

Eco-construction for sustainable development – Konzepte für Materialbanken

Andreas Zilian Danièle Waldmann Florian Hertweck
Norman Teferle Markus Schäfer Frank Scholzen
Department of Engineering | Université du Luxembourg

16. Oktober 2020 | 24. Dresdner Baustatik-Seminar



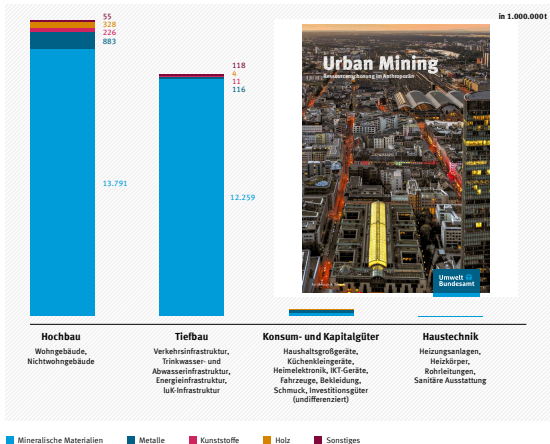
Nachhaltiges Bauen - Materialbanken

Projekt Econ4SD

Teilaspekt – Reversible Architektur

Teilaspekt – Alterung von Betonbauteilen

Hinterlegte Werte durch Bautätigkeit

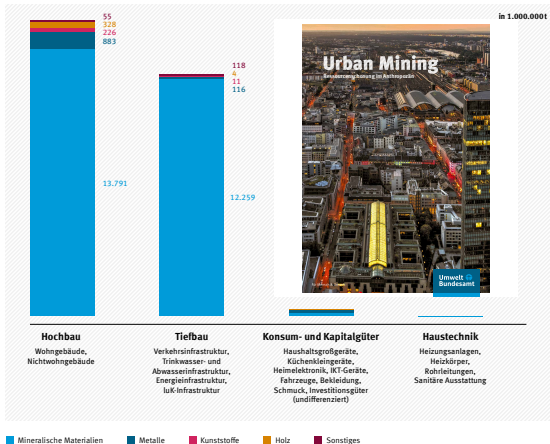


Anthropogenes Materiallager Deutschland 2010, aus [1].

Deutschland

- ▶ 1,3 Billionen Euro Materialwert
- ▶ +500 Mio Tonnen Material pro Jahr
- ▶ Recycling < 20%

Hinterlegte Werte durch Bautätigkeit



Anthropogenes Materiallager Deutschland 2010, aus [1].

Deutschland

- ▶ 1,3 Billionen Euro Materialwert
- ▶ +500 Mio Tonnen Material pro Jahr
- ▶ Recycling < 20%

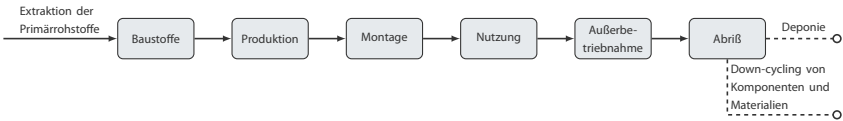


Luxemburg

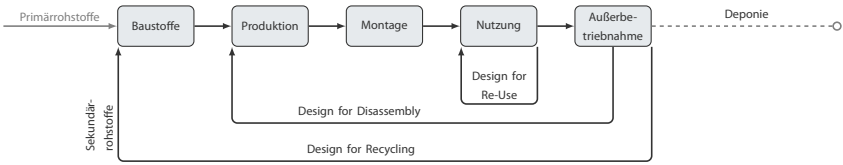
- ▶ Bau: 6% BIP
- ▶ Verdichtung

Materialeinsatz durch das Bauwesen

Sequentiell



Zirkulär



Konventioneller und kreislaforientierter Produkteinsatz.



