

# **Nachhaltigkeit im Hochbau**

## **GWP-Lebenszyklus-Studie eines Standard-Wohnbaus**

# Ausgangslage

Welchen Anteil hat  
der Beton auf die  
CO<sub>2</sub>-Emissionen  
bezogen auf den  
Lebenszyklus eines  
Gebäudes?



# Ausgangslage



# Problemstellung



THG-Lebenszyklus-Studie  
eines Standard-Wohnbaus



Welchen Einfluss hat der  
Beton?

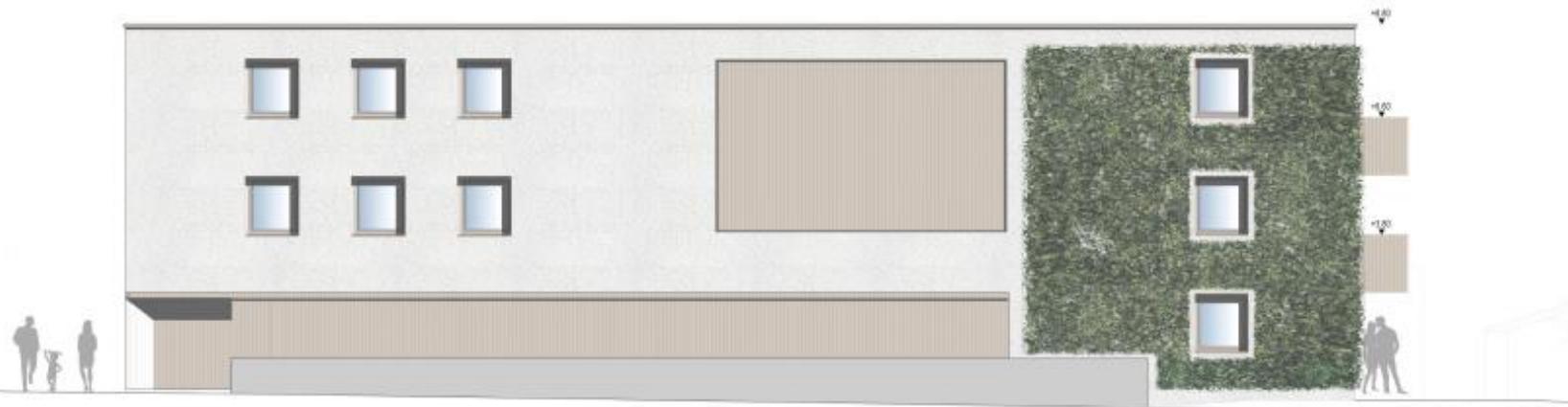


# Untersuchtes Gebäude

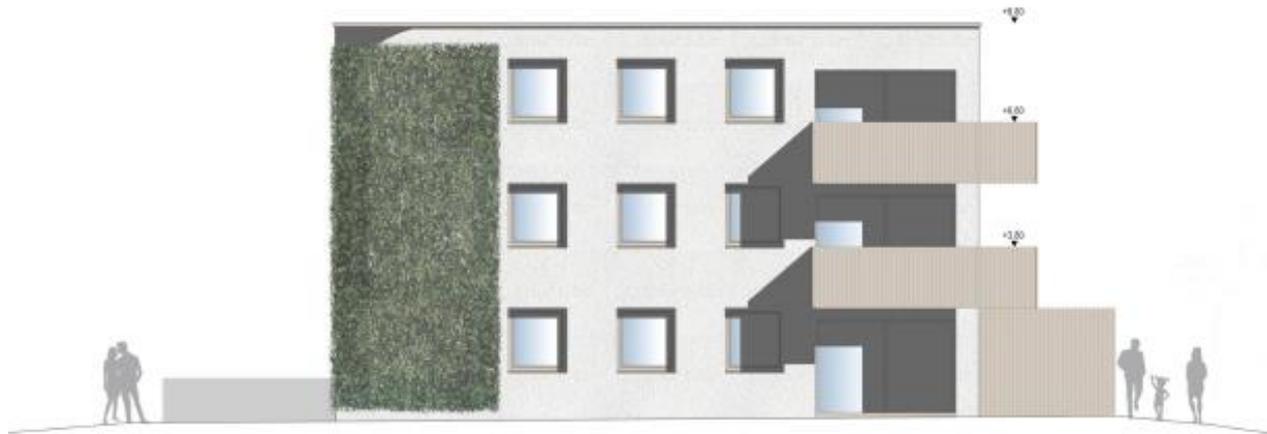
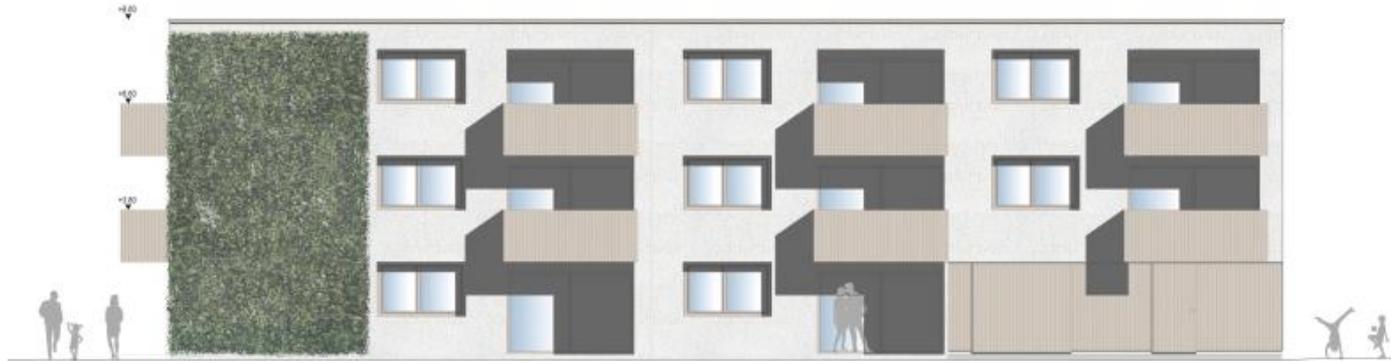


- Mehrfamilienhaus
- 3-geschossig
- Tiefgarage
- Stahlbetonbauweise
- 11 Wohneinheiten mit ca. 55 m<sup>2</sup>
- Heizsystem Fernwärme
- U-Wert Außenwand 0,2 W/m<sup>2</sup>K
- BIM-Modell

