09.05.2023

Ortbetondecken vs. Spannbeton-Fertigdecken
Auswirkungen auf die Ökobilanz eines Gebäudekomplexes

Bericht aus einem aktuellen Forschungsprojekt

Prof. Dr.-Ing. Andreas Heuer

HTW Berlin

Hochschule für Technik und Wirtschaft Berlin

University of Applied Sciences

peikko®

Nachhaltigkeit in Neubau und Bestand

Verbindungen schaffen für den Klimaschutz

Inhalt

- **Einführung**
- **Grundlagen – Treibhausgase, Klimakrise, politischer Rahmen**
- **Stahlbetonbau und CO2-Bilanzen**
- **Beschreibung und Vorgehensweise bei der Untersuchung der Gebäude**
- **Ergebnisse der Ökobilanz**
- **Potentiale zur Verbesserung der Ökobilanz von Tragwerken**
- **Fazit**

CO_2-Thematik im Bauwesen
Allgemeines

- „Green Deal" EU: 55% Einsparung bis 2030
- Deutschland bis 2045 treibhausgasneutral!
- BVerfG: Beschluss des Ersten Senats vom 24. März 2021 zum Klimaschutzgesetz – Deutschland tut zu wenig!
- Geschätzt 38% der CO_2-Emissionen weltweit aus Gebäudesektor

Persönliche Erfahrungen aus 18 Jahren Tragwerksplanung

Bedeutung der CO2-Thematik im Bausektor = NULL

CO_2-Thematik im Bauwesen

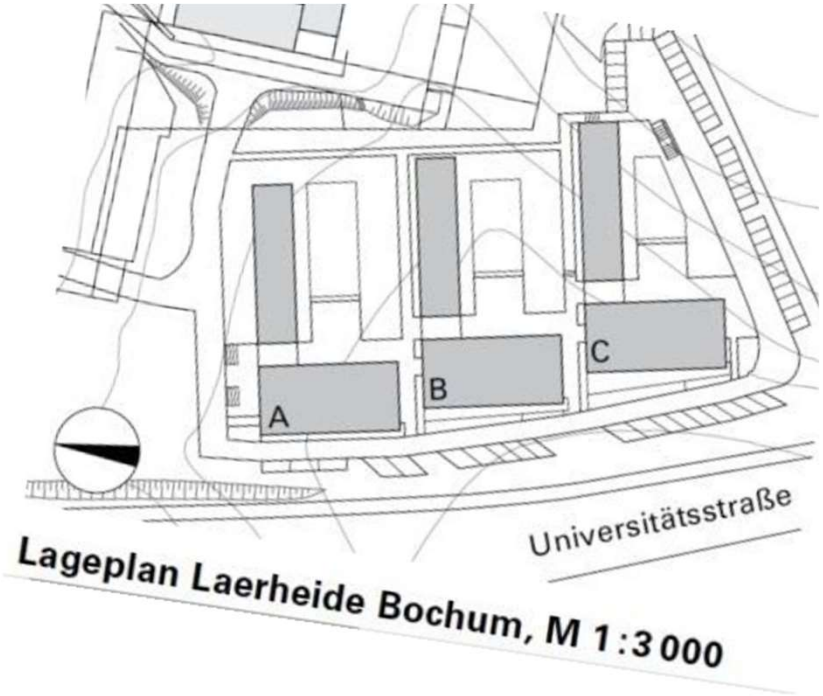
Projektidee

Gebäude mit

Spannbeton-Fertigdecken vs. Ortbetondecken bzw. massive Halbfertigteildecken

Vergleich der Ökobilanz

Hier: Gesamtbetrachtung anhand eines Studentenwohnheimes in Bochum.



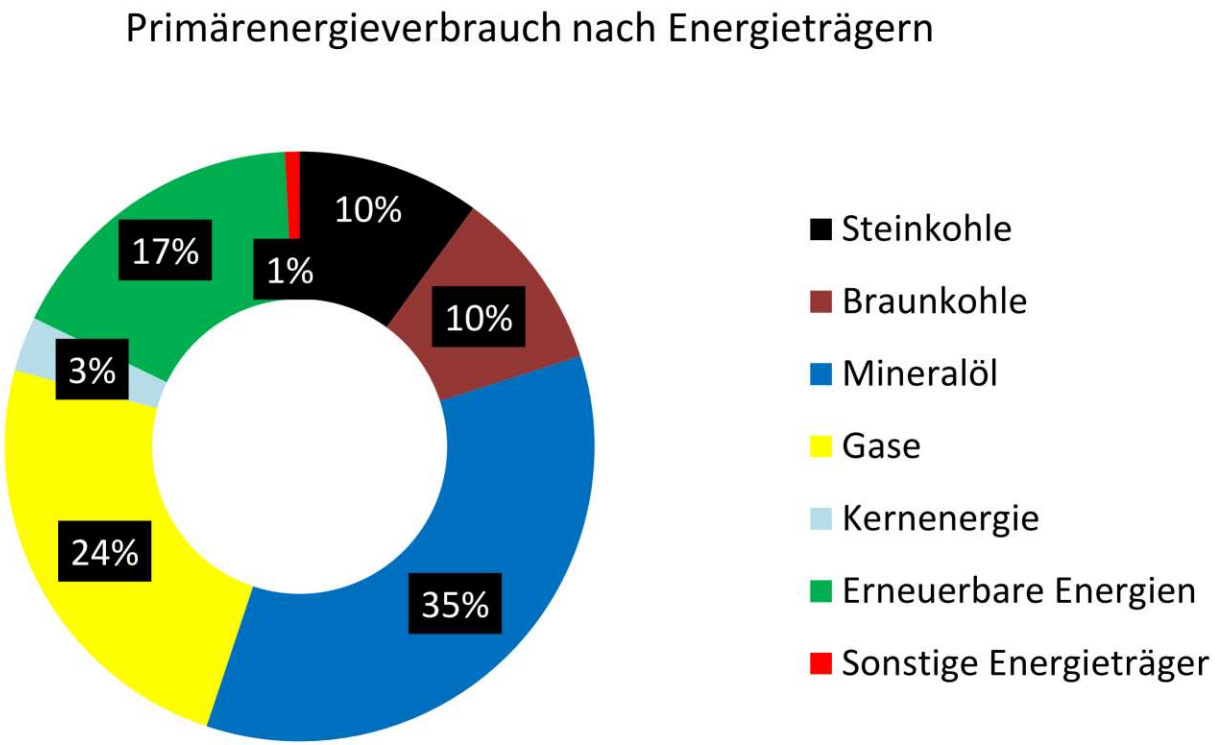
Stahlbetonbau und CO_2-Bilanzen
Zusammensetzung der Ökobilanz

- Treibhausgaspotential (GWP)
- Ozonabbaupotential (ODP – Ozone Depletion Potential)
- Versauerungpotential (AP – Acifidication Potential)
- Überdüngungspotential (EP - Eutrophication Potential)
- Bodennahes Ozonbildungspotential (POCP – Photochemical Ozon Creation Potential)
- Primärenergiebedarf erneuerbarer Energien (PERE - Energy Renewable, Energy Resources)
- Pimärenergiebedarf , Anteil nichterneuerbare Energien (PENRE - Primary Energy Renewable)

Die Systembestandteile eines Bauwerks können im Rahmen der Ökobilanz zu einer EPD (Environmental Product Declaration) zusammengefasst werden.

