

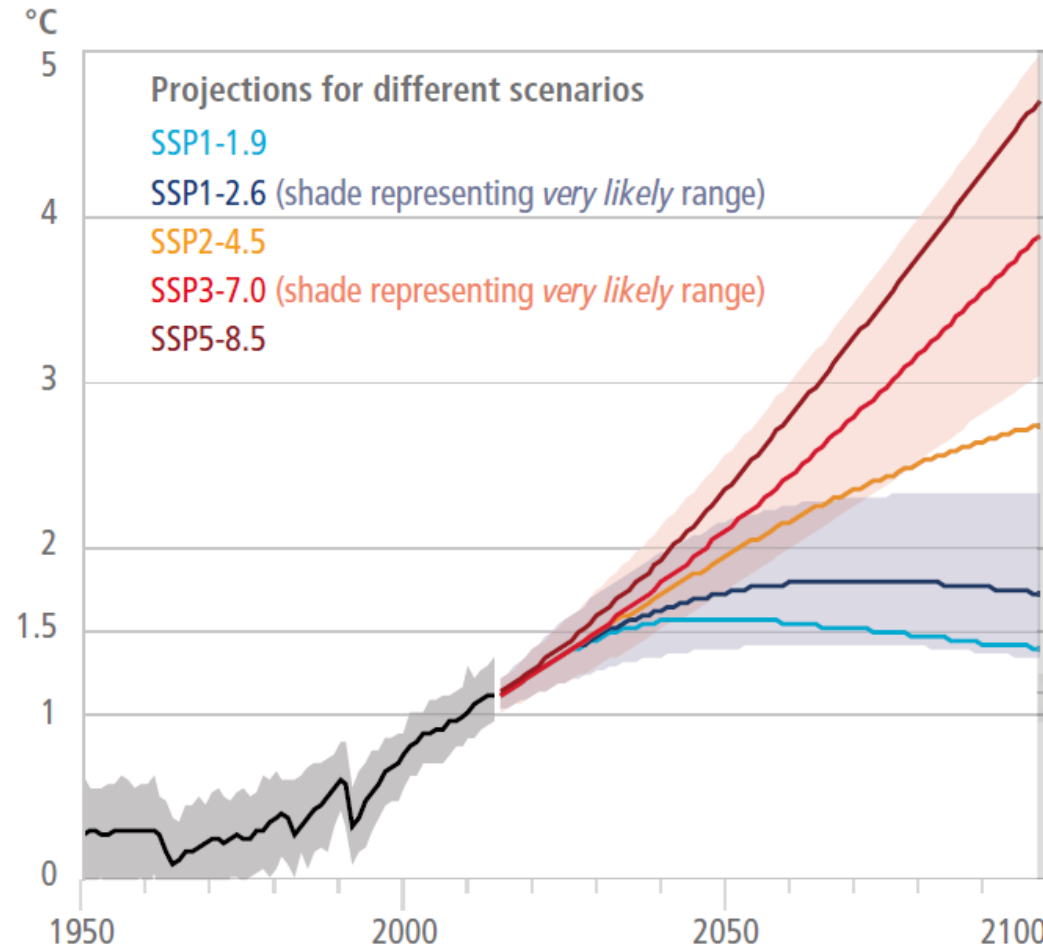


Nachhaltigkeitsbewertung von Stahlbetonbauwerken im Kontext des Lebenszyklus

Univ.-Prof'in Dr.-Ing. Sylvia Keßler

IPCC: Klimawandel

Globale Oberflächentemperaturänderung: Anstieg im Vergleich zum Zeitraum 1850–1900



➤ **Net-zero im Bauwesen erforderlich!**

IPCC, 2022: Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability.



ZIELE

UN Nachhaltige Entwicklungsziele



Nachhaltigkeitsziele

**„Ziel des DAfStb ist,
bis spätestens 2045 die Klimaneutralität
der Betonbauweise zu erreichen.“**

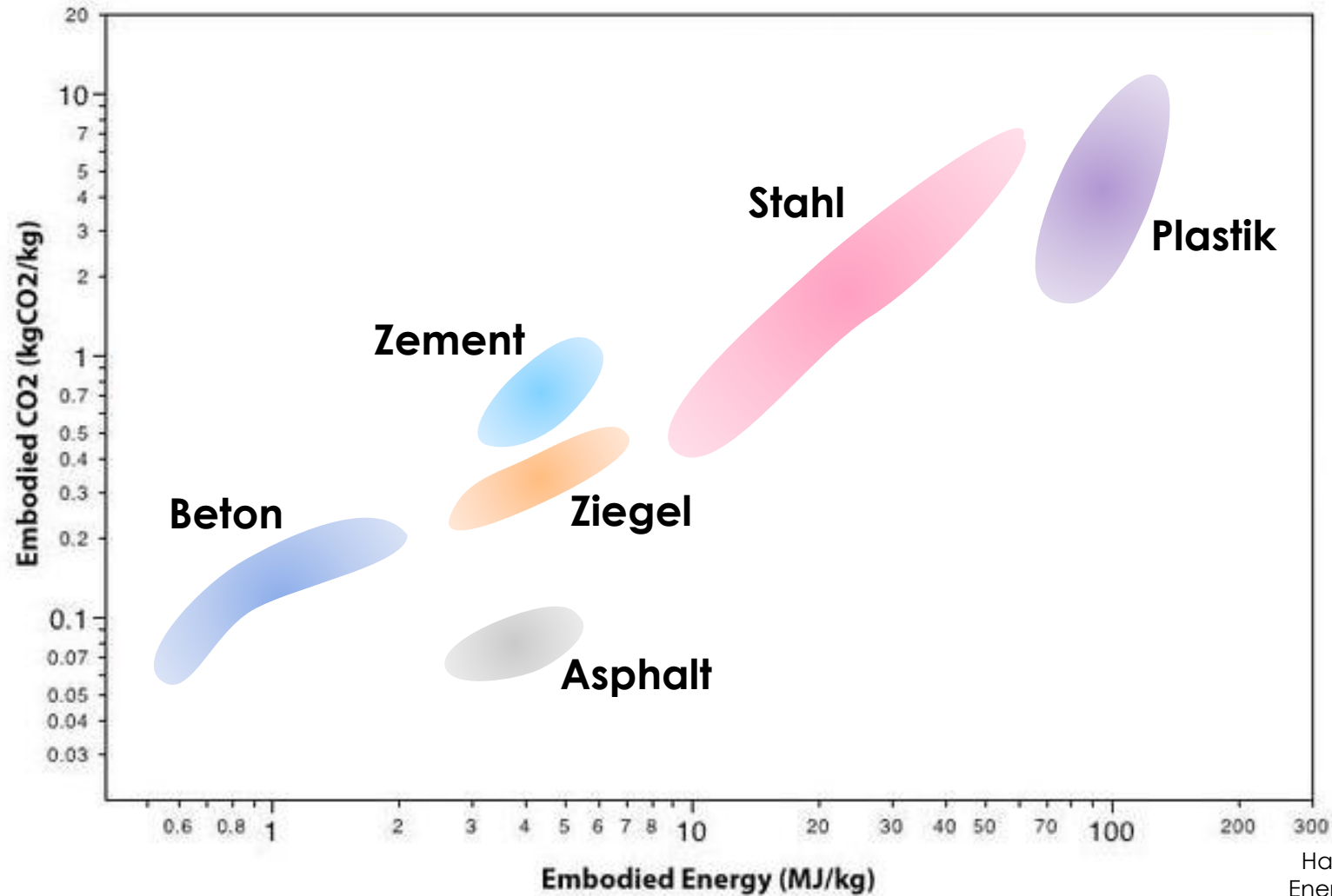
Maßnahmen:

- a) eine unverzügliche und drastische Reduzierung der CO₂-Emissionen als essenziellen Beitrag zum Klimaschutz;**
- b) Vorsorge leisten für die bereits vorhandenen Folgen des Klimawandels;**
- c) Ressourcenschonung und Materialoptimierung**



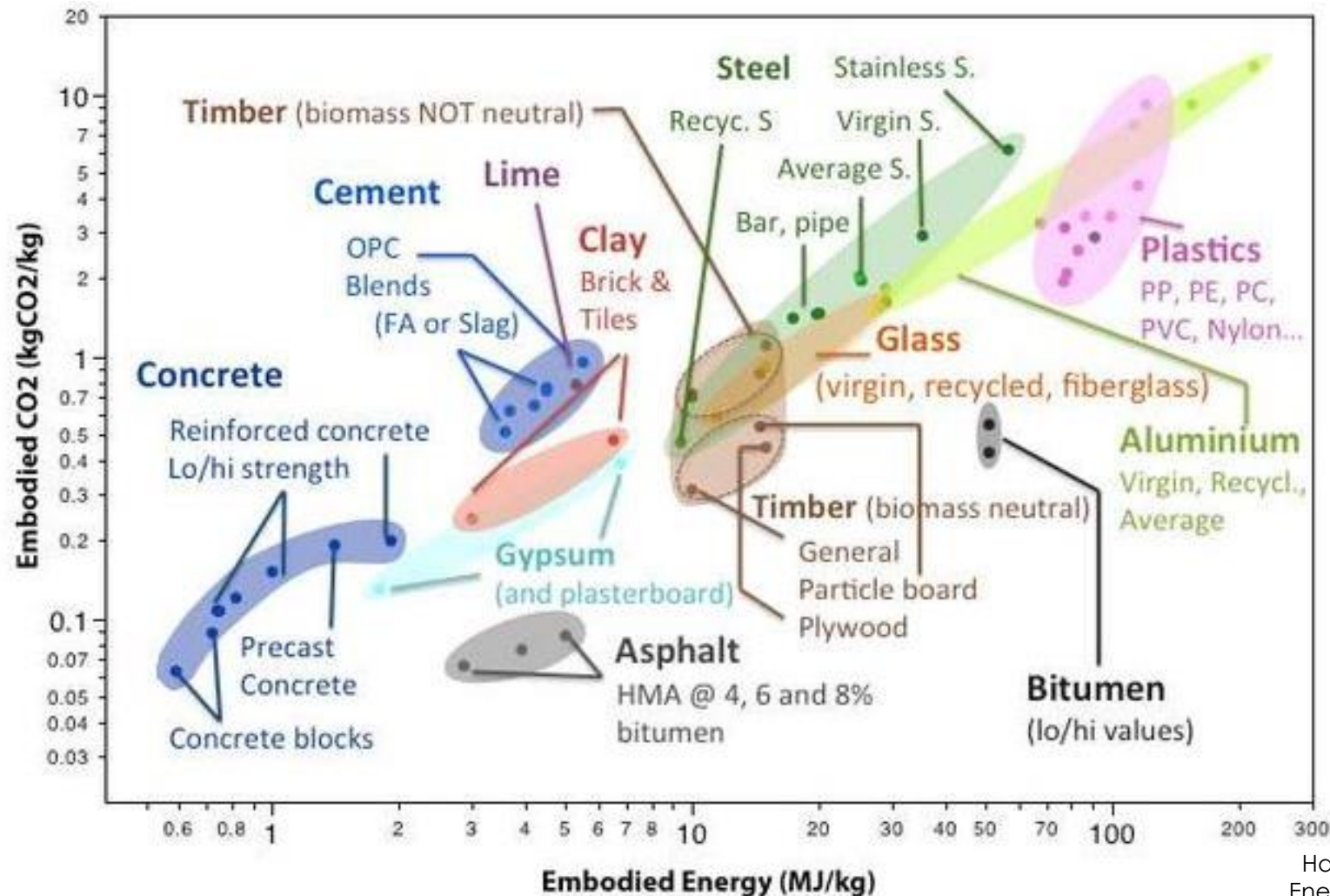
POTENTIALIALE

Materialauswahl



Hammond(2011), "Embodied Carbon. The Inventory of Carbon and Energy (ICE)", G. Hammond, C. Jones, 2011, BSRIA, ISBN: 978-0-86022-703-8

