



**SBKS GmbH & Co. KG**

**LCAgreen**

**„Auf lange Sicht mehr Sicherheit“**

**Vergleichende Ökobilanz von Kunststoff- und Betonrohren im Großprofilbereich**

*Großprofiltag Düsseldorf 2026 · ISO 14040 / 14044 · EN 15804+A2*



**Prof. Dr. Jörg Sebastian**

*"Sebb"*



## Hochschule Kaiserslautern

Professur für Instrumentelle Analytik · Ökobilanzierung · Angewandte Ökologie



## SBKS GmbH · Sebb Consulting GmbH

Geschäftsführer · Sitz St. Wendel, Saarland · Beratung Industrie und Öffentliche Hand



## Forschungsschwerpunkte

Industrielle Organische Chemie, Polymerwerkstoffe, LCA / LCC, Industrielle Ökologie



## Gutachterliche Tätigkeit

Erstellung von Gutachten und Stellungnahmen u.a. nach § 286 ZPO



# Agenda

01

## Kontext und Marktbild

Großprofile, Werkstoffe, regulatorischer Rahmen 2026

02

## Methodik der Ökobilanzierung

ISO 14040 / 14044, EN 15804+A2, Funktionelle Einheit, Datenbasis

03

## Vergleichende Ergebnisse

Module A bis D je Werkstoff, GWP und weitere Wirkungskategorien

04

## Sensitivitäten und Diskussion

Lebensdauer, Strommix, Recyclingrate, Praxisrelevanz

05

## Exkurs Mikroplastik aus Abwasserrohren

Quellenbilanz, Mechanismen, LCIA-Lücke und MarILCA-Ansatz

06

## Fazit und Empfehlungen

Werkstoffwahl projektspezifisch, Forschungsbedarf, Ausblick



# 01

## Kontext und Marktbild

*Großprofile, Werkstoffe und regulatorische Treiber*



# Großprofile - Definition und Anwendung



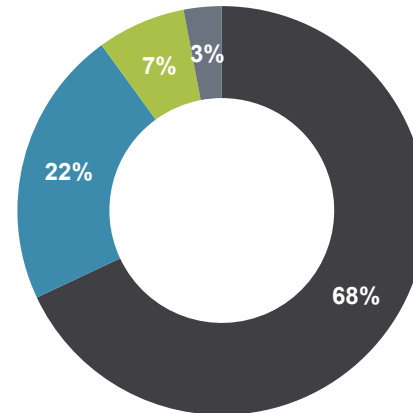
## Definition

Rohrleitungen mit Nennweiten ab DN 800 - typischerweise DN 1000 bis DN 3000 - überwiegend für Misch-, Schmutz- und Regenwasser sowie als Düker und Rückhaltebauwerke.

## Typische Einsatzgebiete

- Kommunale Hauptsammler und Stauraumkanäle
- Regenrückhaltung und Mischwasserentlastung
- Industrielle Abwasserleitungen
- Druckleitungen, Düker, Pumpwerksanbindungen
- Sanierung im offenen und geschlossenen Verfahren

## Marktanteilsschätzung Deutschland (Mengen DN 800-2000)



■ Stahlbeton / Beton ■ Kunststoff (PE-HD, PP, GFK) ■ Steinzeug ■ Sonstige

Schätzung auf Basis Branchenangaben FBS / GKV / TEPPFA-DACH 2022-2024 - Gesamtvolumen ca. 1.6 Mio t/a



# Werkstoffspektrum im Großprofilbereich

Werkstoff	Norm (Hauptwerk)	Dichte (g/cm <sup>3</sup> )	Eigengewicht DN 1000 (kg/m)	Lebensdauer (Jahre)	Charakteristik
<b>Stahlbeton</b>	DIN EN 1916, DIN V 1201	2.4	≈ 1.100	≥ 100	Hohe Steifigkeit, druck- und scheideldruckbeständig
<b>PE-HD strukt.</b>	DIN EN 13476-1/-3	0.96	≈ 120	≥ 100	Niedriges Eigengewicht, flexibel, korrosionsresistent
<b>PP strukt.</b>	DIN EN 13476-1/-3	0.91	≈ 110	≥ 100	Höhere Temperaturresistenz als PE-HD
<b>GFK</b>	DIN EN 14364	1.8 - 2.0	≈ 280	≥ 80	Hohe Steifigkeit, korrosionsbeständig, leicht
<b>Steinzeug</b>	DIN EN 295	2.3	≈ 900	≥ 100	Sehr abrasionsfest und chemikalienresistent

Werte sind branchentypische Mittelwerte; konkrete Produkte können abweichen (z.B. Stahlbeton mit reduziertem Klinkeranteil, PE-HD mit Recyclatanteil).



# Warum Ökobilanzen? Treiber 2026



## EU-Taxonomie & CSRD

DNSH-Kriterien, klimabezogene Berichtspflichten, ESRS E1 für Auftraggeber und Bauunternehmen.



## DGNB / BNB / QNG

Bewertungssysteme verlangen GWP-Nachweise auf Produkt- und Bauwerksebene.



## Öffentliche Vergabe

VgV §§ 67/68: Lebenszykluskosten und Umwelteigenschaften als Zuschlagskriterium.



## EPDs als Pflichtinstrument

EN 15804+A2 verbindlich; DIN EN 17005 kommunal-spezifisch in Vorbereitung.



## Kreislaufwirtschaftspaket

Erhöhte Recyclatpflichten und Gestaltungsanforderungen ab 2027 für viele Bauprodukte.



## Carbon-Border-Pricing

CBAM weitet Importbepreisung von Zement und Stahl aus - direkte Wirkung auf Stahlbetonrohre.