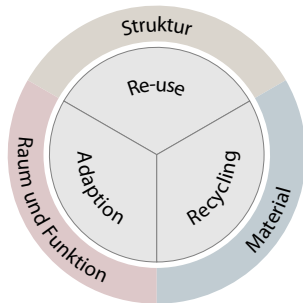
Reversibles Bauen

Design for Recycling

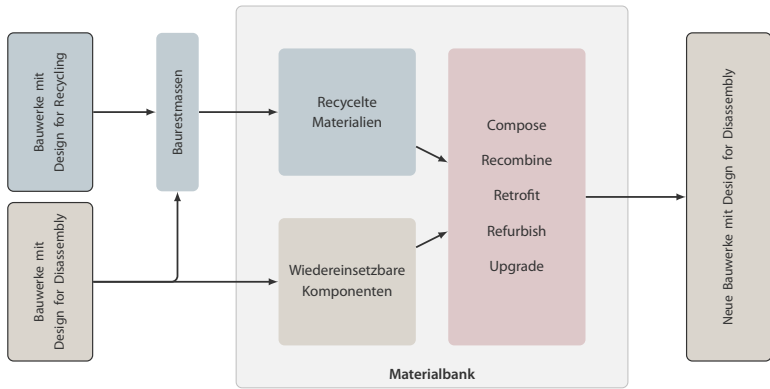
- ▶ Einsatz recyclebarer Materialien prinzipiell vorsehen,
- ▶ Rezyklierbarkeit bewerten und wichten,
- ▶ räumlichen Zugang sichern (Planung für Umbau, Rückbau und Abriss),
- ▶ detaillierte Dokumentation der eingesetzten Materialien/Produkte.

Design for Disassembly

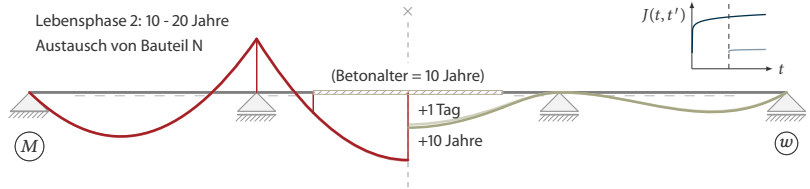
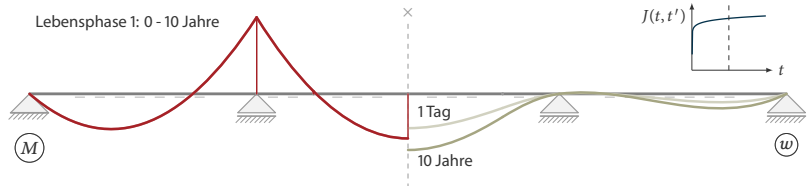
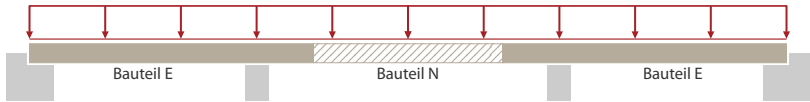
- ▶ räumliche und funktionale Transformation,
- ▶ Rekonfiguration und Erneuerung von Tragwerkskomponenten zulassen,
- ▶ modular-hierarchische Bauweisen mit entsprechenden konstruktiven Lösungen,
- ▶ Dokumentation des Bauwerkzustandes.



