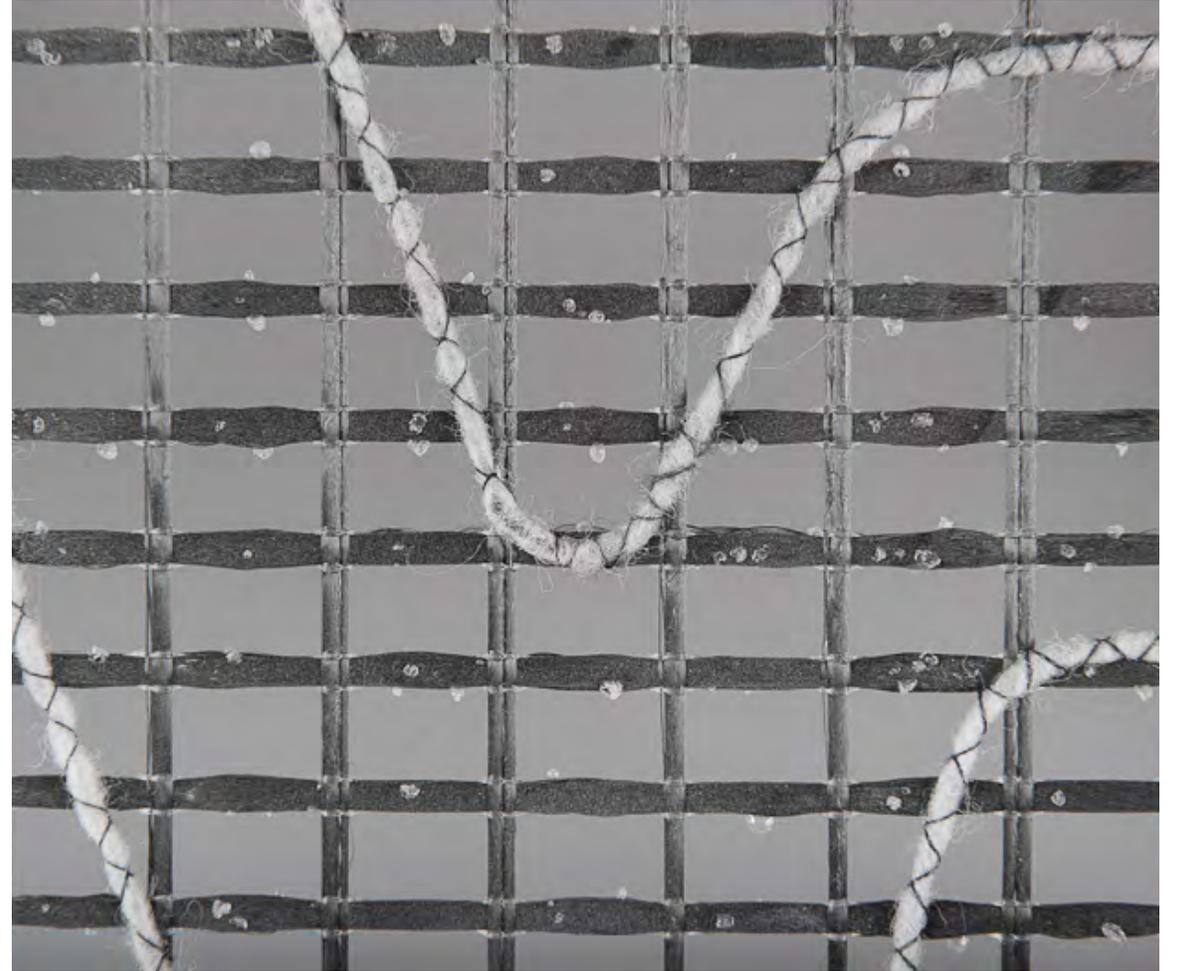
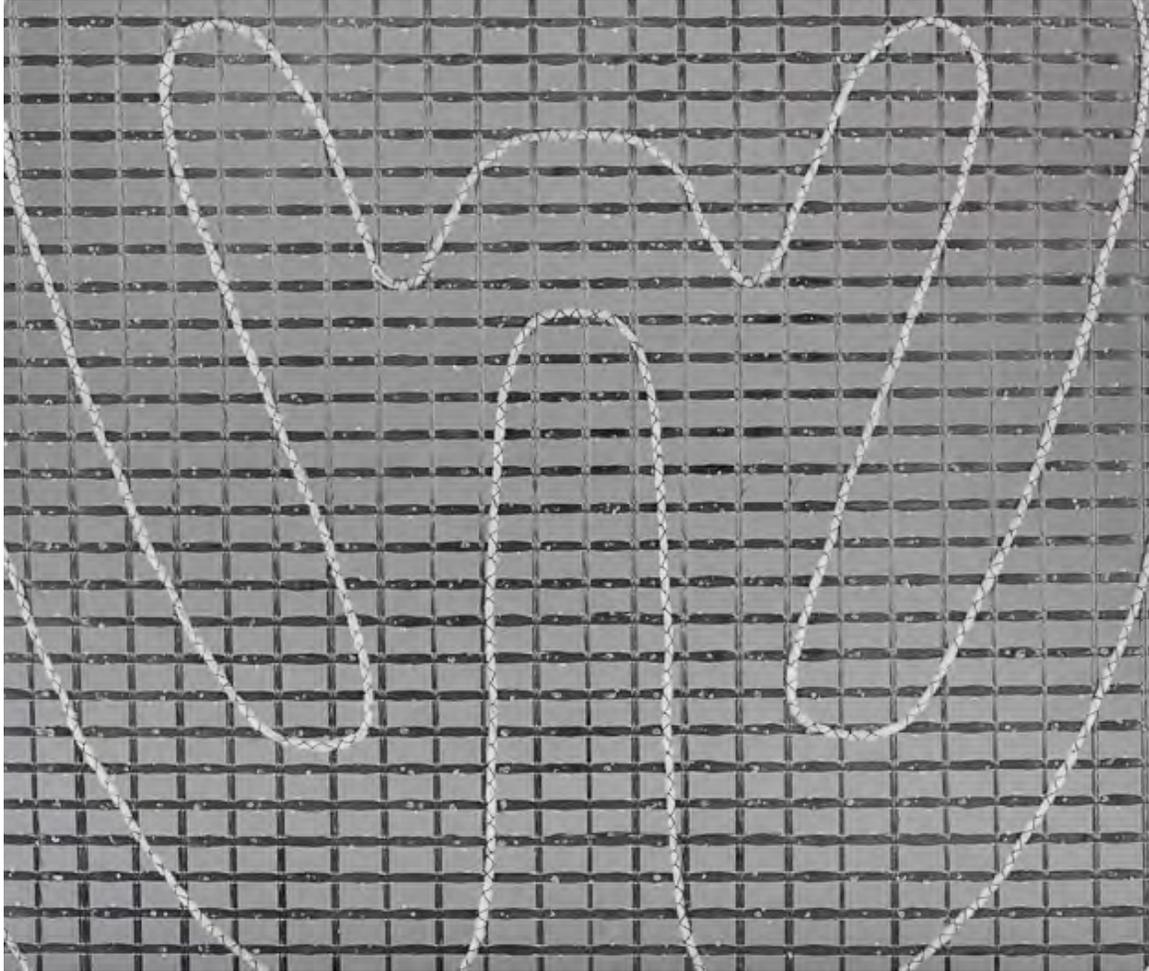
BETON KANN WÄRMEN / HYBRIDTEXTIL ZUR ERWÄRMUNG VON BETONoberflächen



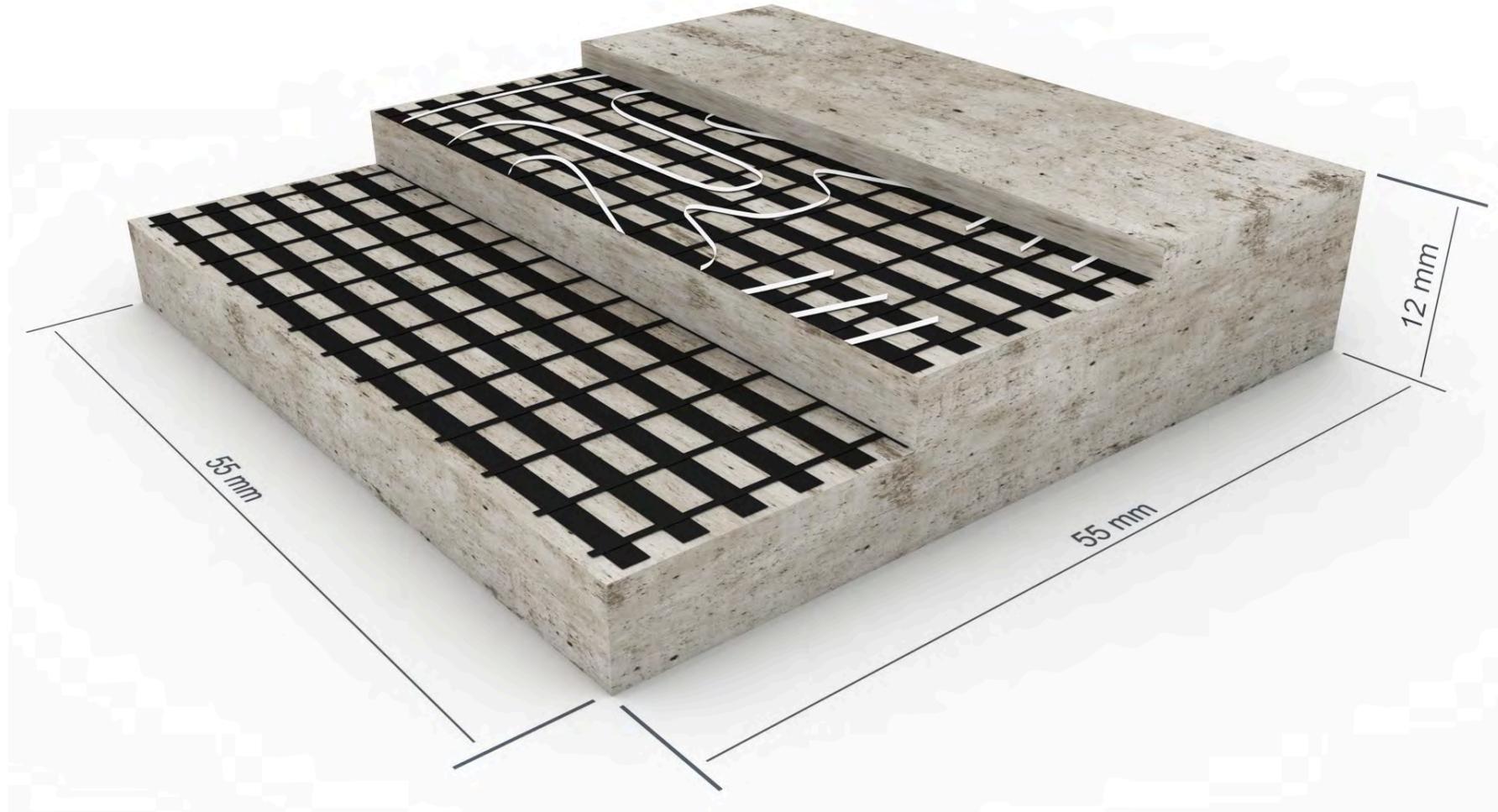
BETON KANN WÄRMEN / HYBRIDTEXTIL ZUR ERWÄRMUNG VON BETONOBERFLÄCHEN



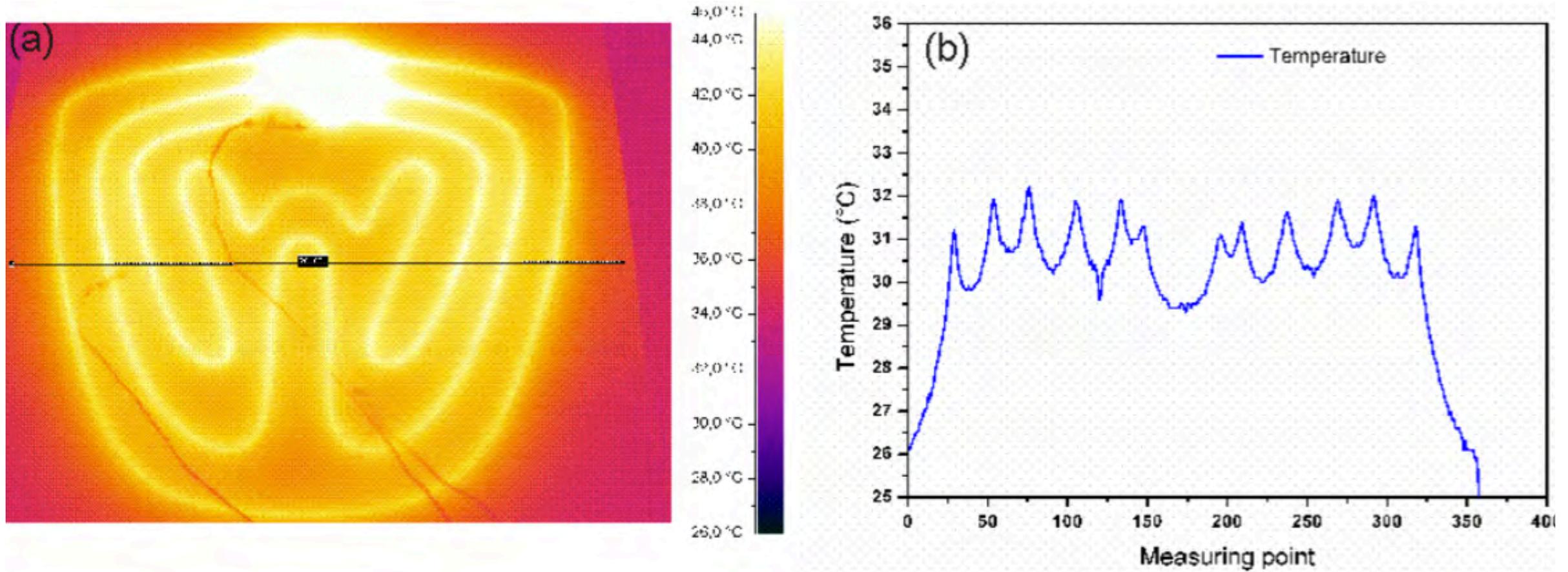
BETON KANN WÄRMEN / HYBRIDTEXTIL ZUR ERWÄRMUNG VON BETONoberflächen