Stahlbetonbau und CO_2-Bilanzen
Zusammensetzung der Ökobilanz

- Primärenergiebedarf nicht erneuerbarer Energien (PERE - Energy Renewable, Energy Resources)
- Gesamtprimärenergiebedarf und Anteil nichterneuerbare Energien (PENRE - Primary Energy Renewable, Material)



Aufteilung der Energieerzeugung in Deutschland für 2022

Stahlbetonbau und CO_2-Bilanzen
Zusammensetzung der Ökobilanz

- Treibhausgaspotential (GWP)
- Ozonabbaupotential (ODP – Ozone Depletion Potential)
- Versauerungpotential (AP – Acifidication Potential)
- Überdüngungspotential (EP - Eutrophication Potential)
- Bodennahes Ozonbildungspotential (POCP – Photochemical Ozon Creation Potential)
- Primärenergiebedarf nicht erneuerbarer Energien (PERE - Energy Renewable, Energy Resources)
- Gesamtprimärenergiebedarf und Anteil nichterneuerbare Energien (PENRE - Primary Energy Renewable, Material)

Die Systembestandteile eines Bauwerks können im Rahmen der Ökobilanz zu einer EPD (Environmental Product Declaration) zusammengefasst werden.

Stahlbetonbau und CO2-Bilanzen

ERGEBNISSE DER ÖKOBILANZ – UMWELTAUSWIRKUNGEN nach EN 15804+A1: 1 m² Spannbeton-Fertigteildecke (26,5 cm Deckendicke, C45/C55), Flächengewicht: 374,71 kg/m²

Parameter	Einheit	A1-A3	C1	C2	C3	C4	D
Globales Erwärmungspotenzial	[kg CO_2-Äq.]	6,41E+1	0,00E+0	1,20E+0	1,15E+0	2,55E-1	-4,84E+0
Abbaupotenzial der stratosphärischen Ozonschicht	[kg CFC11-Äq.]	2,90E-13	0,00E+0	3,97E-16	5,69E-15	1,42E-15	-3,78E-14
Versauerungspotenzial von Boden und Wasser	[kg SO_2-Äq.]	7,76E-2	0,00E+0	8,12E-4	6,50E-3	1,63E-3	-8,95E-3
Eutrophierungspotenzial	[kg $(PO_4)^{3-}$-Äq.]	9,70E-3	0,00E+0	1,74E-4	1,59E-3	1,85E-4	-3,34E-4
Bildungspotenzial für troposphärisches Ozon	[kg Ethen-Äq.]	8,86E-3	0,00E+0	-2,08E-5	7,10E-4	1,23E-4	-2,94E-3
Potenzial für die Verknappung abiotischer Ressourcen – nicht fossile Ressourcen	[kg Sb-Äq.]	4,73E-5	0,00E+0	1,11E-7	1,11E-6	9,83E-8	-9,87E-5
Potenzial für die Verknappung abiotischer Ressourcen – fossile Brennstoffe	[MJ]	4,08E+2	0,00E+0	1,61E+1	1,85E+1	3,62E+0	-4,24E+1

ERGEBNISSE DER ÖKOBILANZ – RESSOURCENEINSATZ nach EN 15804+A1: 1 m² Spannbeton-Fertigteildecke (26,5 cm Deckendicke, C45/C55), Flächengewicht: 374,71 kg/m²

Parameter	Einheit	A1-A3	C1	C2	C3	C4	D
Erneuerbare Primärenergie als Energieträger	[MJ]	5,66E+1	0,00E+0	9,39E-1	1,59E+0	4,88E-1	-7,99E+0
Erneuerbare Primärenergie zur stofflichen Nutzung	[MJ]	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0
Total erneuerbare Primärenergie	[MJ]	5,66E+1	0,00E+0	9,39E-1	1,59E+0	4,88E-1	-7,99E+0
Nicht erneuerbare Primärenergie als Energieträger	[MJ]	4,28E+2	0,00E+0	1,61E+1	1,88E+1	3,72E+0	-3,90E+1
Nicht erneuerbare Primärenergie zur stofflichen Nutzung	[MJ]	1,20E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0
Total nicht erneuerbare Primärenergie	[MJ]	4,29E+2	0,00E+0	1,61E+1	1,88E+1	3,72E+0	-3,90E+1
Einsatz von Sekundärstoffen	[kg]	1,18E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	3,55E+2
Erneuerbare Sekundärbrennstoffe	[MJ]	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0
Nicht erneuerbare Sekundärbrennstoffe	[MJ]	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0
Einsatz von Süßwasserressourcen	[m³]	4,40E-1	0,00E+0	8,41E-4	5,29E-3	9,35E-4	-8,35E-3

ERGEBNISSE DER ÖKOBILANZ – OUTPUT-FLÜSSE UND ABFALLKATEGORIEN nach EN 15804+A1: 1 m² Spannbeton- Fertigteildecke (26,5 cm Deckendicke, C45/C55), Flächengewicht: 374,71 kg/m²