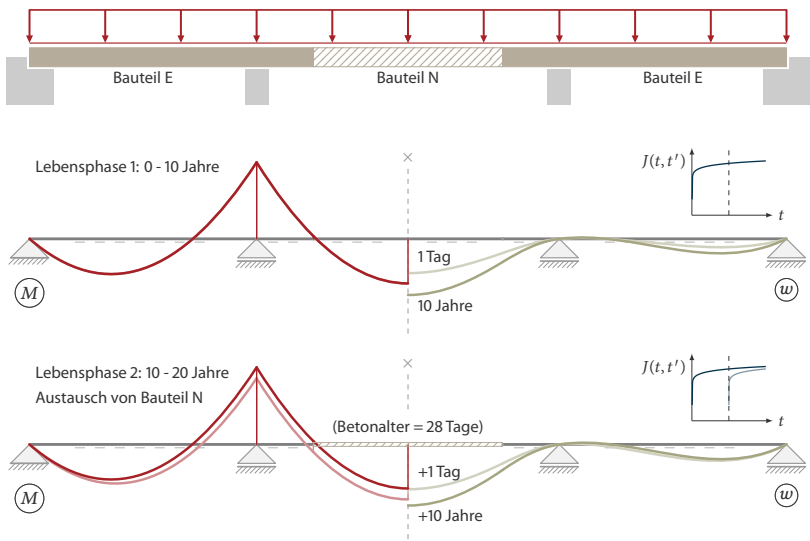
Konzept der Materialbank



Herausforderungen: Re-use



Herausforderungen: Re-use



Hierarchisches *digital twinning*



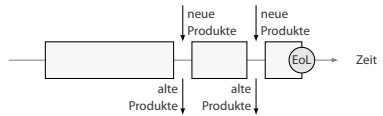
Hierarchisches *digital twinning*



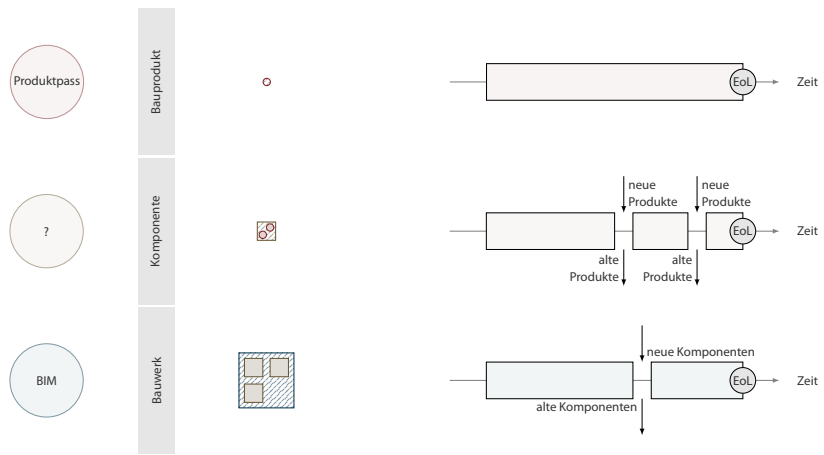
Bauprodukt



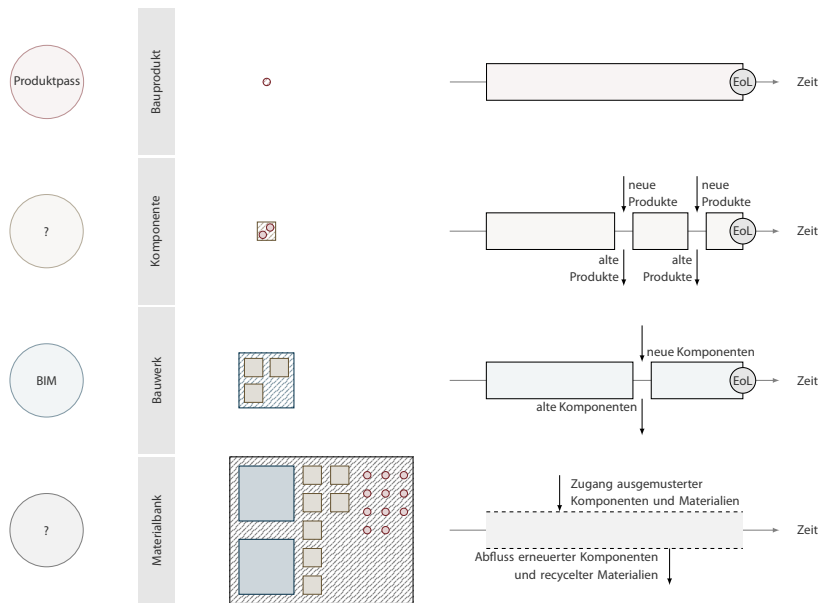
Komponente



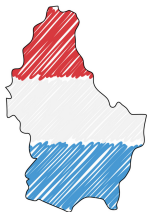
Hierarchisches *digital twinning*



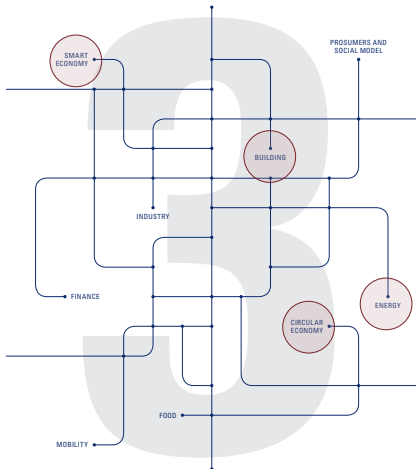
Hierarchisches *digital twinning*



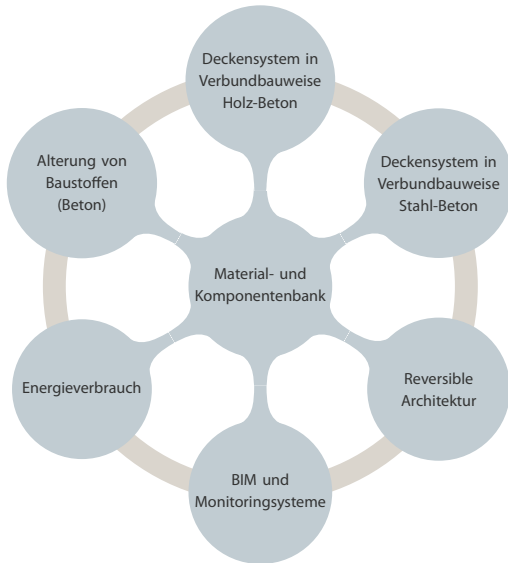
Econ4SD für Luxemburg



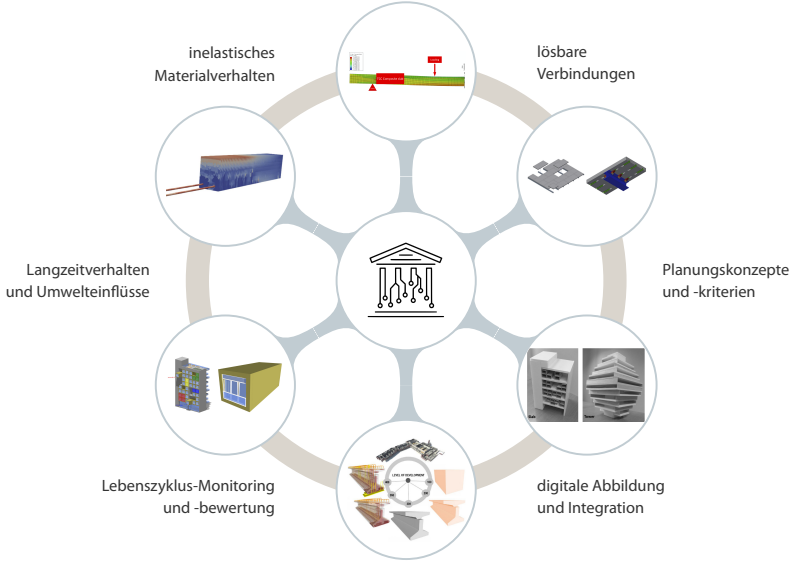