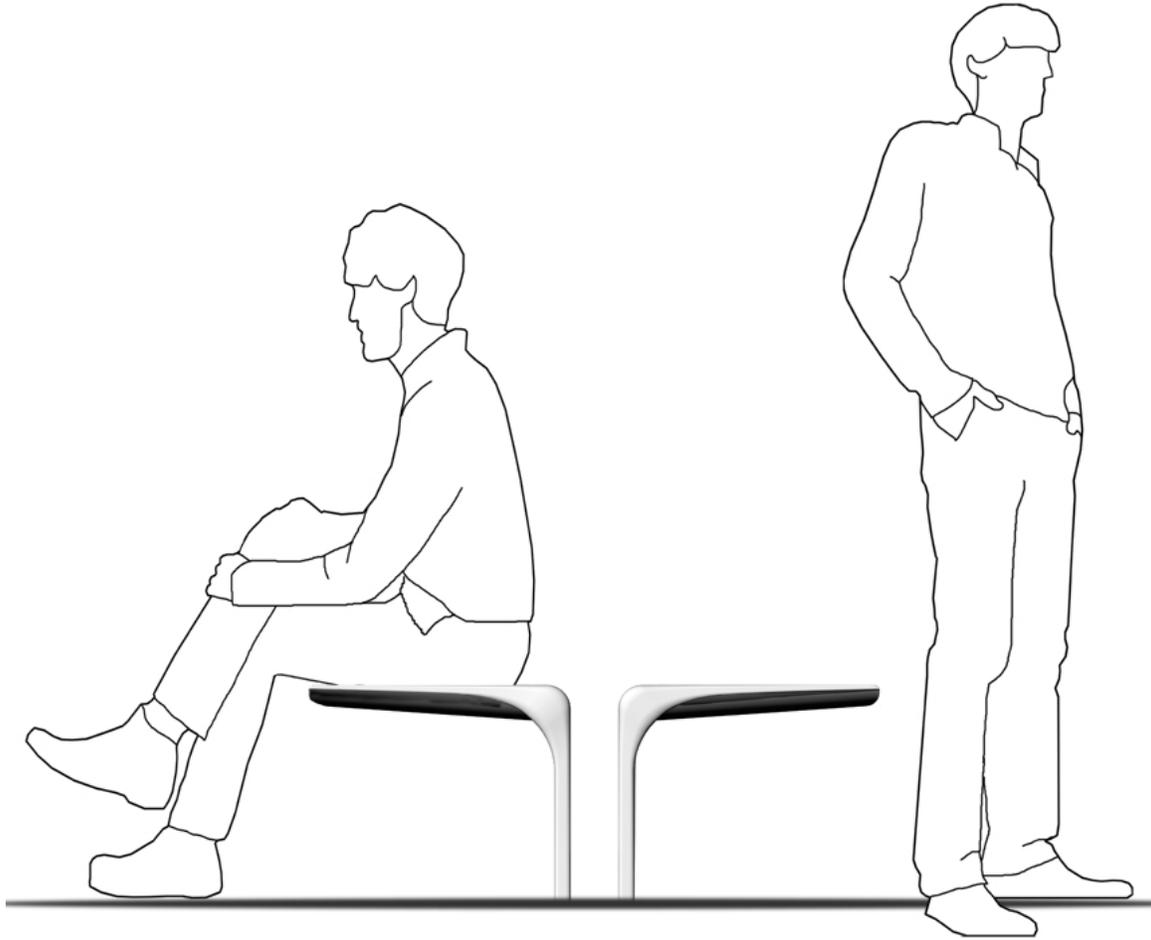
BETON KANN WÄRMEN / HYBRIDTEXTIL ZUR ERWÄRMUNG VON BETONoberFLÄCHEN



BETON KANN WÄRMEN / HYBRIDTEXTIL ZUR ERWÄRMUNG VON BETON OBERFLÄCHEN



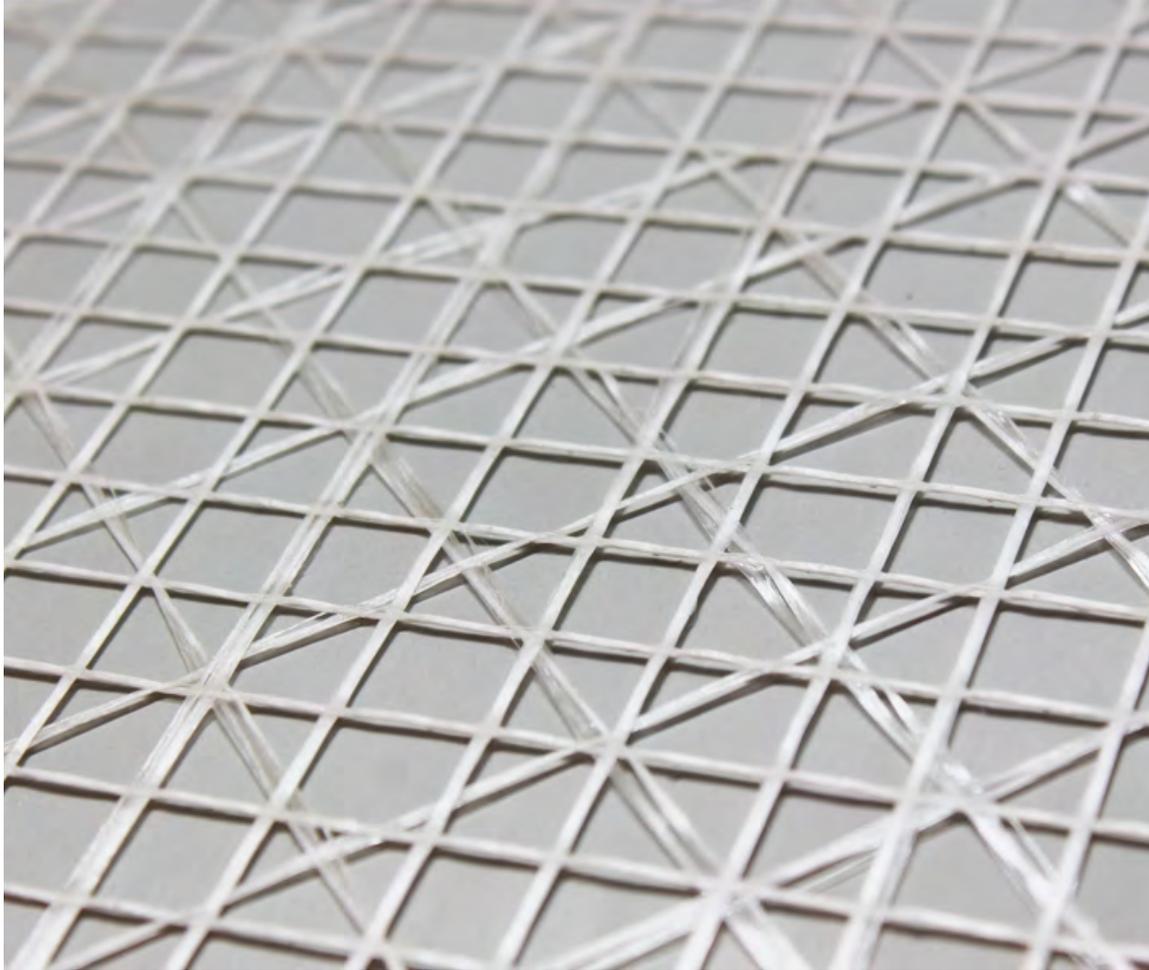
BETON KANN WÄRMEN / HYBRIDTEXTIL ZUR ERWÄRMUNG VON BETONoberflächen



BETON IST STEINHAUT / HOCHÄSTHETISCHE WANDVERKLEIDUNG AUS TEXTILBETON



BETON IST STEINHAUT / HOCHÄSTHETISCHE WANDVERKLEIDUNG AUS TEXTILBETON



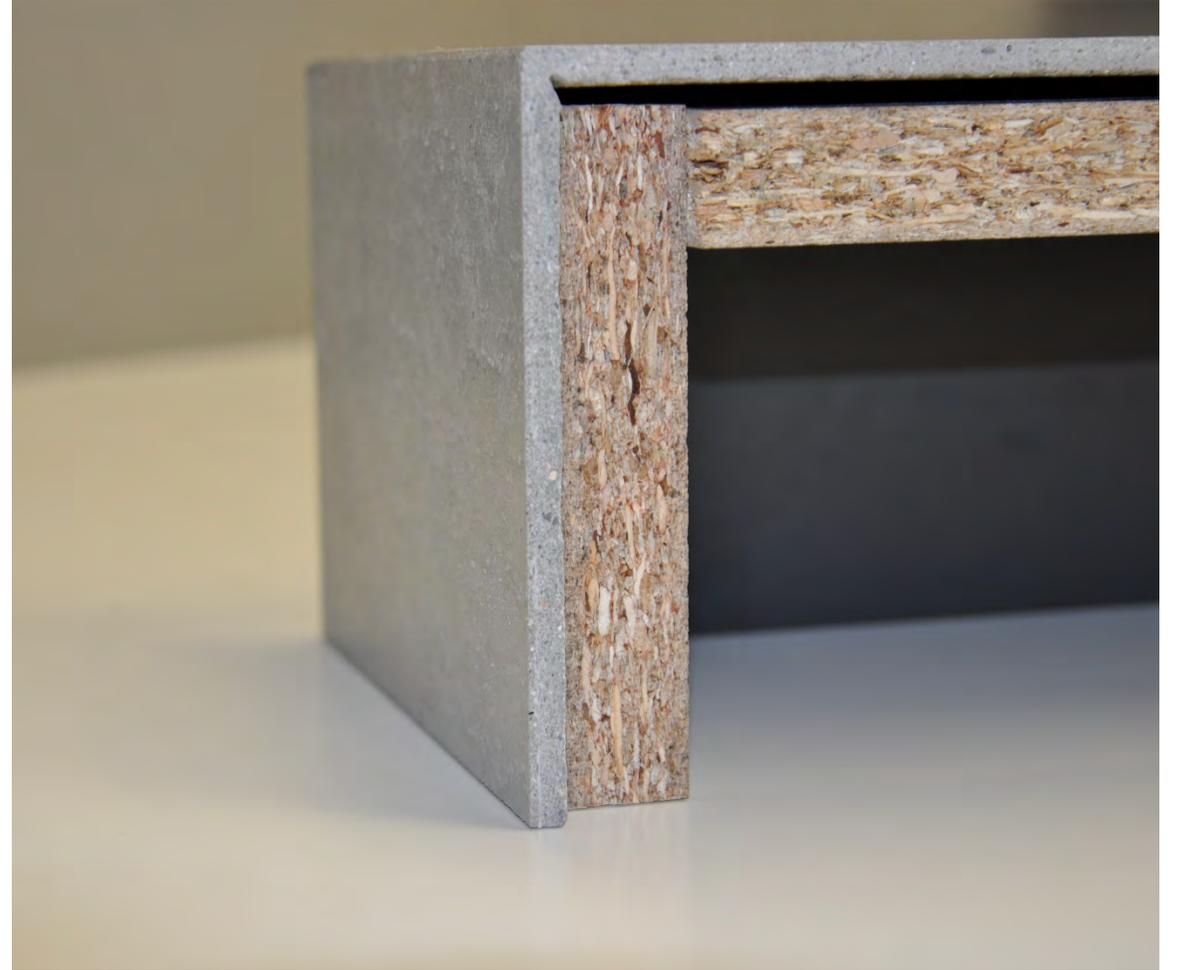
BETON IST STEINHAUT / HOCHÄSTHETISCHE WANDVERKLEIDUNG AUS TEXTILBETON



BETON IST STEINHAUT / HOCHÄSTHETISCHE WANDVERKLEIDUNG AUS TEXTILBETON



BETON IST STEINHAUT / HOCHÄSTHETISCHE WANDVERKLEIDUNG AUS TEXTILBETON



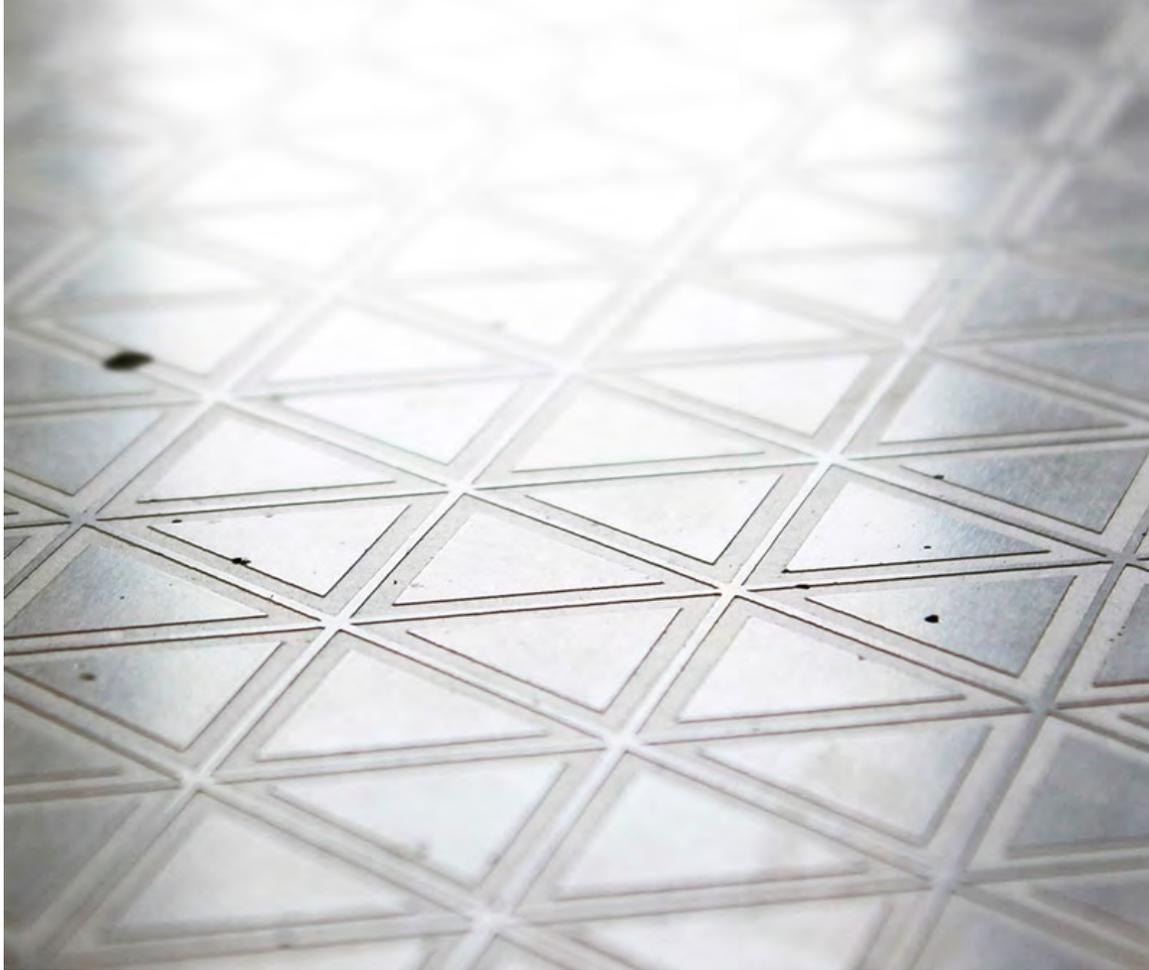
BETON IST STEINHAUT / HOCHÄSTHETISCHE WANDVERKLEIDUNG AUS TEXTILBETON



BETON IST STEINHAUT / HOCHÄSTHETISCHE WANDVERKLEIDUNG AUS TEXTILBETON



BETON IST STEINHAUT / HOCHÄSTHETISCHE WANDVERKLEIDUNG AUS TEXTILBETON



BETON IST STEINHAUT / HOCHÄSTHETISCHE WANDVERKLEIDUNG AUS TEXTILBETON



VIELEN DANK!

www.paulsberg.co

Neues Transportankersystem für Doppelwände

Bernhard Krug

Leitung Forschung & Entwicklung
Franz Oberndorfer GmbH & Co KG

Lambacher Straße 14, A-4623 Gunskirchen, Österreich

Zum Heben von Fertigteilen werden üblicherweise Transportankersysteme (TS) bestehend aus Transportanker (TA) und Lastaufnahmemittel (LA) verwendet (siehe Abb. 1). Die TS müssen dazu alle Einwirkungen die bei Hebevorgängen während der Fertigung, beim Transport, bei der Manipulation und bei der Montage entstehen sicher aufnehmen. Gerade bei TS gilt ein spezielles Augenmerk der Sicherheit und Zuverlässigkeit, da bei einem Versagen nicht nur schwere Bauteilschäden, sondern vor allem erhebliche Personenschäden entstehen können. Daher müssen TS mit hoher Qualität gefertigt, sorgfältig für die jeweilige Anwendung ausgewählt und bemessen sowie durch geeignetes Personal vorschriftsmäßig eingebaut und verwendet werden. Verwechslungsfreiheit und einfache Handhabung gehören ebenfalls zu den Grundanforderungen.