# 02

## Methodik der Ökobilanzierung

*ISO 14040 / 14044 · EN 15804+A2 · Datenbasis und FU*



# ISO 14040 / 14044 - das vierphasige Vorgehen

1

## Ziel und Untersuchungsrahmen

Funktionelle Einheit, Systemgrenzen, Allokation, vorgesehene Anwendung.



2

## Sachbilanz (LCI)

Bilanz von Stoff- und Energieströmen entlang aller Lebenswegmodule.



3

## Wirkungsabschätzung (LCIA)

Charakterisierung in Wirkungskategorien (CML, EF 3.1, ReCiPe).



4

## Auswertung / Interpretation

Konsistenzprüfung, Sensitivitäten, Schlussfolgerungen, kritische Prüfung.

*Iterative Phasen mit Rückkopplung; kritische Prüfung verpflichtend bei vergleichenden Aussagen gegenüber Dritten (ISO 14044 § 6.3).*

# Funktionelle Einheit und Systemgrenzen



## Funktionelle Einheit

**1 m verlegtes Kanalrohr DN 1000**

Belastungsklasse SLW 60 / D 400

Hydraulisch gleichwertig ( $kb \leq 0,4 \text{ mm}$ )

Nutzungsdauer 100 Jahre



## Systemgrenzen

**Cradle-to-grave + Modul D**

Cut-off-Kriterien: 1 % Masse / Energie

Allokation: physikalisch, sonst Systemerweiterung

Geographischer Bezug: DACH-Region 2024

## Module nach EN 15804+A2

<b>A1-A3</b>	Rohstoffe, Transport, Herstellung
<b>A4-A5</b>	Transport zur Baustelle, Einbau
<b>B1-B7</b>	Nutzung, Inspektion, Reparatur, Energie
<b>C1-C4</b>	Rückbau, Transport, Aufbereitung, Deponie
<b>D</b>	Vorteile außerhalb der Systemgrenze



# Wirkungskategorien nach EN 15804+A2 (EF 3.1)

Eine Ökobilanz für Großprofilrohre umfasst sieben Kernindikatoren - GWP allein ist nicht aussagekräftig genug.

## GWP

Treibhauspotenzial

*[kg CO<sub>2</sub>-eq]*

## ODP

Ozonschichtabbaupotenzial

*[kg CFC-11-eq]*

## AP

Versauerungspotenzial

*[mol H<sup>+</sup>-eq]*

## EP

Eutrophierung (fw, mar, terr)

*[kg P / N-eq]*

## POCP

Sommersmog

*[kg NMVOC-eq]*

## ADP-f

fossile Ressourcenverbrauch

*[MJ]*

## WDP

Wassernutzung

*[m<sup>3</sup> entzogen]*



## Hintergrunddatenbanken

- Ecoinvent v3.10 (2024)
- Sphera GaBi 2023.2
- European Reference Life Cycle Database (ELCD)



## Werkstoff-EPDs / Branchenstudien

- IBU-EPDs (Beton, PE-HD, GFK)
- FBS Branchen-EPD Stahlbetonrohre
- TEPPFA-DACH PE/PP-Studien
- GKV / KRV EPDs



## Software und Modellierung

- openLCA 2.3 / SimaPro 9.6
- EF 3.1 Charakterisierung
- Eingangsdatenpflege gemäß ILCD-Handbuch

*Belastbare Datenkonsistenz erfordert konsistente Hintergrunddatenbank, identische Charakterisierungsmethoden und nachvollziehbaren Bezugszeitraum.*