THE 3RD INDUSTRIAL REVOLUTION STRATEGY STUDY



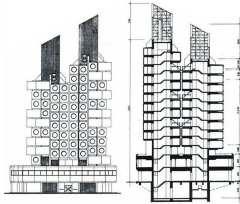
FOR THE GRAND DUCHY OF LUXEMBOURG



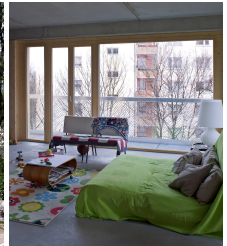
Econ4SD – Themen



Recyclebare Architektur (?)



Kisho Kurokawa, Nakagin Capsule Tower, 1970-72, [2].



Heide & Von Beckerath, Cohousing, 2010-2013, [4].



Werner Sobek, Einfamilienhaus R128, 1998-2000, [3].



Gramazio Kohler Architects, NEST, 2010-2016, [5].

Reversible Architektur

Tendenzen

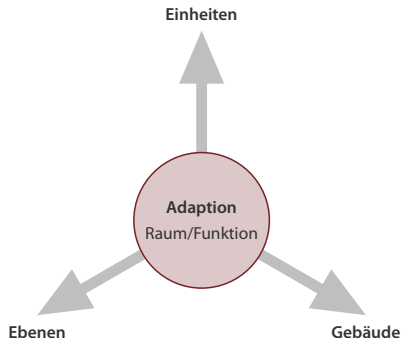
- ▶ Innovation oft zunächst auf Bürogebäude ausgerichtet
- ▶ Hemmnisse nachträglicher Modifikation minimieren