# Untersuchtes Gebäude

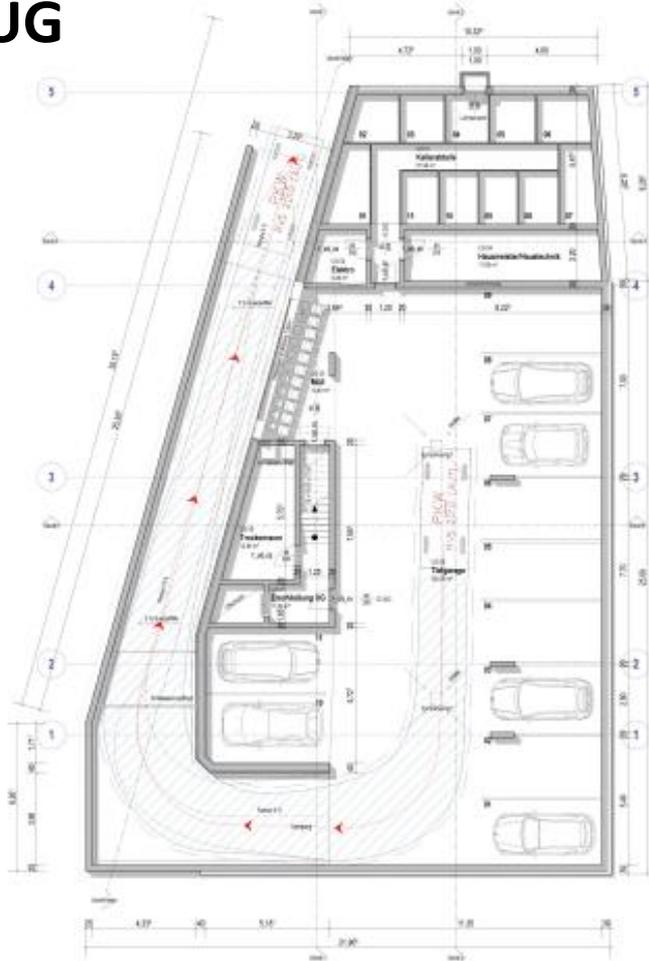


# Untersuchtes Gebäude

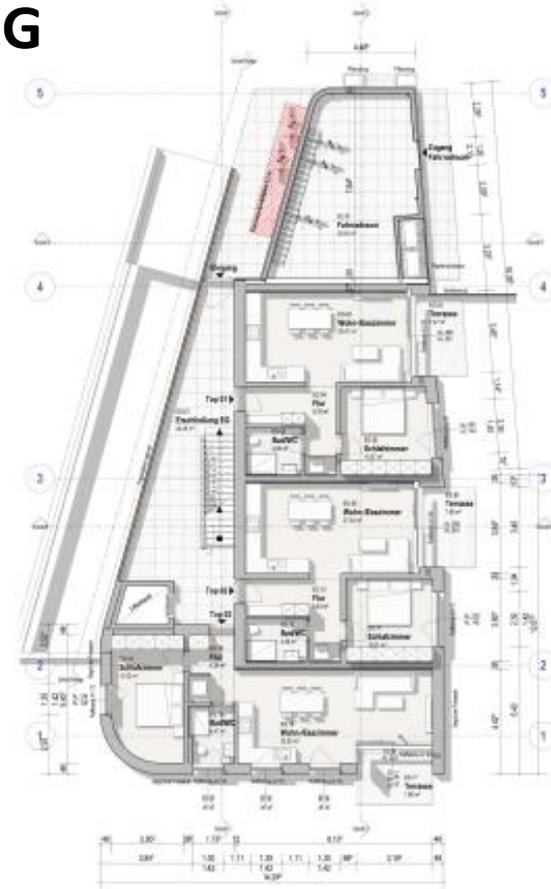


# Untersuchtes Gebäude

UG

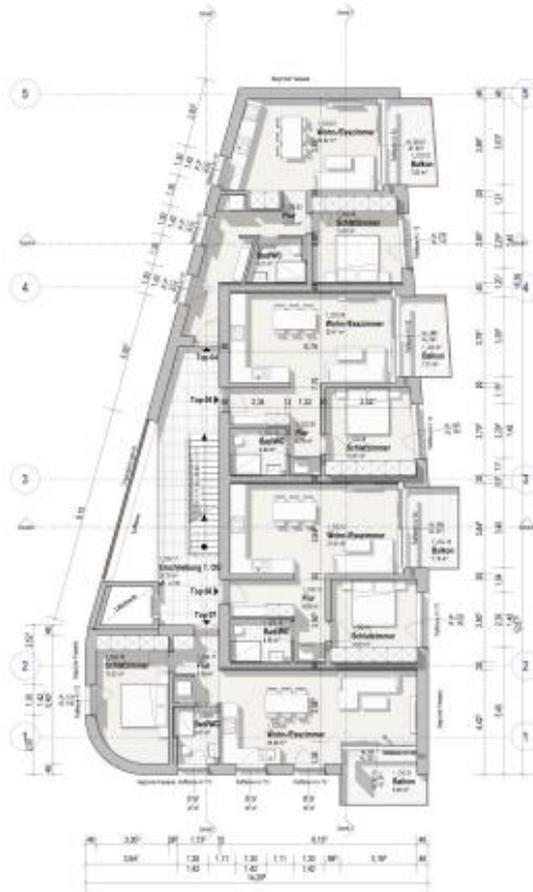


EG



# Untersuchtes Gebäude

## OG 1



## OG 2



# Untersuchtes Gebäude



# Untersuchtes Gebäude

## Mengenermittlung aus BIM-Modell

Stahlbeton	NPK A	NPK B	NPK C	WD 30/37	Beton gesamt	Bewehrungsmenge	
Summe Stahlbeton Wände/ Stützen gesamt	83,65 m <sup>3</sup>	135,19 m <sup>3</sup>	0,00 m <sup>3</sup>	98,71 m <sup>3</sup>	317,54 m <sup>3</sup>	31 986,10 kg	
Summe Stahlbeton Decken gesamt	423,50 m <sup>3</sup>	0,00 m <sup>3</sup>	0,00 m <sup>3</sup>	0,00 m <sup>3</sup>	423,50 m <sup>3</sup>	42 350,26 kg	
Summe Stahlbeton Fundamente gesamt	0,00 m <sup>3</sup>	0,00 m <sup>3</sup>	57,64 m <sup>3</sup>	0,00 m <sup>3</sup>	57,64 m <sup>3</sup>	4 611,20 kg	
Summe Stahlbeton gesamt	507,15 m <sup>3</sup>	135,19 m <sup>3</sup>	57,64 m <sup>3</sup>	98,71 m <sup>3</sup>	798,69 m <sup>3</sup>	78 947,56 kg	
Wärmedämmung	EPS	XPS	Mineralwolle	Overtex	Prottelith	Wärmedämmung gesamt	
Summe Wärmedämmung Wand EPS	86,75 m <sup>3</sup>	0,00 m <sup>3</sup>	0,00 m <sup>3</sup>	0,00 m <sup>3</sup>	0,00 m <sup>3</sup>	86,75 m <sup>3</sup>	
Summe Wärmedämmung Wand XPS	0,00 m <sup>3</sup>	14,51 m <sup>3</sup>	0,00 m <sup>3</sup>	0,00 m <sup>3</sup>	0,00 m <sup>3</sup>	14,51 m <sup>3</sup>	
Summe Wärmedämmung Wand Weich - Mineral	0,00 m <sup>3</sup>	0,00 m <sup>3</sup>	2,14 m <sup>3</sup>	0,00 m <sup>3</sup>	0,00 m <sup>3</sup>	2,14 m <sup>3</sup>	
Summe Wärmedämmung Wand Sonstige	0,00 m <sup>3</sup>	0,00 m <sup>3</sup>	0,00 m <sup>3</sup>	1,92 m <sup>3</sup>	0,00 m <sup>3</sup>	1,92 m <sup>3</sup>	
Summe Wärmedämmung Decke EPS	90,13 m <sup>3</sup>	0,00 m <sup>3</sup>	0,00 m <sup>3</sup>	0,00 m <sup>3</sup>	0,00 m <sup>3</sup>	90,13 m <sup>3</sup>	
Summe Wärmedämmung Decke XPS	0,00 m <sup>3</sup>	23,96 m <sup>3</sup>	0,00 m <sup>3</sup>	0,00 m <sup>3</sup>	0,00 m <sup>3</sup>	23,96 m <sup>3</sup>	
Summe Wärmedämmung Decke Sonstige	0,00 m <sup>3</sup>	0,00 m <sup>3</sup>	0,00 m <sup>3</sup>	0,00 m <sup>3</sup>	3,60 m <sup>3</sup>	3,60 m <sup>3</sup>	
Summe Wärmedämmung gesamt	176,89 m <sup>3</sup>	38,47 m <sup>3</sup>	2,14 m <sup>3</sup>	1,92 m <sup>3</sup>	3,60 m <sup>3</sup>	219,42 m <sup>3</sup>	
Putz	Kalkzementputz	Innenputz	Putz gesamt				
Summe Putz Wand außen	12,68 m <sup>3</sup>	0,00 m <sup>3</sup>	12,68 m <sup>3</sup>				
Summe Putz Wand innen	0,00 m <sup>3</sup>	8,96 m <sup>3</sup>	8,96 m <sup>3</sup>				
Summe Putz Decke innen	0,00 m <sup>3</sup>	3,40 m <sup>3</sup>	3,40 m <sup>3</sup>				
Summe Putz gesamt	12,68 m <sup>3</sup>	12,36 m <sup>3</sup>	25,04 m <sup>3</sup>				
Trapezblech	Verzinktes Stahlblech						
Summe Trapezblech gesamt	152,75 m <sup>2</sup>						
Gipskarton	Gipskarton 2,5	Gipskarton 7,5	Gipskarton 10	Gipskarton 12,5	Gipskarton 15	Gipskarton 18,5	Gipskarton gesamt
Vorsatzschale Gipskarton	0,00 m <sup>2</sup>	130,59 m <sup>2</sup>	41,44 m <sup>2</sup>	0,00 m <sup>2</sup>	46,31 m <sup>2</sup>	47,94 m <sup>2</sup>	266,28 m <sup>2</sup>
Wände Gipskarton	19,92 m <sup>2</sup>	0,00 m <sup>2</sup>	0,00 m <sup>2</sup>	205,66 m <sup>2</sup>	141,74 m <sup>2</sup>	0,00 m <sup>2</sup>	347,40 m <sup>2</sup>
Summe Gipskarton gesamt	19,92 m <sup>2</sup>	130,59 m <sup>2</sup>	41,44 m <sup>2</sup>	205,66 m <sup>2</sup>	188,05 m <sup>2</sup>	47,94 m <sup>2</sup>	613,68 m <sup>2</sup>
Fliesen	Keramikfliesen						
Wandfliesen innen 1,5	214,52 m <sup>2</sup>						
Bodenfliesen 1,5	59,32 m <sup>2</sup>						
Summe Fliesen gesamt	273,84 m <sup>2</sup>						
Kellerabteile	Kellerabteile Holz 60/20 mm + Stahlwinkel 25/28mm						
Summe Wand Kellerabteile gesamt	76,02 m <sup>2</sup>						
Dach	Rundkorn	Bitumenabdichtung	Dach gesamt				
Kiesschüttung 6	17,81 m <sup>3</sup>	0,00 m <sup>3</sup>	-				
Polymerbitumen-Dichtungsbahn	0,00 m <sup>3</sup>	296,76 m <sup>2</sup>	-				
Summe Dach gesamt	17,81 m <sup>3</sup>	296,76 m <sup>2</sup>	-				
Fußböden (ohne Fliesen)	Betonplatten	Mehrschichtparkett	Estrich	EPS	Schotter gebunden	Sand	Fußboden gesamt
Betonplatte 4	10,92 m <sup>3</sup>	0,00 m <sup>3</sup>	0,00 m <sup>3</sup>	0,00 m <sup>3</sup>	0,00 m <sup>3</sup>	0,00 m <sup>3</sup>	-
Parkett 1	0,00 m <sup>3</sup>	559,99 m <sup>2</sup>	0,00 m <sup>3</sup>	0,00 m <sup>3</sup>	0,00 m <sup>3</sup>	0,00 m <sup>3</sup>	-
Estrich variabel	0,00 m <sup>3</sup>	0,00 m <sup>3</sup>	57,81 m <sup>3</sup>	0,00 m <sup>3</sup>	0,00 m <sup>3</sup>	0,00 m <sup>3</sup>	-
Trittschall variabel	0,00 m <sup>3</sup>	0,00 m <sup>3</sup>	0,00 m <sup>3</sup>	36,68 m <sup>3</sup>	0,00 m <sup>3</sup>	0,00 m <sup>3</sup>	-
Schotter gebunden variabel	0,00 m <sup>3</sup>	0,00 m <sup>3</sup>	0,00 m <sup>3</sup>	0,00 m <sup>3</sup>	48,38 m <sup>3</sup>	0,00 m <sup>3</sup>	-
Schüttung variabel	0,00 m <sup>3</sup>	0,00 m <sup>3</sup>	0,00 m <sup>3</sup>	0,00 m <sup>3</sup>	0,00 m <sup>3</sup>	2,44 m <sup>3</sup>	-
Summe Fußböden gesamt	10,92 m <sup>3</sup>	559,99 m <sup>2</sup>	57,81 m <sup>3</sup>	36,68 m <sup>3</sup>	48,38 m <sup>3</sup>	2,44 m <sup>3</sup>	-
Fenster	PVC Fenster						
Summe Fenster	157,86 m <sup>2</sup>						
Türen	Außentüre Holz-Alu	Stahlzarge	Umfassungszarge	Schnellauftor	Schiebetüre	Türen gesamt	
Tür Kellerabteil	19,89 m <sup>2</sup>	0,00 m <sup>2</sup>	0,00 m <sup>2</sup>	0,00 m <sup>2</sup>	0,00 m <sup>2</sup>	19,89 m <sup>2</sup>	
Haustüre	0,00 m <sup>2</sup>	2,73 m <sup>2</sup>	0,00 m <sup>2</sup>	0,00 m <sup>2</sup>	0,00 m <sup>2</sup>	2,73 m <sup>2</sup>	
Stahlzarge	0,00 m <sup>2</sup>	0,00 m <sup>2</sup>	40,72 m <sup>2</sup>	0,00 m <sup>2</sup>	0,00 m <sup>2</sup>	40,72 m <sup>2</sup>	
Umfassungszarge	0,00 m <sup>2</sup>	0,00 m <sup>2</sup>	0,00 m <sup>2</sup>	13,37 m <sup>2</sup>	0,00 m <sup>2</sup>	13,37 m <sup>2</sup>	
Industrie-Folien-Schnellauf-Tor	0,00 m <sup>2</sup>	0,00 m <sup>2</sup>	0,00 m <sup>2</sup>	7,30 m <sup>2</sup>	0,00 m <sup>2</sup>	7,30 m <sup>2</sup>	
Schiebetür aufgesetzt	0,00 m <sup>2</sup>	0,00 m <sup>2</sup>	0,00 m <sup>2</sup>	0,00 m <sup>2</sup>	2,94 m <sup>2</sup>	2,94 m <sup>2</sup>	
Lifttüre	0,00 m <sup>2</sup>	10,58 m <sup>2</sup>	0,00 m <sup>2</sup>	0,00 m <sup>2</sup>	0,00 m <sup>2</sup>	10,58 m <sup>2</sup>	
Wohnungseingangstüre	0,00 m <sup>2</sup>	25,12 m <sup>2</sup>	0,00 m <sup>2</sup>	0,00 m <sup>2</sup>	0,00 m <sup>2</sup>	25,12 m <sup>2</sup>	
Summe Türen gesamt	19,89 m <sup>2</sup>	38,43 m <sup>2</sup>	40,72 m <sup>2</sup>	13,37 m <sup>2</sup>	7,30 m <sup>2</sup>	122,65 m <sup>2</sup>	