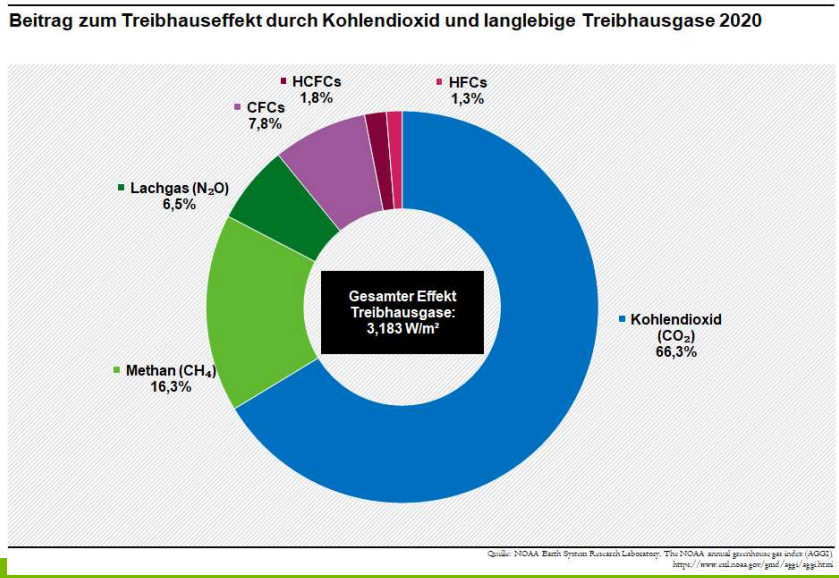
Parameter	Einheit	A1-A3	C1	C2	C3	C4	D
Gefährlicher Abfall zur Deponie	[kg]	1,21E-5	0,00E+0	6,03E-7	3,96E-7	5,67E-8	-6,86E-6
Entsorgter nicht gefährlicher Abfall	[kg]	7,52E+0	0,00E+0	2,83E-3	5,66E-3	1,87E+1	-8,03E+0
Entsorgter radioaktiver Abfall	[kg]	7,34E-3	0,00E+0	1,70E-5	1,51E-4	4,17E-5	-4,23E-4
Komponenten für die Wiederverwendung	[kg]	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0
Stoffe zum Recycling	[kg]	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	3,75E+2	0,00E+0	0,00E+0
Stoffe für die Energierückgewinnung	[kg]	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0
Exportierte elektrische Energie	[MJ]	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	-3,14E-1
Exportierte thermische Energie	[MJ]	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	-7,22E-1

Auszug aus der EPD für eine Spannbetondecke
[EPD Fertigteildecken, 2020]

Stahlbetonbau und CO_2-Bilanzen
CO_2-Äquivialent (GWP)

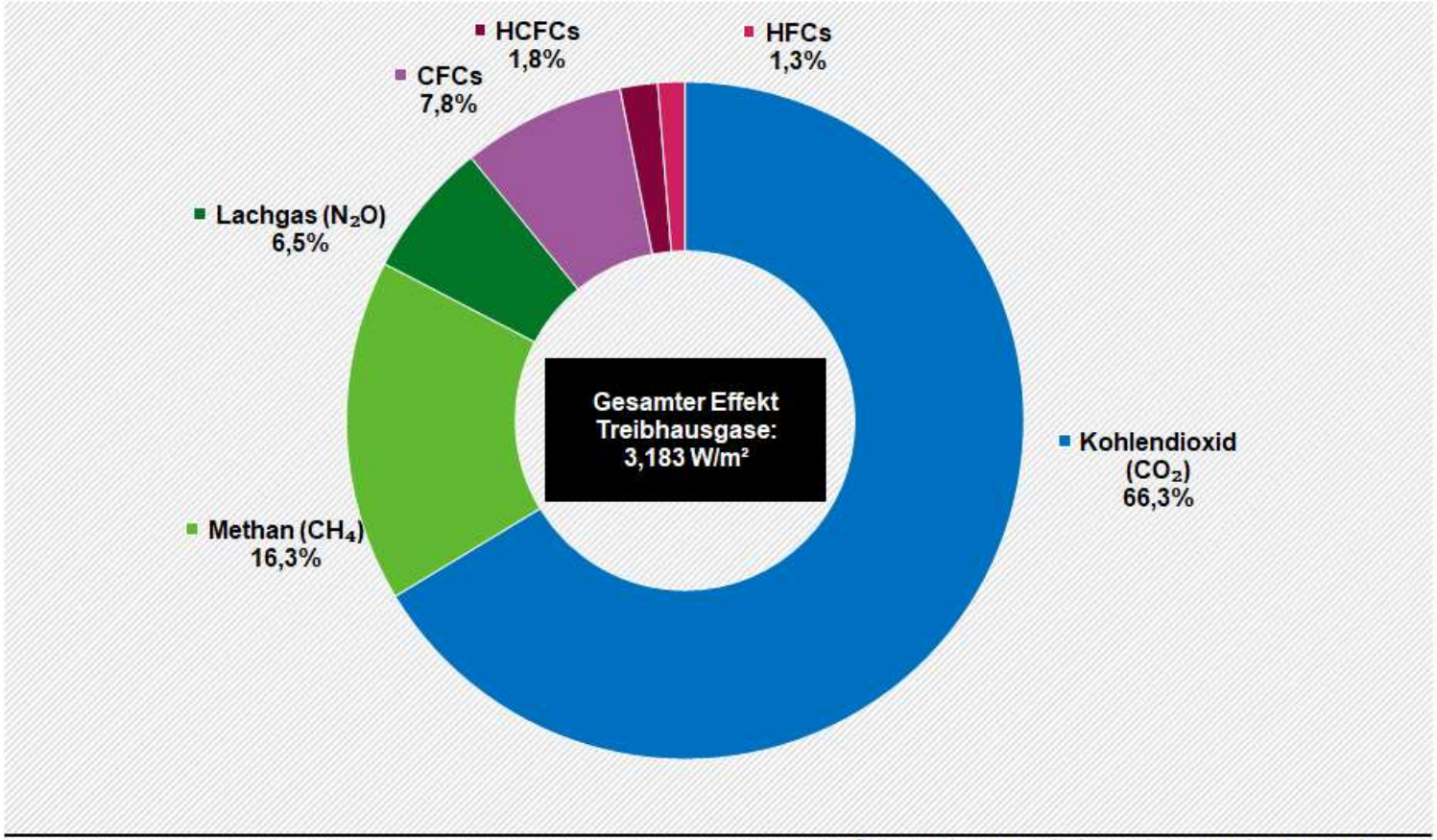
- Kohlendioxid (CO_2): Treibhausgas mit dem höchsten Beitrag zum Treibhauseffekt – Endprodukt bei der Verbrennung fossiler Brennstoffe
- Methan (CH_4): Hauptbestandteil von Erdgas
  - Freisetzung durch Landwirtschaft und beim Fracking (8% Erdgas entweichen) (Geo)
  - 1 t Methan = 25 t CO_2 im GWP
- Lachgas (N_2O):
  - Tierhaltung, chemische Industrieprozesse (z.B. Düngemittelherstellung)
  - 298 mal klimawirksamer als CO_2
- Fluorierte Gase:
  - Kühl-, Löschmittel, Treibgas

[UBA, Treibhausgase]



Stahlbetonbau und CO_2-Bilanzen
CO_2-Äquivialent

Beitrag zum Treibhauseffekt durch Kohlendioxid und langlebige Treibhausgase 2020



Quelle: NOAA Earth System Research Laboratory. The NOAA annual greenhouse gas index (AGGI).
https://www.esrl.noaa.gov/gmd/aggi/aggi.html

[UBA, Treibhausgase]