Ziele – Raum und Funktion

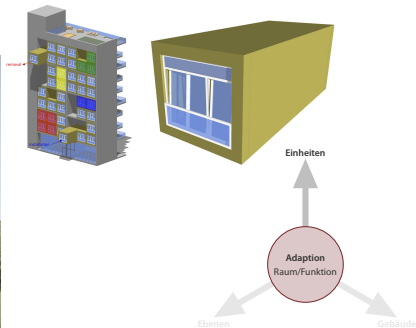
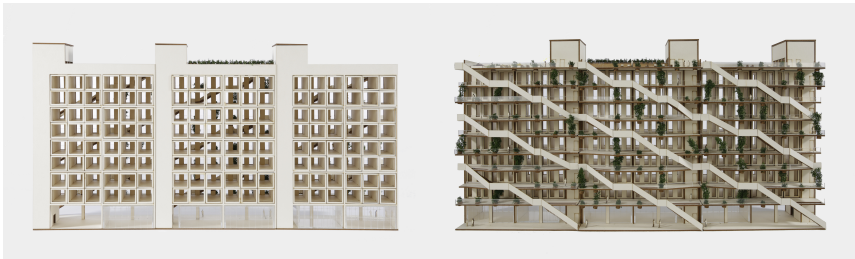
- ▶ Flexibilität
- ▶ Zugänglichkeit
- ▶ Ausführbarkeit

Ziele – Struktur und Material

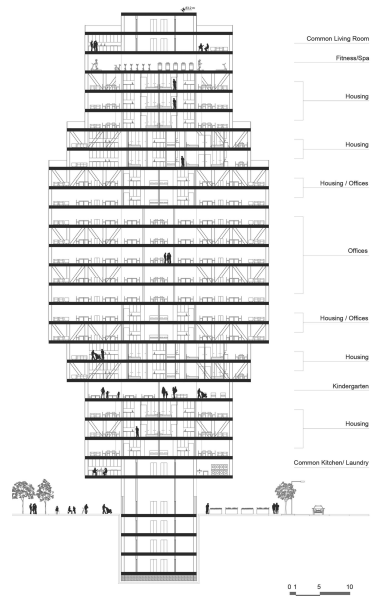
- ▶ Recycling
- ▶ Dekonstruierbarkeit



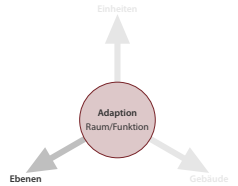
Reversible Architektur – Entwurf Slab



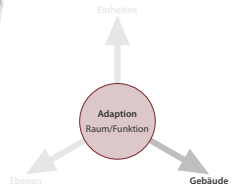
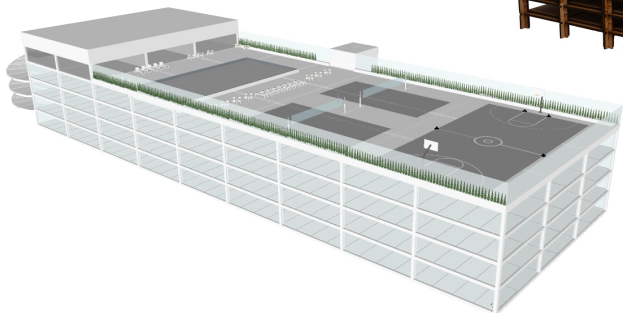
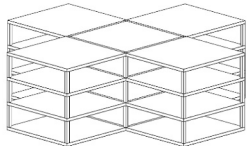
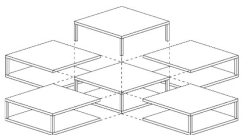
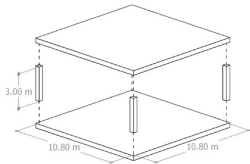
Reversible Architektur – Entwurf Tower



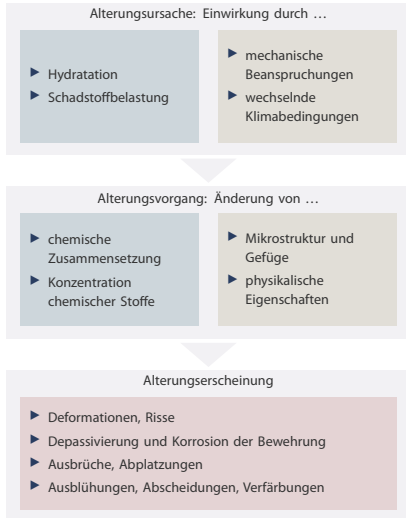
- Common Living Room
- Fitness/Spa
- Housing
- Housing
- Housing / Offices
- Offices
- Housing / Offices
- Housing
- Kindergarten
- Housing
- Common Kitchen/ Laundry