# 03

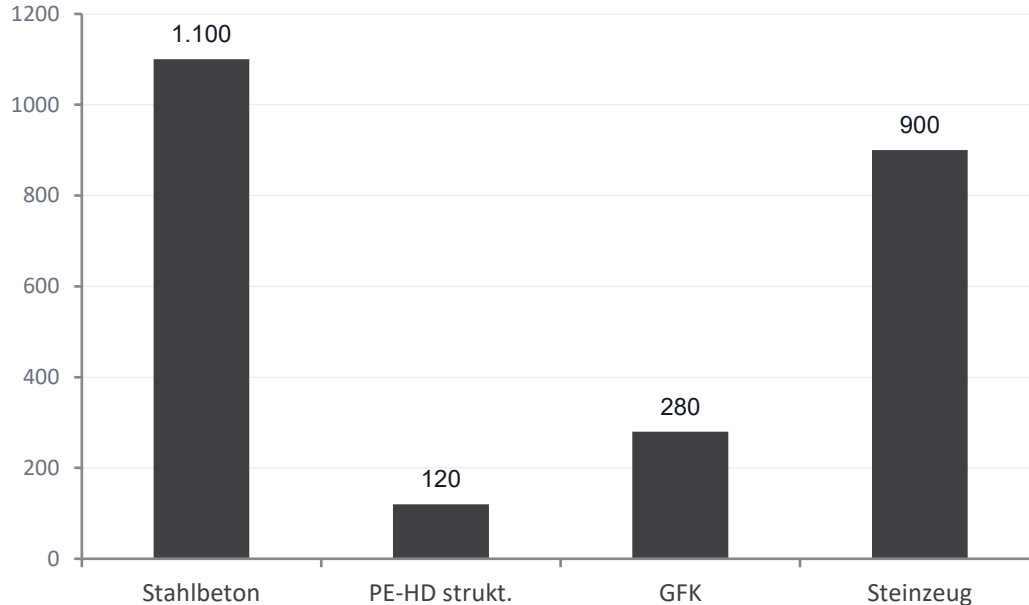
## Vergleichende Ergebnisse

*Module A1-D je Werkstoff für DN 1000 und 100 Jahre*



# Sachbilanz - Materialeinsatz pro Meter DN 1000

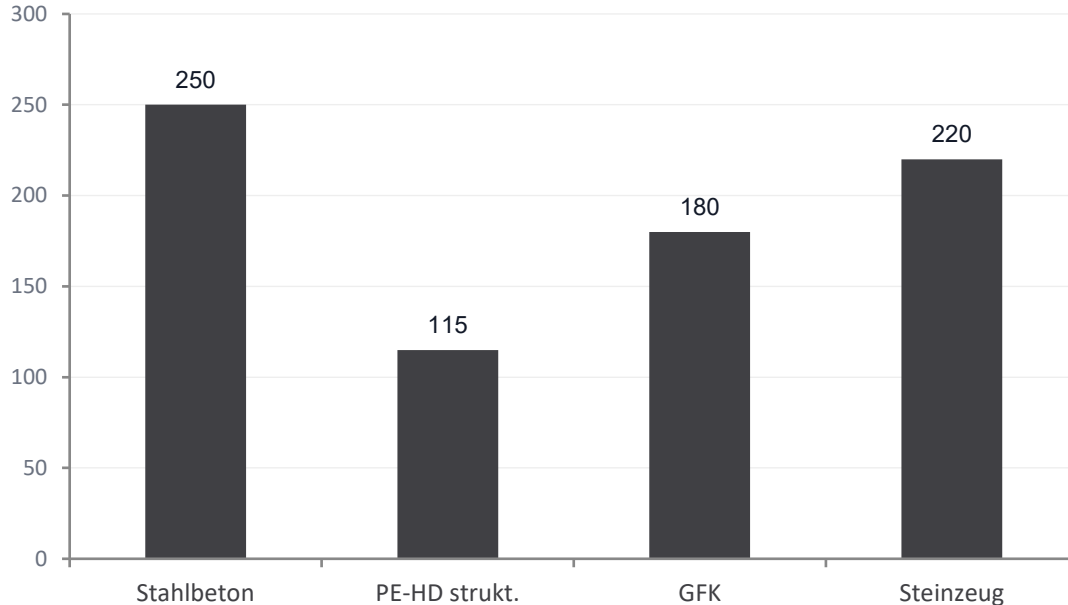
Eigenmasse pro Meter Rohr (DN 1000)



## Konsequenzen für die Bilanz

- Stahlbeton dominiert die Eingangsmassen - hoher Rohstoffaufwand, jedoch regionale Wertschöpfung.
- Kunststoffrohre haben rund eine Größenordnung geringeres Eigengewicht - relevant für Logistik und Einbau.
- GFK liegt zwischen den beiden Polen, mit hohem Anteil thermoplastischer Harze und Glasfasern.
- Allein die Masse sagt nichts über GWP aus - entscheidend ist die werkstoffspezifische Kohlenstoffintensität.

kg CO<sub>2</sub>-eq pro Meter DN1000 (A1-A3, Mittelwerte)



## Hauptbeiträge

### Stahlbeton:

Klinker (CEM I/II) und Bewehrungsstahl > 80 % des GWP

### PE-HD:

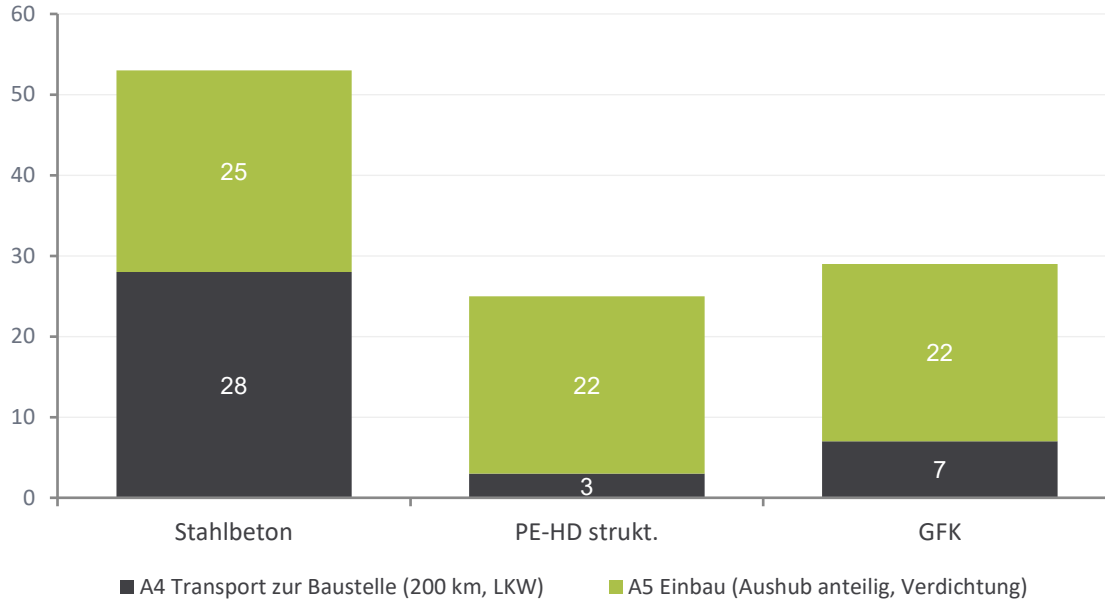
Naphtha-Cracking und Polymerisation dominieren