Da TS keine Bauprodukte sind, gilt als rechtliche Grundlage eine CE-Kennzeichnung auf Basis der Maschinen-Richtlinien 2006/42/EG in Verbindung mit der Richtlinienreihe VDI/BV-BS 6205, die auf Initiative des Bundesverbands Bausysteme e.V entstanden ist. Die VDI/BV-BS 6205 besteht aus Teil 1: Allgemeine Grundlagen, Teil 2: Herstellen und in Verkehr bringen sowie Teil 3: Planung und Anwendung.

Derzeit gibt es geprüfte und CE gekennzeichnete Systeme für Decken (z.B. Elementdecke, Hohldiele), Monowände, Sandwichwände, Treppen und stabförmige Fertigteile. Eine Sonderstellung nehmen die Doppelwände und kernisolierte Doppelwände ein, da hierzu kaum geprüfte und CE gekennzeichnete System am Markt verwendet werden.

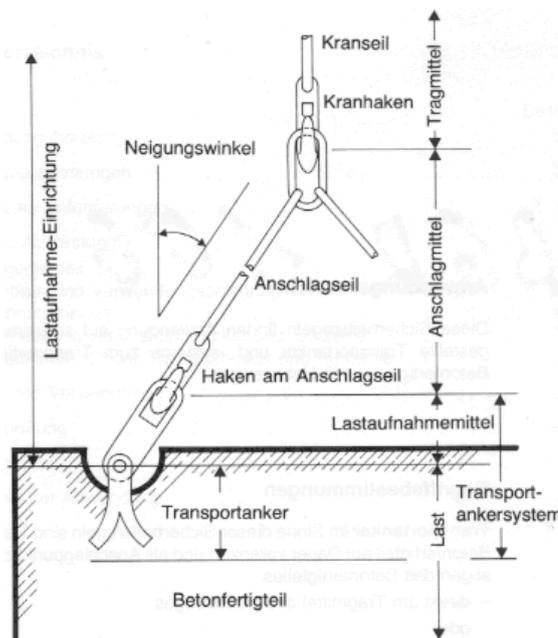


Abb. 1: Definition Transportankersystem

Die derzeitigen TS für Doppelwände werden oftmals aus Rundstahl, häufig auch vom Fertigteilwerk selbst, hergestellt. Dazu gibt es mehrere Hersteller mit unterschiedlichen Ausprägungen wie beispielhaft in **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** dargestellt. Zusätzlich gibt es auch noch Ausführungen als Tragblech oder als Rohr.



Abb. 2: Ausführungsvarianten TA aus gebogenem Rundstahl

Nachdem die Doppelwand als Bauteil im modernen Hochbau immer mehr an Bedeutung gewinnt und damit auch die Anforderungen an die Doppelwand steigen, erhöhen sich auch die Anforderungen an das Transportankersystem. Wesentlichen Anforderungen an ein TS für Doppelwände sind:

- Unterschiedliche TA-Breiten bei gleicher Wandstärke (Betondeckung, Stabdurchmesser, Einbau längs/quer)
- Einsatz bei dünnen Wandschalen
- Kälte- bzw. Wärmebrückenfreiheit

- Eignung für Schrägzug
- Eignung für das Aufdrehen der Wände
- Automatische Auslösung
- CE-Kennzeichnung
- Sicherheit / Zuverlässigkeit

Daraus ergibt sich die Aufgabenstellung, ein nach EG Maschinenrichtlinie/VDI/BV-BS 6205 geprüft und CE gekennzeichnetes TS zu schaffen, welches in Doppelwänden sowie in kernisolierten Doppelwänden Anwendung findet. Das TS muss so beschaffen sein, dass es im Fertigteilwerk fehlerfrei und leicht einzubauen ist, Schrägzug aufnehmen kann und keine Wärmebrücken verursacht. Zudem sollte das TS auch in dünnen (bis zu 4,5cm) Wandschalen zuverlässig funktionieren. Als besonders erstrebenswert wird eine automatische Auslösung angesehen, da sich die Montagearbeiten in großen Höhen dadurch auf ein Minimum reduzieren lassen.

Dieser Aufgabenstellung hat sich die Fa. Franz Oberndorfer GmbH & Co KG in Kooperation mit der Fa. Halfen GmbH gestellt und entwickelt derzeit ein neuartiges Transportankersystem für Doppelwände.

MATERIAL(R)EVOLUTION

ARGE Grasser Murero

DIPL.ING. GEORG GRASSER

DIPL.ING. MARTIN MURERO



Material(R)evolution ist ein Projekt das aus der AWS Impulse XS Förderung 2015 entstanden ist. Ebenso die Gründung der ARGE Grasser Murero.

Ziel war es Beton, durch innovative Verarbeitungsprozesse in ein neues Licht zu stellen.

Georg Grasser und Martin Murero haben sich dadurch dem Thema selbstorganisierte Faltung von Textilien und deren Formensprache gewidmet. Ziel war es, die Geometrie dieser Formen mit einer einfachen Schalungs-Methode in das Material Beton zu übersetzen.

Dazu haben sie ein eigenes Verfahren für Faltungen erfolgreich zur Produktreife gebracht. Beton, Fasern und Textil zwischen zwei Folien „verpackt“ lassen sich als Betonmatrix wie Teig be- und verarbeiten. Design Objekte – Vasen, Tische und Waschbecken – beeindrucken durch ihren individuellen Einzelstück-Charakter.

Einerseits ist es den beiden Architekten gelungen, das Thema Schalung neu zu definieren, andererseits eröffnet das Verfahren völlig neue Designansätze. Beton bekannt als schweres, massives Material, erlebt hier eine völlig neue Formensprache der Leichtigkeit.

Derzeit arbeiten Grasser und Murero an der Realisierbarkeit neuer Formen und an der Weiterentwicklung des Verfahrens.

www.materialrevolution.at

www.instagram.com/materialrevolution_at



Versuche zur Studie des Querkraftversagens bei Durchlaufträgern

Nguyen Viet Tue, Nguyen Duc Tung, Christoph Betschoga

1. Versuchsbeschreibung

Die meisten vorhandenen Schubversuche sind Einfeldbalken mit Einzellasten. Da die Querkrafttragfähigkeit nicht nur eine Querschnitteigenschaft, sondern von statischem System und der Belastungsart deutlich beeinflusst wird [1], wurden in einer Versuchsserie 5 Durchlaufträger (SV-6.1, SV 6-2, SV-7.1, SV-7.2, SV-8) aus Stahlbeton unter Gleichstreckenlasten getestet. Der Schwerpunkt der Untersuchung lag in der Erfassung des Einflusses der M/V-Kombination und somit des Rissbildes auf die Querkrafttragfähigkeit bei Durchlaufträgern. Der Querschnitt mit $b \times h = 17 \times 45$ cm und einer zugehörigen statischen Nutzhöhe von ca. 40 cm wurde daher bei allen Versuchen nicht geändert. Weiterhin wurde der Längsbewehrungsgrad bei allen Versuchen konstant gehalten. Um ein vorzeitiges Biegeversagen im Feld- bzw. Stützbereich auszuschließen, kamen bei den Versuchen SV-6.2 bis SV-8 hochfeste Stäbe SAS 670/800 $\varnothing 18$ mm zum Einsatz. Beim Versuch SV-6.1 wurde lediglich die feldseitige Biegezugbewehrung mittels normalfesten Stäben BST 550 $\varnothing 20$ mm ausgeführt. Der Längsbewehrungsgrad beträgt 0,74% bzw. 0,91% für die Bereiche, in denen normalfeste Bewehrung $\varnothing 20$ mm verwendet wurde. Um ein Schubversagen im untersuchten Bereich sicherzustellen, wurden die nicht untersuchten Bereiche mit einer Bügelbewehrung $\varnothing 4.3$ mm (Versuche SV-6.2 bis SV-8) bzw. $\varnothing 6$ mm (Versuch SV 6.1) ausgeführt. Die verwendete Betonsorte war C25/30. In Bild 1 ist die Bewehrungsanordnung der Versuche dargestellt.

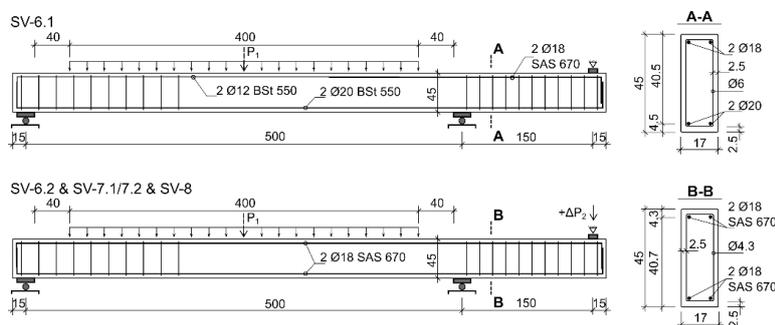
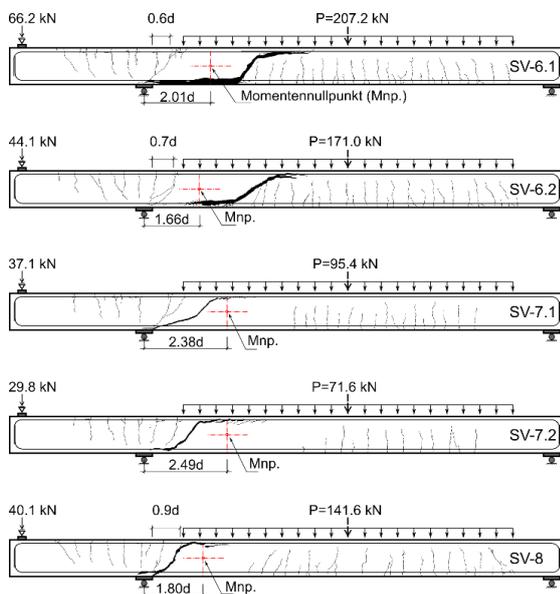


Bild 1 Statisches System, Belastung und Bewehrungsführung der einzelnen Versuchsbalcken

2. Ergebnisse

Die Stelle des kritischen Schubrisses, sowie das zugehörige Rissbild nach dem Versagen können Bild 2 entnommen werden. Interessant ist dabei, dass der kritische Schubriss trotz identischer statischer Systeme und Balkengeometrien an sehr unterschiedlichen Stellen auftrat. Bei den Balken SV-6.1 und SV-6.2 trat der erste geneigte Schubriss über dem Mittelauflager relativ früh auf. Er entwickelte sich aus dem letzten auftretenden Biegeriss (Abstand in etwa 0,6 bzw. 0,7d) und führte direkt in die Druckzone über dem Mittelauflager. Wie in [1] postuliert wurde, ist eine notwendige Bedingung für das Schubversagen, dass der kritische Schubriss die Risspitzen zweier benachbarter Biegerisse verbindet und dabei die Zug- und Druckzone voneinander trennt. Wegen der geringen Länge des Bereichs mit negativer Biegebeanspruchung konnte sich bei den Balken SV-6.1 und SV-6.2 auch bei Lasterhöhung kein weiterer Biegeriss im Stützbereich ausbilden, sodass der Schubriss über dem Mittelauflager nicht zum Versagen führen konnte. Der kritische Schubriss trat stattdessen feldseitig neben dem Momentennullpunkt durch die Verbindung zweier Biegerisse auf. Die Querkraftbean-

spruchung an dieser Versagensstelle (nahe dem Momentennullpunkt) ist im Vergleich zur auflagnahen Stelle gering, was die hohe ertragbare Querkraftbeanspruchung (bezogen auf den Schnitt am Mittelaufleger) dieser Balken erklärt. Durch eine zusätzlich aufgebrachte Kraft am Endauflager des kurzen Felds bei den Balken SV-7 bis SV-8 wurde der Bereich mit negativer Biegebeanspruchung über dem Mittelaufleger vergrößert. Dies hat die Bildung weiterer Biegerisse im Mittelauflegerbereich bei entsprechender Lastaufbringung ermöglicht und das Querkraftversagen trat durch einen kritischen Schubriss nahe dem Mittelaufleger auf. Die durchgeführten Versuche zeigen einen deutlichen Einfluss der Biegerissbildung auf die Querkrafttragfähigkeit von Durchlaufträgern. Die Rissbildung von unterschiedlichen Lastfallkombinationen müssten offensichtlich bei der Schubbemessung berücksichtigt werden, um eine sichere und realitätsnahe Vorhersage der Querkrafttragfähigkeit zu ermöglichen. Weitere Einzelheiten werden im Vortrag meigeteilt



Literatur:

- [1] N. V. TUE, W. THEILER UND N. D. TUNG, Schubverhalten von Biegebauteilen ohne Querkraftbewehrung. *Beton- und Stahlbetonbau* 109 (2014), Heft 10, S. 666-677.

3. Schlussfolgerungen

Die infolge der Verformungseinwirkungen entstehende Zwangskraft in Stahlbeton- und Spannbetonbauteilen hängt von verschiedenen Faktoren ab. Ihre realistische Abschätzung gehört zu den interessantesten Bemessungsaufgaben. Es geht hierbei einzig darum, die Verformungskompatibilität unter Berücksichtigung der gewünschten Gebrauchseigenschaften des betrachteten Bauwerks zu erzielen. In den heutigen Massivbaunormen, national wie auch international, wird davon ausgegangen, dass mit der Aufnahme der Risschnittgröße durch die Bewehrung eine sukzessive Rißbildung möglich ist und somit die Verformungskompatibilität automatisch erreicht wird. Durch den vom Tragwerksplaner zu wählenden Zeitpunkt der Rissbildung und die mechanisch nicht immer nachvollziehbare Reduzierung der Risskraft bei dicken Bauteilen schlichen sich jedoch Unsicherheiten in das Bemessungskonzept ein. Die zahlreichen Schäden, vor allem in Form von Undichtigkeiten bei wasserundurchlässigen Konstruktionen wie weißen Wannen, verdeutlichen die Inkonsistenz des heutigen Bemessungskonzepts.