Stahlbetonbau und CO_2-Bilanzen
Global Warming Potential

Herstellungsphase			Errichtungs- phase		Nutzungsphase							Entsorgungsphase				Vorteile und Belastungen außerhalb der Systemgrenzen
A1	A2	A3	A4	A5	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	C1	C2	C3	C4	D
Rohstoffgewinnung und Verarbeitung	Transport	Herstellung	Transport	Einbau	Nutzung	Inspektion(Wartung/ Reinigung	Reparatur	Austausch/ Ersatz	Verbesserung/ Modernisierung	betrieblicher Energieeinsatz	betrieblicher Wasseereinsatz	Rücbau/ Abriss	Transport	Wiederverwendung/ Recycling	Beseitigung	Wiederverwendungs- Rückgewinnungs- Recyclingpotential

Bilanzierung nach Lebenszyklusstadien –
im Mittelpunkt das GWP: Global Warming Potential
(CO2-Äquivalent) nach [EN 15804]

- Wesentlich für den Stahlbeton: Phasen A1 bis A3
- Betonmasse und Stahlanteil sind entscheidend
- Transport und Einbau während der Errichtungsphase besitzen relativ geringen Anteil am GWP

Stahlbetonbau und CO_2-Bilanzen

Global Warming Potential

Erhöhung der Betonfestigkeitsklasse
=
Steigerung der des CO2-äquivalenten Emissionen um 10-15%

	Herstellungs-phase	Errichtungsphase		Nutzungsphase	Entsorgungsphase			Vorteile und Belastungen außerhalb der Systemgrenzen	
Beton	**A1-A3**	**A4**	**A5**	**B1**	**C1**	**C2**	**C3**	**D**	**Summe**
C 20/25	178	3,9	1,08	-10	3,1	12	6,01	-21	**173,09**
C 25/30	197	3,9	1,08	-10	3,1	12	6,01	-21	**192,09**
C 30/37	219	4,5	1,08	-10	3,1	12	6,01	-21	**214,69**
C 35/45	244	9,1	1,08	-10	3,1	12	6,01	-21	**244,29**
C 45/55	286	29,1	1,08	-10	3,1	12	6,01	-21	**306,29**
C 50/60	300	28,8	1,08	-10	3,1	12	6,01	-21	**319,99**

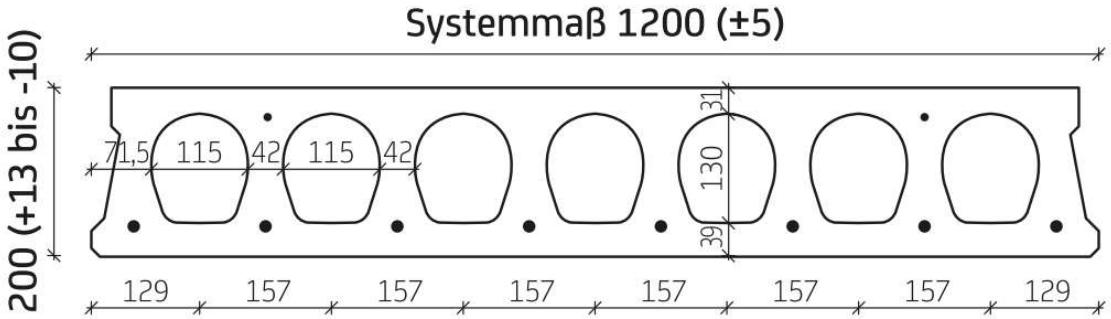
Treibhausgaspotentiale (GWP) in kg CO_2 je m^3 Beton für verschiedene Durchschnittsbetone nach den Angaben nach [Becke 2020]

	Herstellungs-phase	Errichtungsphase		Nutzungsphase	Entsorgungsphase			Vorteile und Belastungen außerhalb der Systemgrenzen	
Betonstahl	**A1-A3**	**A4**	**A5**	**B1**	**C1**	**C2**	**C3**	**D**	**Summe**
	240	16,3	-	-	-	3,23	-	-	**259,53**

Treibhausgaspotential (GWP) in kg CO_2 je t Betonstahl nach [ift, 2022]

Projektbeschreibung
Motivation und Ziele

- Marktanteil Spannbetondecken in Deutschland 3-4% [Spaencoms, 2021]



Querschnitt eines Spannbetonfertigteils [*DW Systembau, 2022]*

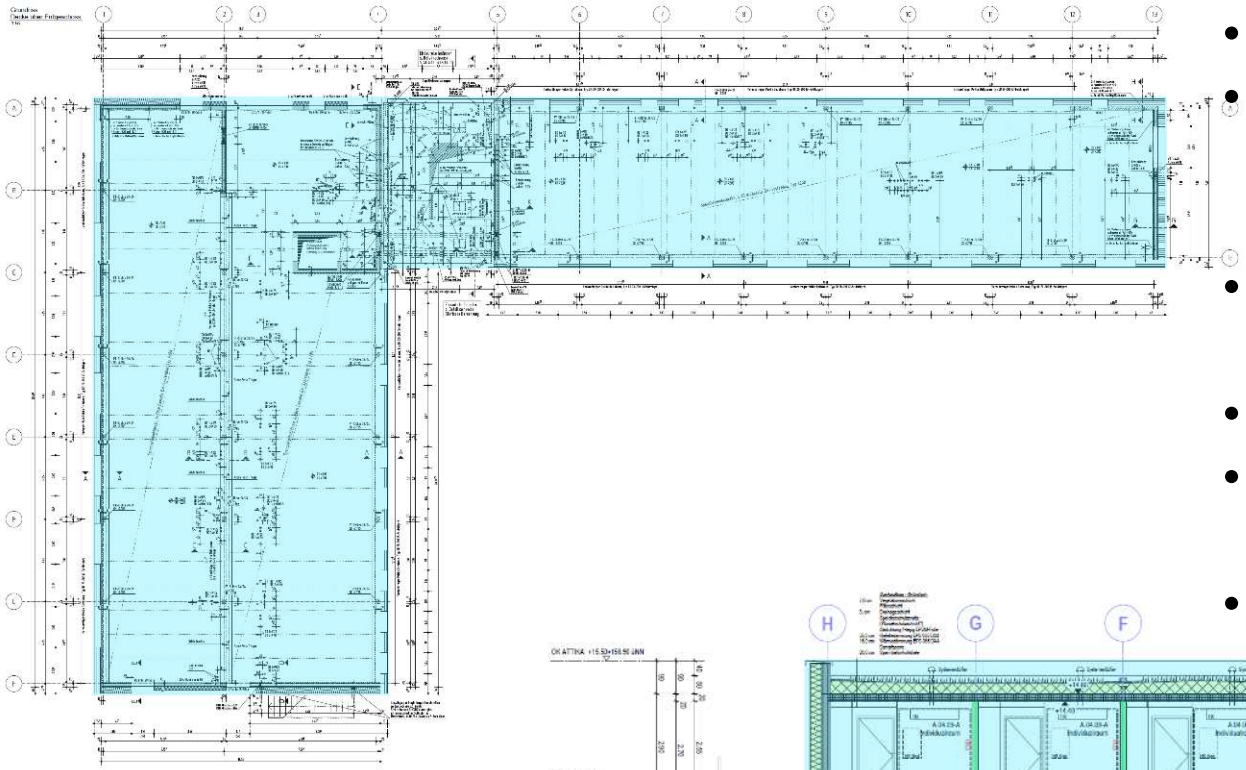
- Einsparungen von 30%-40% allein an Beton sollten möglich sein nur für die Decken
- Bei Betrachtung des GWP von Beton und Stahl: CO2-Bilanz einer Decke korreliert stark mit dem Betonverbrauch