# Untersuchtes Gebäude

## Mengenermittlung aus BIM-Modell

<b>Stahlbeton</b>	<b>NPK A</b>	<b>NPK B</b>	<b>NPK C</b>	<b>WD 30/37</b>	<b>Beton gesamt</b>	<b>Bewehrungsmenge</b>
Stahlbeton Wände/ Stütze	83,65 m <sup>3</sup>	135,19 m <sup>3</sup>	-	98,71 m <sup>3</sup>	318 m <sup>3</sup>	31 986 kg
Stahlbeton Decken	423,50 m <sup>3</sup>	-	-	-	424 m <sup>3</sup>	42 350 kg
Stahlbeton Fundamente	-	-	57,64 m <sup>3</sup>	-	58 m <sup>3</sup>	4 611 kg
<b>Summe</b>	<b>507,15 m<sup>3</sup></b>	<b>135,19 m<sup>3</sup></b>	<b>57,64 m<sup>3</sup></b>	<b>98,71 m<sup>3</sup></b>	<b>799 m<sup>3</sup></b>	<b>78 948 kg</b>

# Ökobilanzstudie

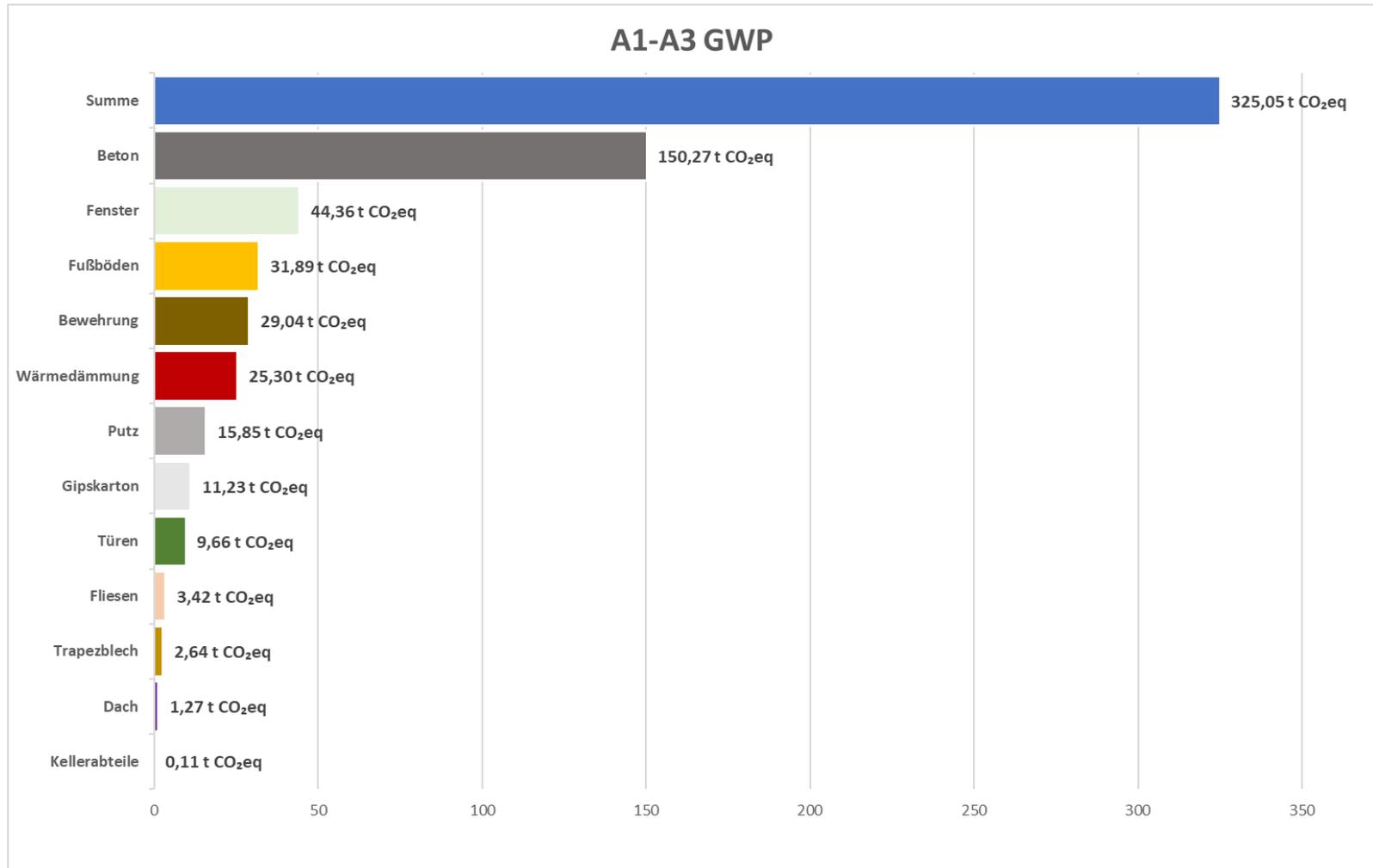
## über gesamten Lebenszyklus

HERSTELLUNGSPHASE			ERRICHTUNGS- PHASE		NUTZUNGSPHASE							ENTSORGUNGSPHASE				VORTEILE UN BELASTUNGEN AUSSERHALB DER SYSTEMGRENZEN
A1	A2	A3	A4	A5	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	C1	C2	C3	C4	D
Rohstoffbereitstellung	Transport	Herstellung	Transport	Bau / Einbau	Nutzung	Instandhaltung	Reparatur	Ersatz	Umbau, Erneuerung	betrieblicher Energieeinsatz	betrieblicher Wassereinsatz	Abbruch	Transport	Abfallbewirtschaftung	Entsorgung	Wiederverwendungs-, Rückgewinnungs-, Recyclingpotenzial

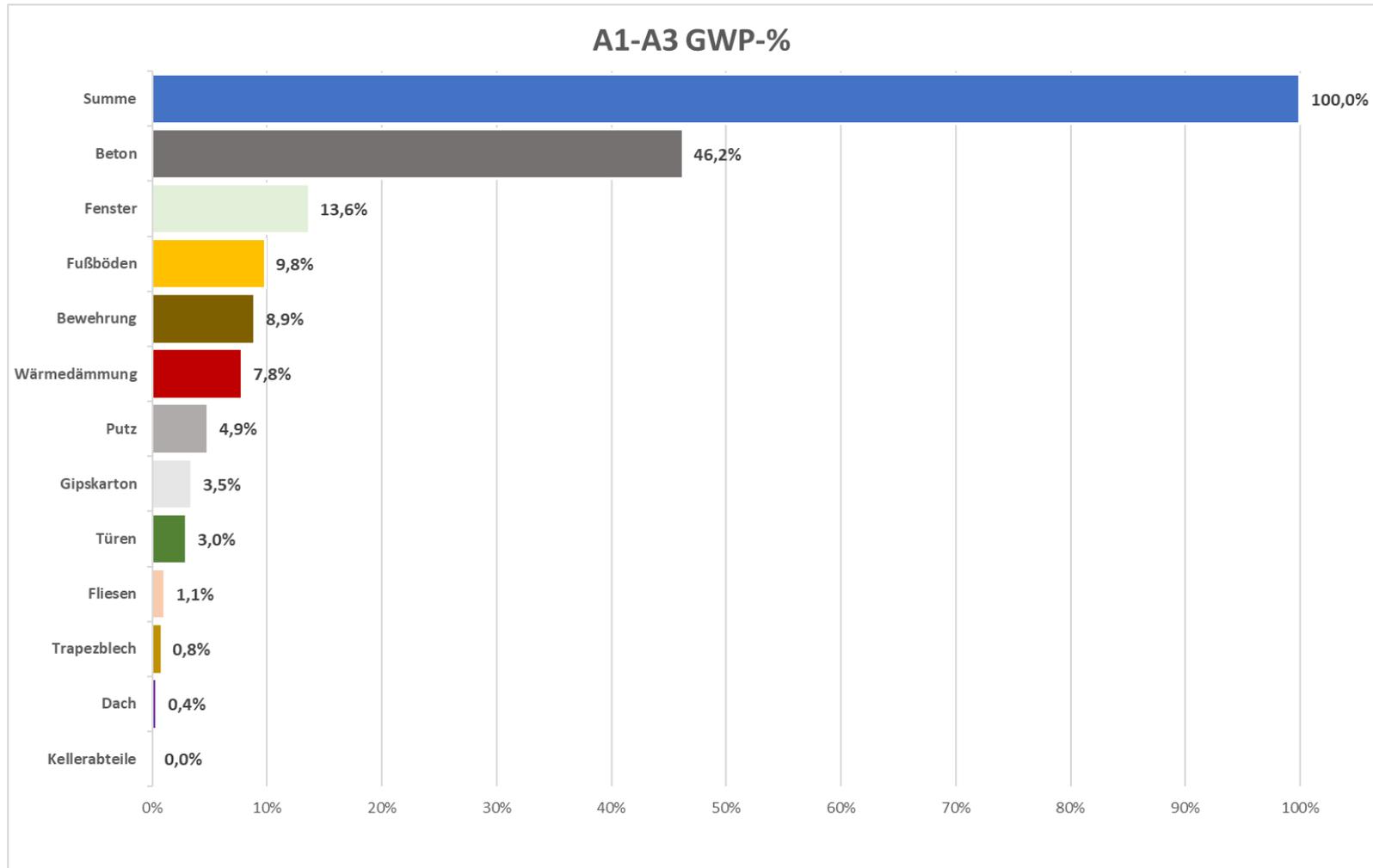
# Ökobilanzstudie **Materialherstellung A1-A3**