Reversible Architektur – Entwurf *Demountable*



Betonalterung - Phänomenologie



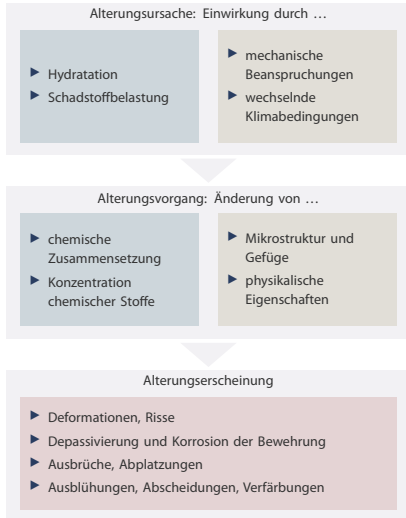
Deformationsprozess

- ▶ elastisch
- ▶ inelastisch:
visko-elastisch, elasto-plastisch
- ▶ Schwinddehnungen
- ▶ Temperaturdehnungen
- ▶ Schädigung

Diffusions-Reaktions-Prozesse

- ▶ Feuchte
- ▶ Temperatur
- ▶ Kohlendioxid
- ▶ Chlorid, ...

Betonalterung - Phänomenologie



Deformationsprozess

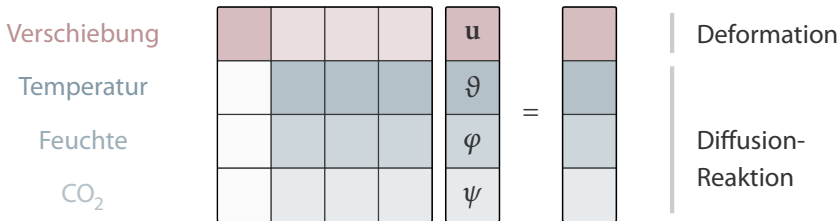
- ▶ **elastisch**
- ▶ **inelastisch:**
 - visko-elastisch**, elasto-plastisch
- ▶ **Schwinddehnungen**
- ▶ **Temperaturdehnungen**
- ▶ **Schädigung**

Diffusions-Reaktions-Prozesse

- ▶ **Feuchte**
- ▶ **Temperatur**
- ▶ **Kohlendioxid**
- ▶ **Chlorid, ...**

Betonalterung - Mehrfeldproblem

- ▶ alterungsabhängiges Kriechen nach Bažant [6]
- ▶ isotrope Schädigung und exponentielle Entfestigung
- ▶ Wärme- und Feuchtetransport nach Künzel [7]
- ▶ CO_2 -Transport nach Wittmann [8]



- !! nichtlinear, zeitabhängig, gekoppelt (schwach)
- !! unterschiedliche Zeitskalen der Teilprozesse
- !! Lösungsaufwand vom Deformationsproblem dominiert

Betonalterung - Deformation

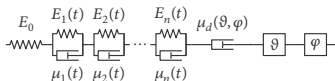
$$\boldsymbol{\sigma} = \mathbb{C}_{\text{eff}} : [\boldsymbol{\varepsilon}(\mathbf{u}) - \boldsymbol{\varepsilon}_K(t, \boldsymbol{\sigma}(t), \vartheta, \varphi) - \boldsymbol{\varepsilon}_T(\vartheta) - \boldsymbol{\varepsilon}_S(t, \varphi)]$$

Linear Ageing Viscoelasticity

- ▶ Integraltyp-Konstitutivbeziehung

$$\boldsymbol{\varepsilon}_K = \int_{t'}^t J(t, t'; \vartheta, \varphi) d\boldsymbol{\sigma}(t)$$

- ▶ Ratentyp-Konstitutivbeziehung (Approximation), MPS

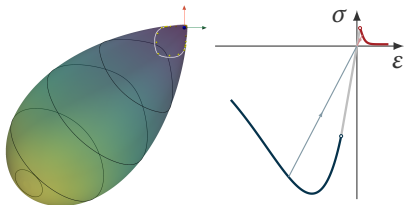


- ▶ *continuous retardation spectrum*, Bažant [9], Jirásek/Havlásek [10]
- ▶ *exponential algorithm*, Bažant [11]

Schädigung

- ▶ Versagen mit Einflächenmodell
- ▶ exponentielle Entfestigung

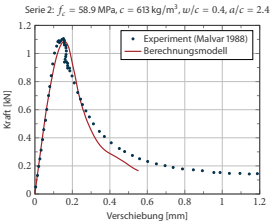
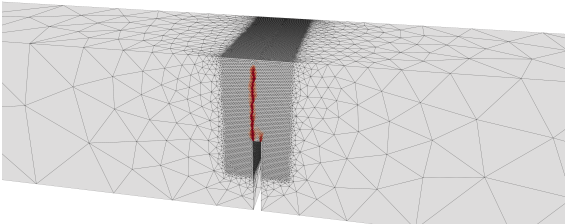
$$\mathbb{C}_{\text{eff}} = (1 - d) \mathbb{C}$$