Fragestellung: Spannbeton vs. Ortbeton bzw. Halbfertigteildecken

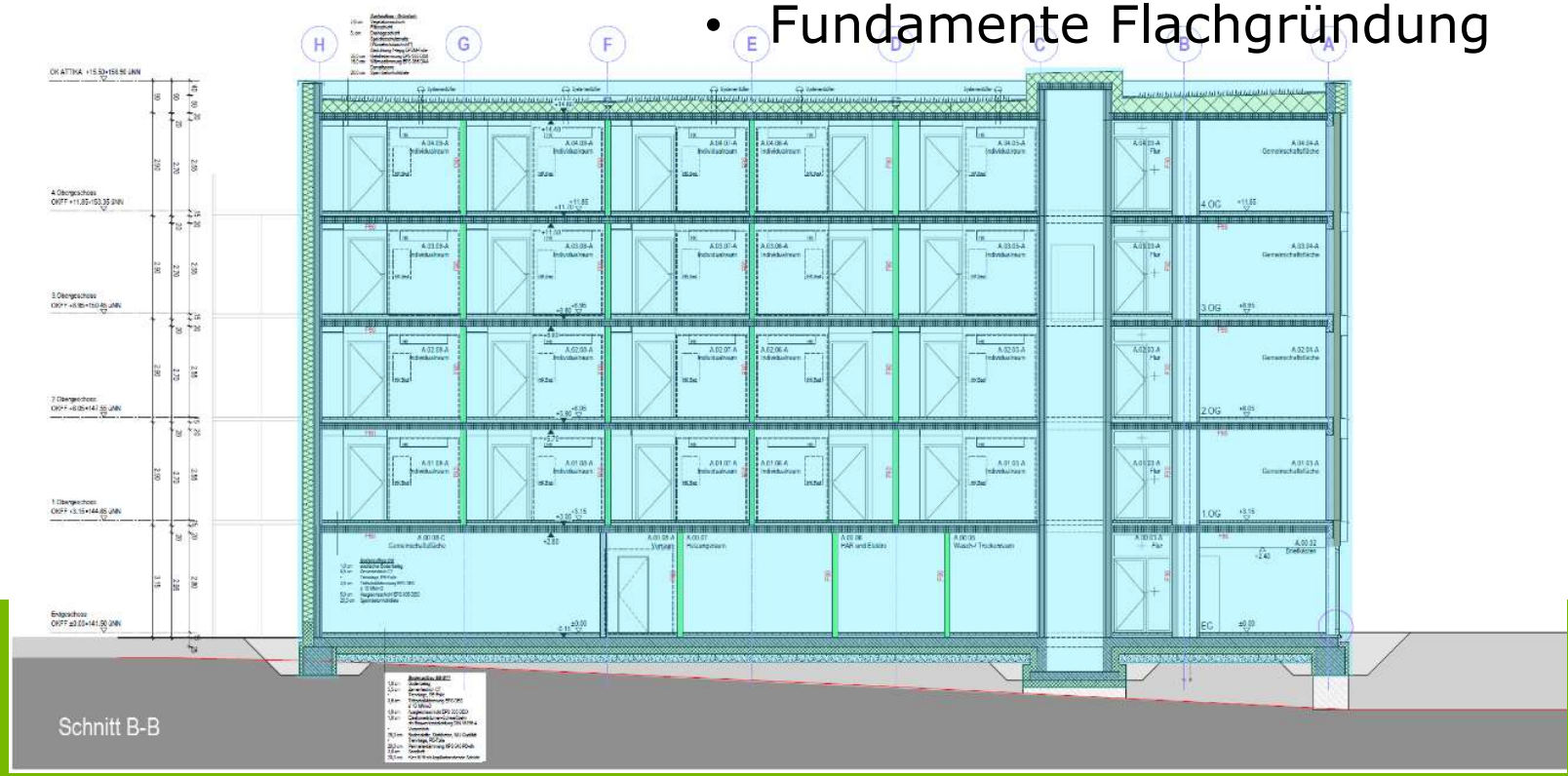
Inwiefern wirkt sich die Verwendung von Spannbetonfertigdecken auf die CO_2-Bilanz des Gesamtgebäudes aus?

Projektbeschreibung

Das Tragwerk des Gebäudes



- Geschosshöhen: ~2.90 m
- Decken:
  2-Feldträger: 5.95-7.60 m
  Einfeldträger: 7.38 m
- Unterzüge: Peikko-Delta-Beam
- Stützen: Stahlbeton
- Wände (Aussteifung) – Stahlbeton
- Fundamente Flachgründung



Projektbeschreibung
Untersuchung des Tragwerks

Spannbetonvariante (Bestand)

- Auswertung Bestandsstatik +Pläne durch studentische HK
- Massenermittlung für Beton-, Betonstahl, Baustahl
- Daraus Ableitung des GWP

Ortbetondecken (Neukonzeption)

- Neudimensionierung des Tragwerks
- Erstellung Schalpläne und ausführl. Bewehrungsskizzen
- Umrechnung Ortbetondecken zu Halbfertigteildecken (Bewehrung)
- 6 Abschlussarbeiten (Master- und Bachelorarbeiten)
- Zuarbeit durch Peikko für Deltabeam
- Massenermittlung Beton, Betonstahl, Baustahl
- Ableitung des GWP