### GFK:

ungesättigte Polyesterharze und Glasfasern dominieren

# GWP - Module A4 (Transport) und A5 (Einbau)

kg CO<sub>2</sub>-eq / m DN1000 - A4 + A5

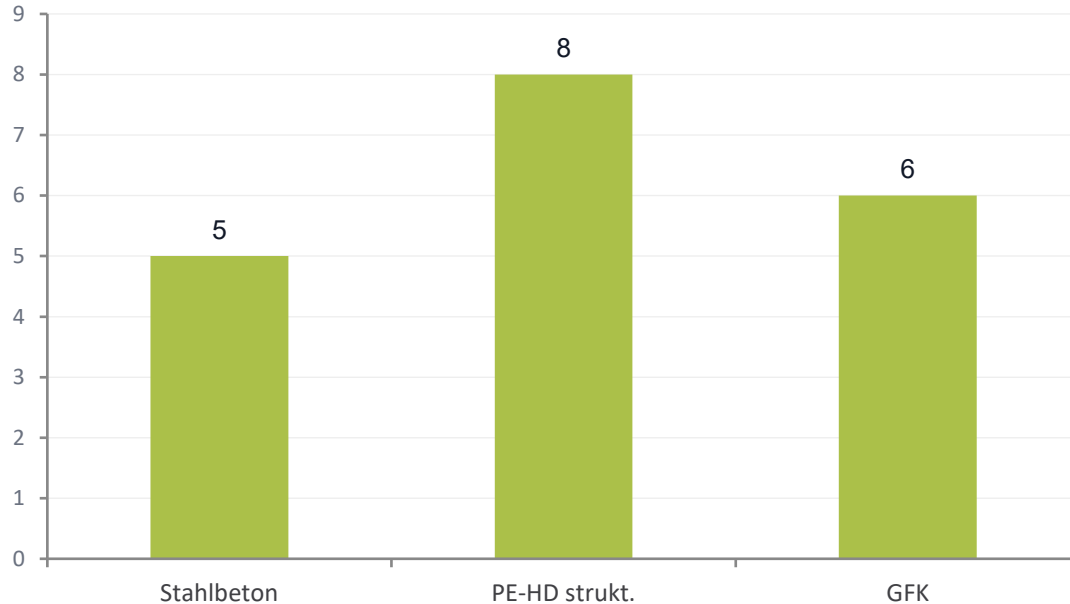


## Schlüsselgrößen

- Transport: Beton  $\approx 10\times$  Last je m Rohr.
- Empfindlich gegenüber Transportdistanz - regional hergestellte Betonrohre verbessern A4 deutlich.
- A5 wird vom Tiefbau dominiert; Werkstoffwahl ist hier ein nachgeordneter Effekt.
- Kunststoffe profitieren bei langen Transportwegen, aber nur in Verbindung mit eng getakteter Logistik.

# Modul B - Nutzungsphase über 100 Jahre

B-Module integriert über 100 Jahre Betrieb

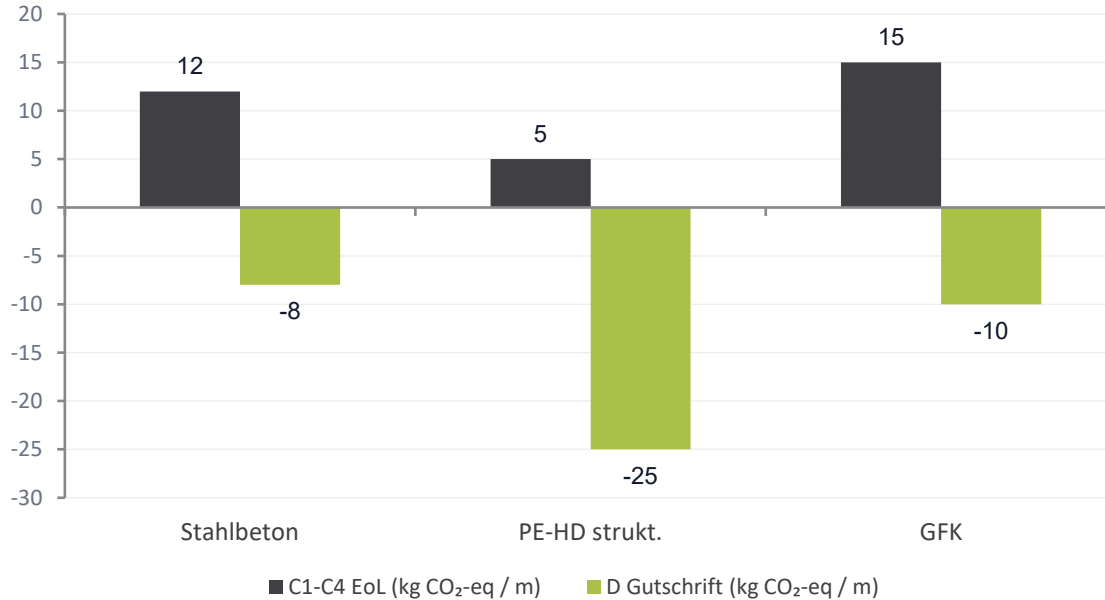


## Was die B-Module bestimmen

- Reinigungsfrequenz und HD-Spülung
- Inspektion (CCTV) je 5-10 a
- Punktuelle Reparaturen, Kurzliner
- Renovierung (Schlauchliner) bei alterungsbedingter Schädigung
- Energiebedarf für Pumpen bei Druckleitungen (B6) - hier nicht enthalten, da FU drucklos

# Modul C (End-of-Life) und Modul D (Gutschrift)

C versus D: EoL und Gutschrift



## Verwertungspfade

**Beton:**

Brechen zu RC-Gestein, Substitution Naturstein.

**PE-HD:**

Stoffliche Verwertung möglich; thermische Verwertung als Default.