Mit einem direkt auf der Verformungskompatibilität basierenden Bemessungskonzept können die Schwächen des heutigen Konzepts aufgehoben werden, da hierbei die gesamt aufzunehmende Verformung berücksichtigt wird. Die durch den Zwang behinderte Verformung ist in diesem Zusammenhang entscheidend und nicht der Zeitpunkt der Rissbildung. Die Rechenbeispiele zeigen, dass die mit dem neuen Konzept ermittelte Mindestbewehrung im Erfahrungsbereich liegt. Bei dünnen Bauteilen, in denen die Verformungskompatibilität über die Primärrisse zu erzielen ist, kann die von der Bewehrung aufzunehmende Kraft auf die Risschnittgröße zurückgeführt werden. Bei dicken Bauteilen, in denen der Rissprozess nur einen Teil des Querschnitts umfasst, wird die Stahlspannung dagegen allein von der zum Erreichen der Verformungskompatibilität erforderlichen Anzahl der Risse bestimmt. Dies unterstreicht die mechanische Konsistenz des neuen Nachweiskonzepts. Das neue Nachweiskonzept eröffnet ebenfalls die Möglichkeit, all die Einflüsse zur Reduzierung der aufzunehmenden Verformungen (z.B. Reduzierung der Frischbetontemperatur, Verwendung von Zement mit geringer Wärmeentwicklung) bzw. Maßnahmen zur Erhöhung der aufnehmbaren Verformung durch den Beton infolge seiner viskoelastischen Eigenschaften quantitativ zu berücksichtigen. Dies fördert die Zusammenarbeit zwischen Betontechnologen und Tragwerksplanern, die wir im Zusammenhang mit der Begrenzung der Rißbreite infolge des Hydratationsprozesses unbedingt verbessern sollten. Darüber hinaus kann die Frage nach der Überlagerung zwischen frühem und spätem Zwang auf einer sicheren, mechanischen Basis beantwortet werden.

4. Literatur

- [1] Paas, U.: Mindestbewehrung für verformungsbehinderte Betonbauteile im jungen Alter. DAfStb, Heft 489, Beuth Verlag, Berlin 1998.
- [2] Rosta'sy, F. S., Krauß, M.: frühe Risse in massigen Betonbauteilen - Ingenieurmodelle für die Planung von Gegenmaßnahmen. DAfStb, Heft 520, Beuth Verlag, Berlin 2001.

- [3] Bödefeld, J.: Rissmechanik in dicken Stahlbetonbauteilen bei abfließender Hydratationswärme, in: Mitteilungsblatt der Bundesanstalt für Wasserbau Nr. 92, Karlsruhe, April 2010
- [4] König, G., Fehling, E.: Rissbreitenbeschränkung bei voll oder beschränkt vorgespannten Betonbrücken. Beton und Stahlbetonbau (1998). Heft 7, S. 161-166 und Heft 8, S. 138-241.
- [5] König, G.; Tue, N.: Grundlagen und Bemessungshilfen für die Rissbreitenbeschränkung im Stahlbeton und Spannbeton sowie Kommentare, Hintergrundinformationen und Anwendungsbeispiele zu den Regelungen nach DIN 1045, EC 2 und Model Code 90. DAFStb, Heft 466, Beuth Verlag, Berlin 1996
- [6] DIN 1045-1: Tragwerke aus Stahlbeton und Spannbeton, Teil 1: Bemessung und Konstruktion, Berlin, August 2008
- [7] DIN EN 1992-1-1: Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken – Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau, Berlin, Januar 2011
- [8] Schießl, P.: Grundlagen der Neuregelung zur Beschränkung der Rissbreite, in: DAFStb Heft 400, Beuth Verlag, Berlin, 1988
- [9] Puche, M.: Rissbreitenbeschränkung und Mindestbewehrung bei Eigenspannungen und Zwang, DAFStb, Heft 396, Beuth Verlag, Berlin, 1988
- [10] Bergner, H.: Rissbreitenbeschränkung zwangbeanspruchter Bauteile aus hochfestem Normalbeton, DAFStb, Heft 482, Beuth Verlag, Berlin, 1997
- [11] DIN-Fachbericht 102: Betonbrücken, 2. Auflage, Berlin 2009
- [12] Tue, N, Pierson R.: Ermittlung der Rissbreite und Nachweiskonzept nach DIN 1045-1. Beton- und Stahlbetonbau 96 (2001), S. 365-372
- [13] Helmus, M.: Mindestbewehrung zwangbeanspruchter dicker Stahlbetonbauteile, DAFStb, Heft 412, Beuth Verlag, Berlin 1990
- [14] Meyer, G.: Rissbreitenbeschränkung nach DIN 1045, Beton-Verlag, Düsseldorf, 1989
- [15] Maurer, R., Tue, N.V., Havaresch, K.-H., Arnold, A.: Mindestbewehrung zur Begrenzung der Rissbreiten bei dicken Wänden, in: Bauingenieur, Band 80, 2005
- [16] Menn, C.: Zwang und Mindestbewehrung, in: Beton- und Stahlbetonbau 81, Heft 4, Verlag Ernst&Sohn, Berlin, 1986
- [17] Wiesner, R., Grünberg, J.: Bauwerksmessungen an der Schifffahrtsschleuse Bremen – Schleusensole, Bericht Nr. 9834 des Instituts für Massivbau der Universität Hannover, im Auftrag der Bundesanstalt für Wasserbau, Hannover, 2001, unveröffentlicht
- [18] Hennig, J., Krauß, M., Nothnagel, R., Laube, M., Gutsch, A.-W.: Rechnerische Untersuchung zur Zwangrissbildung und Erstellung eines Bemessungskonzeptes am Beispiel Schleuse Hohenwarthe, Forschungs- und Entwicklungsbericht 1476/2742 der MPA Braunschweig, Braunschweig 2004, unveröffentlicht

- [19] Tue, N.V., Schlicke, D.: Beanspruchung einer dicken Bodenplatte infolge des Abfließens der Hydratationswärme – Nachrechnung der Messungen an der Schleuse Sülfeld – Süd mit dreidimensionaler FE-Modellierung, Bericht des Instituts für Massivbau und Baustofftechnologie der Universität Leipzig im Auftrag der Bundesanstalt für Wasserbau Karlsruhe, Leipzig, 2007, unveröffentlicht
- [20] Tue, N.V., Schlicke, D.: Zwangbeanspruchung massiver Schleusenammerwände infolge der Hydratationswärme – Messwerterfassung, Beanspruchungsanalyse und Nachrechnung mit dreidimensionaler FE-Modellierung am Beispiel der Schleuse Sülfeld–Süd, FuE-Bericht der König und Heunisch Planungsgesellschaft mbH Leipzig im Auftrag der Bundesanstalt für Wasserbau Karlsruhe, Leipzig, 2009, unveröffentlicht
- [21] Tue, N.V., Schlicke, D.: Untersuchungen zum Rissabstand bei massiven Wand-Fundament-Systemen infolge der Beanspruchung aus der Hydratationswärme, Bericht der König und Heunisch Planungsgesellschaft mbH im Auftrag der Bundesanstalt für Wasserbau Karlsruhe, Leipzig, 2009, unveröffentlicht
- [22] CEB-Bulletin d'Information: CEB-FIP Model Code 1990, Design Code, Verlag Thomas Telford, London, 1993
- [23] Erläuterungen zu DIN 1045-1, DAfStb, Heft 525, Berlin, 2003
- [24] Fischer, A.: Modelluntersuchungen zur Ermittlung des Rissabstandes dicker Bauteile aus Stahlbeton, Fortschrittsberichte VDI, Reihe 4: Bauingenieurwesen, Nr. 118, VDI Verlag GmbH, Düsseldorf, 1993
- [25] Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen Wasserbau, Leistungsbereich 215, Beton und Stahlbeton, Bundesminister für Verkehr, Bau und Wohnungswesen, Bonn, 2004

Nachrechnung der Querkrafttragfähigkeit einer bestehenden Spannbetonbrücke auf Basis des FSC-Modells

Patrick Huber, Tobias Huber, Johann Kollegger

Technische Universität Wien
Institut für Tragkonstruktionen - Betonbau
Karlsplatz 13, E 212-2
A-1040 Wien, Österreich
patrick.huber@tuwien.ac.at



Kurt Kratzer

KRATZER ZT GmbH
Glacisstraße 57/1
8010 Graz



1. Einleitung

Bei der Zustandsbewertung eines bestehenden Brückentragwerks stellt die rechnerische Überprüfung der Tragfähigkeit einen wichtigen Punkt dar. Dabei stellte sich in den letzten Jahren vermehrt heraus, dass bei bestehenden Brückenobjekten gewisse Tragfähigkeitsnachweise nach dem aktuellen Normenstand nicht mehr erfüllt werden können. Die Querkrafttragfähigkeit von Hauptträgern bei Spannbetonbrücken ist von dieser Problematik besonders betroffen [1]. Die Ursachen dafür liegen vorrangig in der geänderten Normensituation sowie den erhöhten Beanspruchungen durch den ansteigenden Transit- und Güterverkehr. Der Ablauf der Tragfähigkeitsbewertung bestehender Brückentragwerke ist in Österreich gemäß einer Nachrechnungsrichtlinie [2] (ONR 24008) in vier Stufen eingeteilt. In den ersten beiden Stufen erfolgt die Bewertung der Tragfähigkeit gemäß letztgültigem Normenstand [3], die dritte Stufe inkludiert probabilistische Untersuchungen. Eine dezidierte Möglichkeit zur Anwendung wissenschaftlich abgesicherter Rechenverfahren – wie z.B. in Deutschland – besteht bis dato in Österreich nicht.

2. Bauwerksbeschreibung

Das im Jahre 1975 errichtete Brückenobjekt "E4/1 - Brücke über den Zubringer Altenmarkt" Richtungsfahrbahn Villach ist als dreifeldriges System konzipiert, wobei die Tragwerke durch Bauteilfugen über den Stützen in eine Einfeldkette aufgelöst wurden. Während die kürzeren Randfelder in Stahlbeton ausgeführt wurden und eine Stützweite von 12,5 m aufweisen, ist das 34,0 m lange Mittelfeld vorgespannt. Der Querschnitt besteht aus einem Plattenbalken mit Bauteilhöhe von 1,8 m. Die Stegbreite ergibt sich für alle Stege zu 1,2 m. Die Längsbewehrung besteht pro Steg aus 10 Ø14 Stäben. Zusätzlich wurde über die gesamte Steghöhe eine horizontale Verteilerbewehrung Ø14/16,2cm verlegt. Als Querkraftbewehrung wurde über die gesamte Länge des Trägers zweischnittige Bügel Ø14/16,8cm vorgesehen.

Die vorweg durchgeführte Brückeninspektion zeigte, dass hinsichtlich der Hauptkonstruktion – Stege und Fahrbahnplatte – keine Schäden vorhanden sind. Insbesondere weisen die Stege keine Biege- oder Schubrisse auf. Die Hauptmängel sind Umläufigkeiten bei den Tagwasserabläufen und Wasserdurchtritte an den Kragplattenenden. Des Weiteren zeigten sich Schäden, ebenfalls durch Wasserdurchtritte, an den Bauwerksfugen zwischen den Rand- und Mittelfeldern, die wiederum zu Schäden im unmittelbaren Bereich der Lager (Konsolkonstruktion) geführt haben. Das Brückenobjekt E4 wurde für Brückenklasse 1 ausgelegt. Die Bemessung erfolgte unter Zugrundelegung der Vorgaben nach DIN 4227:1953 [4]. Der Querkraftnachweis erfolgte im Bruchzustand auf Basis einer Begrenzung der Hauptzugspannungen im ungerissenen Zustand. Da die maximale Hauptzugspannung deutlich unterhalb der Nachweisgrenze blieb, musste ohne weiteren Nachweis lediglich eine Mindestverbügelung vorgesehen werden.

3. Beurteilung nach Stufe 2 gemäß ONR 24008

Die Nachrechnung nach Stufe 2 offenbarte nach dem Fachwerkmodell nach EC2 eine erhebliche Unterschreitung der erforderlichen Querkrafttragfähigkeit im Nachweisschnitt (d vom Quertürrand entfernt). Dieses Defizit in der Schubtragfähigkeit lässt sich auf mehrere Punkte zurückführen. Neben der Tatsache, dass der Querkraftbewehrungsgrad $\rho_w = 0,153 \%$ im Bereich der Mindestquerkraftbewehrung $\rho_{w,min} = 0,121 \%$ liegt und somit sehr gering ist, kommt erschwerend hinzu, dass die Spannglieder, wie zu dieser Zeit üblich, nach oben geführt wurden, wodurch sich der Zuggurt im Auflagerbereich in Richtung Tragwerksobenseite verschiebt. Da die Ausführung einer Robustheitsbewehrung, wie sie heute in der Regel auch bei Spannbetontragwerken üblich ist, nicht Stand der Technik war, ergibt sich im stark querkraftbeanspruchten Bereich ein sehr geringer Hebelarm z , der sich gemäß Fachwerksanalogie wiederum ungünstig auf die aufnehmbare Querkraft auswirkt.

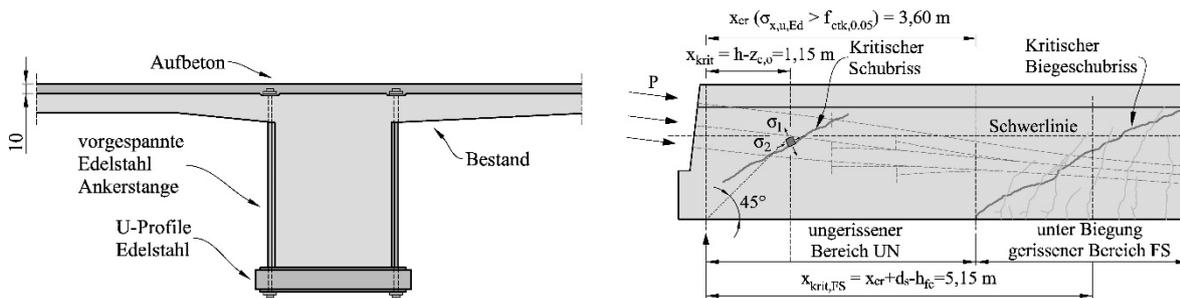


Abb. 1 links Querkraftverstärkung rechts Nachweiskonzept mit Einbezug der entstandenen Rissbildung

Um die Querkräfte in den Stegen entsprechend den Vorschriften nach Eurocode 2 aufnehmen zu können, wäre eine aufwendige Verstärkung z.B. mittels vertikal vorgespannter Schubstangen aus Edelstahl erforderlich gewesen (Abb. 1 links). Durch die Anwendung eines alternativen Bemessungskonzepts wurde jedoch auf eine derartige Maßnahme verzichtet.