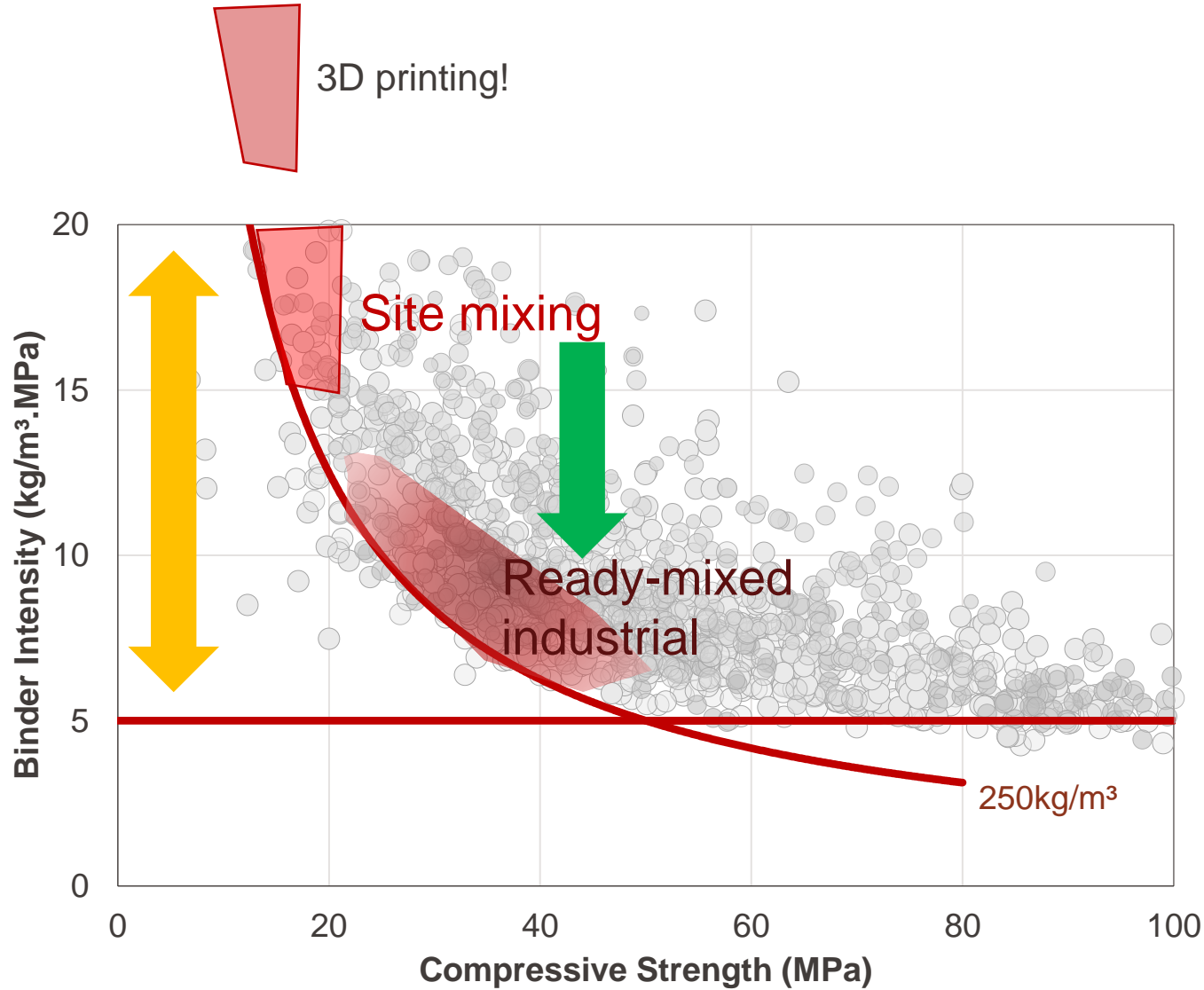
Materialauswahl



- **>50% aller produzierten Materialien sind zementhaltige Materialien**
- **Dies führt zu 8% des CO₂-Ausstosses jährlich**
- **Geringe intrinsische Umweltbelastung**

Hammond(2011), "Embodied Carbon. The Inventory of Carbon and Energy (ICE)", G. Hammond, C. Jones, 2011, BSRIA, ISBN: 978-0-86022-703-8

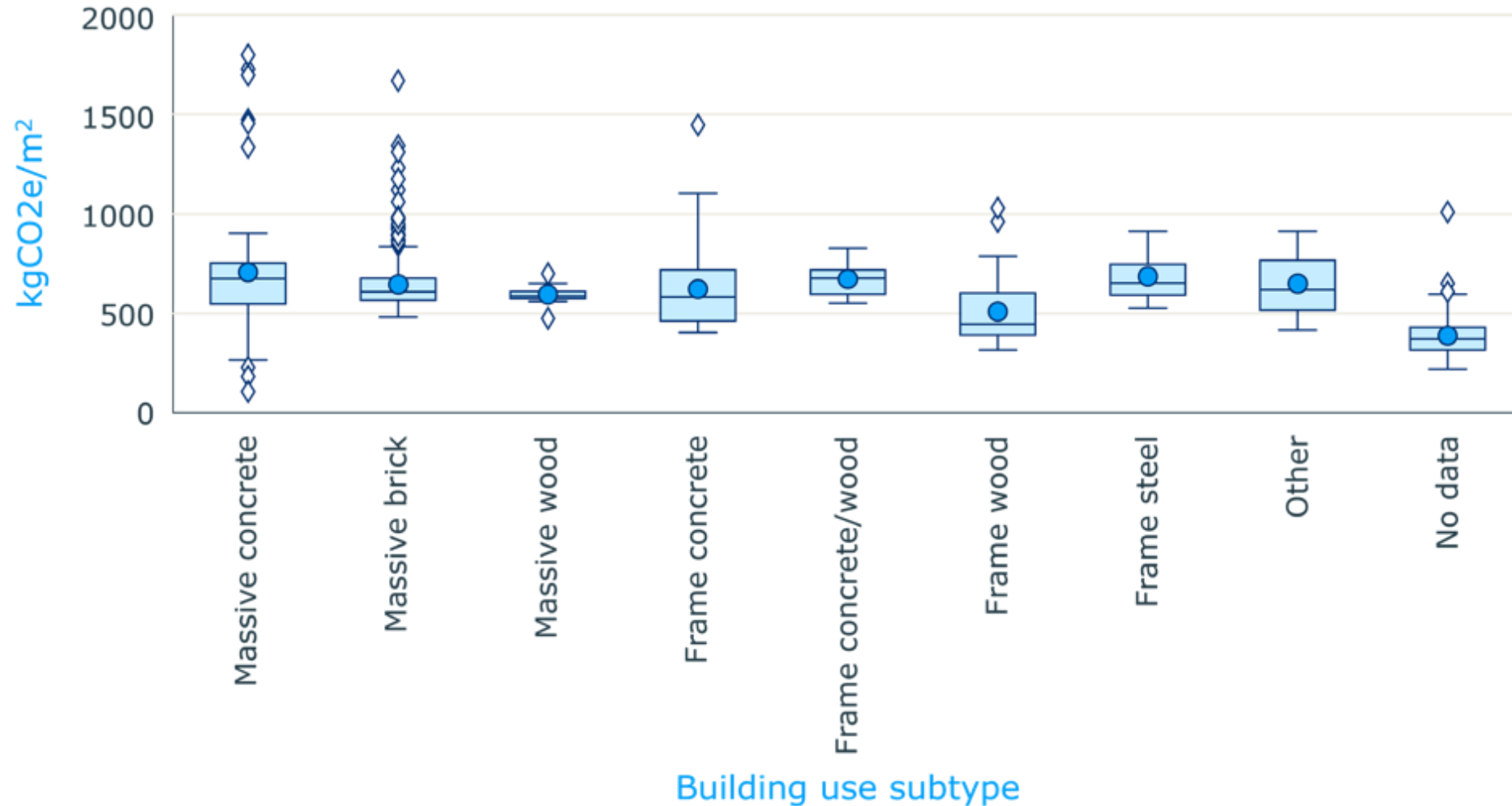
Effizienz des Bindemittleinsatzes



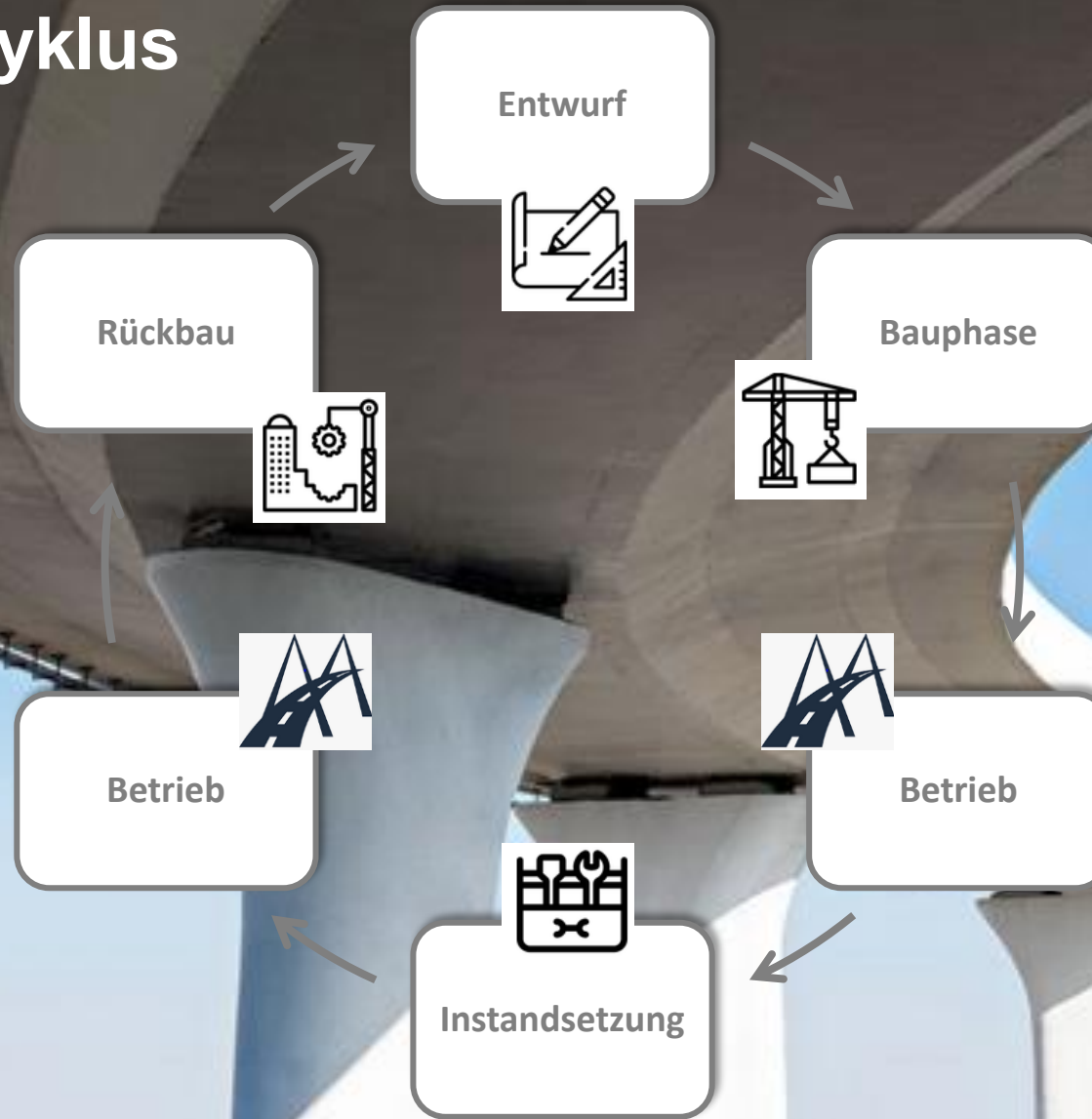
Damineli, et al. Measuring the eco-efficiency of cement use. Cement and Concrete Composites, 32, p. 555-562, 2010

Können wir Beton ersetzen?