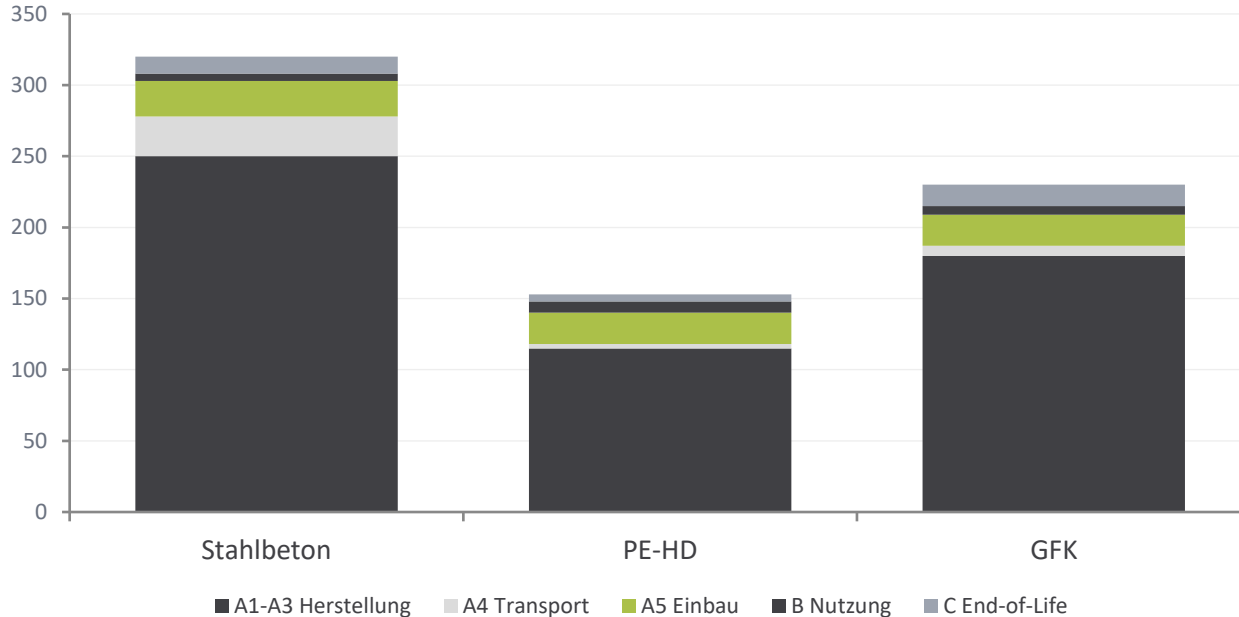
**GFK:**

Verwertung anspruchsvoll; meist Mitverbrennung in Zementwerken.



# Cradle-to-grave - Gesamtbild GWP

Summe Module A1-C4 (ohne D), kg CO<sub>2</sub>-eq / m



Stahlbeton

**320**

kg CO<sub>2</sub>-eq / m

PE-HD

**153**

kg CO<sub>2</sub>-eq / m

GFK

**230**

kg CO<sub>2</sub>-eq / m



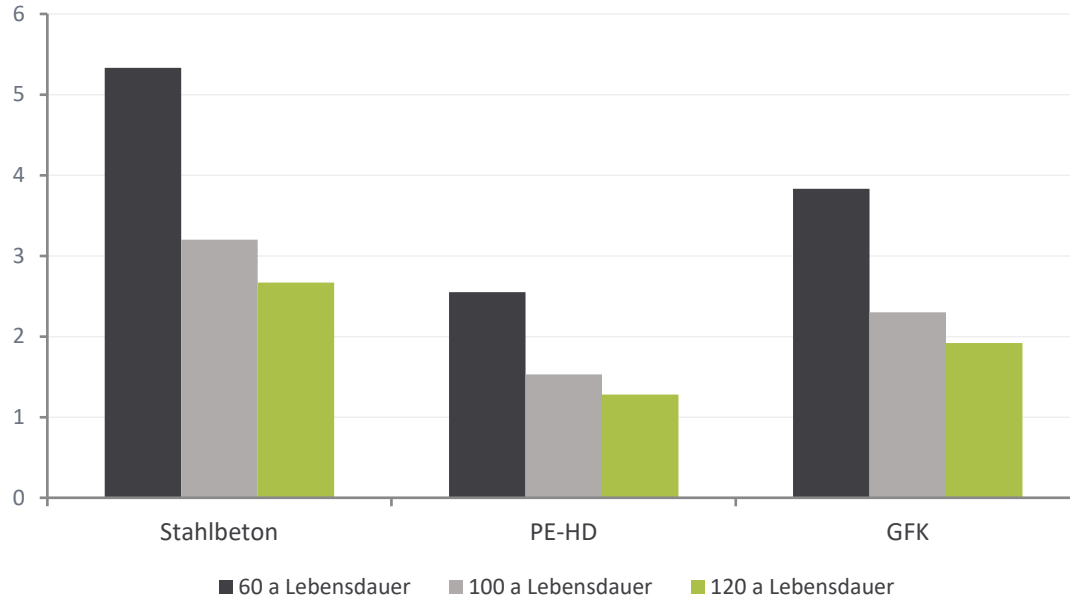
# 04

## Sensitivitäten und Diskussion

*Wovon das Ergebnis tatsächlich abhängt*

# Sensitivität - Lebensdauerannahme

kg CO<sub>2</sub>-eq / m und Jahr (annualisiert)



## Kernerkenntnis

**Die Annahme der Nutzungsdauer dominiert das Ergebnis.**

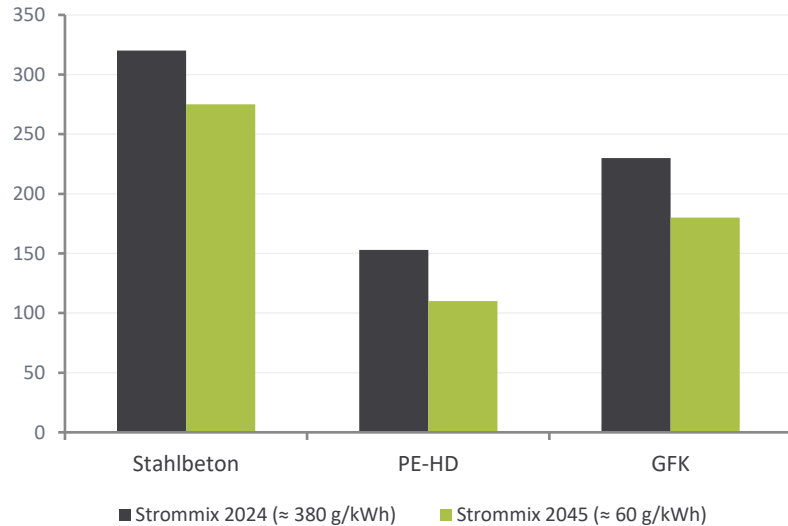
Eine Verkürzung von 100 auf 60 Jahre erhöht den annualisierten GWP um 67 %.