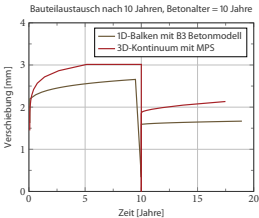
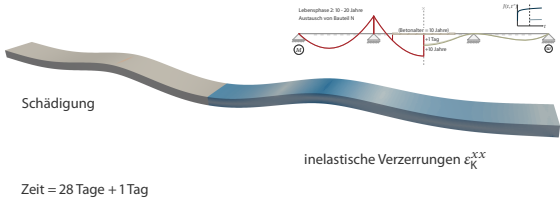
- ▶ *automatische Differentiation und Quellcode-Erzeugung* (FEniCS)

Betonalterung - Beispiele

3-Punkt-Biegeversuch: gekerbt, Schädigung, kein Kriechen

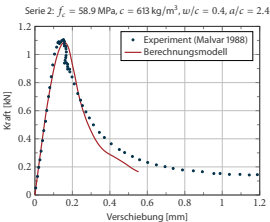
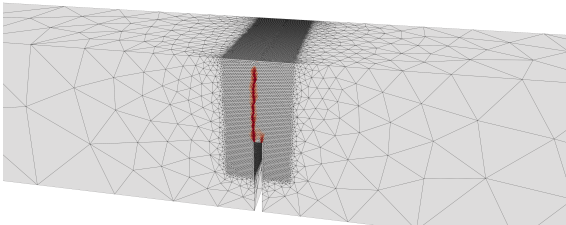


Durchlaufträger: Bauteilaustausch, mit Schädigung und Kriechen

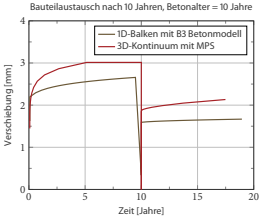
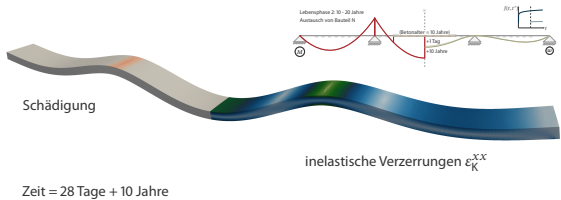


Betonalterung - Beispiele

3-Punkt-Biegeversuch: gekerbt, Schädigung, kein Kriechen

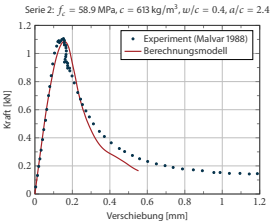
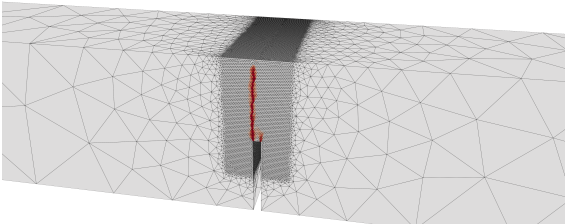


Durchlaufträger: Bauteilaustausch, mit Schädigung und Kriechen

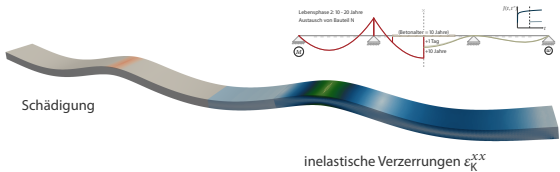


Betonalterung - Beispiele

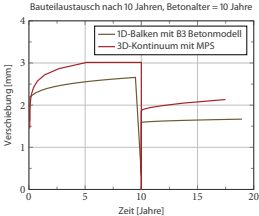
3-Punkt-Biegeversuch: gekerbt, Schädigung, kein Kriechen