4. Nachrechnung mit verfeinertem Nachweiskonzept

Im Rahmen eines Forschungsvorhabens – finanziert von den österreichischen Infrastrukturbetreibern ASFINAG und ÖBB und dem bmvit – wurde ein Berechnungsmodell entwickelt, welches darauf abzielt, das Schubtragvermögen von Spannbetonbalken mit geringem Querkraftbewehrungsgrad präziser vorherzusagen. Darin wurde ein bereits in Normen angewendetes Nachweiskonzept verwendet, bei welchem der Querkraftnachweis in verschiedenen Bereichen, welche sich aufgrund der unterschiedlichen Rissbildung ergeben, zu erfolgen hat (Abb 1 rechts). In den jeweiligen Bereichen finden dann dem Tragverhalten entsprechende Berechnungsmodelle ihre Anwendung [5,6]:

- Ungerissener Bereich UN ($\sigma_{x,Ed,u} < f_{ctk,0.05}$): Hauptzugspannungsnachweis

$$\sigma_{1,Ed} \leq f_{ctd,eff} = \min \left\{ \left(1,6 - 0,2 \cdot f_{ck}^{1/3} + 0,6 \cdot \frac{\sigma_{2,Ed}}{f_{ck}} \right) \cdot f_{ctd} \right. \\ \left. f_{ctd} \right. \quad (1)$$

- Bereich mit reinen Schubbrüchen ST ($\sigma_{1,Ed} > f_{ctd,eff}$): „Shear Tension“ – Modell (ST-Modell)

$$V_{Rd,ST} = V_{Rd,s} + V_p + V_{cc} \geq V_{Ed} \quad (2)$$

mit $V_{Rd,s}$ Traganteil der Querkraftbewehrung
 V_p Vertikalkomponente der Vorspannkraft nach Abzug sämtlicher Verluste
 V_{cc} Traganteil des Druckbogens bzw. Sprengwerks

- Bereich mit Biege- bzw. Biegeschubbrüchen FS: Modell des kritischen Biegeschubbrisses [5,6] („Flexural Shear Crack“ – Modell)

$$V_{Rd,FS} = V_{Rd,s} + V_{Rd,cz} + V_p \geq V_{Ed} \quad (3)$$

mit $V_{Rd,cz}$ Traganteil der Druckzone

Abb. 2 links zeigt die für den Randträger „R“ errechneten maximalen Hauptzugspannungen im Auflagerbereich. Als zulässige Spannung wird eine richtungsgebundene Zugfestigkeit angesetzt. Es war trotz erhöhter rechnerischer Verkehrsbelastung somit möglich, den Hauptzugspannungsnachweis (Gleichung 1) im vorgeschlagenen Nachweisschnitt zu erfüllen. Es kann somit davon ausgegangen werden, dass sich im Grenzzustand der Tragfähigkeit keine reinen Schubrisse im Bereich UN bilden. Eine Nachweisführung für einen Bereich bei dem ein Schubzugbruch zu erwarten ist (Bereich ST), kann dadurch entfallen (Gleichung 2).

Wie in experimentellen Untersuchungen festgestellt werden konnte [7], geht von der Entstehung eines kritischen Biegeschubrisses die größte Querkraftgefährdung bei Spannbetonträgern mit geringem Schubbewehrungsgrad aus. Um nun diesen kritischen Biegeschubriss vorhersagen zu können, wurde für den unter Biegung gerissenen Bereich FS (Abb. 2 rechts) ein neues Berechnungsmodell entwickelt [5,6], welches neben den bekannten Tragmechanismen der Druckzone einen wesentlichen Beitrag zum Querkraftwiderstand zutraut. Das Ergebnis einer Nachrechnung auf Basis des FSC-Modells sowie ein Vergleich mit verschiedenen normativen Ansätzen ist in Abb. 2 rechts illustriert. Während nach den in der österreichischen Nachrechnungsrichtlinie vorgeschlagenen Berechnungsmodellen keine ausreichende Querkrafttragfähigkeit für den Randträger „R“ bescheinigt werden konnte, kann auf Basis einer Berechnung mit dem vereinfachten FSC-Modell („Ingenieurmodell“) der Querkraftnachweis im unter Biegung gerissenen Bereich erfüllt werden.

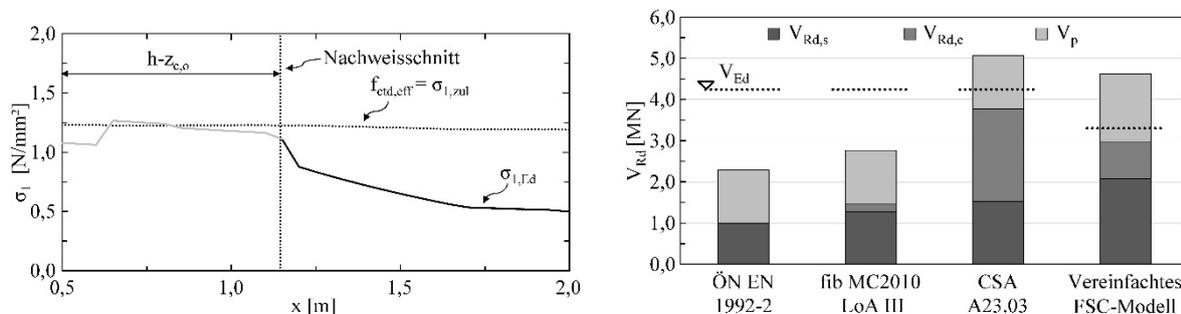


Abb. 2 links Hauptzugspannungsnachweis rechts Nachweisführung gemäß verschiedener Modelle

DANKSAGUNG

Dem Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie (bmvit), der ASFINAG Bau Management GmbH sowie der ÖBB-Infrastruktur AG wird für deren finanzielle Unterstützung und die produktive Zusammenarbeit im Rahmen des FFG-Forschungsvorhabens „Ingenieurmodell“ gedankt.

LITERATUR:

- [1] HUBER, P. et al.: *Vergleich der rechnerischen Querkrafttragfähigkeit von Bestandsbrücken nach Eurocode 2 und fib Model Code 2010*. Beton- und Stahlbetonbau 107 (2012), Heft 7, S. 451–462.
- [2] ONR 24008: *Bewertung der Tragfähigkeit bestehender Eisenbahn- und Straßenbrücken*. Österreichisches Normungsinstitut, Wien, März 2014.
- [3] ÖNORMEN 1992-2: *Eurocode 2 - Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken Teil 2: Betonbrücken - Bemessungs- und Konstruktionsregeln (konsolidierte Fassung)*. Österreichisches Normungsinstitut, Wien, März 2012.
- [4] DIN 4227: *Spannbeton – Richtlinien für Bemessung und Ausführung*. Deutsches Institut für Normung, Berlin, Oktober 1953.
- [5] HUBER, P.: *Beurteilung der Querkrafttragfähigkeit von bestehenden Stahlbeton- und Spannbetonbrücken*. Dissertation, TU Wien, 2016.
- [6] HUBER, P. ET AL.: *Berechnungsansatz zur Ermittlung der Schubtragfähigkeit bestehender Spannbetonbrückenträger mit geringem Querkraftbewehrungsgrad*. Bauingenieur 91 (2016), Heft 6, S. 227–237.
- [7] HUBER, P. ET AL.: *Experimentelle Untersuchung zum Querkrafttragverhalten von Spannbetonträgern mit geringer Schubbewehrung*. Bauingenieur 91 (2016), Heft 6, S. 238–247.

Rechnerische Dimensionierung von Betondecken

Lukas Eberhardsteiner, Pia Mandahus, Ronald Blab
Institut für Verkehrswissenschaften, TU Wien

Basierend auf der aktuellen österreichischen Bemessungsmethode werden in RVS 03.08.63 Standardaufbauten in Abhängigkeit der Lastklasse für die beiden Bautypen mit Betondecke auf ungebundener (Bautype BE1) und hydraulisch gebundener Tragschichte (Bautype BE2) angegeben. Diese Bautypen werden je nach ertragbarer Verkehrsbelastung im Bemessungszeitraum in Lastklassen eingeteilt. Der wesentliche Unterschied zwischen den Lastklassen besteht in der Schichtdicke der Betondecke. Durch die unabhängig von der Betonrezeptur festgelegten Werte für die Biegezugfestigkeit des eingesetzten Betons bei der Bemessung dieser Aufbauten werden die Vorteile moderner Betonrezepturen nicht ausreichend berücksichtigt.

Im Rahmen des FFG-Projektes OBESTAS wurde daher eine rechnerische Dimensionierungsmethode für Betonstraßen entwickelt, die es erlaubt, individuell auf den zu bemessenden Straßenabschnitt abgestimmte Eingangsgrößen zu berücksichtigen.

Durch den Aufbau einer Materialdatenbank für in Österreich häufig eingesetzte Betonsorten können so nicht nur statistisch abgesicherte Kenngrößen für die Festigkeitseigenschaften abgeleitet, sondern der Zusammenhang zwischen Druck-, Biegezug- und Spaltzugfestigkeit in Abhängigkeit von der Betonzusammensetzung untersucht werden. Die abgeleiteten Festigkeitseigenschaften finden Eingang in ein Modell zur Beschreibung der Ermüdungsbeständigkeit, die – wie international üblich – als maßgebend für die technische Lebensdauer von Straßenkonstruktionen betrachtet wird. Die Ansätze zur Ansprache des Ermüdungsverhaltens wurden validiert und ein geeignetes Ermüdungsmodell ausgewählt, das in die Bemessungsmethodik implementiert wurde.

Mit Hilfe eines im Rahmen des Projektes entwickelten Primärwirkungsmodells soll die Möglichkeit geschaffen werden, die Spannungen und Dehnungen resultierend aus Verkehrslasten unter Berücksichtigung der mittragenden Wirkung angrenzender Platten zu bestimmen. Darüber hinaus kann mit diesem Modell der Einfluss der Plattengeometrie abgeschätzt werden.

In der Bemessung müssen außerdem Wölbspannungen aufgrund ungleichmäßiger Erwärmung der Plattenober- und -unterseite berücksichtigt werden. Während in der aktuellen Dimensionierungsmethode von einem über das Jahr konstanten Temperaturgradienten ausgegangen wird, wurde in der rechnerischen Dimensionierungsmethode das Jahr in Abschnitte mit annähernd konstanten klimatischen Verhältnissen unterteilt und für jede dieser Perioden charakteristische Werte für die Temperaturgradienten abgeleitet. Außerdem wird eine Klimakarte für Österreich erstellt, die räumlich bedingte Unterschiede im Klima abbilden soll.

Die Querkraftübertragung in Querscheinfugen ist in der aktuellen Bemessung zwar berücksichtigt, ein klarer Zusammenhang zwischen verwendeter Dübelkonfiguration

(Dübeldimensionen, Abstand zwischen den Dübeln) und Wirksamkeit der Fuge wurde jedoch nicht hergestellt. Durch Einführung einer Dübelwirksamkeitszahl kann ein Bewertungshintergrund für die Wirksamkeit der Dübel zur Querkraftübertragung in den Querscheinfugen geschaffen und unterschiedliche Dübelkonfigurationen sowie Fugenarten können miteinander verglichen werden. Diese Methodik kann nicht nur im Rahmen einer rechnerischen Bemessung angewandt werden, sondern ermöglicht durch Verknüpfung mit FWD-Messergebnissen auch eine Bewertung des Zustandes von Bestandsfugen.

Durch den Einsatz von mittleren Achslastäquivalenzfaktoren, welche die Schädigungswirkung charakteristischer Fahrzeuge bzw. des Schwerverkehrskollektivs mit einer 100 kN Einzelachse verknüpfen, wird die Bemessung derzeit nur mit dieser einen Normachse durchgeführt. Aufgrund der neuen Belastungssituation durch den heutigen Schwerverkehr, die sich durch höhere Gesamtgewichts- bzw. Achslastverteilungen hervorgerufen durch verbesserte Logistik, sowie geänderte Nutzfahrzeugzusammensetzungen auszeichnet, kann die tatsächlich auftretende Verkehrsbelastung durch dieses Konzept nur unzureichend genau berücksichtigt werden. Daher wird in der neuen Bemessungsmethode ein Verkehrskollektiv bestehend aus Fahrzeugen mit realen Gesamtgewichts- und Achslastverteilungen berücksichtigt und die Bemessung mit jedem dieser Fahrzeuge durchgeführt. Die Teilschädigungsraten können gemäß der Schadensakkumulationshypothese nach Miner aufsummiert werden. In Abhängigkeit der vorhandenen Datenqualität kann die Bemessung mit einem fiktiven Bemessungskollektiv (basierend auf den Ergebnissen aus Achslastmessungen) oder der am zu bemessenden Straßenabschnitt tatsächlich auftretenden Verkehrszusammensetzung durchgeführt werden.

Durch Berücksichtigung tatsächlicher Eingangsgrößen ermöglicht die im Rahmen des Projektes OBESTAS entwickelte rechnerische Dimensionierungsmethode für Betonstraßen nicht nur wirtschaftlichere Aufbauten, sondern soll auch Innovationen im Bereich der Materialtechnologie fördern und direkt im Bemessungsergebnis abbildbar machen.

Ein neues Verfahren zur Herstellung der Fahrbahnplatte von Stahl- Beton- Verbundbrücken

Kerstin Fuchs, Johann Kollegger

Technische Universität Wien

Institut für Tragkonstruktionen - Betonbau

Karlsplatz 13, E 212-2

A-1040 Wien

kerstin.fuchs@tuwien.ac.at



1. Einleitung

Bei Stahl- Beton- Verbundbrücken wird für die Herstellung des Tragwerks ein Brückenträger aus Stahl montiert. Darauf wird die Fahrbahnplatte aus Beton hergestellt, was mit Hilfe unterschiedlicher Baumethoden erfolgen kann. Einerseits kann die Fahrbahnplatte aus Ortbeton mit Hilfe eines ortsfesten Gerüsts oder eines Verbundschalwagens hergestellt werden, es können Halbfertigteile mit einer nachträglich aufgebrachtten Aufbetonschicht aus Ortbeton verwendet werden, oder es kommen Vollfertigteileplatten zum Einsatz, welche trocken verlegt werden oder bei denen die Fuge vor Ort ausbetoniert wird.

2. Das neue Herstellungsverfahren

Das im Folgenden vorgestellte Bauverfahren setzt bei der als zweites genannten Herstellungsvariante an – der Herstellung einer Fahrbahnplatte aus Halbfertigteilen mit einer nachträglich aufgebrachtten Aufbetonschicht aus Ortbeton. Dafür kommen die aus dem Hochbau bekannten und bewährten Großflächenplatten (Elementdecken) zum Einsatz. Dabei handelt es sich um Betonfertigteileplatten mit einer Dicke von bis zu 7cm. Die notwendige Steifigkeit erhalten diese Platten durch Gitterträger, welche auch den späteren Verbund zwischen der Fertigteilplatte und der Ortbetonschicht sicherstellen. Diese Elementdecken werden bei dem hier vorgestellten neuen Bauverfahren für die Herstellung der Fahrbahnplatte im Brückenbau eingesetzt.