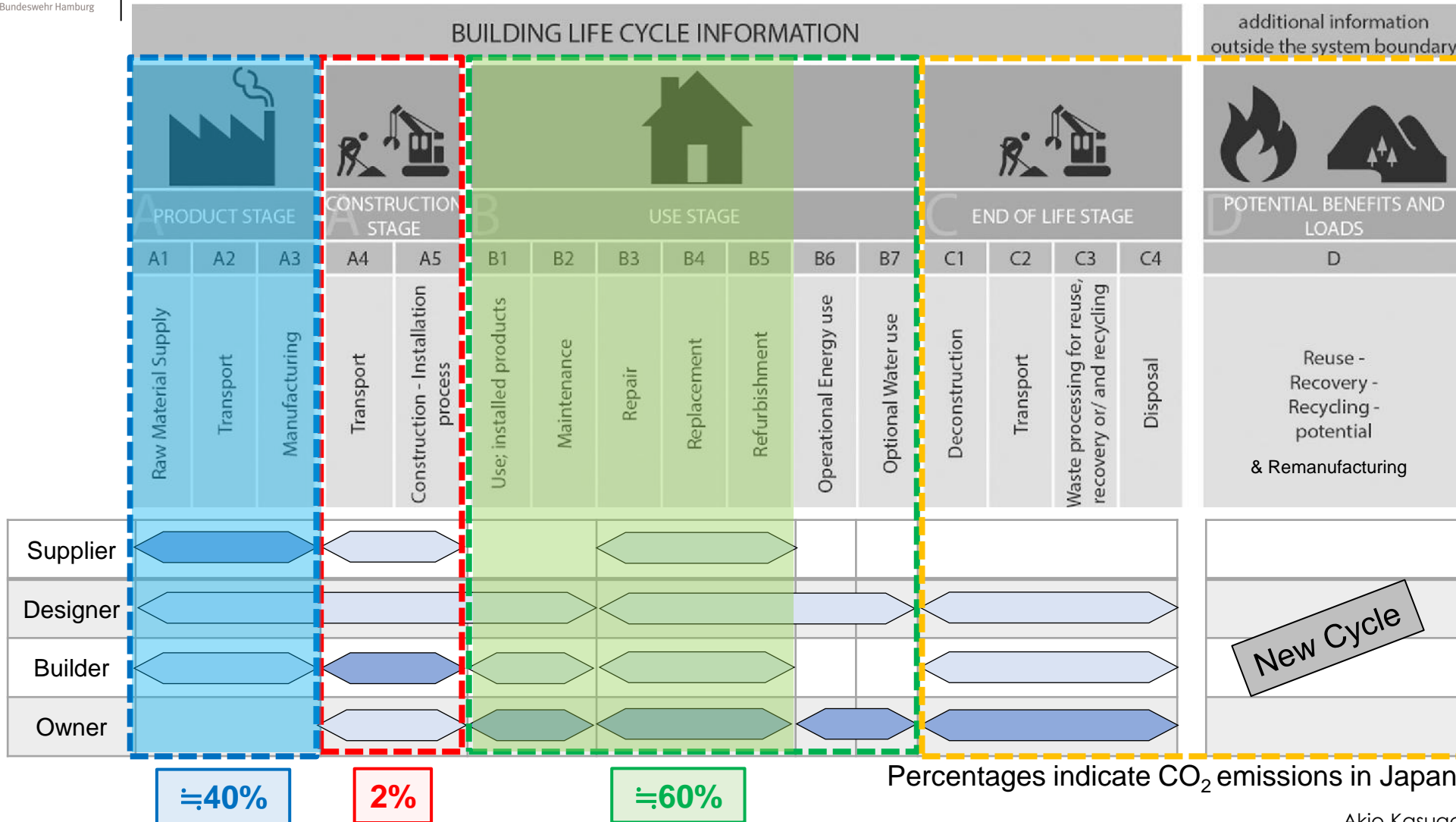
Enthaltener Kohlenstoff pro m² nach Gebäudestrukturtyp für alle Fälle nach EU-ECB



Lebenszyklus



CO₂-Emissionen im Lebenszyklus

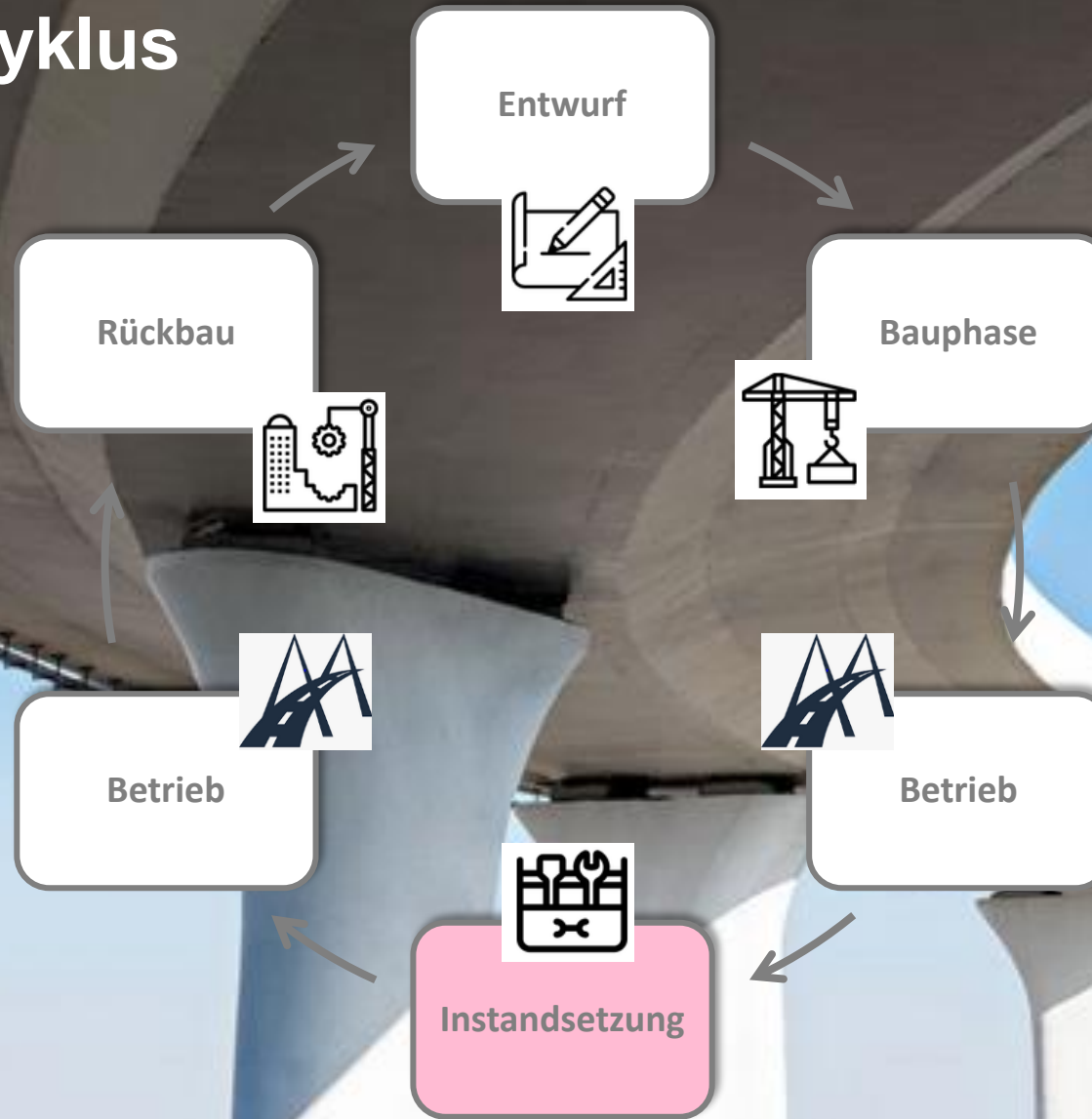


Akio Kasuga (2022)