Durchlaufträger: Bauteilaustausch, mit Schädigung und Kriechen

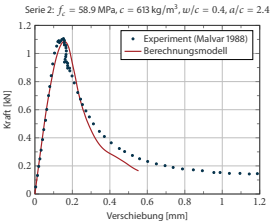
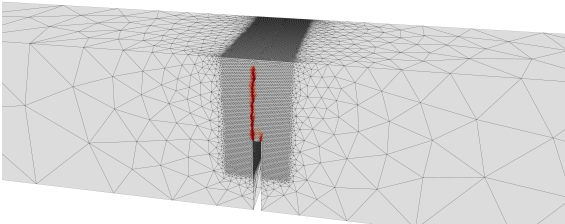


Zeit = (Bauteilaustausch) + 1 Tag

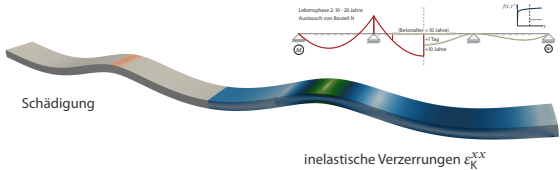


Betonalterung - Beispiele

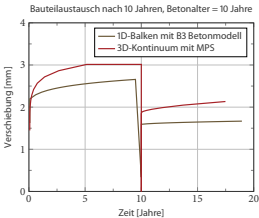
3-Punkt-Biegeversuch: gekerbt, Schädigung, kein Kriechen



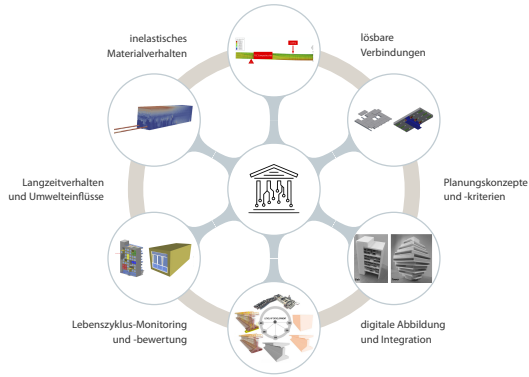
Durchlaufträger: Bauteilaustausch, mit Schädigung und Kriechen



Zeit = (Bauteilaustausch) + 10 Jahre



Zusammenfassung und Danksagung



- *Design for Deconstruction*
- Material- und Komponentenbank
- hierarchische digitale Zwillinge
- unterstützende Lösungsansätze

Das Projekt *Eco-construction for Sustainable Development* (Econ4SD) wird durch das Programm *Investissement pour la croissance et l'emploi* des Europäischen Fonds für regionale Entwicklung (2014-2020) unterstützt (Fördervereinbarung 2017-02-015-15).

- [1] Felix Müller. *Urban Mining – Ressourcenschonung im Anthropozän*. 2017. URL: https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1968/publikationen/uba_broschuere_urbanmining_rz_screen_0.pdf.
- [2] URL: <https://archeyes.com>.
- [3] URL: <https://www.wernersobek.de/en/projects/focus-en/design-en/r128/>.
- [4] URL: <https://heidevonbeckerath.com/single/r50-cohousing>.
- [5] URL: <http://www.gramaziokohler.com/web/e/bauten/196.html>.
- [6] Z. P. Bažant et al. "Microprestress-Solidification Theory for Concrete Creep. I: Aging and Drying Effects". In: *Journal of Engineering Mechanics* 123.11 (1997), pp. 1188–1194.
- [7] H. M. Künzle. *Simultaneous heat and moisture transport in building components*. Tech. rep. Fraunhofer Institute of Building Physics, 1995.
- [8] L. M. Brieger and F. H. Wittmann. "Numerical simulation of carbonation of concrete". In: *Int. Colloquium Werkstoffwissenschaften und Bausanierung*. 1986.
- [9] Z. P. Bažant and Y. Xi. "Continuous Retardation Spectrum for Solidification Theory of Concrete Creep". In: *Journal of Engineering Mechanics* 121.2 (Feb. 1995), pp. 281–288. DOI: 10.1061/(asce)0733-9399(1995)121:2(281). URL: [https://doi.org/10.1061/\(asce\)0733-9399\(1995\)121:2\(281\)](https://doi.org/10.1061/(asce)0733-9399(1995)121:2(281)).
- [10] M. Jirásek and P. Havlásek. "Accurate approximations of concrete creep compliance functions based on continuous retardation spectra". In: *Computers & Structures* 135 (2014), pp. 155–168.
- [11] Z. P. Bažant. "Numerically Stable Algorithm with Increasing Time Steps for Integral-Type Aging Creep". In: *SMIRT*. 1971.