- **Sachbilanz aus Mengenermittlung (BIM-Modell)**
- **Ökobilanz-Datensätze**
  - **ecoinvent** Version 3.8
  - **FSKB** Beton-Durchschnitts-**EPD** 2022 (NPK A, NPK B, NPK C) – **FSKB-Rechner**
  - **EPD Zirkulit** 2022 (WD 30/37) – **FSKB-Rechner**
  - **EPD Stahl Gerafingen** 2022 – (**< 400 kg CO<sub>2</sub>äq pro Tonne!**)
  - EPD Rigips (A) 2019/ 2022 (Gipskartonplatten, Metallständerwände)
  - EPDs für spez. Türen 2017-2020 (Stahlzarge, Umfassungszarge, Schnellaufstor)
- **Zusammenfassung zu den Elementen**
  - Beton
  - Bewehrung
  - Wärmedämmung
  - Putz
  - Trapezblech-Fassade
  - Gipskarton
  - Fliesen
  - Kellerabteile
  - Dach
  - Fußböden
  - Fenster
  - Türen

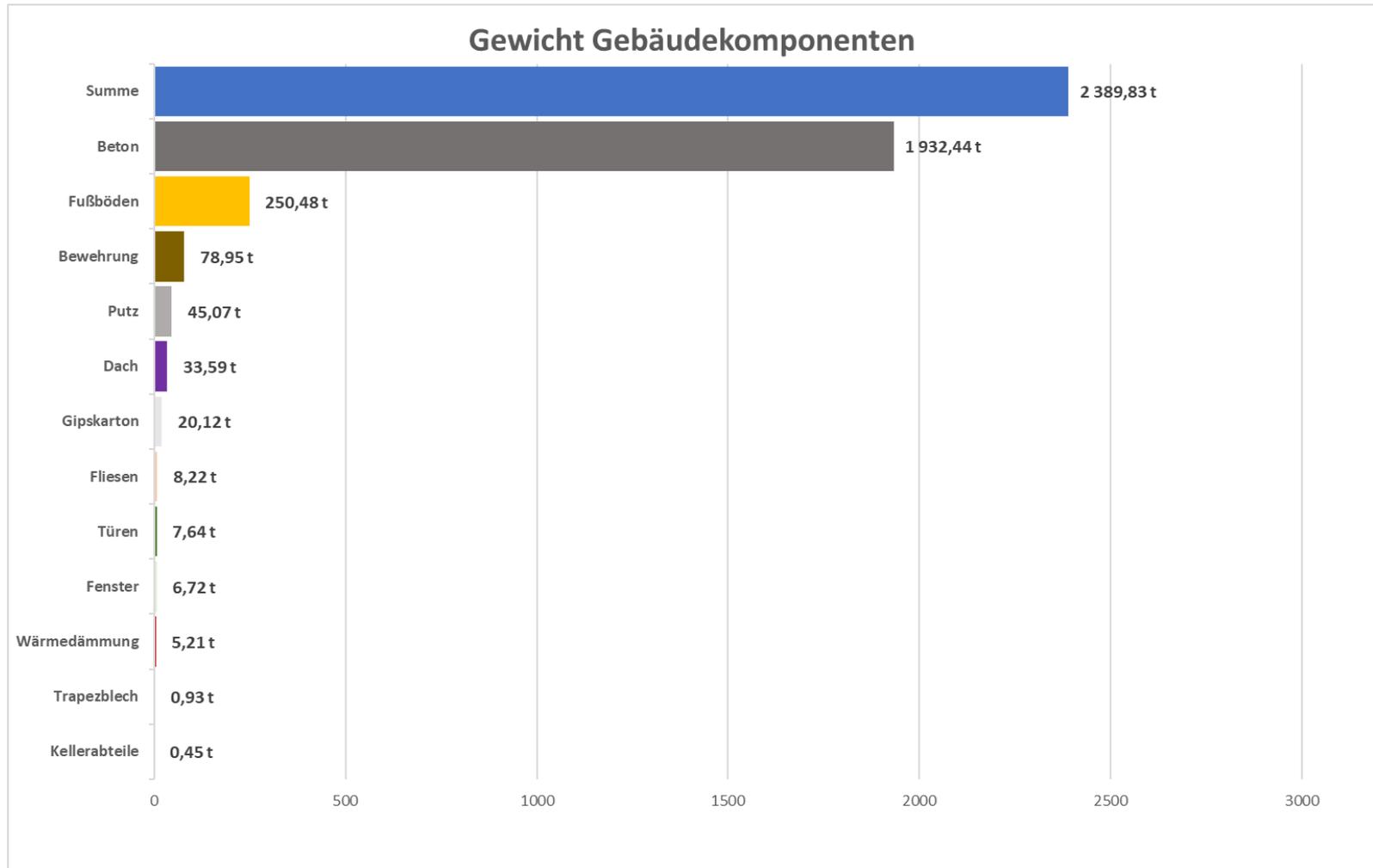
# Ökobilanzstudie **Materialherstellung A1-A3**



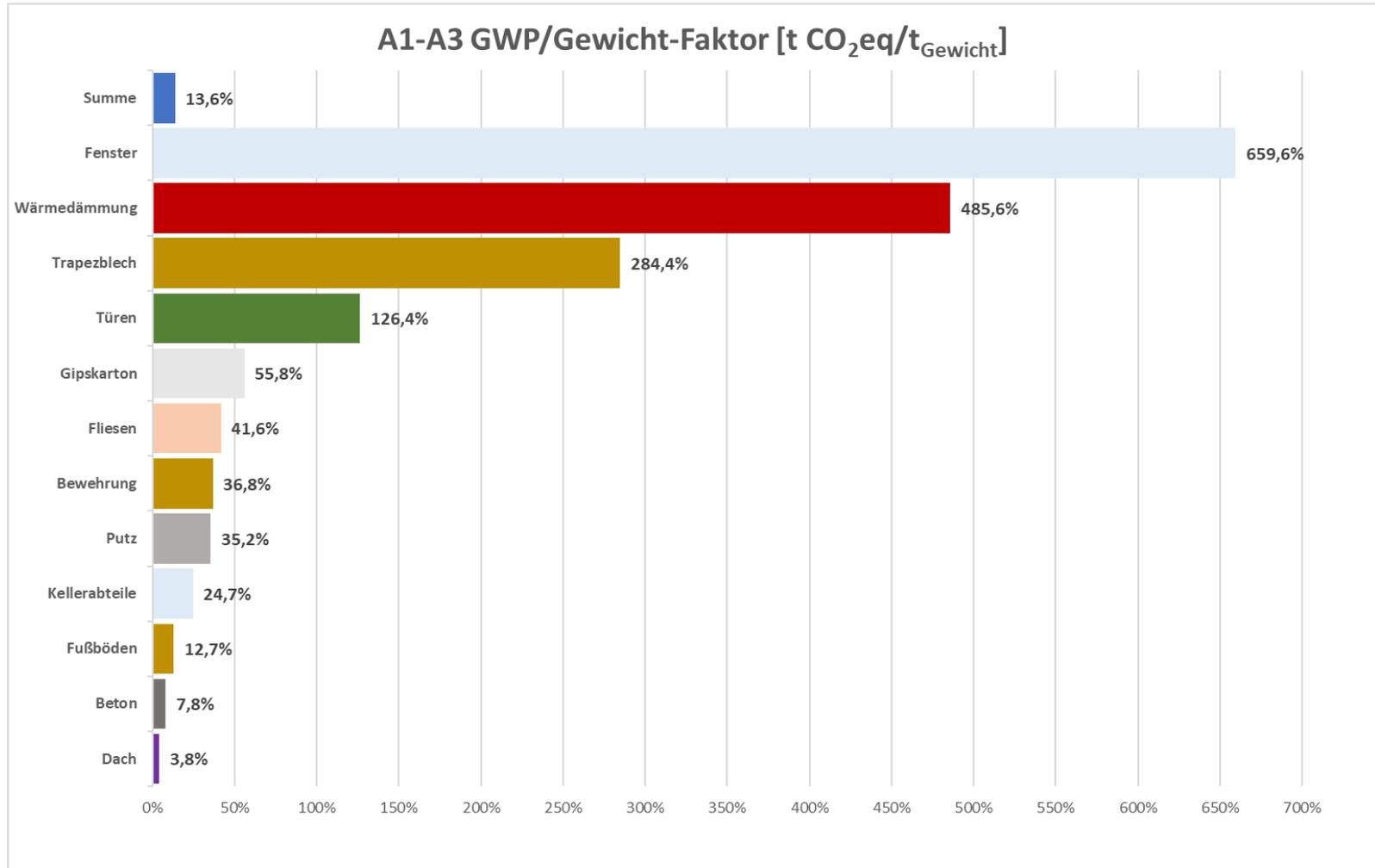
# Ökobilanzstudie **Materialherstellung A1-A3**