Der reale Nachweis langer Nutzungsdauern ist im Großprofilbereich werkstoffübergreifend schwierig - es gibt nur wenige Stichproben aus 80+ Jahren Betrieb.

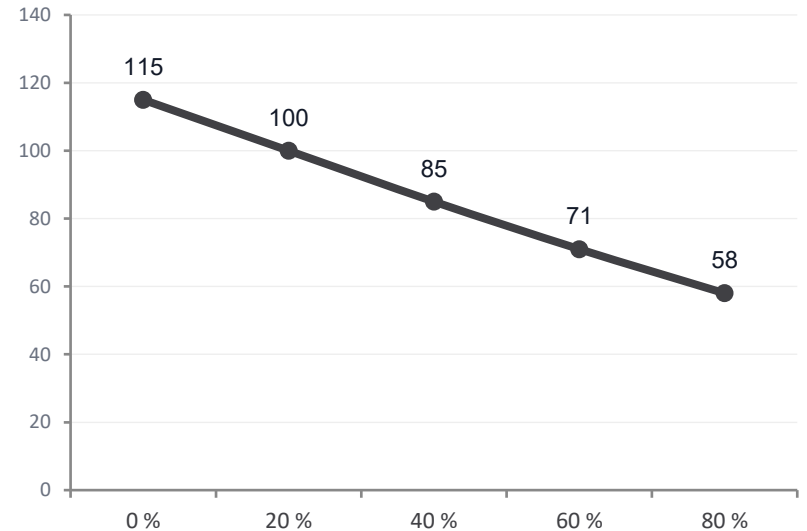
# Sensitivität - Strommix und Recyclatanteil



Strommix DE 2024 → 2045

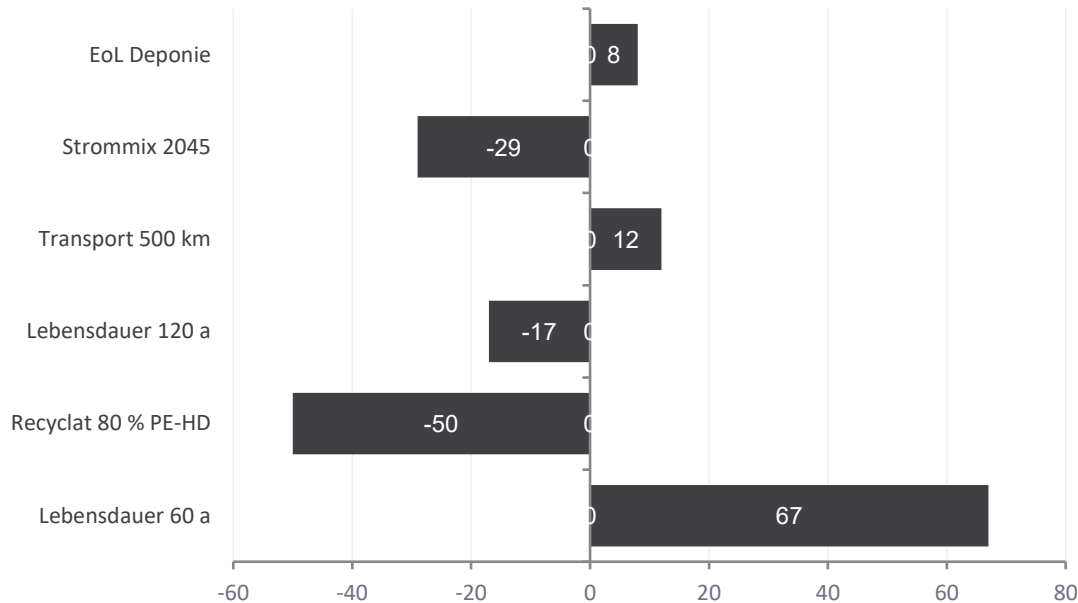


Recyclatanteil PE-HD



# Sensitivitätsanalyse - Tornadodiagramm GWP

% Änderung GWP gegenüber Basisszenario PE-HD (100 a, 200 km, 0 % Recyclat)



Lesart

**Größter Hebel:**

Lebensdauerannahme ( $\pm 67\%$  bei 60 a)

**Zweiter Hebel:**

Recyclatanteil PE-HD (-50 %)

**Strukturell günstig:**

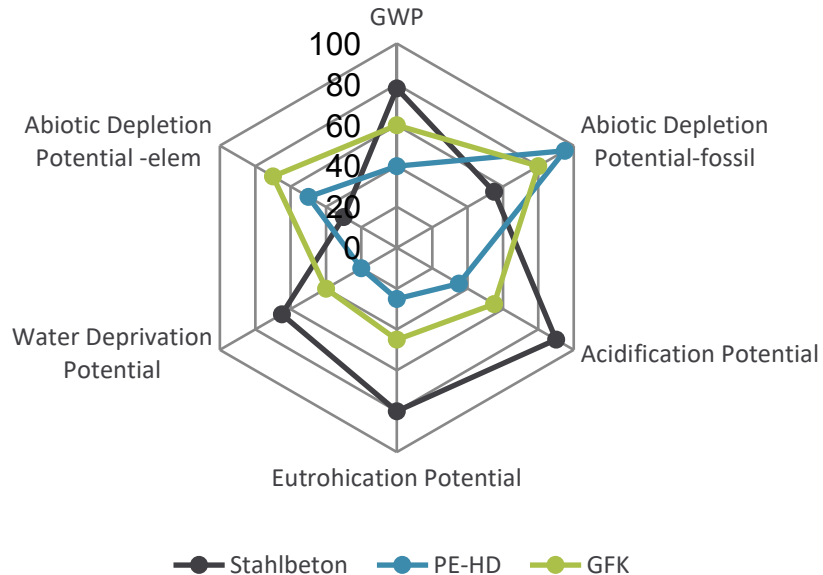
Strommix-Dekarbonisierung 2045 hilft allen Werkstoffen