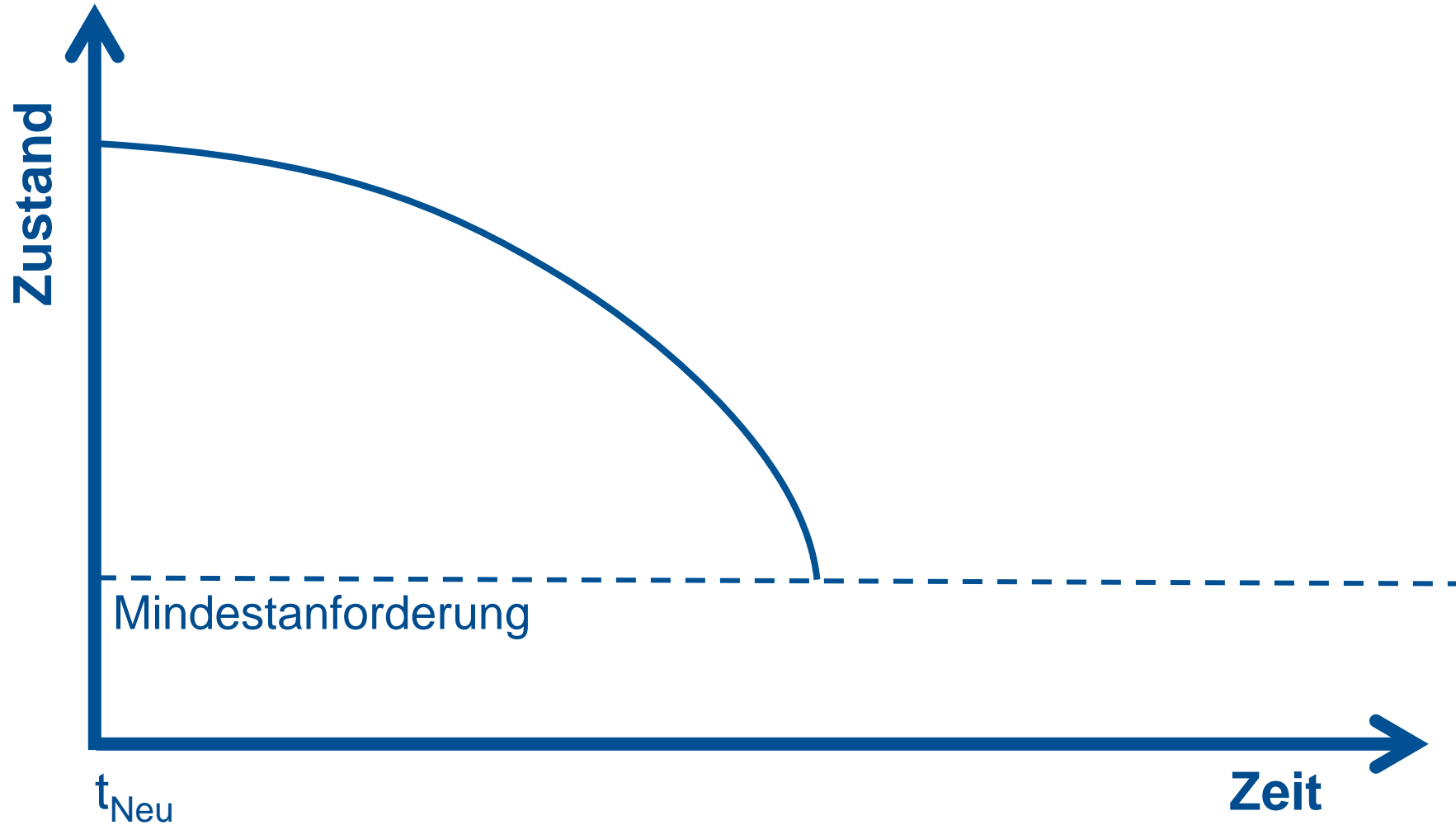
DOI:10.1002/suco.202200838

FALLSTUDIE

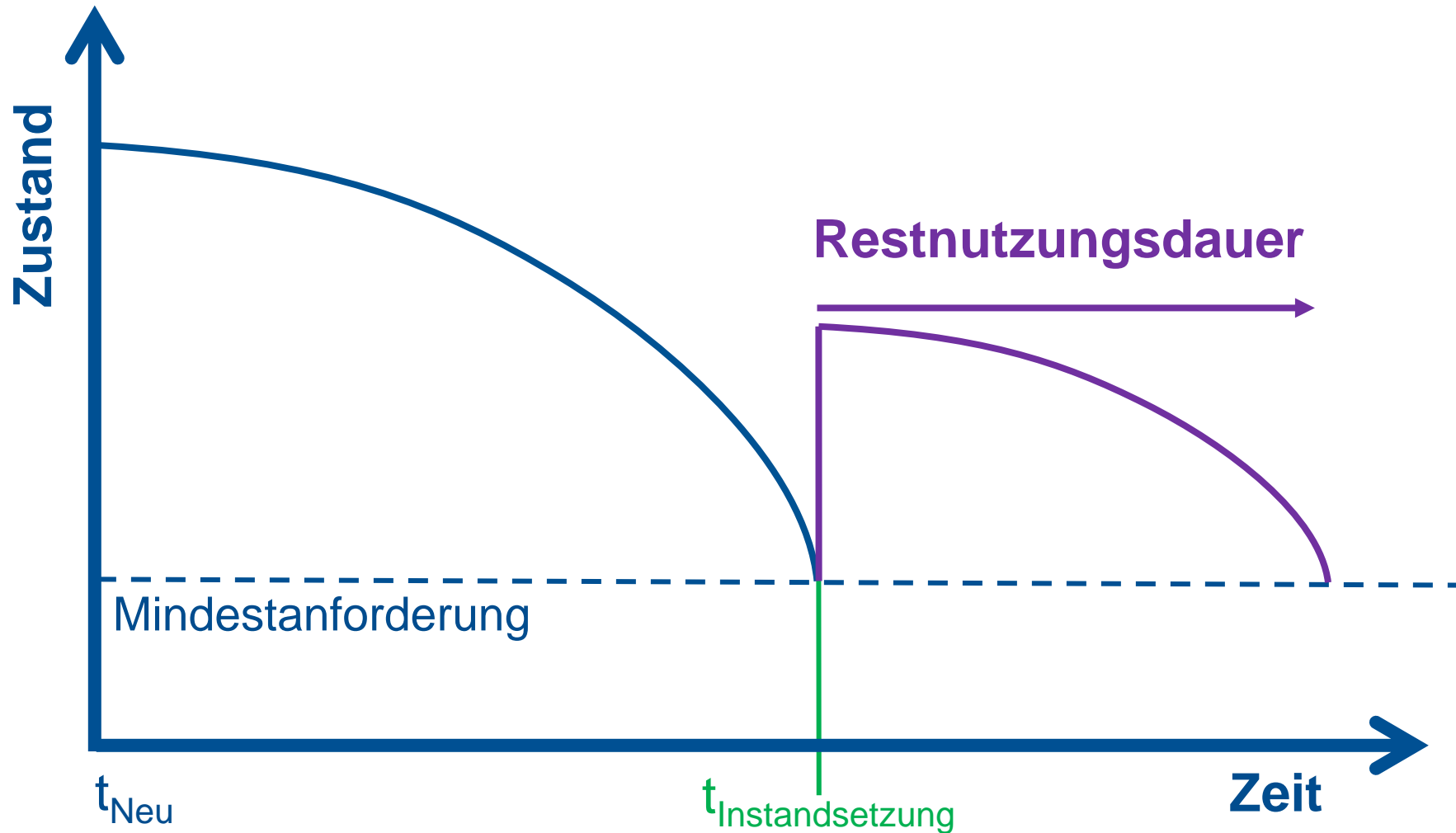
Lebenszyklus



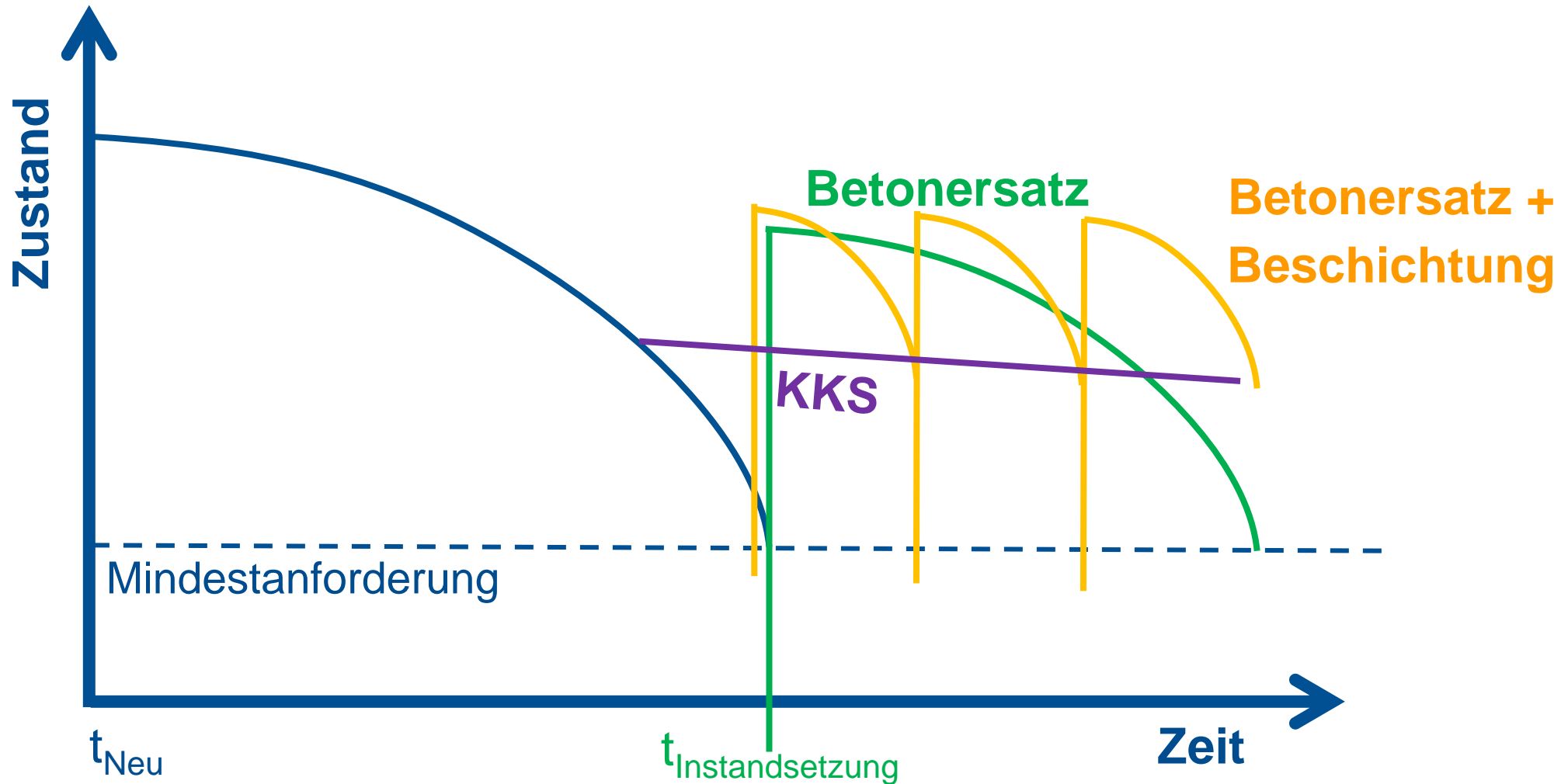
Lebenszyklus



Lebenszyklus



➤ Nachhaltigkeit???



Instandsetzungsverfahren

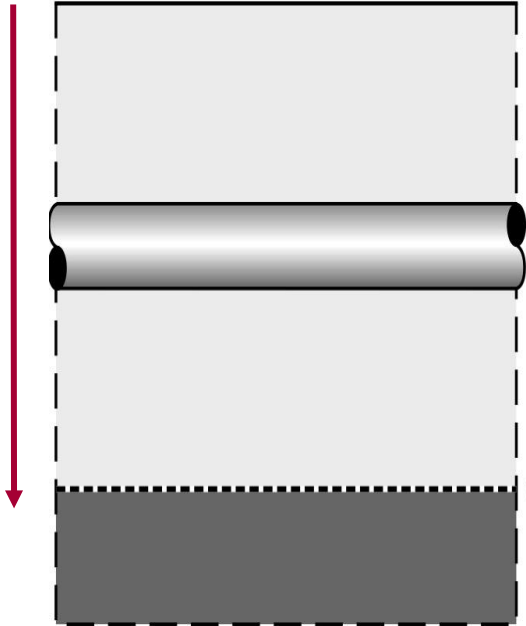
Vor Instandsetzung

Betonersatz

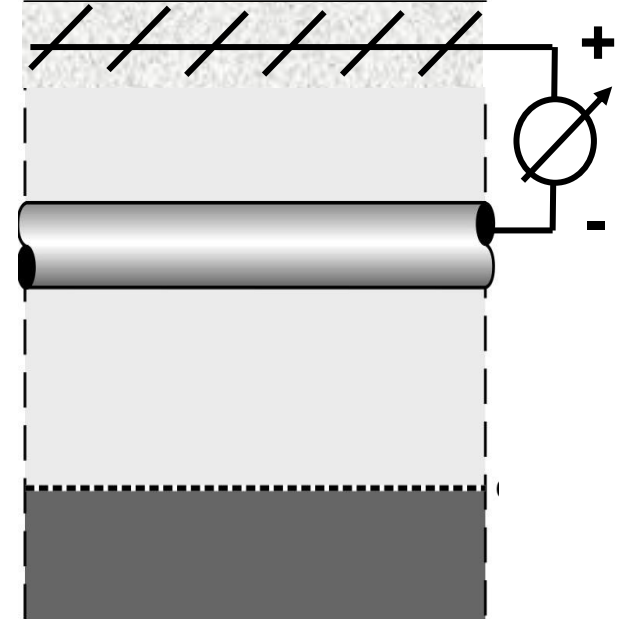
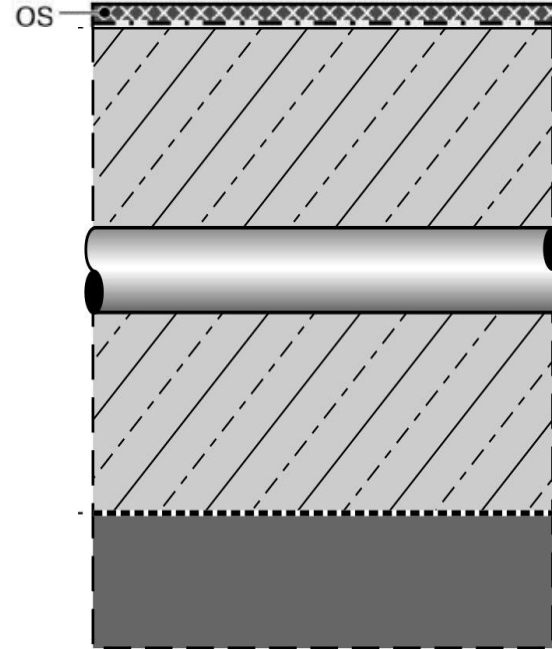
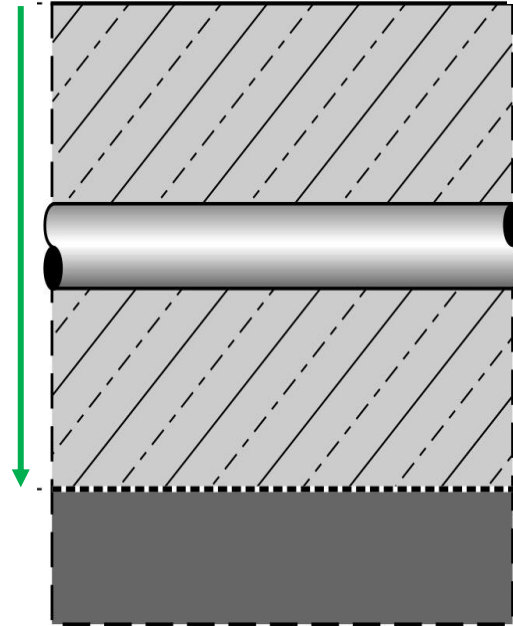
Betonersatz
+ Beschichtung