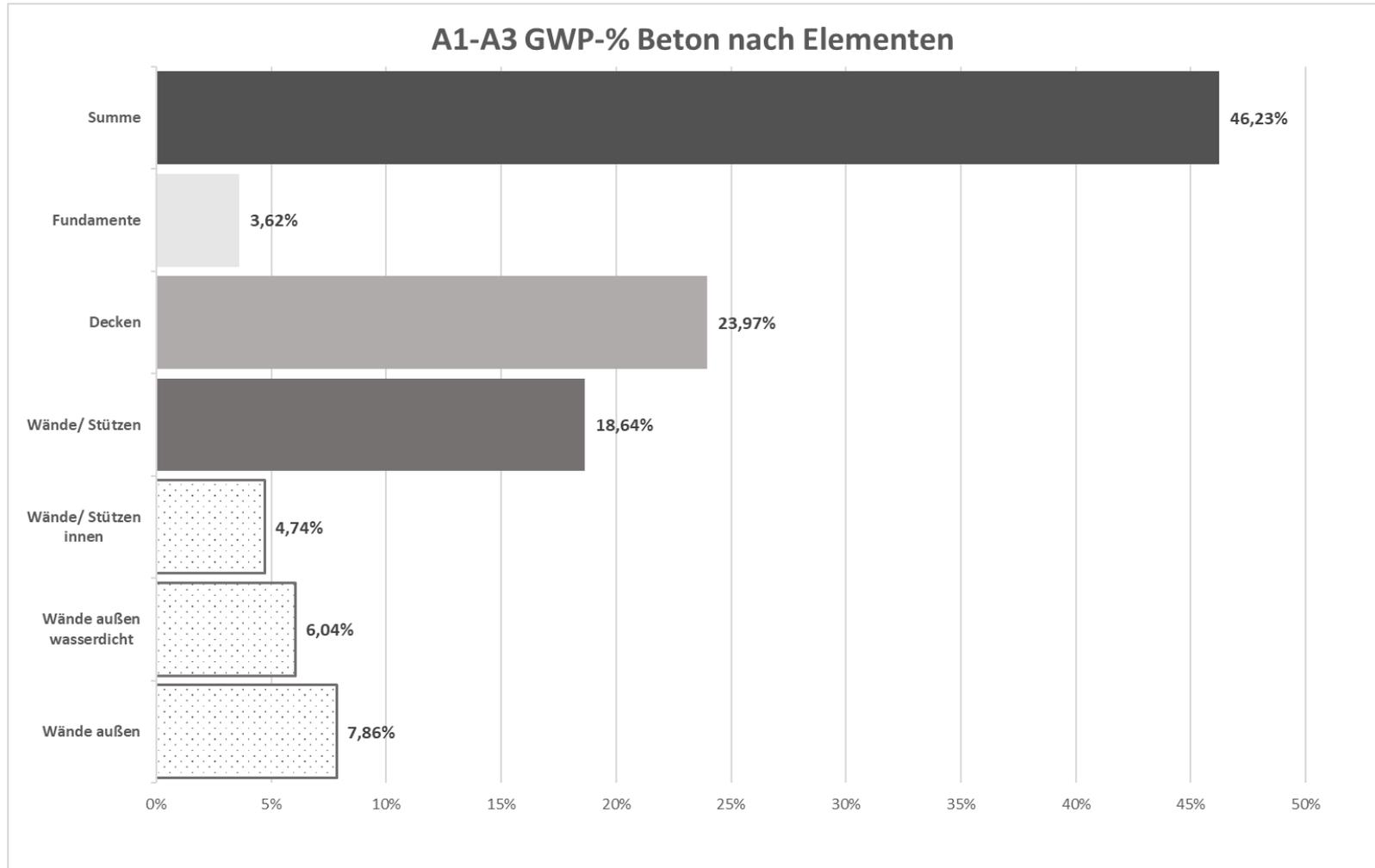
# Ökobilanzstudie **Materialherstellung A1-A3**



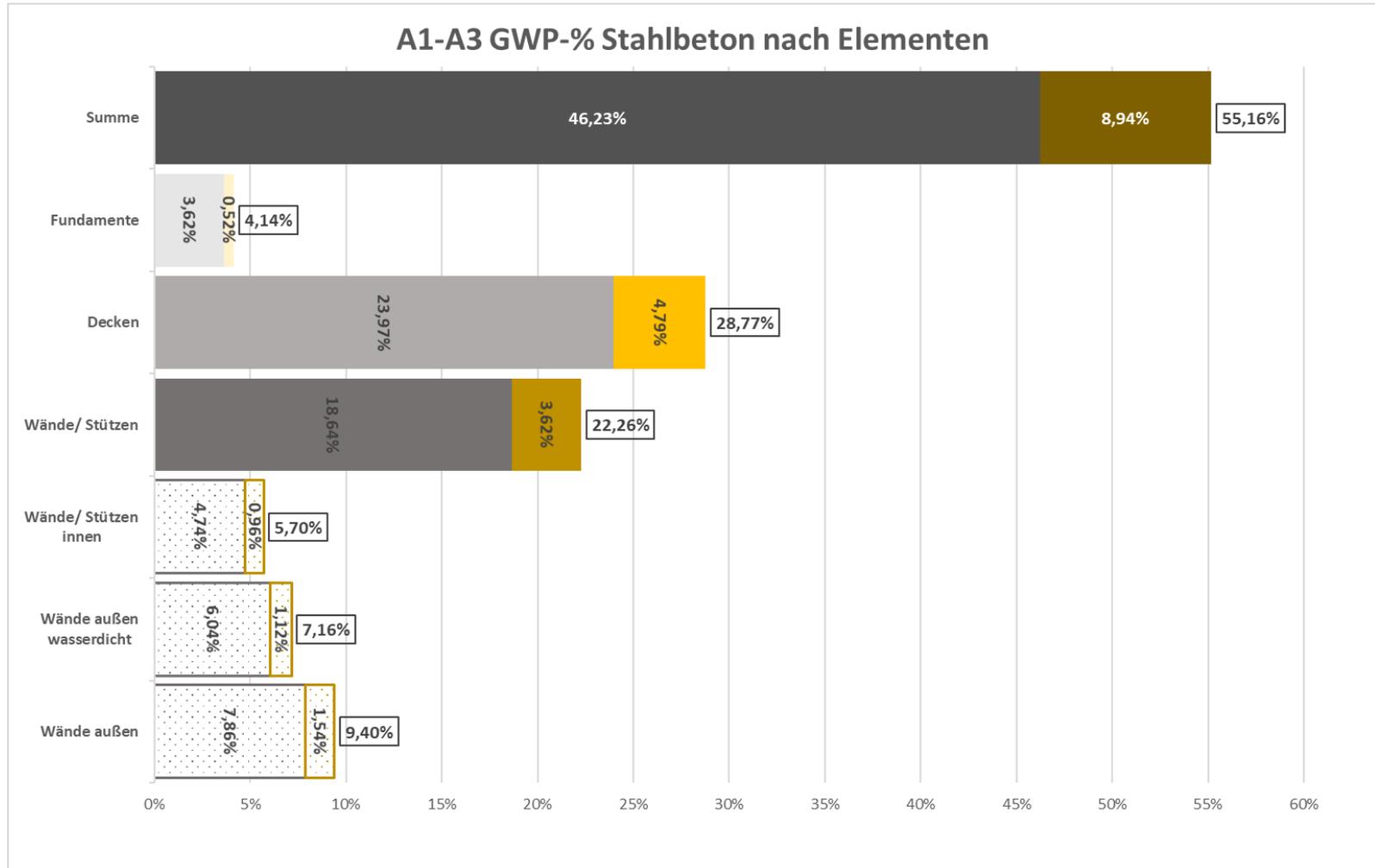
# Ökobilanzstudie **Materialherstellung A1-A3**