Der Versetzwagen ist das notwendige Beförderungsmittel der Fertigteilplatten vom Montageplatz zum Einbauort. Dieser Versetzwagen weist wesentliche Elemente eines Verbundschalwagens auf. An dem Wagen sind die Fertigteilelemente mit höhenverstellbaren Zuggliedern befestigt. Der Versetzwagen wird auf Schalwagenstühlen, die üblicherweise bei der Herstellung der Fahrbahnplatte mit einem Verbundschalwagen verwendet werden, montiert.

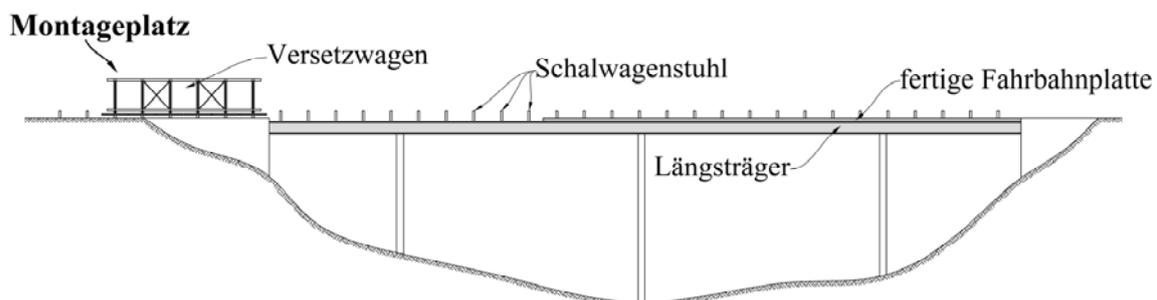


Abbildung 1 Versetzwagen am Montageplatz

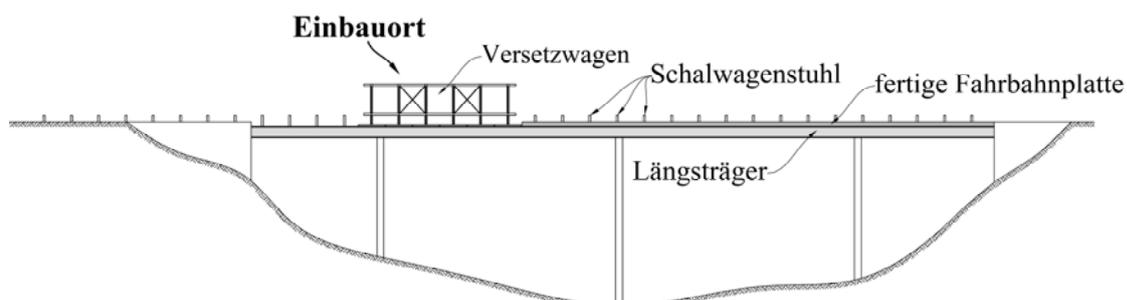


Abbildung 2 Versetzwagen am Einbauort

Die Fertigteilelemente werden vom Werk zum Montageplatz geliefert, wo die zusätzlich erforderliche Bewehrung bereits verlegt werden kann. Abbildung 1 zeigt den Versetzwagen am Montageplatz, wo die Fertigteilelemente bereits an den Zugstangen montiert sind.

Zum Einbauort wird der Versetzwagen entlang der Brückenlängsrichtung mit Hilfe von Winden bewegt. Die Elemente werden dort auf dem Brückenträger abgelegt und die Aufbetonschicht aus Ortbeton wird eingebracht (siehe Abbildung 2).

Die wesentlichen Vorteile dieses Herstellungsverfahrens ergeben sich vor allem in der Zeitersparnis beim Bau der Fahrbahnplatte. Durch die Verwendung der Halbfertigteile kann der Versetzwagen einen Abschnitt in einem 3-Tages Takt bewerkstelligen.

3. Dauerschwingversuche

Die Produktion von Elementdecken erfolgt vollautomatisch im Fertigteilwerk. Dabei wird die Bewehrung mit Hilfe von Schweißrobotern hergestellt und anschließend automatisch verlegt. Daraus ergibt sich ein technisches Problem für die Anwendung von Fertigteilplatten im Brückenbau, welches es zu lösen gilt. Nach aktueller Normenlage ist eine geschweißte Verbindung der Bewehrung nur bedingt möglich. Ein weiteres Problem stellt die Fuge zwischen den Fertigteilelementen und der Aufbetonschicht dar. Die Verbundwirkung wird hierbei durch die Rauheit der Oberfläche und die Dübelwirkung der Gitterträger hergestellt. Für die Einsetzbarkeit von Halbfertigteilen im Brückenbau ist eine Quantifizierung der erforderlichen Fugenrauheit erforderlich.

Um die beiden genannten Themen untersuchen zu können, wurden Versuchskörper mit Abmessungen von 0,8m·4,5m·0,35m (b·l·h) im Fertigteilwerk hergestellt. Dabei wurde auf eine 7cm dicke Elementdecke mit Gitterträgern eine Aufbetonschicht von 28cm aufgebracht. Die Rauheit der Fuge konnte vor dem Aufbringen der Aufbetonschicht mit Hilfe von fotogrammetrischen Messungen quantifiziert werden.

Derzeit werden im Rahmen des FFG-Branchenprojekts „Fahrbahnplatte“ Dauerschwingversuche im Labor des Instituts für Tragkonstruktionen (siehe Abbildung 3) durchgeführt.

Der erste Versuchskörper konnte der Ermüdungsbeanspruchung von 4 Millionen Lastwechseln mit einer Schwingbreite von 100 N/mm² ohne Bruch standhalten. Außerdem wurde keine Relativverschiebung der einzelnen Elemente entlang der Fuge gemessen. Der zweite Versuchskörper wurde mit einer Schwingbreite von 180 N/mm² belastet. Dieser Versuchskörper versagte vor der geforderten Anzahl von mindestens 2 Millionen Lastwechseln. Weitere Dauerschwingversuche an Probekörpern, teilweise auch mit Querfugen, werden noch im Rahmen des Forschungsvorhabens durchgeführt.



Abbildung 3 Dauerschwingversuche

4. Danksagung

Die Autoren bedanken sich bei der Österreichischen Forschungsförderungsgesellschaft mbH, dem Verband Österreichischer Beton- und Fertigteilwerke, der ASFINAG Baumanagement GmbH sowie der ÖBB Infrastruktur AG für die Finanzierung des Projekts und die Möglichkeit zur Durchführung der Versuche.

Hochfester Beton als nachhaltige Lösung für Aufbetone und Deckschichten

Dr. Martin Peyerl
Prof.(FH) Dr. Norbert Randl, DI Martin Steiner

Smart Minerals GmbH
Fachhochschule Kärnten

Angesichts der Zunahme von Verkehrslasten und der notwendigen Anpassung des Lastmodells von Brückentragwerken nach aktuellen Normenstandards ist die Instandsetzungsmaßnahme mit geringen Gesamthöhen mittels Aufbetonschichten eine wirtschaftliche Lösungsvariante. Hierfür eignen sich Betone mit höherer Festigkeit aufgrund einer höheren Dauerhaftigkeit und besserer mechanischer Widerstandsfähigkeit besonders gut. Ziel des von der FFG geförderten Projektes ist, für Verstärkungsschichten im Bestand einen bestmöglichen Verbund in der Fuge experimentell nachzuweisen und in weiterer Folge auch in der Bemessung zu verankern und so zur Umsetzung von wirtschaftlichen Bauweisen beizutragen.

Beim Aufbringen einer Betonschicht im Verbund ist es wesentlich, dass der Untergrund so ausgeführt und behandelt wird, dass sich möglichst gute Verbundeigenschaften einstellen. Die essentielle Anforderung ist hierbei die Rauheit der Oberfläche, die entscheidenden Einfluss auf die Kraftübertragung der Verbundfuge durch Adhäsion und Reibung hat. Zur Untersuchung dieser Themenstellung wurden Probekörper mit einem typischen Brückentragwerksbeton C30/37/F45/GK16/B5 hergestellt und durch Hochdruckwasserstrahlen im Alter von etwa 28 Tagen so bearbeitet, dass drei unterschiedliche Rautiefenstufen glatt (Rautiefe etwa 1,2 mm), rau (Rautiefe etwa 2,1) sowie verzahnt (Rautiefe etwa 4,0 mm) erreicht wurden. Zur detaillierten Erfassung der Oberflächeneigenschaften wurde ein digitales Modell der Textur aller untersuchten Proben angefertigt. Diese Probekörper unterschiedlicher Rauheit (siehe Abbildung 1) wurden mit einer Aufbetonschicht aus Hochleistungsbeton C60/75/GK16/F45/HL-B versehen.



Abbildung 1: Oberflächenmodell der glatten (links), rauen (Mitte) und verzahnten (rechts) Oberfläche

Dabei kommt der Gegenüberstellung von erzielter Oberflächenrauheit mit den daraus resultierenden Verbundeigenschaften eine große Bedeutung zu. Um eine entsprechende Datenbasis zur Adaptierung der Bemessungsgrundlage zu schaffen, erfolgt die Ermittlung von Verbundkennwerten mit unterschiedlichen Belastungsansätzen von reinem Zug (Haftzug- und Keilspaltversuche) bis zur Scherbeanspruchung.

Im Rahmen der ersten Untersuchungen konnte gezeigt werden, dass die höchsten Haftzugfestigkeiten bei der rauen Verbundfuge sowie höchsten Prüfwerte der bruchmechanischen Kennwerte mit dem Keilspaltversuch bei der aufgerauten und verzahnten Verbundfuge erreicht werden konnten. Ähnliche Ergebnisse konnten auch mit den sogenannten Push-Out und Slant Shear Tests erzielt werden. Weitere ergänzende Versuche im derzeit laufenden zweiten Forschungsjahr an Groß und Kleinkörpern sollen hierzu noch einen detaillierteren Einblick ODER sollen hierzu noch detailliertere Resultate liefern.

Bisher ausgewertete Ergebnisse zeigen, dass die Verbundfestigkeiten je nach Rauigkeitskategorie schwanken. Des Weiteren wurde festgestellt, dass zumindest eine mittlere Rauigkeit mit Rautiefen von mind. 1,5 mm zielführend sein dürfte, um ansprechende Verbundfestigkeiten zu erreichen. Gleichzeitig scheint die Realisierung großer Rautiefen (verzahnte Oberfläche, Rautiefe ≥ 3 mm) nach den bislang vorliegenden Ergebnissen im Zusammenhang mit dem verwendeten höherwertigen Beton als nicht zwingend erforderlich.

Entwicklung von Prüfverfahren und Anforderungen für Fugen- und Bettungsmörtel für die gebundene Pflasterbauweise

Problem- und Fragestellung

Die gebundene Pflasterbauweise, bei der Pflastersteine oder Pflasterplatten in einem Mörtelbett und mit vermörtelten Fugen verlegt werden, gilt in Österreich als Sonderbauweise. Derzeit gibt es keine eigenen Prüfverfahren für Pflastermörtelprodukte, keine Vorgaben bzw. Anforderungen für Bemessungsnachweise und keine standardisierten Oberbauempfehlungen. Problematisch ist des Weiteren die unkontrollierte Rissbildung aufgrund von thermischen Beanspruchungen und es liegen oft schlechte Praxiserfahrungen aus der Vergangenheit vor.

Daraus ergeben sich folgende Fragestellungen:

- Sind die derzeitigen Materialanforderungen an Pflastermörtel praxisgerecht und ausreichend?
- Welchen Einfluss hat die Verwendung von Haftklebern und sind diese notwendig?
- Ist die Anordnung von Bewegungsfugen zur Vermeidung von thermisch induzierten Rissen erforderlich und wenn ja wo?

Zielsetzung und Methodik

Wesentliche Ziele des von der FFG geförderten Forschungsprojektes „Collective Research – Pflasterbauweisen“ in Kooperation des Forums Qualitätspflaster (FQP) mit dem Institut für Verkehrswissenschaften der TU Wien (IVWS) sind unter anderem:

- Grundlagenforschung für die Standardisierung der gebundenen Pflasterbauweise
- Einheitliche Prüfverfahren für Pflastermörtelprodukte
- Ableiten von Materialanforderungen
- Empfehlungen für die Anordnung von Bewegungsfugen

Dazu werden folgende Untersuchungen durchgeführt:

- Durchführung von Laborprüfungen an gängigen Pflastermörtelprodukten zur Bestimmung praxisgerechter Materialparameter
- Erprobung eines Laborversuches zur Bewertung des Horizontalwiderstandes von vermörtelten Pflastersteinen
- Entwicklung eines Finite-Elemente-Modells (FEM) für Oberbauten mit gebundenen Pflasterbefestigungen zur Simulation von Verkehrs- und Temperaturbeanspruchungen und für Parameterstudien
- Errichtung und Betrieb eines Testfeldes zur Echtzeiterfassung thermisch induzierter, horizontaler Verschiebungen und für Tragfähigkeitsmessungen mit dem Fallgewichtsdeflektometer (FWD)

Materialparameter Pflastermörtel

Die Druck-, Biegezug- und Haftzugfestigkeit sowie der thermische Ausdehnungskoeffizient und der E-Modul sind für die Funktionalität und das thermische Verhalten von Baustoffen der gebundenen Pflasterbauweise von entscheidender Bedeutung. Für die Ausführung von gebundenen Pflasterbefestigungen stehen zahlreiche Pflastermörtelprodukte zur Verfügung. Bei vielen Produkten sind nur vage Materialbeschreibungen wie z.B. „sehr elastisch“, „wasserdurchlässig“, „widerstandsfähig“, „hohe Festigkeit“ angegeben ohne konkrete Materialkennwerte. Weiteres sind die Anwendungsbereiche mit „gering befahrbar“, „LKW-befahrbar“ nur sehr schwammig formuliert und geben keine Aussage über tatsächlich ertragbare Verkehrsbelastungen bzw. lassen unterschiedliche Produkte kaum miteinander vergleichen.

In der RVS 08.18.01 sind bereits Mindestanforderungen an gebundene Bettungs- und Fugenmörtel definiert, welche die Druck-, Biegezug- und Haftzugfestigkeit sowie die Wasserdurchlässigkeit umfassen. Allerdings ist nicht geregelt, nach welchem Prüfverfahren bzw. an welchen Probekörpern diese Materialkennwerte bestimmt werden sollen. Daher wurden die Materialparameter von typischen in Österreich vorkommenden Pflastermörtelprodukten in Anlehnung an die Normen für Mauerwerksmörtel, Beton bzw. Zement von zwei verschiedenen Prüfanstalten ermittelt. Hierbei lag der Fokus auf der praktikablen Prüfdurchführung und ob die derzeitigen Materialanforderungen erfüllt werden können.