**Geringer Einfluss:**

EoL-Pfad und Transport - sofern keine Extreme

# Mehr als GWP - andere Wirkungskategorien

Wirkungsprofil (normiert, je Kategorie max = 100)



## Trade-offs

- Beton: hoch in GWP, AP, EP - niedrig in ADP-fossil und ADP-elem.
- PE-HD: niedriges GWP, aber höchste fossile Ressourcenintensität.
- GFK: ausgewogenes Profil mit Spitzen bei seltenen Elementen (Glasfaserrohstoffe).
- Single-Score-Aussagen sind in dieser Konstellation methodisch nicht sauber.

# Praxisrelevanz - was die Bilanz nicht zeigt

## **Hydraulik**

PE-HD und GFK:  $kb \approx 0.10-0.25$  mm; Stahlbeton:  $kb \approx 0.4-1.0$  mm.  
Unterschied wirkt auf Energiebedarf bei Hebewerken.

## **Chemische Beständigkeit**

Beton: empfindlich gegen biogene Schwefelsäurekorrosion; Kunststoffe: anfällig für Spannungsrissbildung im Druckbereich.

## **Statik und Einbau**

Beton: scheideldruckbeständig, geringe Anforderung an Einbettung.  
Kunststoff: Tragverhalten Boden-Rohr-System abhängig von Verdichtung.

## **Sanierungs- und Reparaturfähigkeit**

Schlauchlinerrenovierung in beiden Werkstoffklassen etabliert. Punktuelle Reparaturen am Kunststoffrohr aufwendiger.



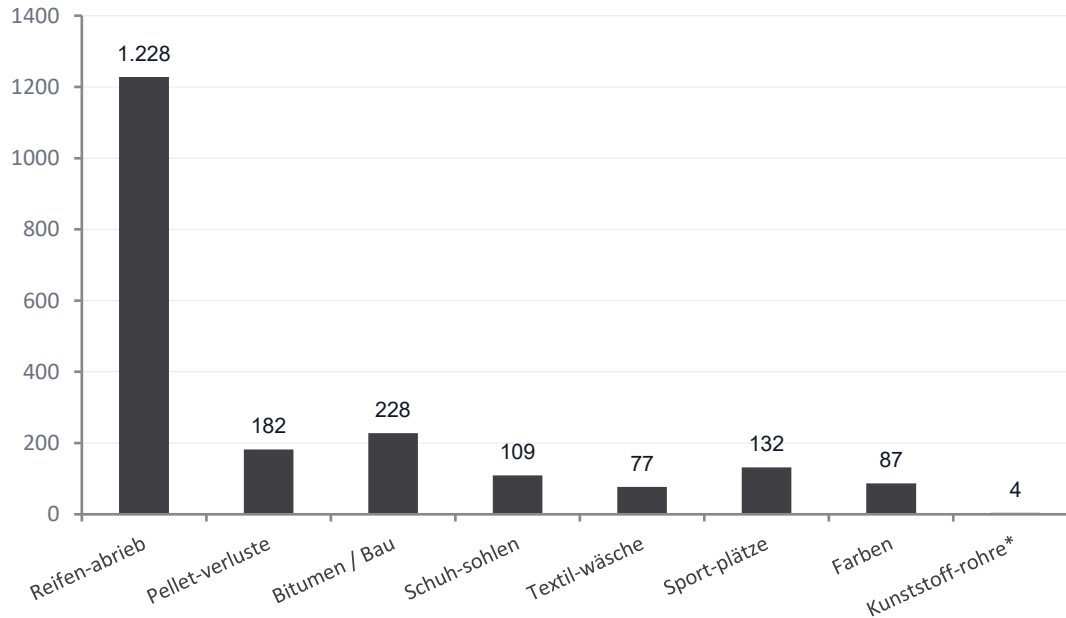
# 05

## Exkurs · Mikroplastik aus Abwasserrohren

*Quellenbilanz, Bildungsmechanismen, LCIA-Lücke*

# Quellenbilanz primäres Mikroplastik in Deutschland

g / Einwohner · a (Median Bertling et al. 2018, Fraunhofer UMSICHT)



## Einordnung

### Reifenabrieb dominiert

die primäre Mikroplastikemission mit ~ 60 % aller Quellen.

### Kunststoffrohre (Trink- und Abwasser)

tragen mit < 0.3 % zur Gesamtemission bei (Bertling 2018 / 2021).

*Quantifizierung mit hoher Unsicherheit:*

*Faktor 3-5 zwischen unteren und oberen Schätzungen, kaum belastbare Feldmessungen für DN 800+.*

\* Trinkwasser- und Abwasserrohre summiert. Quellen: Bertling, Hamann, Bertling (2018, 2021) Fraunhofer UMSICHT; Eunomia (2018); Hann et al. (2018).

# Bildungsmechanismen in Abwasserrohren



## Hydroabrasion

Mechanische Abrasion durch suspendierte Sedimente (Sand, Splitt). Empirisch nachgewiesen vor allem bei DN < 600 in Sohlbereich; bei Großprofilen reduziert durch geringere Strömungsgeschwindigkeit und größeren benetzten Umfang.