# Ökobilanzstudie Betonherstellung A1-A3



# Ökobilanzstudie Stahlbetonherstellung A1-A3



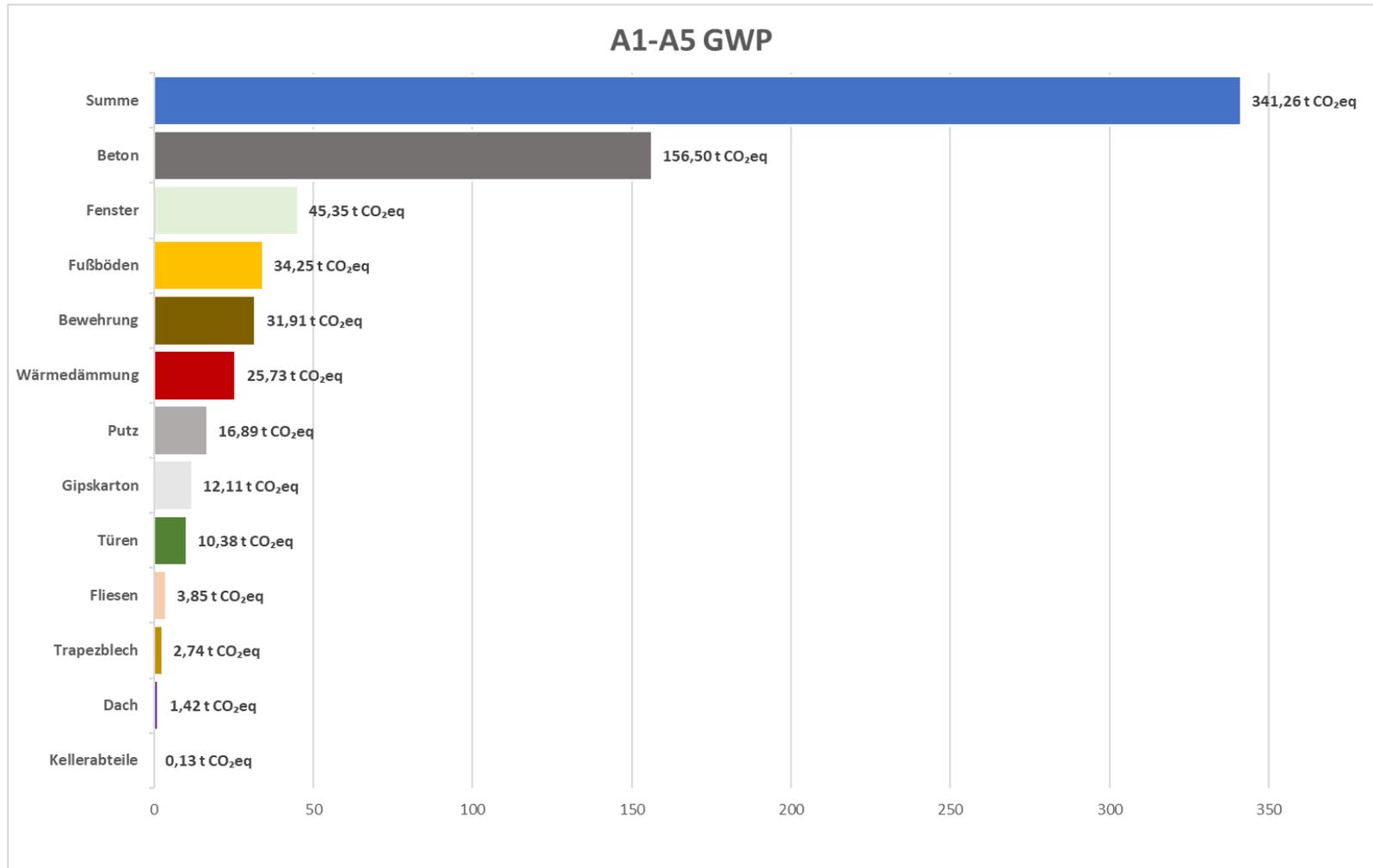
# Ökobilanzstudie Errichtungsphase A4-A5

Element	Transportmenge [t]	Transportdistanz [km]	Transportprozess [tkm]
Kellerabteile	0,45 t	200 km	90,62 tkm
Trapezblech	0,93 t	500 km	464,67 tkm
Dach	33,59 t	25 km	839,83 tkm
Wärmedämmung	5,21 t	200 km	1 042,25 tkm
Fliesen	8,22 t	300 km	2 464,56 tkm
Fenster	6,72 t	500 km	3 362,39 tkm
Türen	7,64 t	500 km	3 820,92 tkm
Gipskarton	20,12 t	235 km	4 729,23 tkm
Putz	45,07 t	120 km	5 408,26 tkm
Fußböden	250,48 t	50 km	12 524,19 tkm
Bewehrung	78,95 t	200 km	15 789,51 tkm
Beton	1 932,44 t	15 km	28 986,63 tkm
<b>Summe</b>	<b>2 389,83 t</b>		<b>79 523,04 tkm</b>

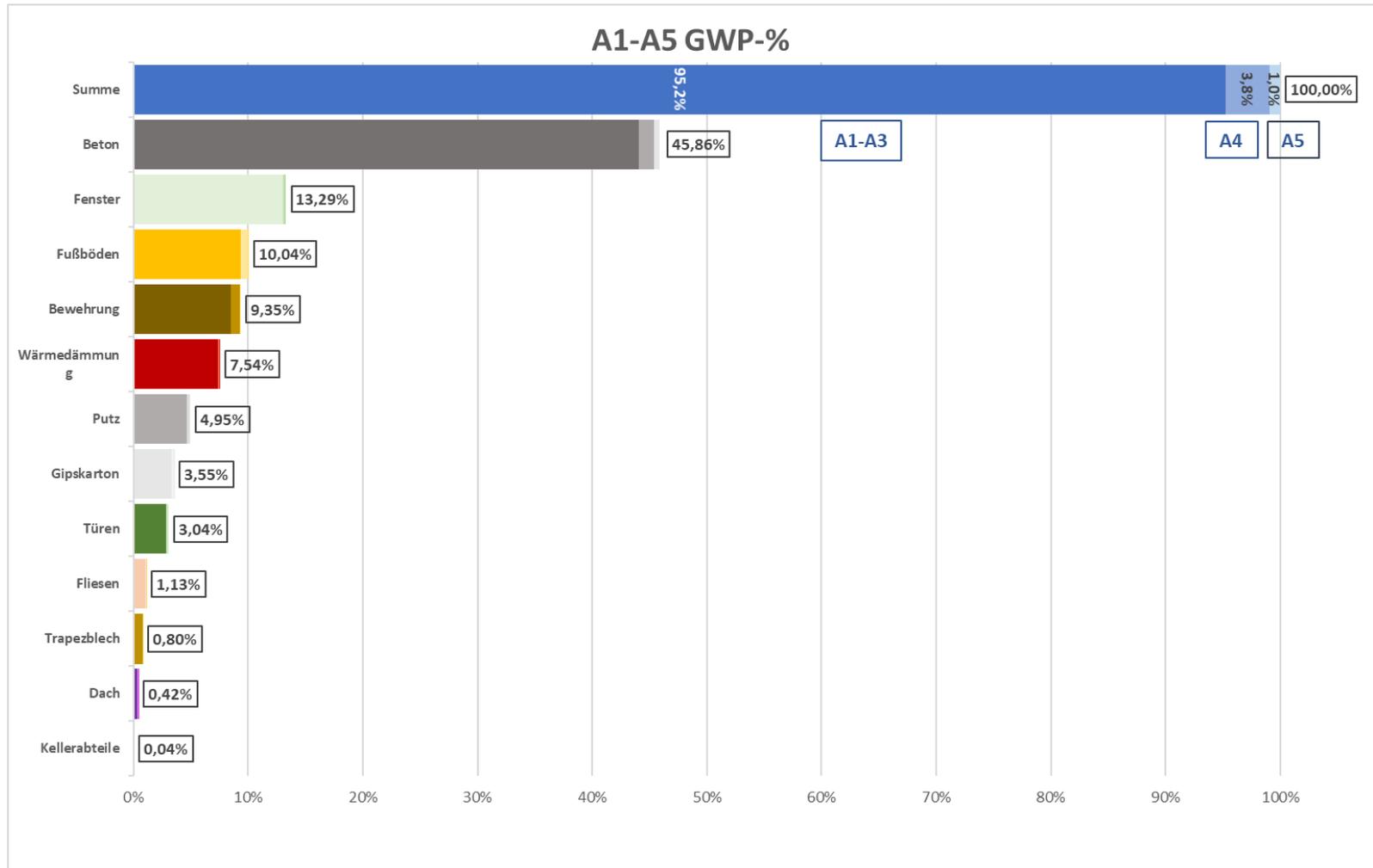
Erfahrungswerte zeigen, dass **Bau- und Einbauprozesse (A5)** einen sehr geringen **Einfluss** auf das GWP-Gesamtergebnis haben.

Prozesse aus A5 werden deshalb **vereinfacht mit 1% der jeweiligen Materialherstellungsprozesse** angesetzt.

# Ökobilanzstudie Neubau A1-A5



# Ökobilanzstudie Neubau A1-A5



# Ökobilanzstudie Rückbau & Abtransport C1-C2

Erfahrungswerte zeigen, dass Rückbauprozesse (C1) einen sehr geringen **Einfluss** auf das GWP-Gesamtergebnis haben.

Prozesse aus C1 werden deshalb **vereinfacht mit 1% der jeweiligen Materialherstellungsprozesse** angesetzt.

Element	Transportmenge [t]	Transportdistanz [km]	Transportprozess [tkm]
Kellerabteile	0,45 t	50 km	22,65 tkm
Dach	33,59 t	50 km	1 679,66 tkm
Trapezblech	0,93 t	50 km	46,47 tkm
Fliesen	8,22 t	50 km	410,76 tkm
Türen	7,64 t	50 km	382,09 tkm
Gipskarton	20,12 t	50 km	1 006,22 tkm
Putz	45,07 t	50 km	2 253,44 tkm
Wärmedämmung	5,21 t	50 km	260,56 tkm
Bewehrung	78,95 t	50 km	3 947,38 tkm
Fußböden	250,48 t	50 km	12 524,19 tkm
Fenster	6,72 t	50 km	336,24 tkm
Beton	1 932,44 t	50 km	96 622,09 tkm
<b>Summe</b>	<b>2 389,83 t</b>		<b>119 491,75 tkm</b>

# Ökobilanzstudie **Recycling & Entsorgung C3-C4**

- **Materialien zu Recycling (C3)**
  - Stahlbeton
  - Trapezblech-Fassade
  - Gipskarton – Metallständer
  - Kellerabteile – Metallanteil
  - Dach – Schüttung
  - Fußböden – Sandschüttung
- **Materialien zu Kehrrichtanlage (C4)**
  - Wärmedämmung
  - Kellerabteile - Holz
  - Dach – Bitumenbahn
  - Fußböden – Parkett, EPS
  - Türen – Kellerabteile
- **Materialien zu Deponie (C4)**
  - Putz
  - Gipskarton – Platten
  - Fliesen
  - Fußböden – Betonplatten, Estrich, Schotter gebunden
  - Fenster
  - Türen – Rest