Die ersten Ergebnisse zeigten erhebliche Unterschiede zwischen den Prüfanstalten bei Druck- und Biegezugfestigkeit, E-Modul und thermischen Ausdehnungskoeffizient. Weiters waren die Ergebnisse der bauseits gemischten Mörtel deutlich schlechter als jene der Trockenwerksmörtel. Es wird vermutet, dass die Streuungen vor allem von der Art und Weise der Mörtelanmischung sowie der Probekörperherstellung hervorgerufen wurden. Deshalb wurde die Durchführung eines Workshops und eines Ringversuches mit der Beteiligung von mehreren Prüfanstalten initiiert, um zukünftig eine einheitliche Probekörperherstellung und Prüfdurchführung zu gewährleisten. Dies ist erforderlich, um gesicherte Materialparameter für Bemessungsnachweise und die Qualitätssicherung zu erhalten.

Zusätzlich wurden neue Versuche getestet, um den Widerstand von vermörtelten Pflastersteinen gegen horizontale Belastung bewerten zu können. Hierbei wurden in ersten Versuchen verschiedene Variationen von Natur- und Betonsteine, Fugenmörtel und Fugenbreiten geprüft. Zusätzlich wurde auch der Einfluss der Bettung mit und ohne Haftschlämme auf den Horizontalwiderstand untersucht.

FEM gebundene Pflasterbefestigungen

Zur Simulation von unterschiedlichen Oberbauvarianten und für Parameterstudien von variablen Einflussgrößen wurde am IVWS mittels der Finite-Elemente-Methode ein Modell für gebundene Pflasterbefestigungen erstellt. Anhand des Modells soll primär die Entstehung von Rissen aufgrund von Temperaturbeanspruchungen untersucht werden und die maßgebenden Einflussgrößen auf die Rissbildung identifiziert werden. Weiters dient das Modell zur Ermittlung der maßgebenden Spannungen und Verformungen aufgrund von Verkehrslasten. Auf Basis der Simulationen lassen sich verschiedene Oberbauausführungen vergleichen und daraus Materialanforderungen definieren, um zukünftig einen Bemessungsnachweis zu ermöglichen und dauerhaft schadensfreie Pflasterflächen zu gewährleisten.

Testfeld gebundene Pflasterbefestigungen

Zur Untersuchung von thermisch induzierten, horizontalen Verschiebungen unter realistischen Klimabedingungen und für Tragfähigkeitsmessungen mit dem Fallgewichtsdeflektometer (FWD) wurde im Herbst 2015 ein Testfeld mit drei verschiedenen Oberbauausführungen errichtet (siehe Abbildung 1):

- Gebundene Pflasterbauweise auf Drainbetontragschicht
- Gebundene Pflasterbauweise auf ungebundener Tragschicht
- Gemischte Pflasterbauweise auf ungebundener Tragschicht

Die Flächen wurden jeweils 15 m lang und bewusst ohne Bewegungsfugen ausgeführt und auf einer Seite mit einem starren Widerlager eingespannt und auf der anderen Seite frei für Verschiebungen gelassen. Auf jeder Pflasteroberfläche wurden zwei Lasersensoren zur Erfassung der horizontalen Verschiebungen in Feldmitte und am freien Feldende angeordnet. Weiters wurde Temperatursensoren an der Pflasteroberfläche und im Oberbau in verschiedenen Schichttiefen eingebaut. Über das ganze Jahr werden kontinuierlich im 15 Minuten Intervall die aktuellen Verschiebungen und Temperaturen erfasst. Weiters wurden

nach dem Winter und nach dem Sommer visuelle Zustandserfassungen durchgeführt, mit dem Ziel vorhandene Risse zu lokalisieren.

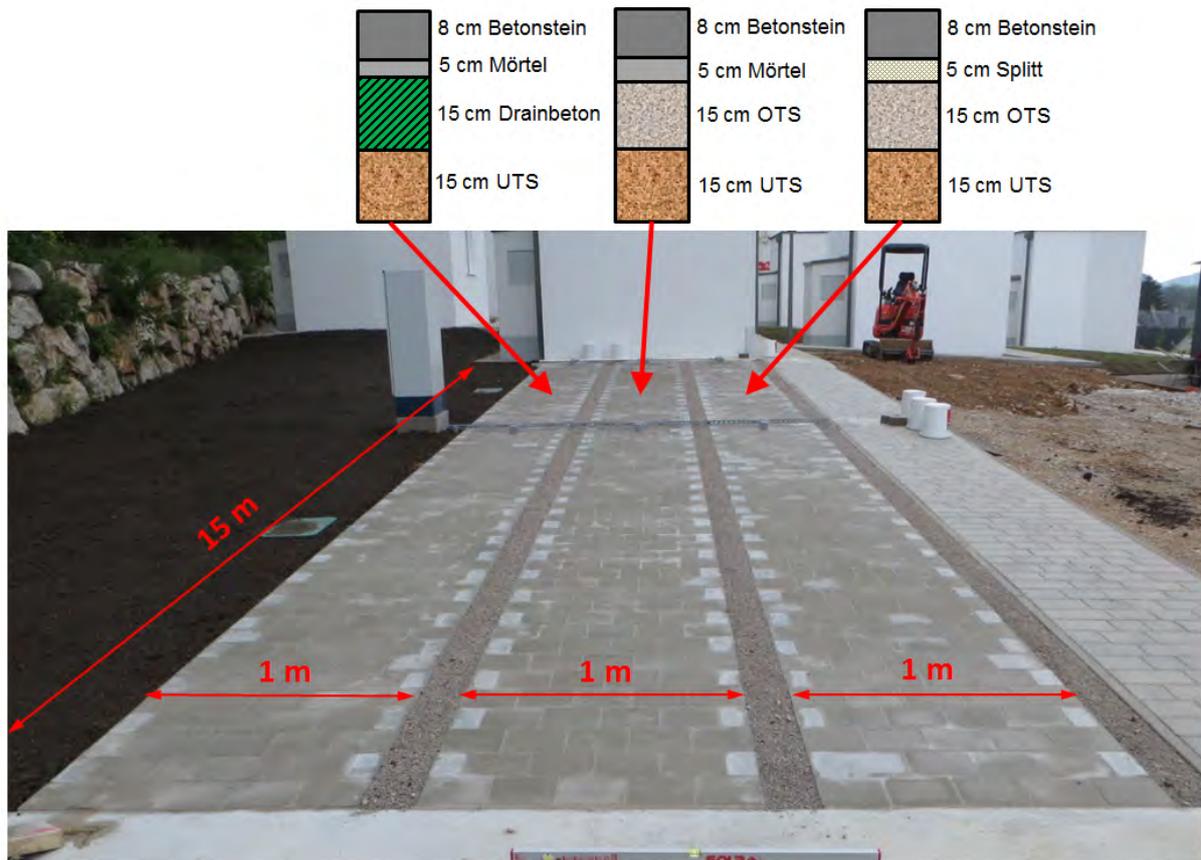


Abbildung 1: Layout Testfeld gebundene Pflasterbauweise

Die Ergebnisse sollen einerseits zum Vergleich der drei unterschiedlichen Oberbauausführungen dienen und weiters zur Validierung des FEM herangezogen werden, um mehr Erkenntnisse über das Verformungs- und Rissverhalten sowie die Tragfähigkeit von gebundenen Pflasterbefestigungen zu erhalten.

Erste Erkenntnisse

Die Laborprüfungen zeigten, dass ein großes Fehlerpotential beim Mischen, vor allem von bauseits gemischten Pflastermörteln, vorhanden ist und hier im Vergleich sehr schlechte Materialfestigkeiten erreicht werden. Die Möglichkeit des Einsatzes von bauseits gemischten Pflastermörteln sollte in der RVS 08.18.01 entfernt bzw. für größere Flächen mit Verkehrsbelastung nicht zu empfohlen werden. Die Anwendung einer Haftschlämme wirkt sich deutlich positiv auf die Schubfestigkeit zwischen Pflasterstein und Bettung bei horizontaler Beanspruchung aus und könnte horizontale Verschiebungen bzw. die Rissbildung reduzieren.

Die gemessenen Verformungen am Testfeld zeigten, dass diese etwa nur 50 % der theoretisch möglichen Verformungen ausmachten, aber es trotzdem zu Rissbildungen kommt. Die gemischte Pflasterbauweise zeigte hier die höchste Rissanfälligkeit und die geringste Tragfähigkeit im Vergleich zur gebundenen Bauweise und wird daher für befahrene Verkehrsflächen nicht empfohlen. Die wenigsten Risse nach einem Jahr Liegedauer und die beste Tragfähigkeit wurden bei der Oberbauausführung mit Drainbetontragschicht festgestellt.

Kontakt:

Dipl.-Ing. Dr. techn. Wolfgang Kluger-Eigl
Technische Universität Wien
Institut für Verkehrswissenschaften
+43 1 58801 23334
wolfgang.kluger-eigl@tuwien.ac.at

Ing. Peter Nowotny
Forum Qualitätspflaster
+43 1 522 44 66 88
info@fgp.at

Abplatzpotential von Tunnelinnenschalen im Niedertemperaturbereich bis 450 °C

Maier, G.; Peyerl, M.; Kirnbauer, J.; Bruckner, H.

Die schweren Tunnelbrände vor knapp 15 Jahren haben gezeigt, welche verheerenden Auswirkungen ein Brand auf die Sicherheit von Personen sowie die Tragstruktur von Tunnelbauwerken hat. Die im Anschluss an diese Ereignisse abgewickelten Forschungsvorhaben legten dar, dass durch die gezielte Beimengung von Polypropylenfasern zum Beton die erforderliche Brandbeständigkeit für den Hochtemperaturbereich grundsätzlich erreicht werden kann. Bei Brandereignissen werden jedoch nicht alle Bauteile gleich hohen Temperaturen ausgesetzt. Ziel des gegenständlichen Forschungsvorhabens war, die Auswirkungen von Brandereignissen auf die nicht direkt vom Brand betroffene Bausubstanz im Niedertemperaturbereich bis etwa 450 °C (Tunnelrohre in gewisser Distanz zum Brandereignis, Lüftungsbauwerke, Zwischendecken, Fluchtstollen) durch Brandversuche zu untersuchen. Hierbei wurden Betonzusammensetzungen untersucht, die grundsätzlich ohne die übliche Verwendung von Polypropylenfasern im Niedertemperaturbereich auskommen. Bisherige Erfahrungen mit der Ausgestaltung des Versuchsaufbaus von Brandräumen bzw. von Aufheizkurven existierten dabei nur für den Hochtemperaturbereich und wurden für die Projektrealisierung neu konzipiert. Durch entsprechende Adaption und Neugestaltung des Brandraums konnte eine praxisnahe Simulation der tatsächlichen Bauwerkseinwirkung im Labor realisiert werden.

Im Zuge der Versuche wurde Kleinkörper 60 x 50 x 30 cm mit der Betonrezeptur C25/30(56)/XC3/XF3/XA1L/IG bei gezielter Variation der Betonzusammensetzung (Variation der Gesteinskörnung aufgrund regionaler Vorkommen, Variation des Wassergehalts im Probekörper, Variation der Porenstruktur) hergestellt und anschließend Brandversuche durchgeführt.



Abbildung 1: Kleinkörper (li) und Versuchsaufbau für den Brandversuch

Im Rahmen der Brandversuche konnten beispielhafte Betonzusammensetzungen entwickelt werden, die grundsätzlich ohne die Zugabe von Polypropylenfasern ausreichend brandbeständig sind. Auf Basis der Ergebnisse der Kleinkörper wurden in weiterer Folge Großkörper gemäß ÖBV Richtlinie „Erhöhter Brandschutz mit Beton für unterirdische Verkehrsbauwerke“ mit aufbereitetem Tunnelausbruchsmaterial bei Variation des Luftgehalts

im Probekörper hergestellt und der Brandraum für die Prüfung adaptiert. Durch Einbau von sogenannten Einblasstutzen aus Kunststoff konnte zusätzlich noch die Erhöhung der Brandlast aus Einbauteilen simuliert werden und die Brandbeständigkeit nachgewiesen werden.



Abb. 2: Zur Betonage vorbereitete Schalung der Großkörper

Für die Brandversuche wurde ein eigens dafür konstruierter Versuchsofen verwendet. Die Geometrie des Ofens wurde auf Grund der benötigten Temperatur von 450 °C und der geforderten Strömungsgeschwindigkeit entwickelt. Mehrere Konstruktionsvarianten wurden mit einer thermischen Simulation berechnet.

Daraus ergab sich die folgende Konstruktion nach Abb. 3 als geeignet.

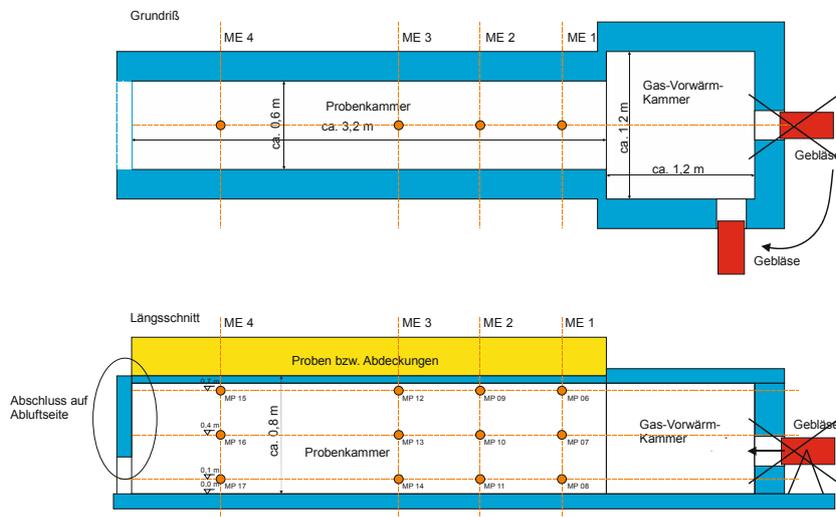


Abb. 3: Konstruktionsschema des Versuchsofens

Das Gebläse und die Propangasbrenner mussten im rechten Winkel zur Ofenachse angeordnet werden. Über eine Vormischkammer wurde eine homogene Temperaturverteilung in der Probenkammer erreicht (Abb. 4). Auf der Abluftseite musste der Querschnitt teilweise abgeschottet werden, um eine Rückströmung der kalten Außenluft in den Ofen zu verhindern.