Gegenüberstellung der Ökobilanzen

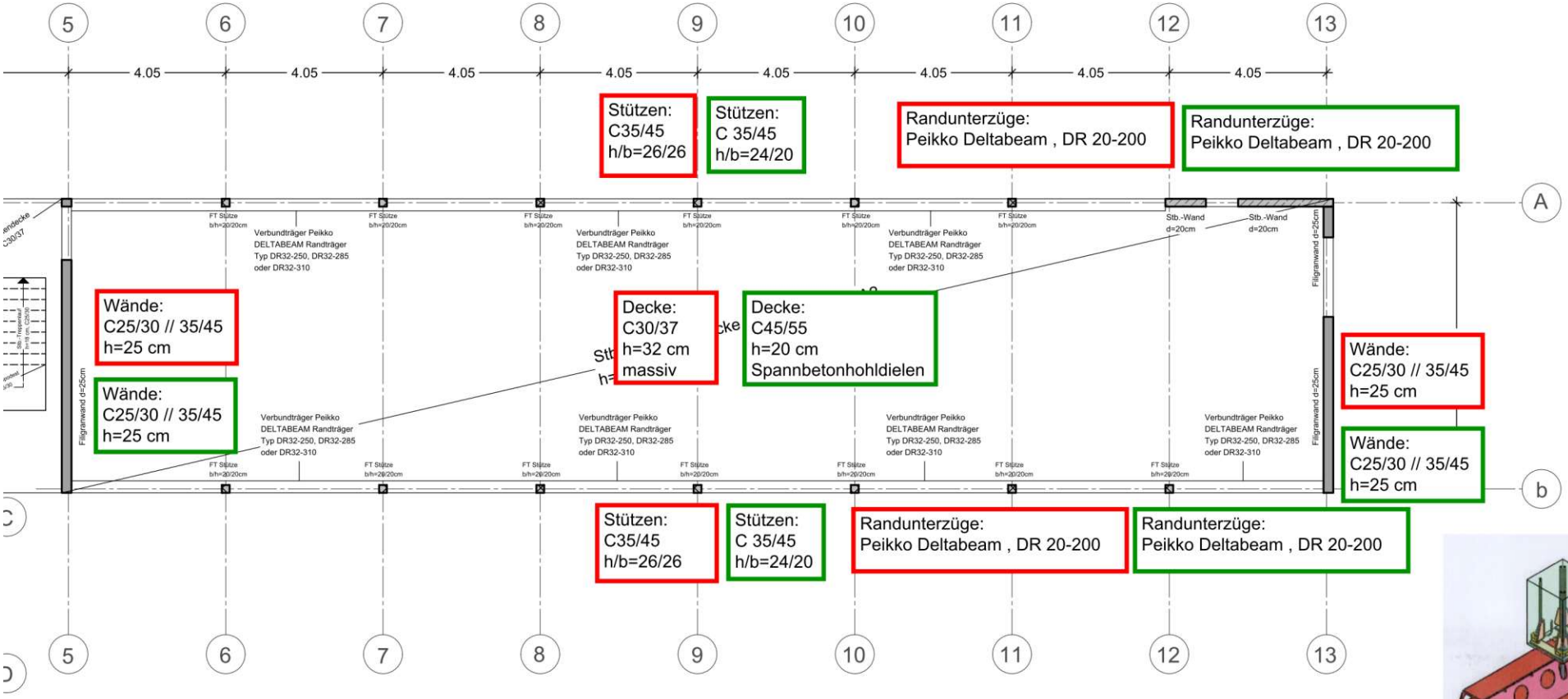
Projektbeschreibung
Dimensionierung - Kriterien

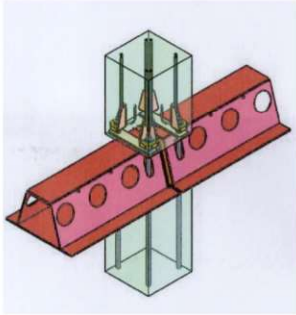
- **Decken:**

  Durchbiegung, max w = l/500 < 1 cm nach Aufbringen der - Ausbaulasten (90 d);

  Sichtkriterium l/250 erfüllt
- **Unterzüge (Deltabeam):** nach Tragfähigkeit
- **Stützen:** Bewehrungsgehalt <= 4% (außerhalb von Übergreifungsstößen) + gleichmäßige Querschnittsgeometrie
- **Wände** – in beiden Varianten überdimensioniert: Geometrieauswahl entsprechend Ausführbarkeit
- **Fundamente:** orientiert an zulässiger Bodenpressung (Setzung und Grundbruch)