## Chemische / biogene Alterung

Oxidative Versprödung, Hydrolyse von Esterbindungen (PET, GFK-Harz), biogene Schwefelsäurekorrosion ( $\text{H}_2\text{SO}_4$  aus  $\text{H}_2\text{S}$  durch Thiobacillen) wirkt vorrangig auf Beton, sekundär auf Polyurethan-Beschichtungen.



## Mechanische Reinigung

Hochdruck-Spülfahrzeuge (120-340 bar) verursachen messbaren Materialabtrag bei allen Werkstoffen. Pro Spülgang wenige g/m bei Kunststoffrohren; akkumulierter Effekt über 100 a Nutzungsdauer ist quantitativ noch ungeklärt.



## UV-Alterung (vorgelagert)

Bei Kunststoffrohren findet UV-Alterung primär vor dem Einbau statt (Lagerung, Transport). Nach dem Einbau im Erdreich entfällt UV-Eintrag - dies unterscheidet Abwasserrohre fundamental von oberirdischen Anwendungen.

*Quantitative Emissionsraten für Großprofile sind in der Literatur unterrepräsentiert; Übertragung von Trinkwasser- und kleinkalibrigen Abwasserstudien ist nur eingeschränkt zulässig.*



# LCIA-Lücke - warum Mikroplastik in der Bilanz fehlt

## Status quo EF 3.1 / EN 15804+A2

### Kein etablierter Wirkungsindikator

Mikroplastik ist weder in den 16 EF-3.1-Kategorien noch in EN 15804+A2 abgebildet.

**Konsequenz:** Werkstoffe mit polymerer Matrix erscheinen in jeder konventionellen LCA systematisch günstiger als gerechtfertigt - umgekehrt riskieren mineralische Werkstoffe eine ungerechtfertigte Schlechterdarstellung.

## Forschungsstand 2024-2026

### MarILCA-Initiative

Charakterisierungsfaktoren für Plastik in Süß- und Meerwasser (Saling et al. 2020, Lavoie et al. 2021).

### PlasticFootprint und Plastic Leak Project

Methodische Frameworks für Inventarisierung von Plastikausträgen (Quantis 2020, Boucher et al. 2019).

## KONSEQUENZ FÜR DIE WERKSTOFFWAHL

1. Mikroplastik-Aspekte sind in vergleichenden LCAs für Großprofile als **qualitative Diskussion** zu führen, nicht als quantitativer Indikator. Eine Verrechnung mit GWP ist methodisch nicht zulässig.
2. Die Größenordnung (< 0.3 % der primären Mikroplastikemission) rechtfertigt **keine pauschale Werkstoffdiskriminierung**, solange Reifenabrieb und Pelletverluste die Quellenbilanz dominieren.
3. Forschungsbedarf: belastbare Feldmessungen an DN 800+, Lebensdauerintegrierte Abrasionsraten, Charakterisierungsfaktoren für gealterte Polymerpartikel.

Quellen: Saling et al. (2020) *Int. J. LCA*; Lavoie et al. (2021) *Sci. Tot. Env.*; MarILCA Working Group; PlasticFootprint Network; Bertling et al. (2018, 2021) *Fraunhofer UMSICHT*.



# 06

## Fazit und Empfehlungen

*Was die Werkstoffwahl im Großprofil tatsächlich entscheidet*



# Kernaussagen

01

## **Pauschalvergleich greift zu kurz**

Es gibt keinen werkstoffübergreifenden Sieger. Die Reihenfolge im GWP hängt von Funktioneller Einheit, Lebensdauer und Strommix ab.

02

## **GWP allein reicht nicht**

Ressourcenbedarf, Wasser und Schadstoffprofile zeigen andere Reihenfolgen als das GWP. EN 15804+A2 verlangt sieben Indikatoren.

03

## **Lebensdauer ist der dominante Faktor**

Eine Verkürzung von 100 auf 60 Jahre erhöht den annualisierten GWP um zwei Drittel - mehr als jeder Werkstoffvorteil.

04

## **Recyclingfähigkeit hat Strategiecharakter**

Beton-RC und PE-HD-Rezyklat sind etabliert; GFK-Verwertung bleibt eine offene Forschungsfrage.

# Empfehlungen für Bauherren und Planer



## Bedarfsgerechte FU definieren

Hydraulische Anforderung, Belastungsklasse, geographische Lage und Lebensdauererwartung im Lastenheft fixieren.



## EPDs nicht 1:1 vergleichen

Auf Hintergrunddatenbank, Zeitraum und Funktionelle Einheit prüfen. Branchen-EPDs und produktspezifische EPDs konsistent halten.



## Mehrere Wirkungskategorien betrachten

GWP plus mindestens AP, EP, ADP-fossil und WDP. Trade-offs offen ausweisen, keine Single-Score-Reduktion.



## Lebensdauer realistisch ansetzen

Sensitivitätsanalyse mit drei Annahmen (Untergrenze, Best-Case, Erwartung). Wartungs- und Sanierungsstrategie mitbilanzieren.



## EoL-Pfade planerisch festlegen

Modul C und D realistisch mit lokalen Verwertungspfaden modellieren. Recyclatanteil bewusst spezifizieren.



## Lokale Wertschöpfung berücksichtigen

Transportdistanzen sind ergebnisrelevant; regional gefertigte Produkte verbessern A4 spürbar.



# Diskussion

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit

**Prof. Dr. Jörg Sebastian**

Hochschule Kaiserslautern · SBKS GmbH · Sebb Consulting GmbH

*Großprofiltage Düsseldorf 2026*



Hochschule  
Kaiserslautern  
University of  
Applied Sciences

Angewandte Logistik-  
und Polymerwissenschaften  
Pirmasens