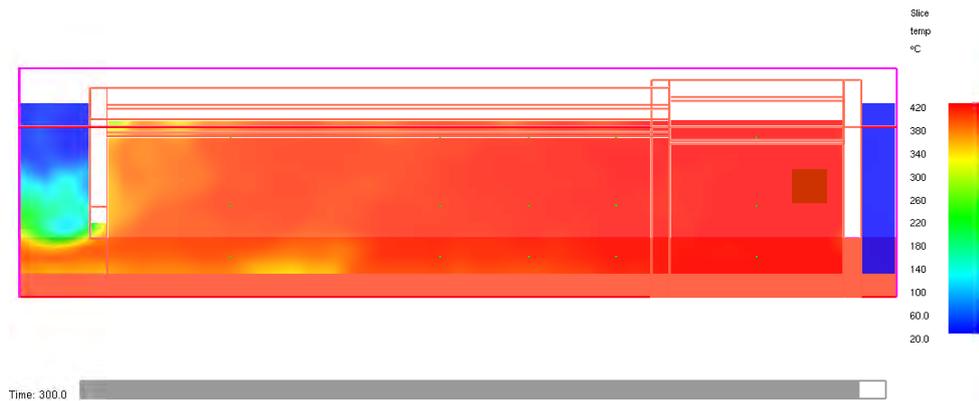


Abb. 4: Temperaturverteilung im Versuchsofen (Längsschnitt)

Das Ergebnis der Simulation stimmte sehr gut mit den in den Versuchen gemessenen Werten überein. In der Abb. 5 sind die Ofentemperaturen und die Strömungsgeschwindigkeiten aus allen Versuchen dargestellt. Die Abweichungen von den Soll-Werten sind äußerst gering.

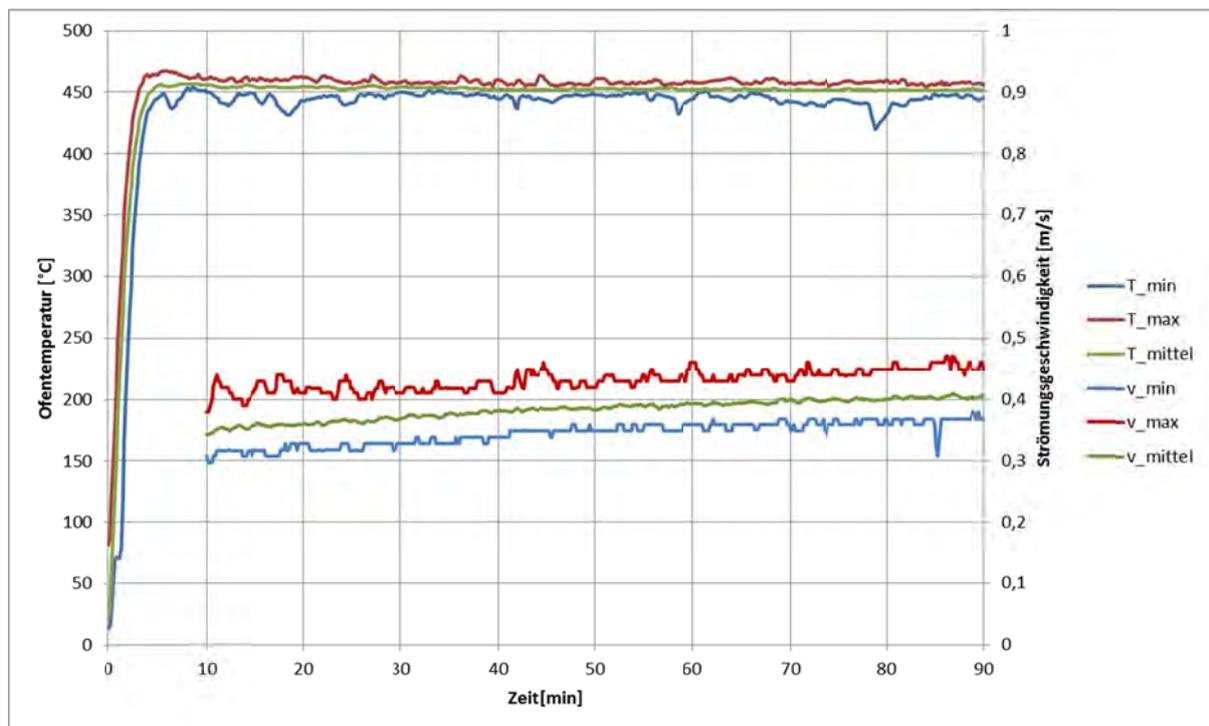


Abb. 5: Ofentemperatur und Strömungsgeschwindigkeit (Min-, Max- u. Mittelwerte auf Basis aller durchgeführten Versuche)

Auf diese Weise konnte sichergestellt werden, dass die Versuchsbedingungen für alle Versuche gleich und reproduzierbar waren und dementsprechend auch die gewonnenen Ergebnisse vergleichbar sind.

Begleitend zu allen Brandversuchen wurden neben Temperatureindringung auch die relevanten Betonkennwerte sowie die Porosität vor und nach den Brandversuchen gemessen. Abschließend erfolgt die Erarbeitung von Simulationsszenarien auf Basis der gewonnenen Erkenntnisse und Daten.

Aktuelle Entwicklungen bei der Modellierung und Simulation von „Jungen Beton“

Methode, Anwendung, Validierung

1. EINLEITUNG:

In den letzten Jahren hat der Begriff „Industrie 4.0.“ (d.h. die Verzahnung der industriellen Produktion mit modernen Informations- und Konstruktionstechniken) auch in der Bauindustrie Einzug gehalten. Man spricht dort von Bauen 4.0 im Kontext mit der Anwendung von BIM- (Building Information) Modelling Systemen und deren Optimierungspotenzial für den Bauprozess. Ziel dieser Industrialisierung des Bauens ist es unter anderem den Bauprozess hinsichtlich Qualität, Kosten und Zeit zu optimieren. Um BIM Systeme im Bauprozess effizient einsetzen zu können, müssen sie mit prozessrelevanten Daten kalibriert werden. Die Festigkeitsentwicklung des eingesetzten Betons ist eine dieser prozessrelevanten Daten. Um den Bauablauf zu optimieren bzw. besser planbar machen zu können, müssen die prozessrelevanten Parameter während der Ausführung gemessen bzw. in der Planung simulieren werden. Die Doka vertreibt seit einigen Jahren mit Concremote ein Echtzeitmonitoringsystem zur Ermittlung der Festigkeitsentwicklung im Bauteil [1]. Mit diesem System ist es möglich den Prozess in Echtzeit zu überwachen und gegebenenfalls zeitnah Veränderungen bzw. Optimierungen vorzunehmen.

Um schon in der Planungsphase Betonrezepturen hinsichtlich einer Optimierung des Bauablaufs bewerten und vergleichen zu können, ist eine Simulation der Hydratation und Festigkeitsentwicklung des Betons im Bauteil notwendig. Das Doka Tochterunternehmen BAS aus den Niederlanden erstellt mittels dem FEM Simulierungsprogramm „Heat“ auch 3D Simulationen der Hydratationswärmeentwicklung und Festigkeitsentwicklung bzw. Spannungsentwicklung des jungen Betons. Um die Wärme- und Festigkeitsentwicklung zeitnah zu bewerten, arbeitet die Universität Innsbruck im Rahmen des CD-Labors Beton an parametrischen 2D FEM Simulationsmodellen.

Im Zuge dieser Veröffentlichung werden die entwickelte Methodik, sowie die Anwendung und die Validierung der Simulation für Versuchsbauteile dargestellt und diskutiert.

2. METHODE und ANWENDUNG

Bei der Simulation des jungen Betons wird in einem ersten Schritt die Hydratationswärmentwicklung in Abhängigkeit von Umgebungstemperatur, Zementsorte, Bauteildicke und Schalungsmaterial berechnet.

Thermochemische Berechnung [7]

Im Rahmen der thermochemischen Beschreibung [5] wird im Gegensatz zu dem klassischen Reifegradmodell nach De Vree der dimensionslose Hydratationsgrad ξ [4,5] betrachtet. Dabei hat der Hydratationsgrad initial den Wert 0 und erreicht 1, falls das Bindemittel vollständig durch die Reaktion mit Wasser verbraucht wurde. Für die Beschreibung des Reaktionsfortschritts wird eine Ratengleichung, die einen Arrhenius-Term beinhaltet, verwendet [4,5]:

$$\dot{\xi} = A(\xi) \exp\left(-\frac{E_a}{RT}\right) \quad (4)$$

wobei $A(\xi)$ [1/s] die chemische Affinität des verwendeten Bindemittels bezeichnet. Dabei handelt es sich um eine Materialfunktion, welche die komplexe Hydratationsreaktion von Portlandzement-basierenden Materialsystemen beschreibt [2, 12]. Diese hängt von der Bindemittelzusammensetzung, Mahlfineinheit und Wasser/Bindemittel -Wert w/b ab. Eine höhere Temperatur T [K] führt zu einer Zunahme des Arrhenius-Terms $\exp[-E_a/(RT)]$ und in weiterer Folge zu einer höheren Reaktionsrate. $R = 8,314$ J/(mol K) bezeichnet die Gaskonstante und E_a [J/mol] die Aktivierungsenergie. Für die Bestimmung der chemischen Affinität wurden Versuche mit einem (isothermen) Wärmeflusskalorimeter an den untersuchten Bindemitteln durchgeführt. Auf Basis der gemessenen Wärmefreisetzungsrates, welche mit der zeitlichen Entwicklung des Hydratationsgrades korreliert, kann die chemische Affinität des untersuchten Bindemittels (wie in Abbildung 1 für CEM I 42,5 R dargestellt) ermittelt werden [6].

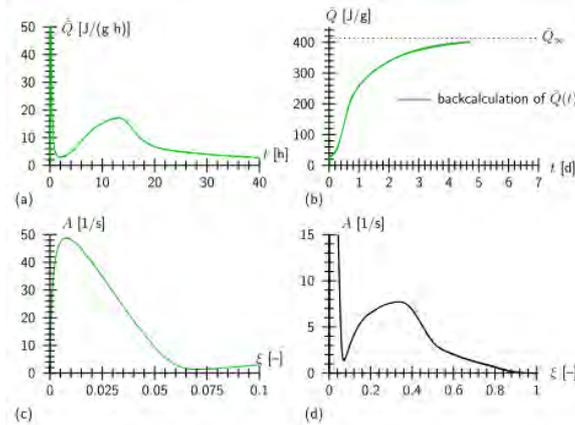


Abbildung 1: (a) Wärmefreisetzung und (b) gesamte Wärmefreisetzung aus dem Kalorimeterversuch (c) und (d) chemische Affinität von CEM I 42,5 R. [6]

Im Rahmen einer thermo-chemischen FEM-basierten Simulation wird die räumliche Verteilung der Temperatur und des Hydratationsgrades zu diskreten Zeitpunkten bestimmt.

Die Abschätzung der zeitlichen Entwicklung der Festigkeit im Bauteil erfolgte auf Basis der thermo-chemischen Simulation von Würfelproben (gemessene Temperaturgeschichte, berechneter Hydratationsgrad) an denen zu verschiedenen Zeitpunkten einaxiale Druckversuche durchgeführt wurden.

3. VALIDIERUNG

Um die Berechnungsmethode unter realen Bedingungen zu validieren, sind Untersuchungsdaten, welche von Smart Minerals GmbH zur Verfügung gestellt wurden [8] verwendet worden.

Hierbei handelt es sich um eine 100x100cm Decke welche eine Höhe von 20cm aufweist. Die Decke war auf den 4 Seiten und an der Unterseite von einer 21mm starken Holzschalung begrenzt und nach oben offen.

Bekannt waren der W/B Wert = 0,53, der Zementgehalt = 268 kg/m³ und die Umgebungstemperatur. Die Simulation wurde mit unterschiedlichen Eingangsparametern durchgeführt. Für die Berechnung der Festigkeit im Bauteil sind Würfeldruckfestigkeiten zu verschiedenen Zeitpunkten hinterlegt worden. In der Berechnung wurden zunächst die Festigkeiten nach 1,3,7,14, und 28 Tagen, in den weiteren Berechnungen nach 1,3, und 7 Tagen hinterlegt. Es ist klar zu erkennen, dass man bei der Simulation mit den fünf Kalibrierwürfeln bei Lagerung 20°C sehr nahe der tatsächlichen Festigkeitsentwicklung des Bauteils kommt. In der Regel hat man jedoch weniger Festigkeiten für die Berechnung zur Verfügung. Bei der Verwendung der 3 und 28 Tagesfestigkeit erreichte man hierbei wesentlich bessere Ergebnisse als bei Verwendung der 1,3, und 7 Tagesfestigkeiten.

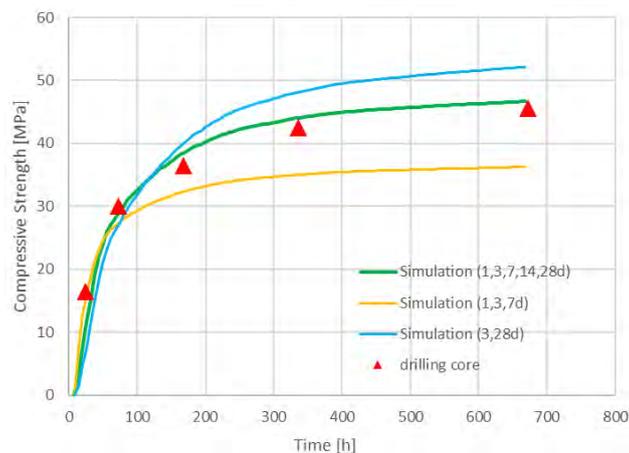


Abbildung 2: Vergleich reale Festigkeit mit der Simulation

LITERATUR

- [1] Reinisch, A.: Zerstörungsfreie, onlinebasierende Betonfestigkeitsmessung auf der Baustelle. Tagungsband Baukongress 2014, ÖBV, Wien
- [2] Niederländisches Normierungsinstitut. 2001. Bestimmung der Druckfestigkeitsentwicklung von jungem Beton auf der Grundlage der gewichteten Reife. Niederländisches Normierungsinstitut, 2600 GB Delft, Niederlande, NEN 5970-9.
- [3] Röhling, S. 2009. Zwangsspannungen infolge Hydratationswärme. Bau+Technik GmbH, Düsseldorf.
- [4] Ulm, F.-J. , Coussy, O. 1996. Strength growth as chemo-plastic hardening in early age concrete. *Journal of Engineering Mechanics*, 122 (12), 1123–1132.
- [5] Ulm, F.-J. , Coussy, O. 1995. Modeling of thermochemomechanical couplings of concrete at early ages. *Journal of Engineering Mechanics*, 121 (7), 785–794.
- [6] Pichler, Ch., Schmid, M., Traxl, R., Lackner, R. Influence of curing temperature dependent microstructure on early-age concrete strength development. *Materials and Structures*, (Submitted for publication).
- [7] Schmid, M., Pichler, Ch., Saxer, A., Reinisch, A., Lackner, R. Ed. 2015. *Vergleich verschiedener Reifegradkonzepte zur Prognose der Festigkeitsentwicklung von Betonbauteilen*. F.A. Finger-Institut für Baustoffkunde, Weimar.
- [8] Reinisch, A., Peyerl, M., Maier, G., Krispel, S., Ed. 2015. *Confirmation of real time concrete strength in construction projects*. 11th CCC Congress, Hainburg