# Ökobilanzstudie **Recycling & Entsorgung C3-C4**

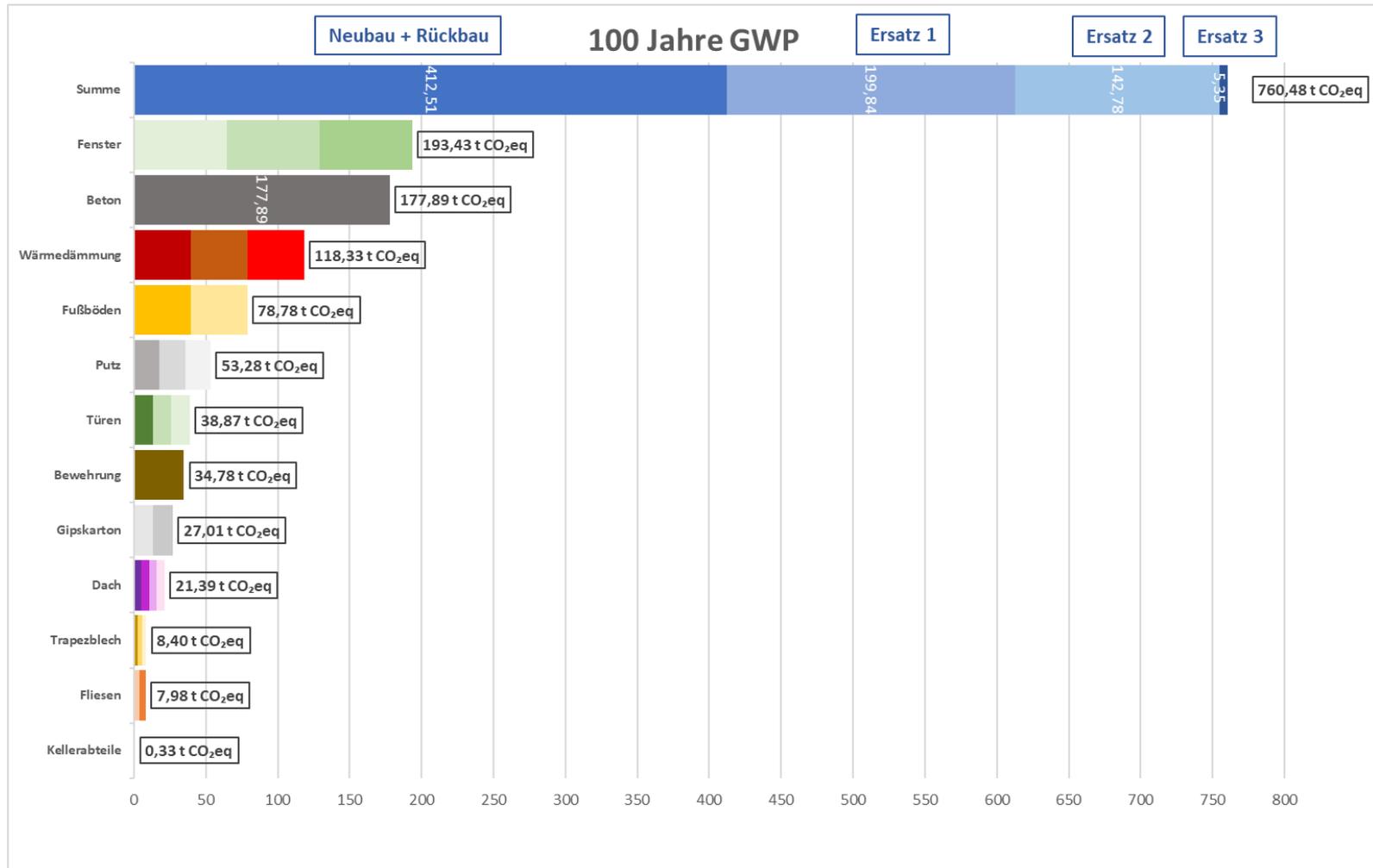
## – **Ökobilanz-Datensätze**

- **ecoinvent** Version 3.8
- **FSKB EPD rezyklierte Gesteinskörnung** 2018
- Rigips-EPD (A) 2019/ 2022 (Gipskartonplatten, Metallständerwände)
- EPDs für spez. Türen 2017-2020 (Stahlzarge, Umfassungszarge, Schnellaufstor)

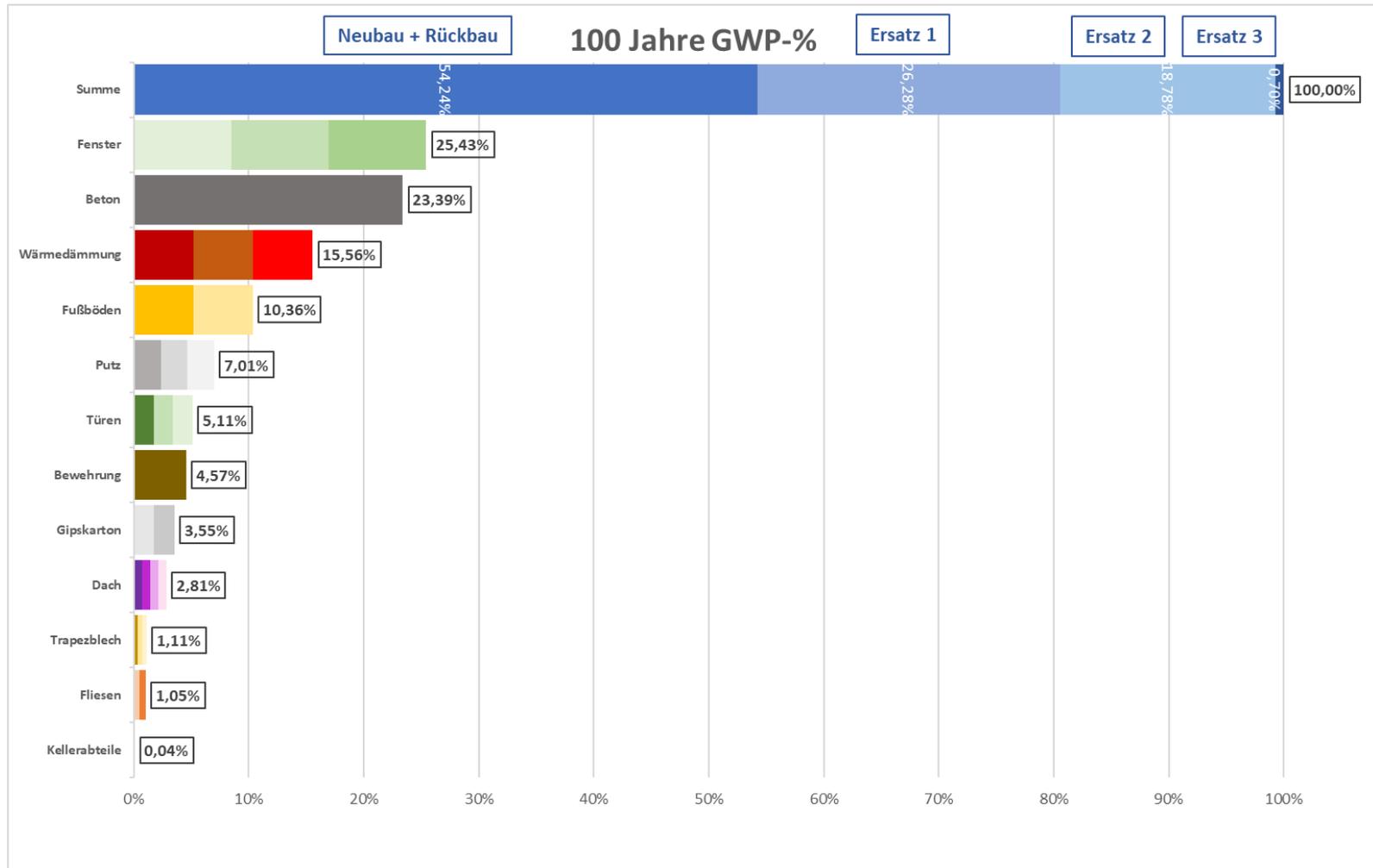
# Ökobilanzstudie Gebäude-LZ A1-A5 + C1-C4

Element	Nutzungsdauer [a]	Austausch über 100 Jahre [mal]
Kellerabteile	50 Jahre	1
Trapezblech	40 Jahre	2
Fliesen	50 Jahre	1
Dach	30 Jahre	3
Türen	40 Jahre	2
Gipskarton	60 Jahre	1
Putz	40 Jahre	2
Bewehrung	100 Jahre	0
Fußböden	50 Jahre	1
Wärmedämmung	40 Jahre	2
Fenster	40 Jahre	2
Beton	100 Jahre	0

# Ökobilanzstudie Gebäude-LZ A1-A5 + C1-C4



# Ökobilanzstudie Gebäude-LZ A1-A5 + C1-C4



# Ökobilanzstudie **Lebenszyklus A1-C4**

## – **Wärmebedarf**

- Heizwärmebedarf: 42,0 kWh/(m<sup>2</sup>\*a) (nach SIA 380/1 – Neubau Minergie)
- Warmwasserbedarf: 21,0 kWh/(m<sup>2</sup>\*a) (nach SIA 380/1 – Standardnutzung MFH)
- Bezugsfläche (aus BIM-Modell): 608,85 m<sup>2</sup> (11 Wohnungen á ca. 55 m<sup>2</sup>)
- Heizsystem: Fernwärme
- GWP für Fernwärme laut BAFU (2018): 0,161 kg CO<sub>2</sub>äq/kWh

### **Jahresbedarf:**

- Heizwärmebedarf pro Jahr: 25.571,7 kWh/a  $\triangleq$  4,12 t CO<sub>2</sub>äq/a
- Warmwasserbedarf pro Jahr: 12.785,9 kWh/a  $\triangleq$  2,06 t CO<sub>2</sub>äq/a

### **Bedarf Lebenszyklus (100 Jahre):**

- Heizwärmebedarf Lebenszyklus: **25,57 GWh  $\triangleq$  411,7 t CO<sub>2</sub>äq**
- Warmwasserbedarf Lebenszyklus: **12,79 GWh  $\triangleq$  205,9 t CO<sub>2</sub>äq**

# Ökobilanzstudie **Lebenszyklus A1-C4**

## – **Strombedarf**

- 11 Wohneinheiten á 2 Personen
- Strombedarf: 3.000 kWh/(Wohneinheit\*a) – für 2-Personen Haushalt (Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft – Deutschland)
- GWP für Strommix Mittelspannung Schweiz (ecoinvent 3.8): 0,056 kg CO<sub>2</sub>äq/kWh