KKS

Tiefe des kritischen Chloridgehalt



Tiefe des Betonersatz



ÖKOBILANZ

Ökobilanzierung



Ökobilanzierung - Wirkungskategorien

Emissionskategorien

Klimawandel



Stratosphärischer Ozonabbau



Photochemische Oxidantienbildung



© Stripped Pixel / Fotolia

Versauerung



Eutrophierung und Sauerstoffzehrung



Toxische Schädigung von Menschen durch Feinstaub



© Stripped-Pixel / Fotolia

Ressourcenkategorien

Naturraumbeanspruchung

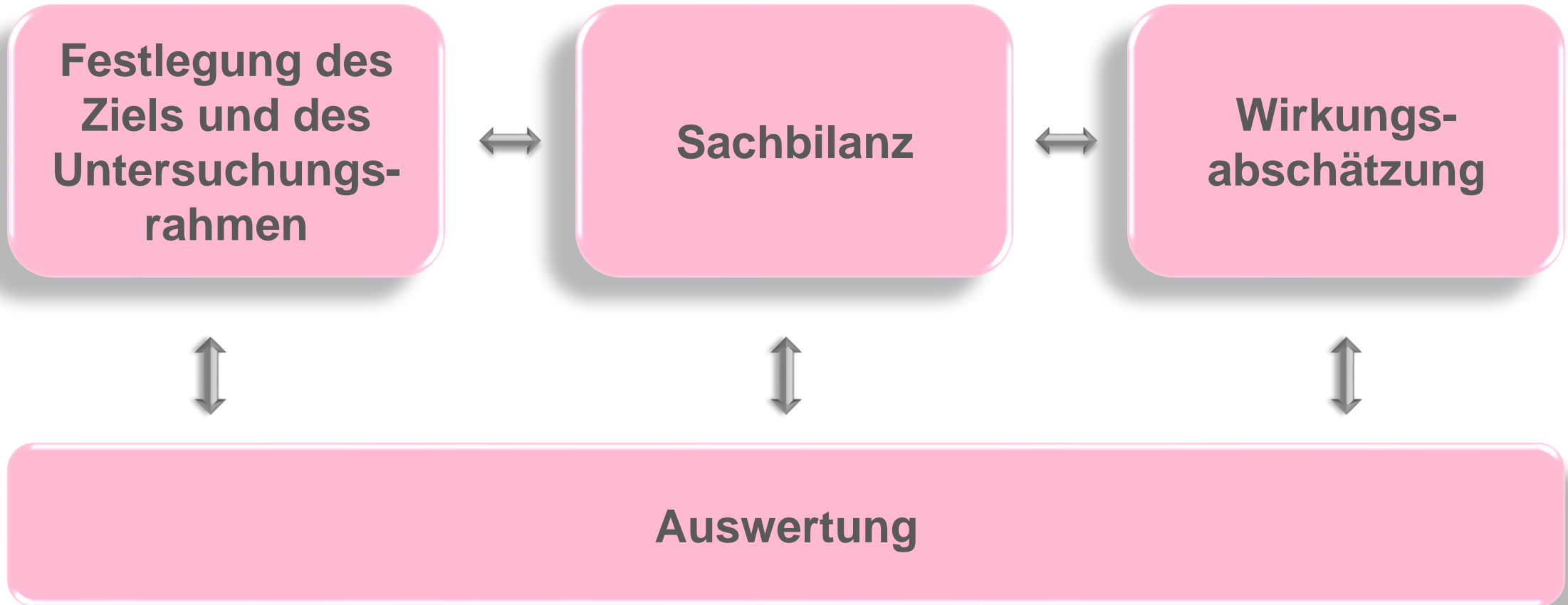


Ressourcenbeanspruchung



© ted007 / Fotolia

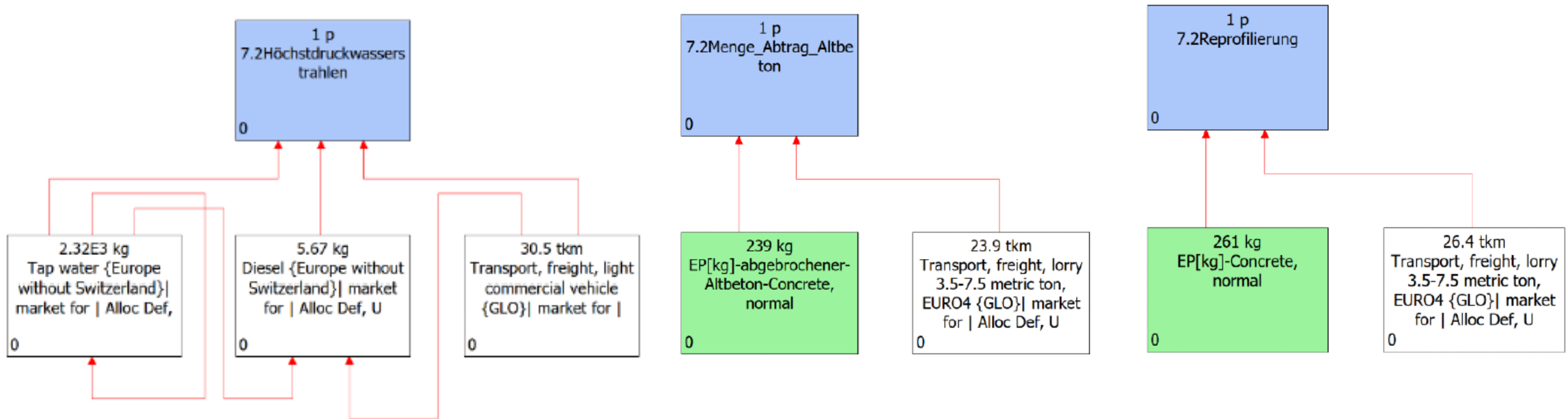
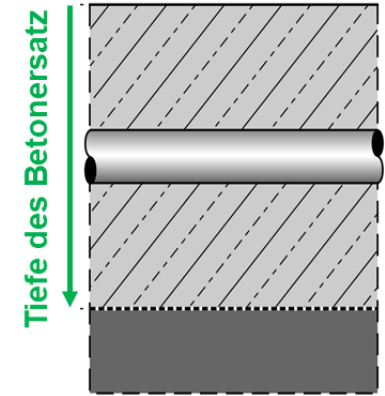
Ökobilanzierung



Instandsetzungsverfahren: Betonersatz

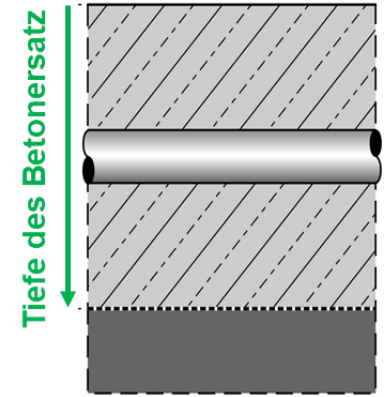
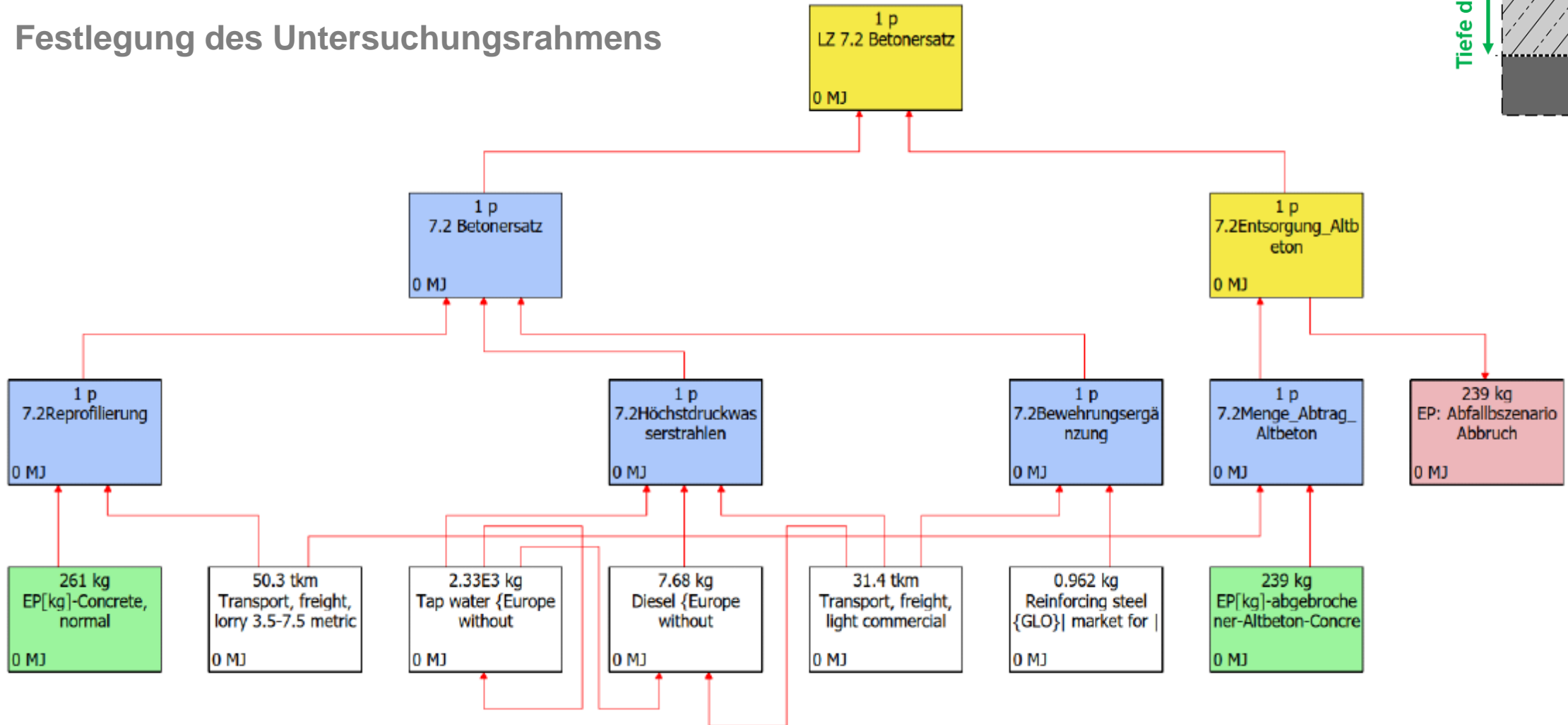
Festlegung des Untersuchungsrahmens

- Betonabtrag durch Hochdruckwasserstrahlen
- Betonherstellung
- Verarbeitung vom Beton
- Betonentsorgung



Instandsetzungsverfahren: Betonersatz

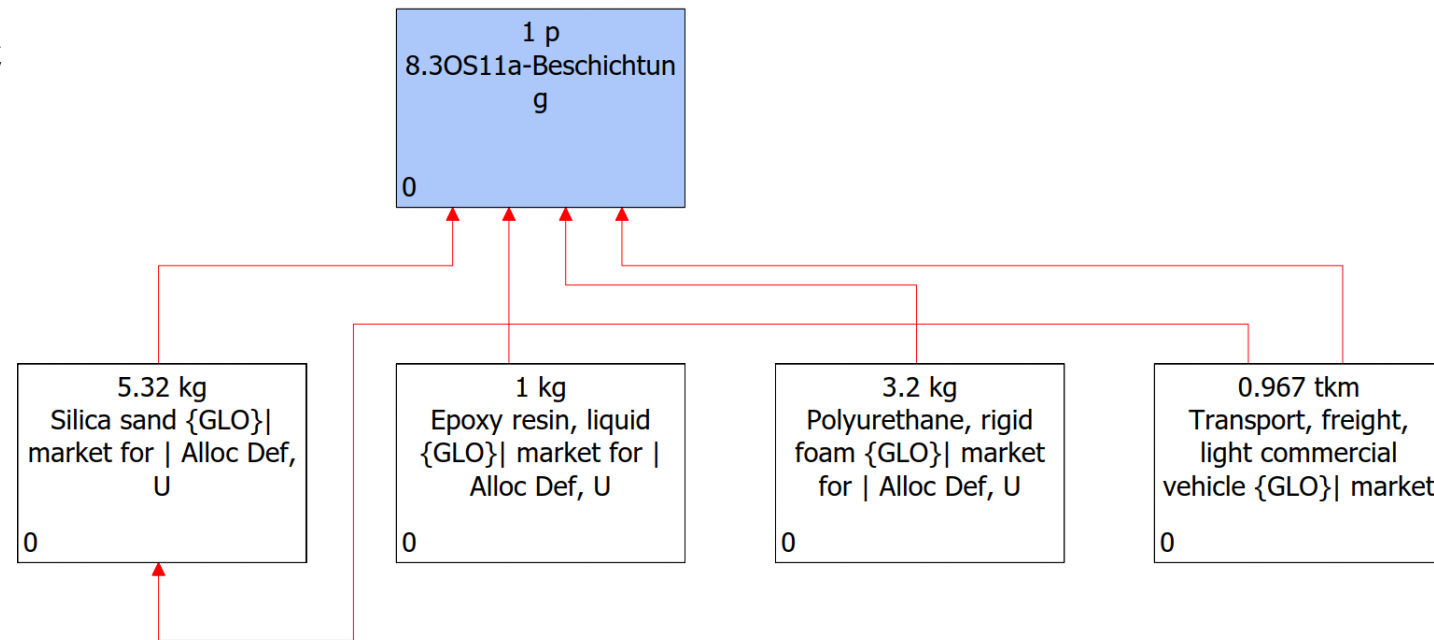
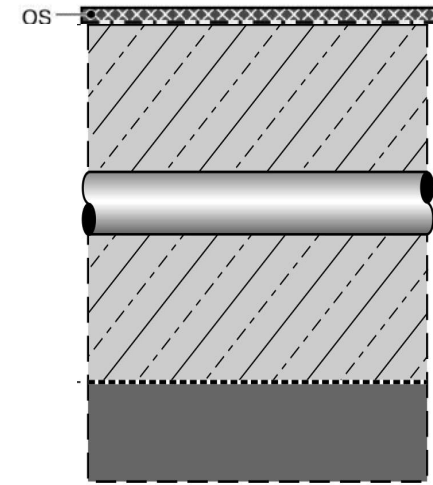
Festlegung des Untersuchungsrahmens



Instandsetzungsverfahren: OS

Festlegung des Untersuchungsrahmens

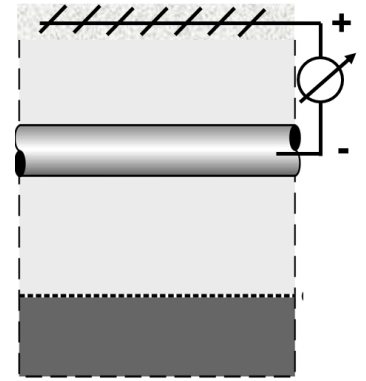
- Beispiel Baugruppe der OS 11a Beschichtung:
- 5,3 kg Quarzsand
- 1 kg Epoxidharz
- 3,2 kg Polyurethane
- Transport 100 km mit LC



Instandsetzungsverfahren: KKS

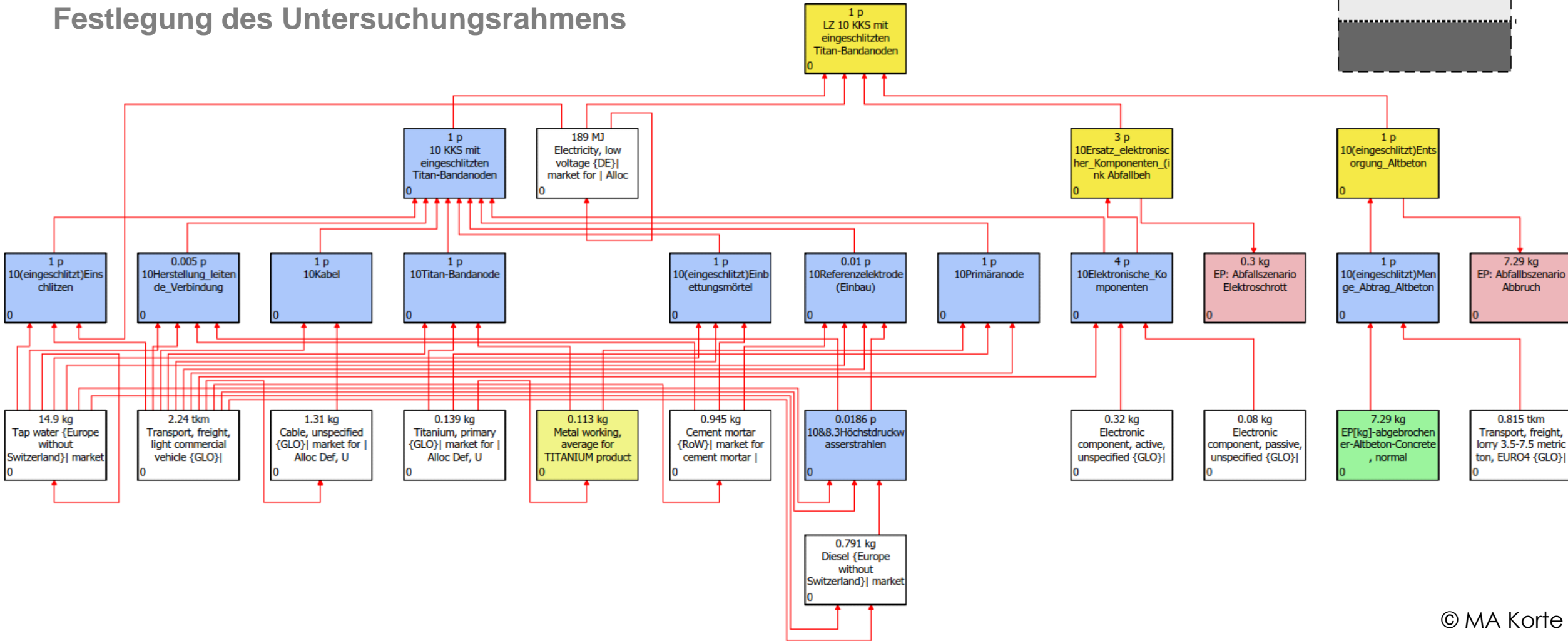
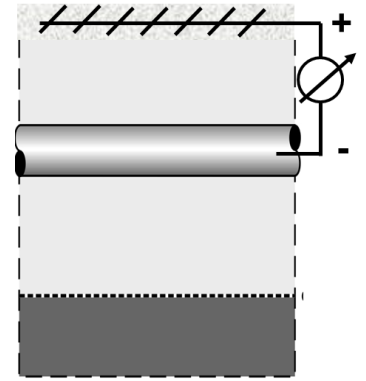
Festlegung des Untersuchungsrahmens

- Herstellung der Titananoden
- Herstellung des Einbettungsmörtels
- Herstellung von Referenzelektroden
- Produktion der elektronischen Komponenten
(z.B. Netzteile, Transformatoren und Gleichrichter, Steuergeräte, Datenmanagementsysteme und Anschlussboxen, Kabel)
- Betonfräsen
- Installation der Bandanoden
- Installation der Bezugselektroden
- Installation des elektrischen Kontakts zur Bewehrung
- Verarbeitung des Einbettungsmörtels
- Entsorgung von Beton
- Entsorgung von Elektroschrott



Instandsetzungsverfahren: KKS

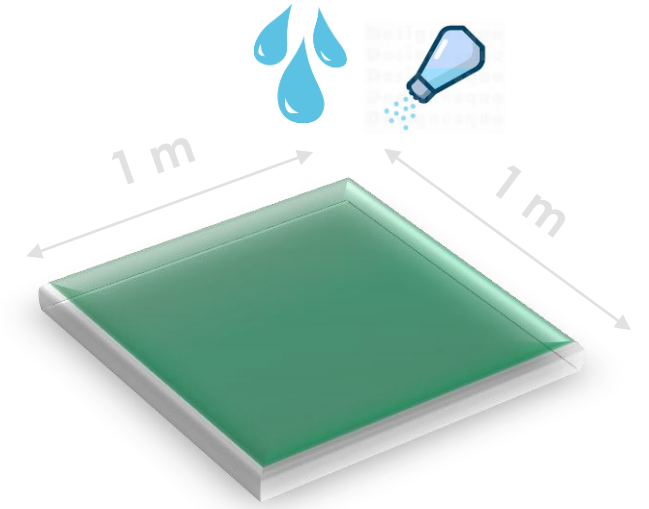
Festlegung des Untersuchungsrahmens



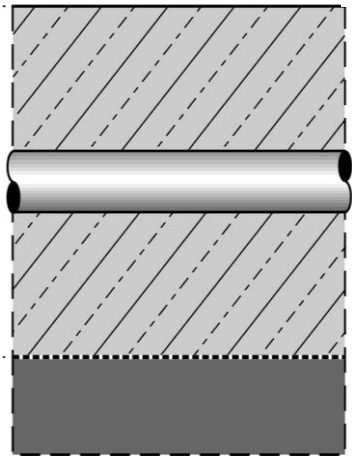
Instandsetzungsverfahren

Festlegung der Funktionellen Einheit

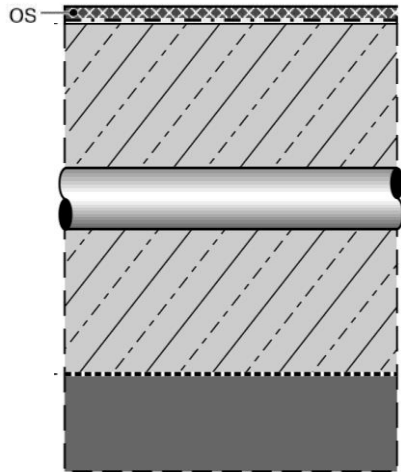
- 1 m² befahrenes Parkdeck
- Expositionsklasse XD3
- Restnutzungsdauer 50 Jahre
- CEM I
- w/z-Wert: 0,45
- Zementgehalt: 320 kg/m³
- Betondeckung: 55 mm



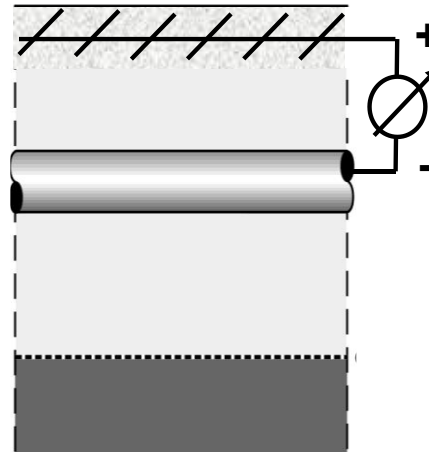
Betonersatz



Betonersatz + Beschichtung



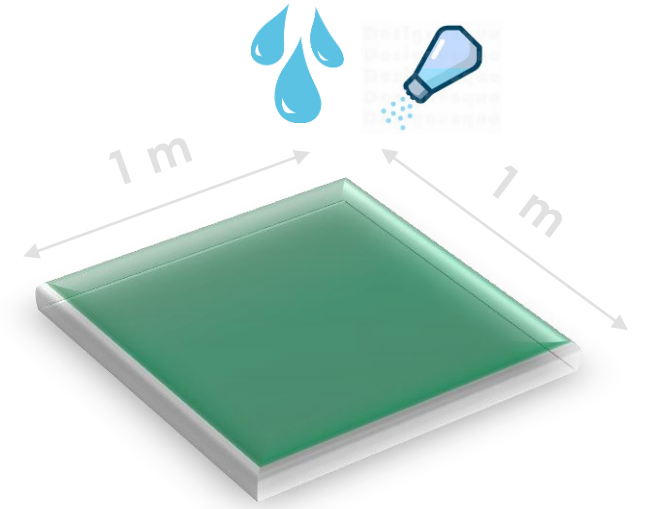
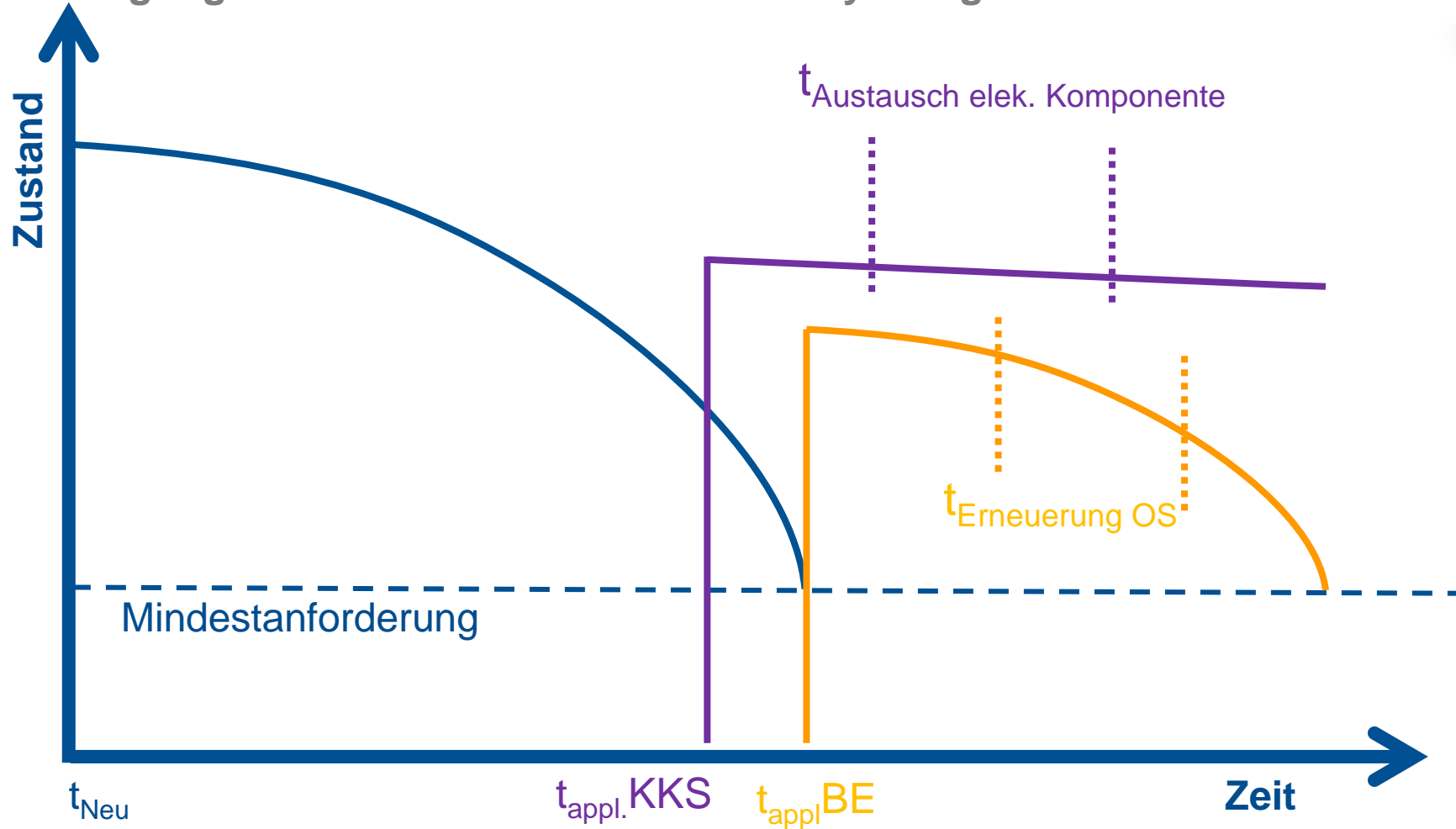
KKS



- KKS mit eingeschlitzten Titan-Bandanoden
- KKS mit eingebetteten Titan-Bandanoden
- Betonersatz
- Betonersatz + OS 11a
- Betonersatz + OS 8