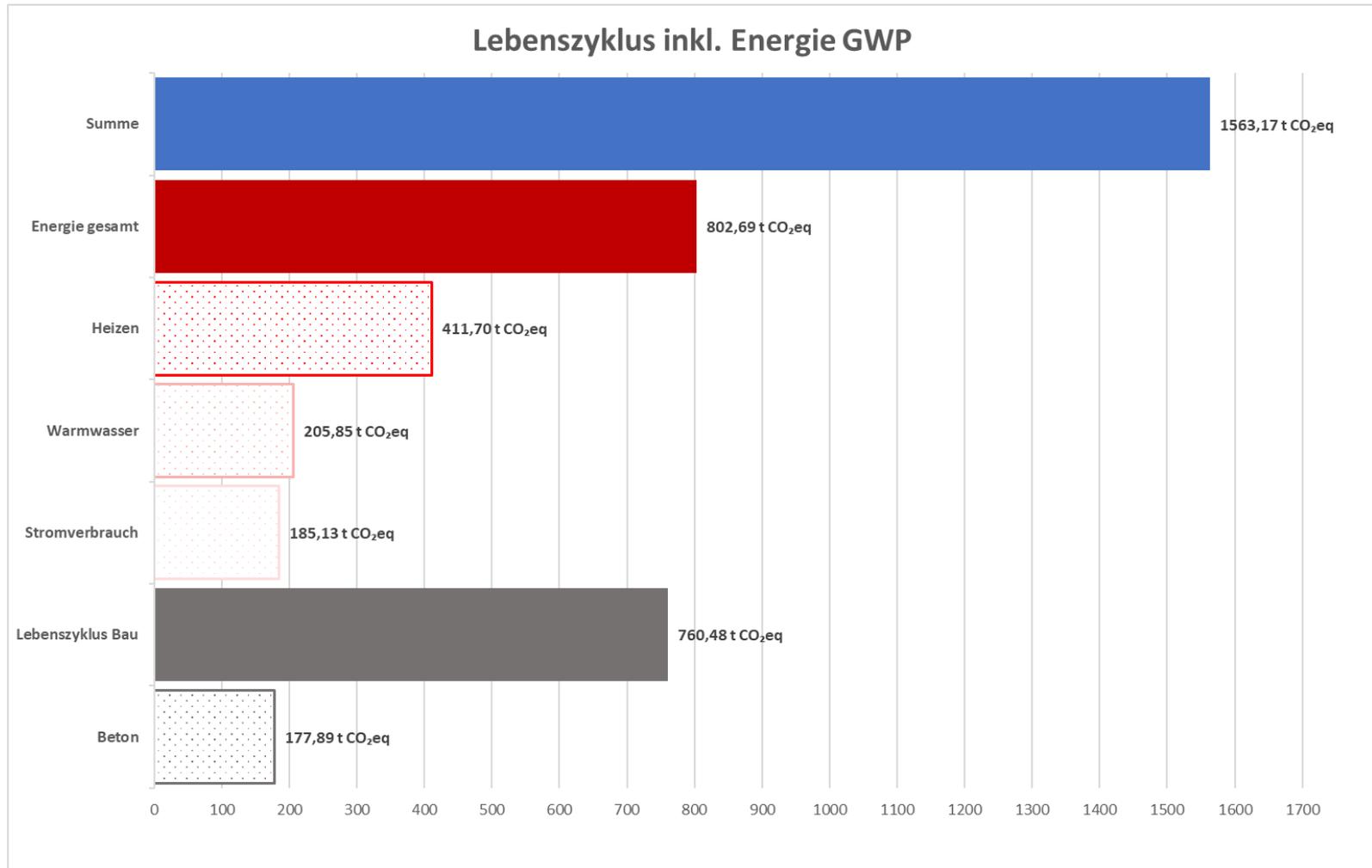
### **Jahresbedarf:**

- Strombedarf pro Jahr: 33.000 kWh/a  $\cong$  1,85 t CO<sub>2</sub>äq/a

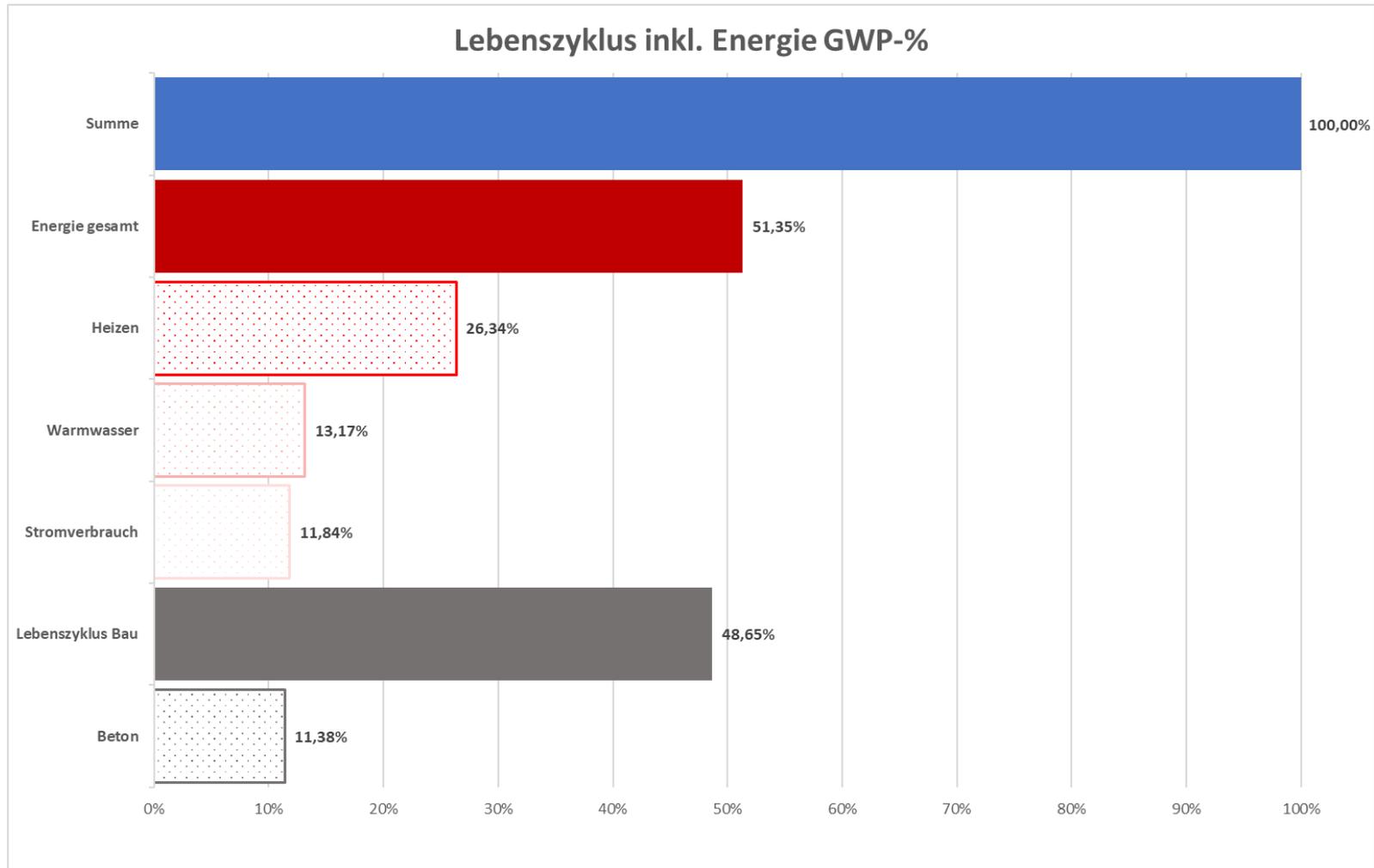
### **Bedarf Lebenszyklus (100 Jahre):**

- Strombedarf Lebenszyklus: **33 GWh  $\cong$  185,1 t CO<sub>2</sub>äq**

# Ökobilanzstudie Lebenszyklus A1-C4



# Ökobilanzstudie Lebenszyklus A1-C4



# Conclusio

- niedriger GWP/Gewicht-Faktor für Beton (7,8%) – hohes Gewicht wenig GWP-Anteil
- Lebensdauer Beton 100 Jahre – kein Ersatz über Lebenszyklus notwendig
- Beton bewirkt
  - 46,2% (150 von 325 t CO<sub>2</sub>äq) des GWP der Materialherstellung (A1-A3)
  - 45,9% (156,5 von 341,2 t CO<sub>2</sub>äq) des GWP für den Neubau (A1-A5)
  - 23,4% (177,9 von 760,5 t CO<sub>2</sub>äq) des GWP des Gebäude-Lebenszyklus (A1-A5 + C1-C4)
  - **11,4%** (177,9 von 1.563,2 t CO<sub>2</sub>äq) des GWP **des Gebäude-Lebenszyklus inkl. Energiebedarf (A1-C4)**
- Nicht berücksichtigt wurden
  - Nutzung durch Bewohner – Herstellung Möbel, Geräte, usw. (B1)
  - Notwendige Instandhaltungen (B2) – für Beton nicht relevant
  - Notwendige Reparaturen (B3) – für Beton nicht relevant
  - Eventuelle Umbauarbeiten bzw. Erneuerungen (B5) – für Beton nicht relevant
  - Betrieblicher Wassereinsatz (B6) – für Beton nicht relevant
  - Giebeldach statt Flachdach – Einfluss Holzkonstruktion, Dämmung, Dachziegel, usw.
  - **Anteil Beton an Gesamtbetrachtung A1-C4 noch geringer (wahrscheinlich deutlich unter 10 %)**
- Großes Reduktionspotential für Beton durch Klinker-/ GWP-reduzierte Zemente bzw. CCSU-Technologien
- Potential für vereinfachte Bewertungen durch Verknüpfung von EPD mit BIM