Instandsetzungsverfahren

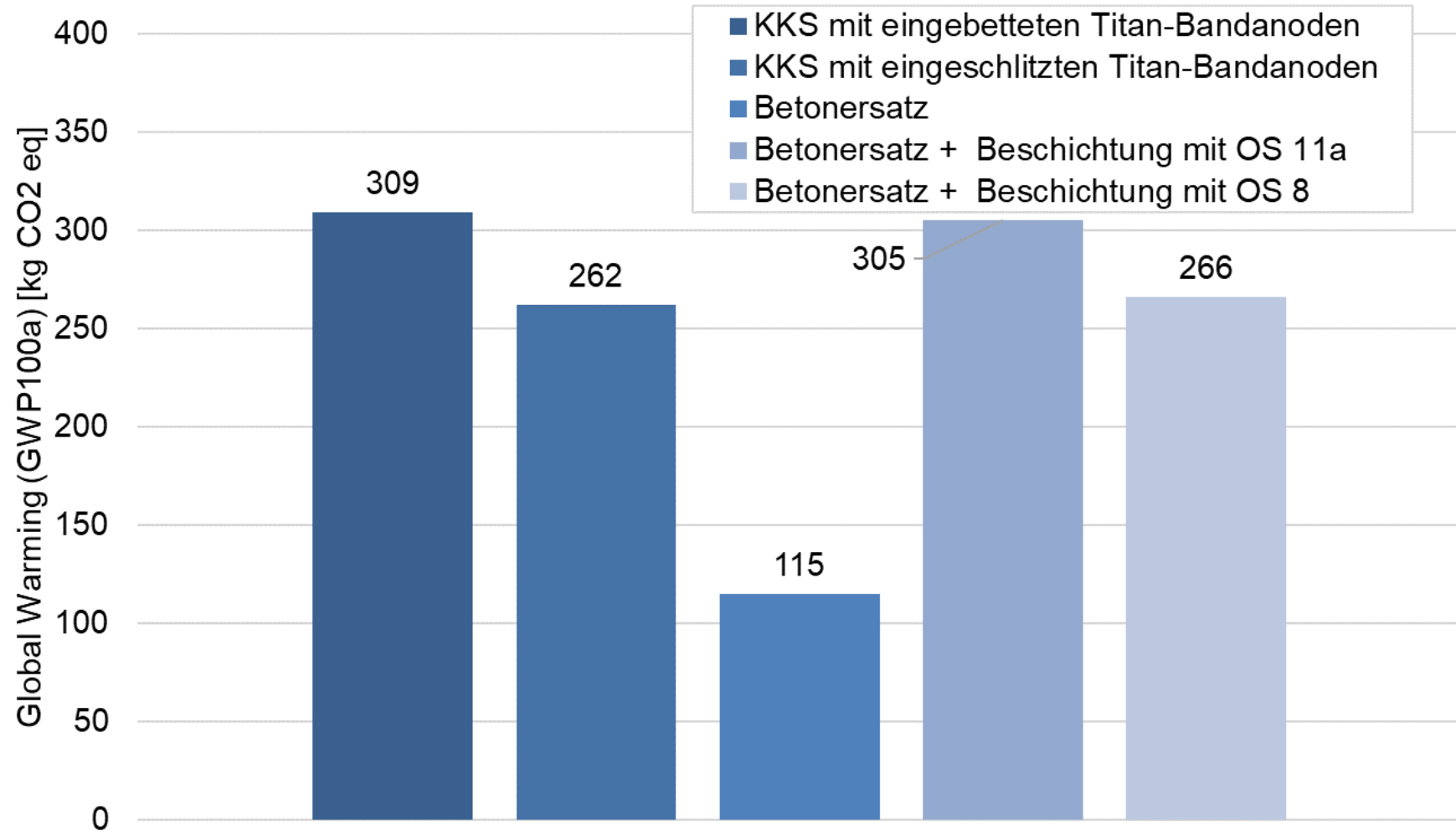
Festlegung der Funktionellen Einheit und Systemgrenzen



ERGEBNISSE

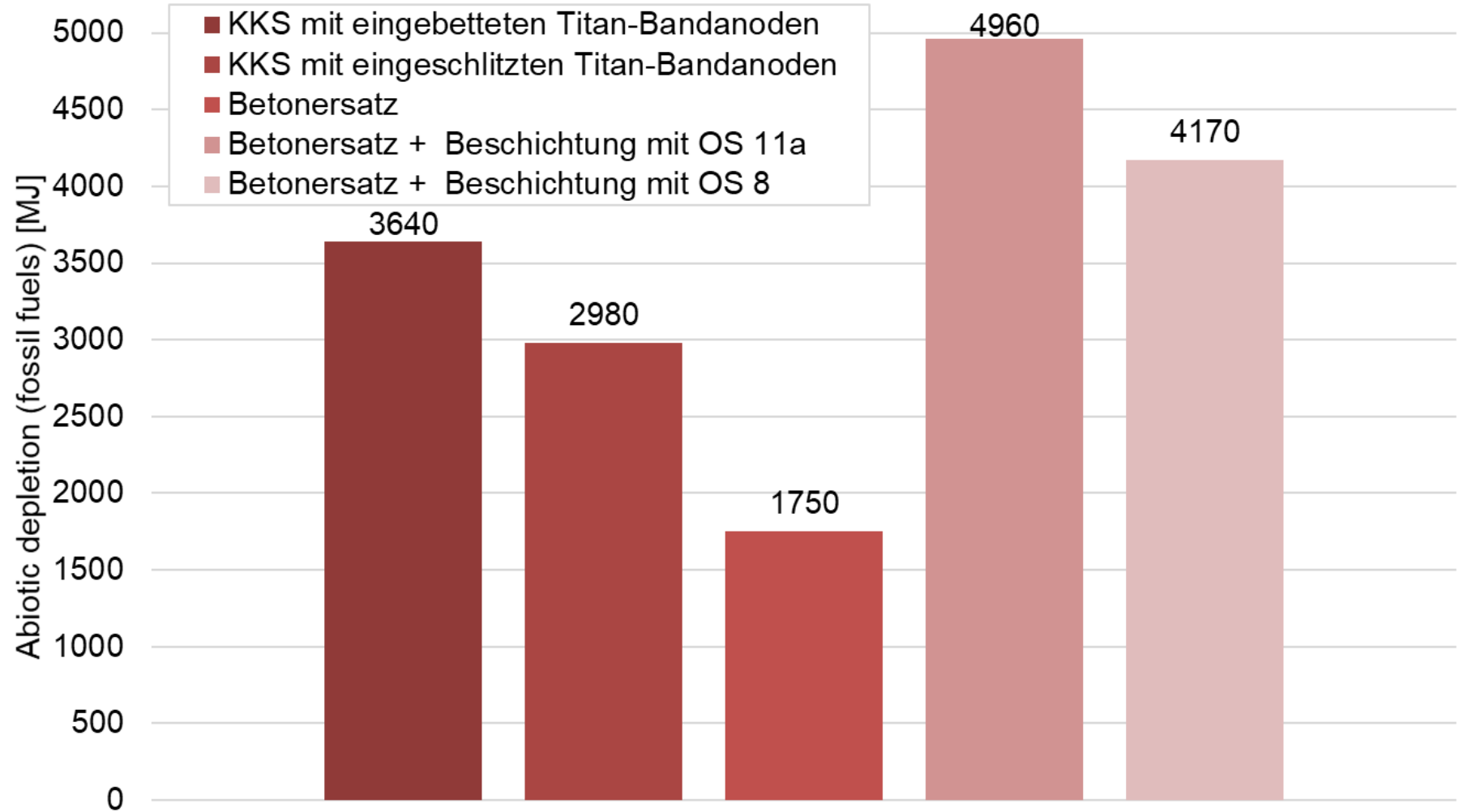
Instandsetzungsverfahren

Ökobilanzierung: Treibhauspotential



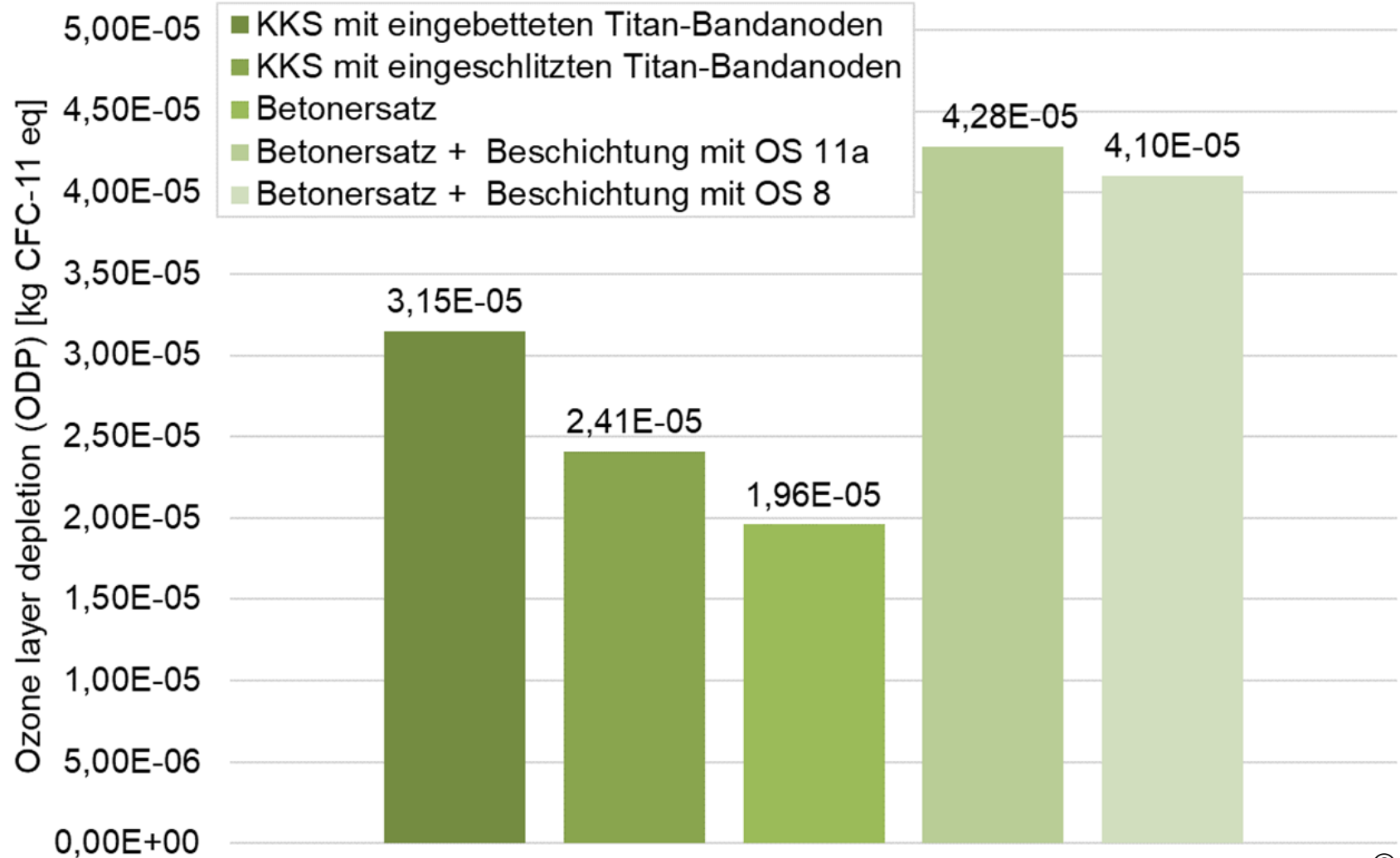
Instandsetzungsverfahren

Ökobilanzierung:
Abiotische Erschöpfung
fossiler Brennstoffe



Instandsetzungsverfahren

Ökobilanzierung: Ozonschichtabbau



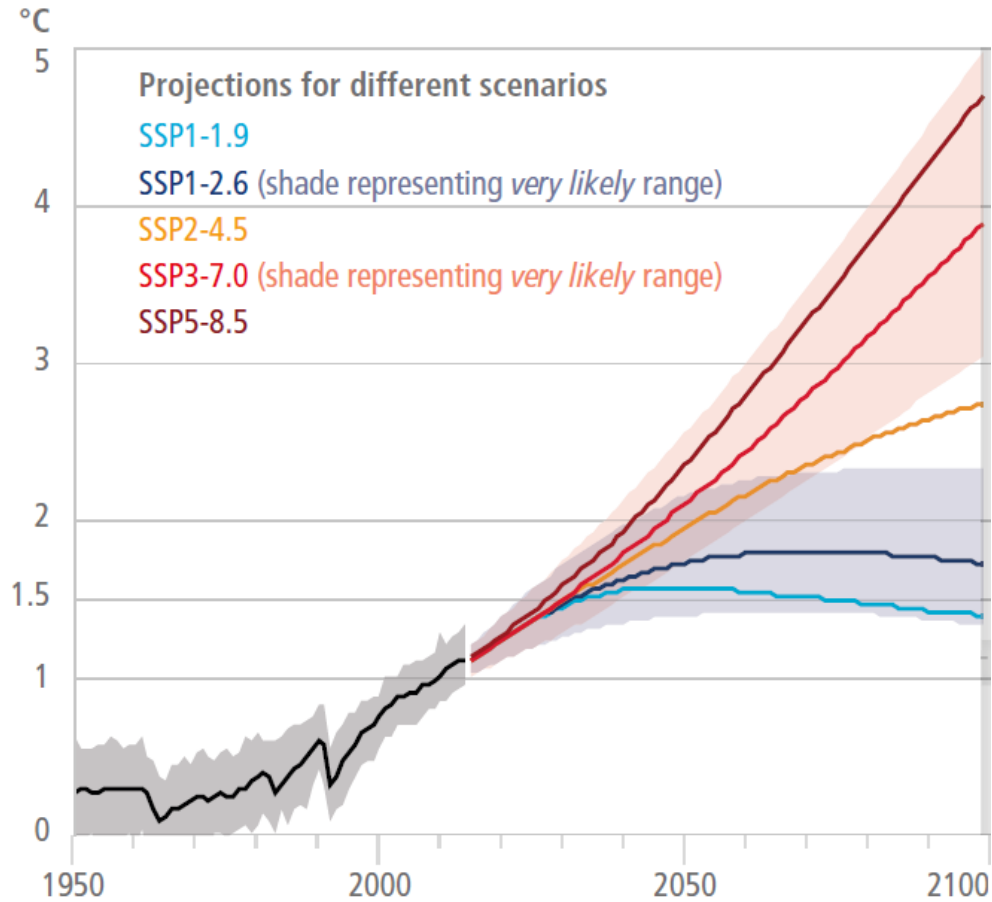
Instandsetzungsverfahren

Ökobilanzierung:

- Beim Vergleich der Indikatoren Treibhauspotenzial, abiotischer Abbau und Ozonschichtabbau ist die Umweltwirkung des kathodischen Korrosionsschutzes größer als die Wirkung des Betonaustauschs.
- Auch wenn der Betonersatz eine viel höhere Menge an energieintensivem Beton verbraucht, ist das Verfahren nicht zwangsläufig die Instandsetzungsmaßnahme mit dem größten ökologischen Fußabdruck.
- Die hohe Umweltbelastung des kathodischen Korrosionsschutzsystems ist das Ergebnis seines Bedarfs an mehreren elektronischen Komponenten.
- Die Lebensdauer der elektronischen Komponenten ist der entscheidende Faktor für die Nachhaltigkeit des kathodischen Korrosionsschutzsystems.

AUSBLICK

Hindernisse im Umsetzungsprozess Net-zero im Bauwesen



- **Ingenieurstunden sind teurer als zusätzlicher Beton**
- **Paranoia bezüglich der Sicherheit**
- **Es fehlt an Grundlagen für Berechnungen und Vergleiche**

IPCC, 2022: Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability.

Klimaverträglichkeit im Bauwesen

- Jährliche Zementverbrauch weltweit ca. 4 Mrd. Tonnen
- Die Umweltauswirkungen von Zement und Beton pro Materialeinheit sind gering – aber die Menge ist ausschlaggebend
- Reduzierungen der CO₂-Emissionen entlang der Zement- und Beton-Wertschöpfungskette:
 - weniger Klinker im Zement
 - weniger Zement im Beton
 - weniger Beton im Bauwerk und
 - weniger Ersatz von Bauwerken.
- Durch die Einbindung aller Interessengruppen des Bausektors können sofortige Einsparungen in der Größenordnung von 50% ohne große Investitionen in neue industrielle Infrastruktur oder Änderung von Standards erreicht werden.

➤ **Zur weiteren, dringend notwendigen Reduktion von Emissionen ist Forschung zu nachhaltigen Lösungen unumgänglich**

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

Ausblick - Ziele



Optimaler Materialeinsatz

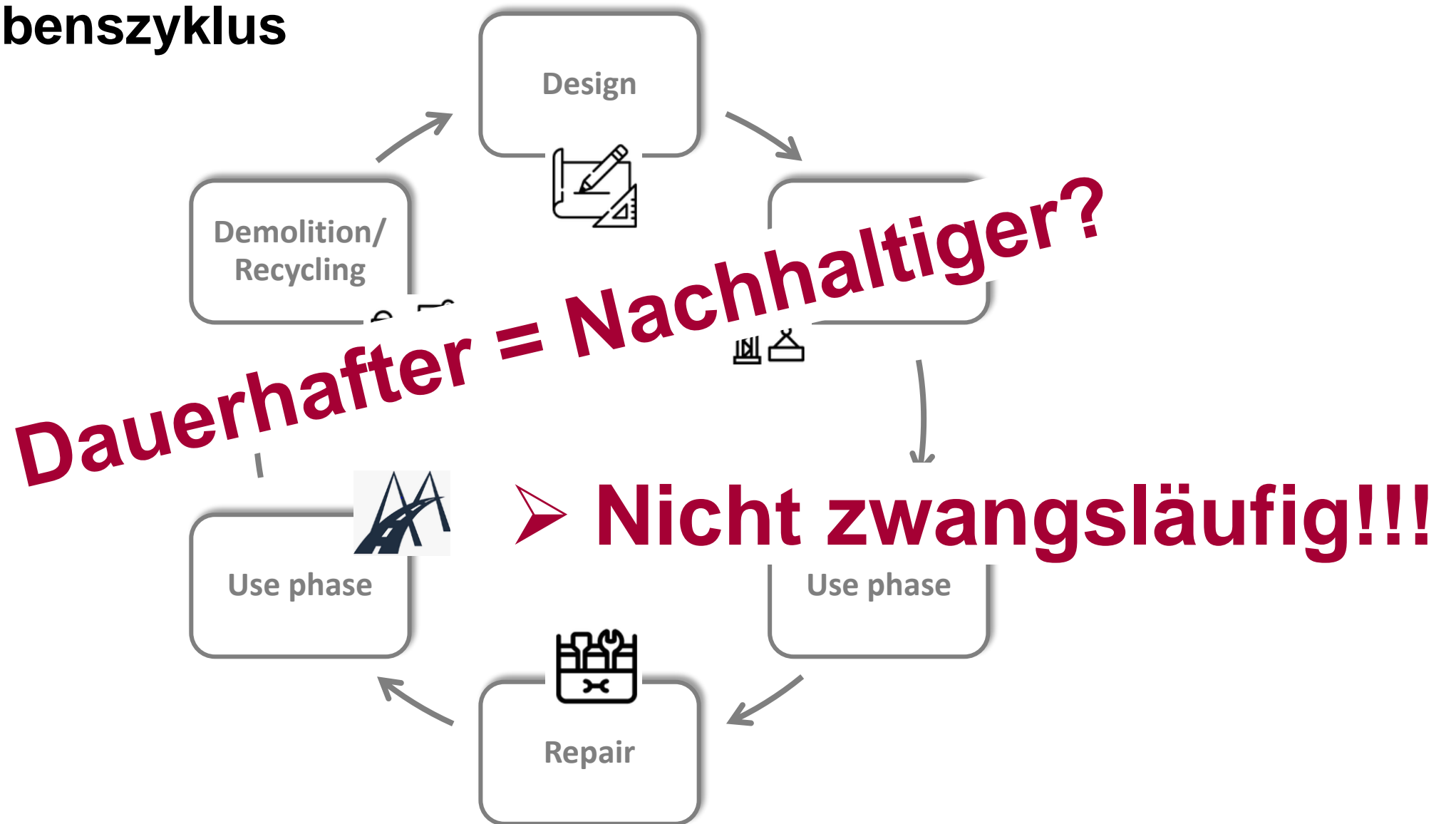


Höchste Ressourceneffizienz



**Minimale Instandsetzungsarbeiten
während der geplanten
Nutzungsdauer**

Lebenszyklus



Forschungsbedarf - Lösungsansätze

Bewertungsansätze für die ökologische und soziale Nachhaltigkeitsbewertung von Infrastrukturprojekten



- Ökobilanzierungen mit klaren Systemgrenzen über die komplette Bemessungslebensdauern von Bauwerken
 - **Nachhaltigkeitsbemessung**
 - **Nachhaltigkeitsgrenzzustände**
(Grenzzustand der Klimaverträglichkeit/ **Climate Limit State, CLS**)

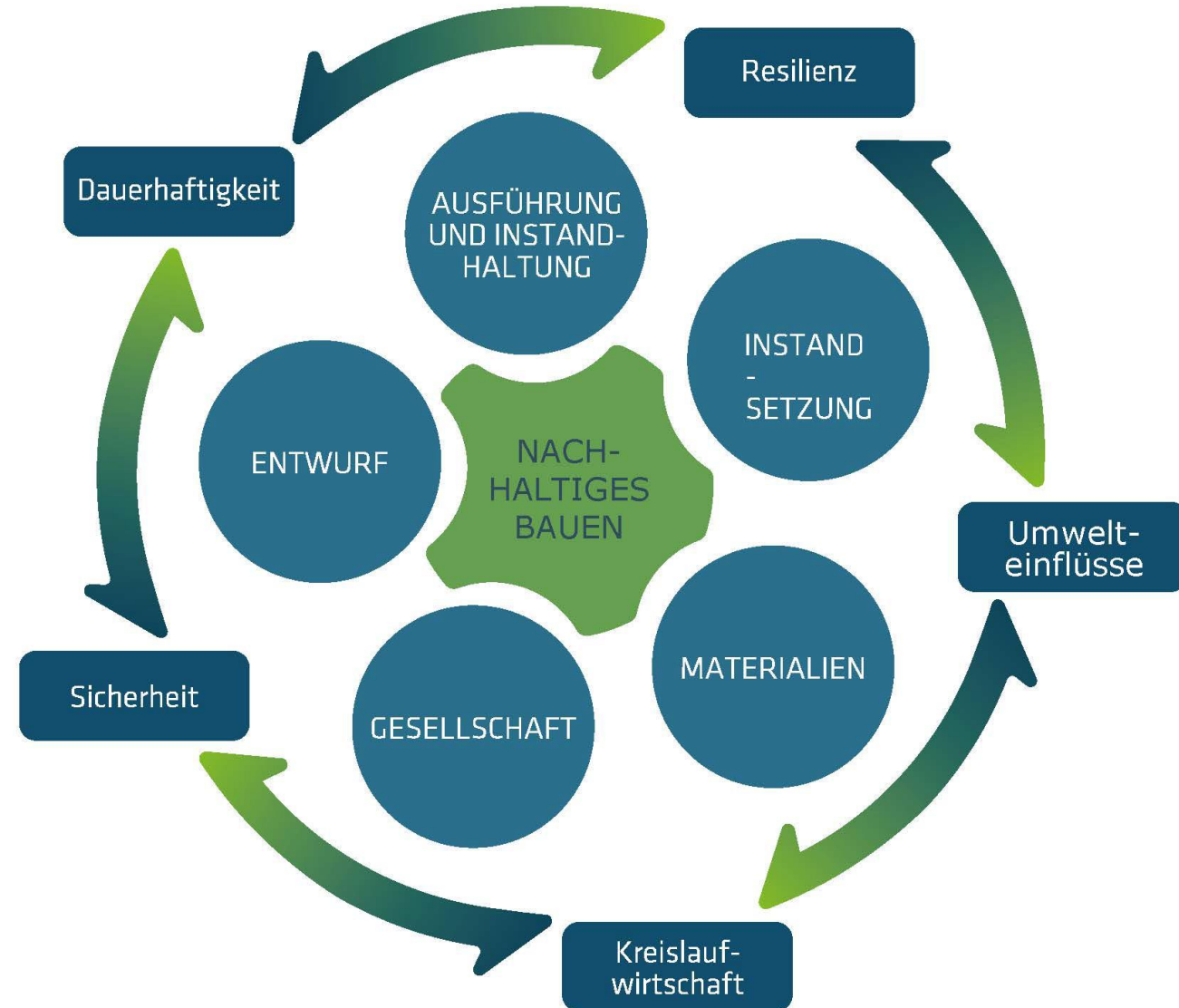
$$\text{Nachhaltigkeitspotential} = \frac{\text{Lebensdauer} * \text{Leistungsfähigkeit}}{\text{Summe der Umweltauswirkung}}$$

- Gewichtung von Wirkungsindikatoren zur Zielstellung
- Nachhaltigkeitsbewertung auf Material-, Bauteil- und Tragwerksebene (PI/ KPI)
- Zertifizierung

Nachhaltigkeitsziele

Globaler Konsens zur Nachhaltigkeit im Bauwesen

- ...
- In der angewandten Praxis ... der Bauwerkserhaltung müssen die Hauptaugenmerke unter dem Gesichtspunkt der **Nachhaltigkeit** derart verschoben werden, dass diese mit den Zielgrößen **Sicherheit** und **Zuverlässigkeit** als gleichwertig betrachtet werden.....





Nachhaltigkeitsbewertung von Stahlbetonbauwerken im Kontext des Lebenszyklus

Univ.-Prof'in Dr.-Ing. Sylvia Keßler

sylvia.kessler@hsu-hh.de

Professur für Konstruktionswerkstoffe und Bauwerkserhaltung

Helmut-Schmidt-Universität / Universität der Bundeswehr Hamburg