Projektbeschreibung

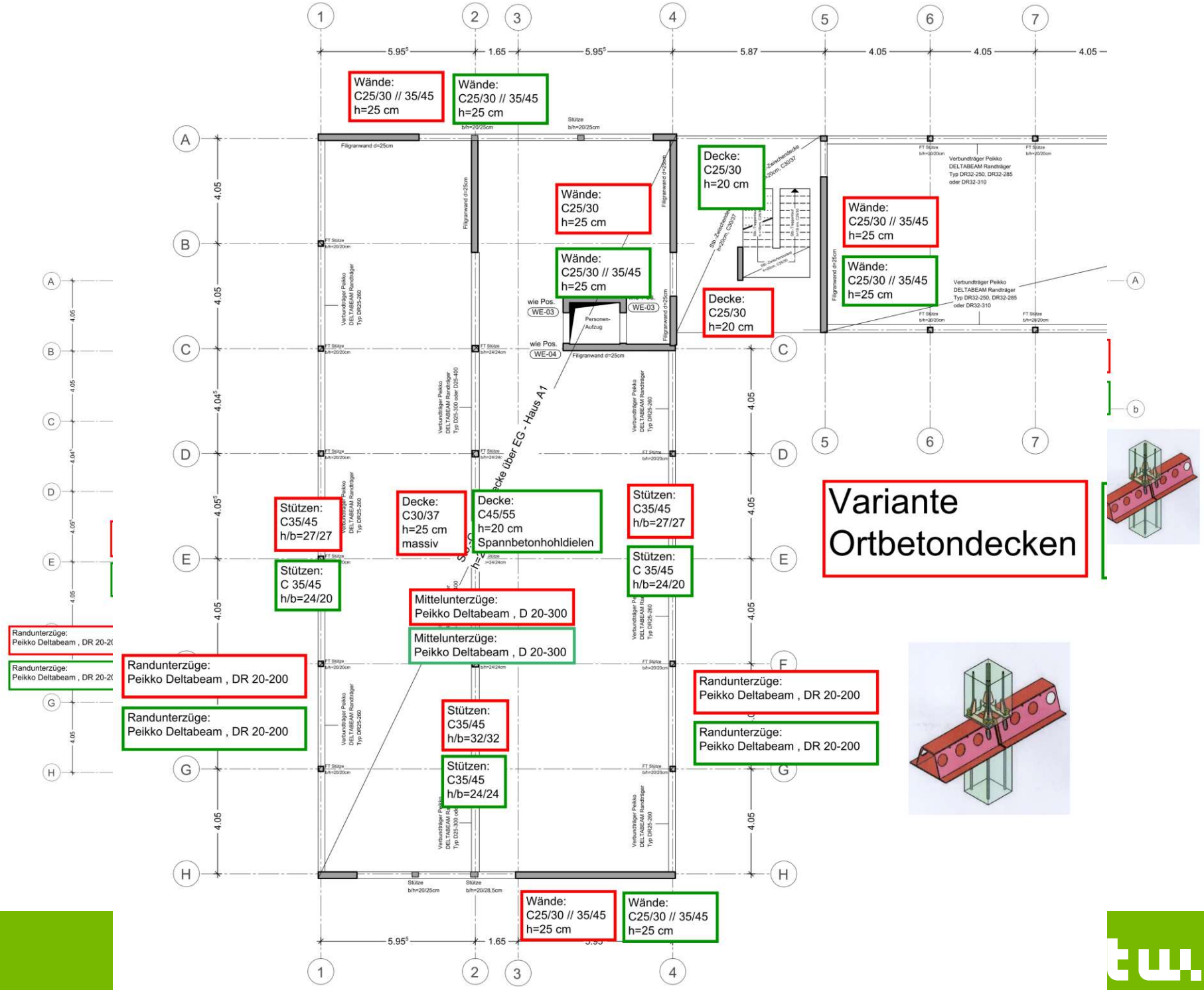




Variante
Ortbetondecken

Variante
Spannbetonfertigdecken

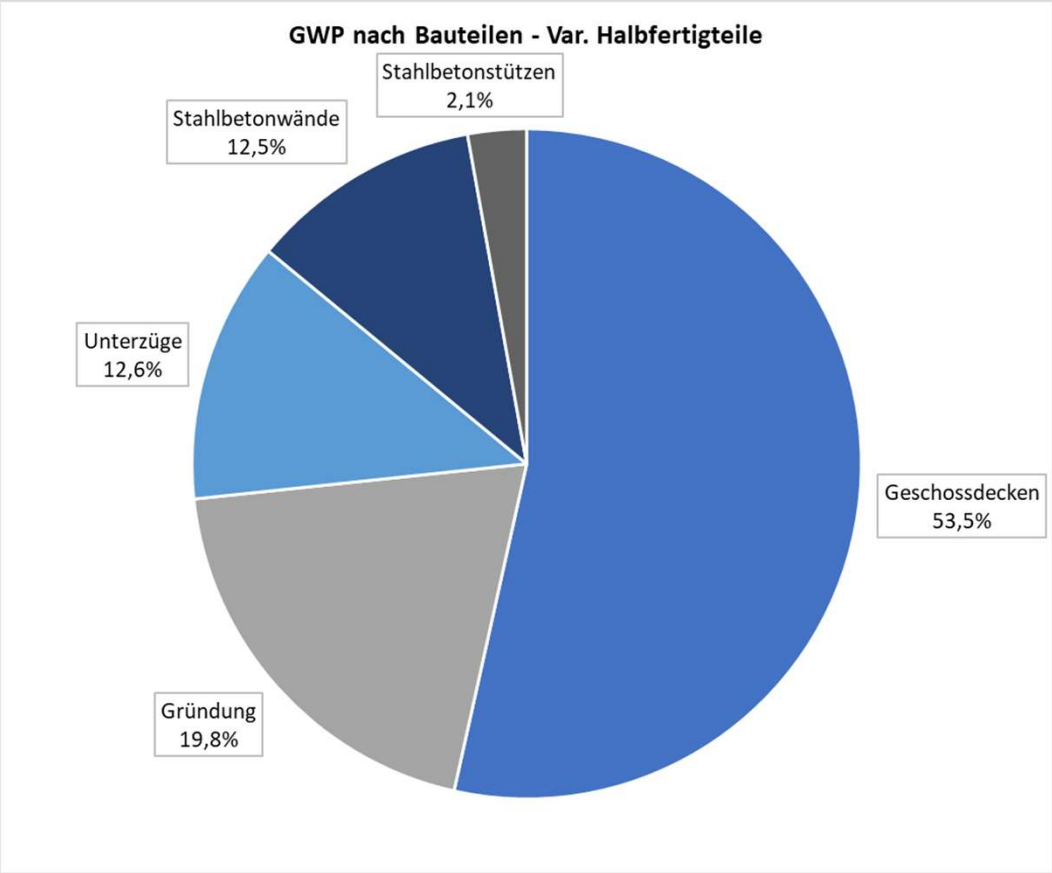
Decke über EG / Stützen, Wände EG

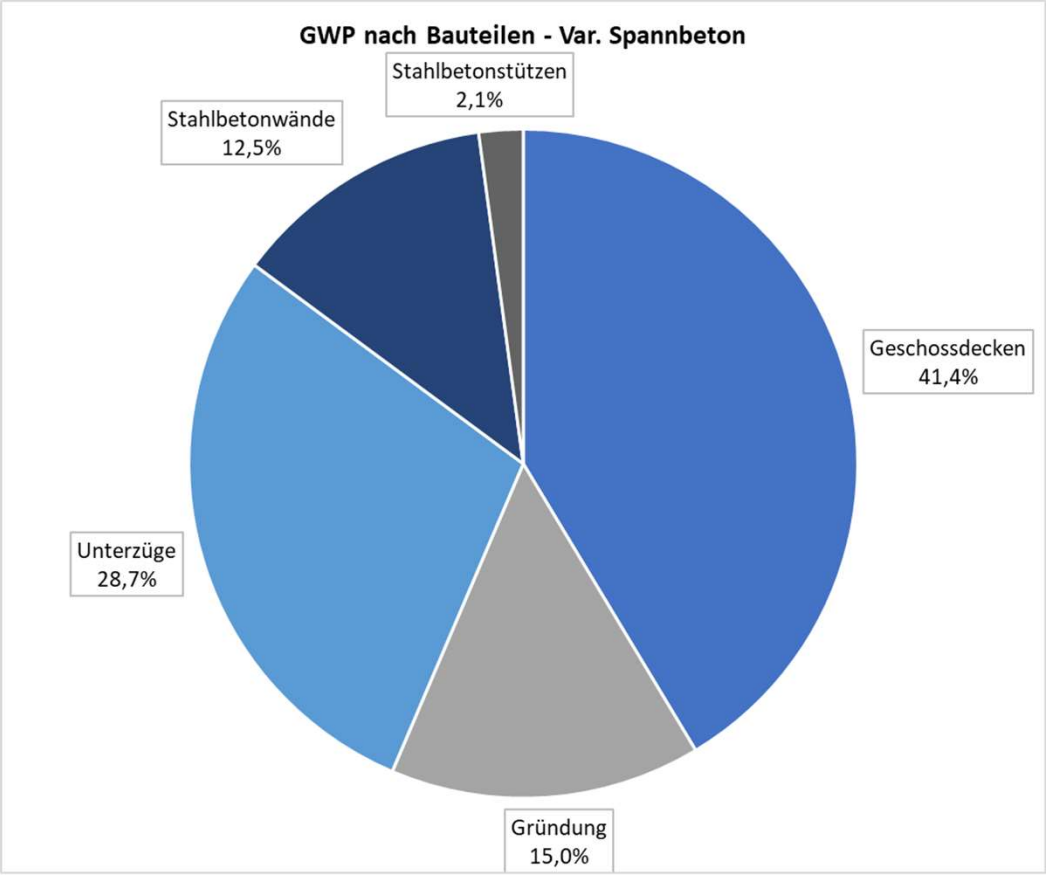

Wände:
C25/30 // 35/45
h=25 cm
Wände:
C25/30 // 35/45
h=25 cm
Wände:
C25/30
h=25 cm
Wände:
C25/30 // 35/45
h=25 cm
Decke:
C25/30
h=20 cm
Decke:
C25/30
h=20 cm
Wände:
C25/30 // 35/45
h=25 cm
Wände:
C25/30 // 35/45
h=25 cm
Stützen:
C35/45
h/b=27/27
Decke:
C30/37
h=25 cm
massiv
Decke:
C45/55
h=20 cm
Spannbetonhohldielen
Stützen:
C35/45
h/b=27/27
Stützen:
C 35/45
h/b=24/20
Stützen:
C 35/45
h/b=24/20
Mittelunterzüge:
Peikko Deltabeam , D 20-300
Mittelunterzüge:
Peikko Deltabeam , D 20-300
Randunterzüge:
Peikko Deltabeam , DR 20-200
Randunterzüge:
Peikko Deltabeam , DR 20-200
Randunterzüge:
Peikko Deltabeam , DR 20-200
Randunterzüge:
Peikko Deltabeam , DR 20-200
Stützen:
C35/45
h/b=32/32
Stützen:
C35/45
h/b=24/24
Wände:
C25/30 // 35/45
h=25 cm
Wände:
C25/30 // 35/45
h=25 cm
Variante
Ortbetondecken

Ergebnisse
Massenermittlung

Umbemessung mit Halbfertigteildecken		Bestand / Decken in Spannbetonhohldielen		Einsparung
Decken		**Decken**		
Beton	817,5 m³	Beton 1)	370,9 m³	55%
Betonstahl	57935 kg	Betonstahl	7732 kg	87%
		1) einschl. Vergussbeton		
Stützen		**Stützen**		
Beton	27,8 m³	**Beton**	15,2 m³	45%
Betonstahl	6620 kg	Betonstahl	5445 kg	18%
Wände		**Wände**		
Beton	161,8 m³	Beton	161,8 m³	0%
Betonstahl	15920 kg	Betonstahl	15920 kg	0%
Gründung		**Gründung**		
Beton	306,0 m³	Beton	229,4 m³	25%
Betonstahl	28988 kg	Betonstahl	13125 kg	55%

Ergebnisse
CO2-Bilanz (GWP)

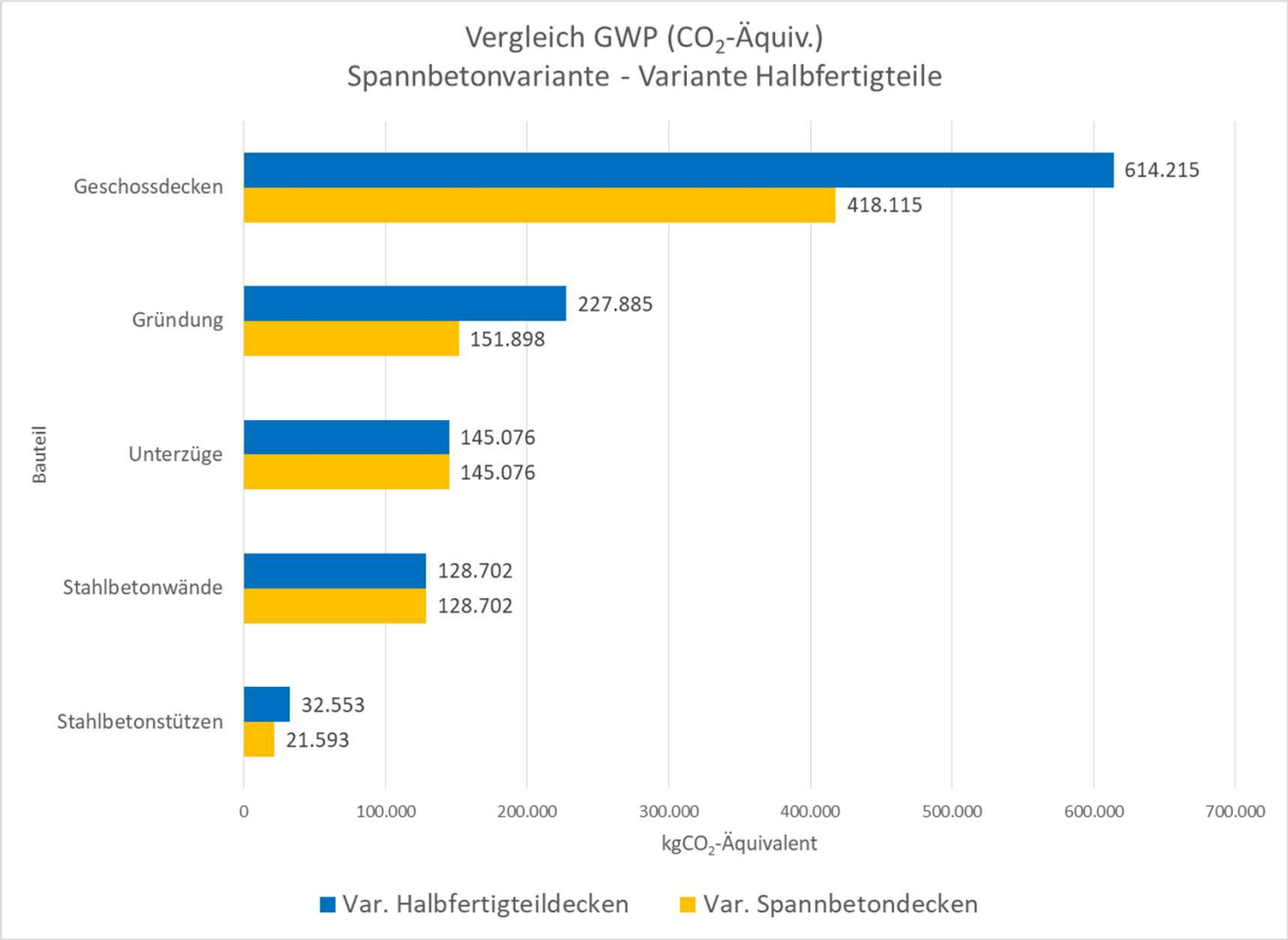




Anteil der einzelnen Bauteile AM GWP

Halbfertigteilvariante **Spannbetonvariante**

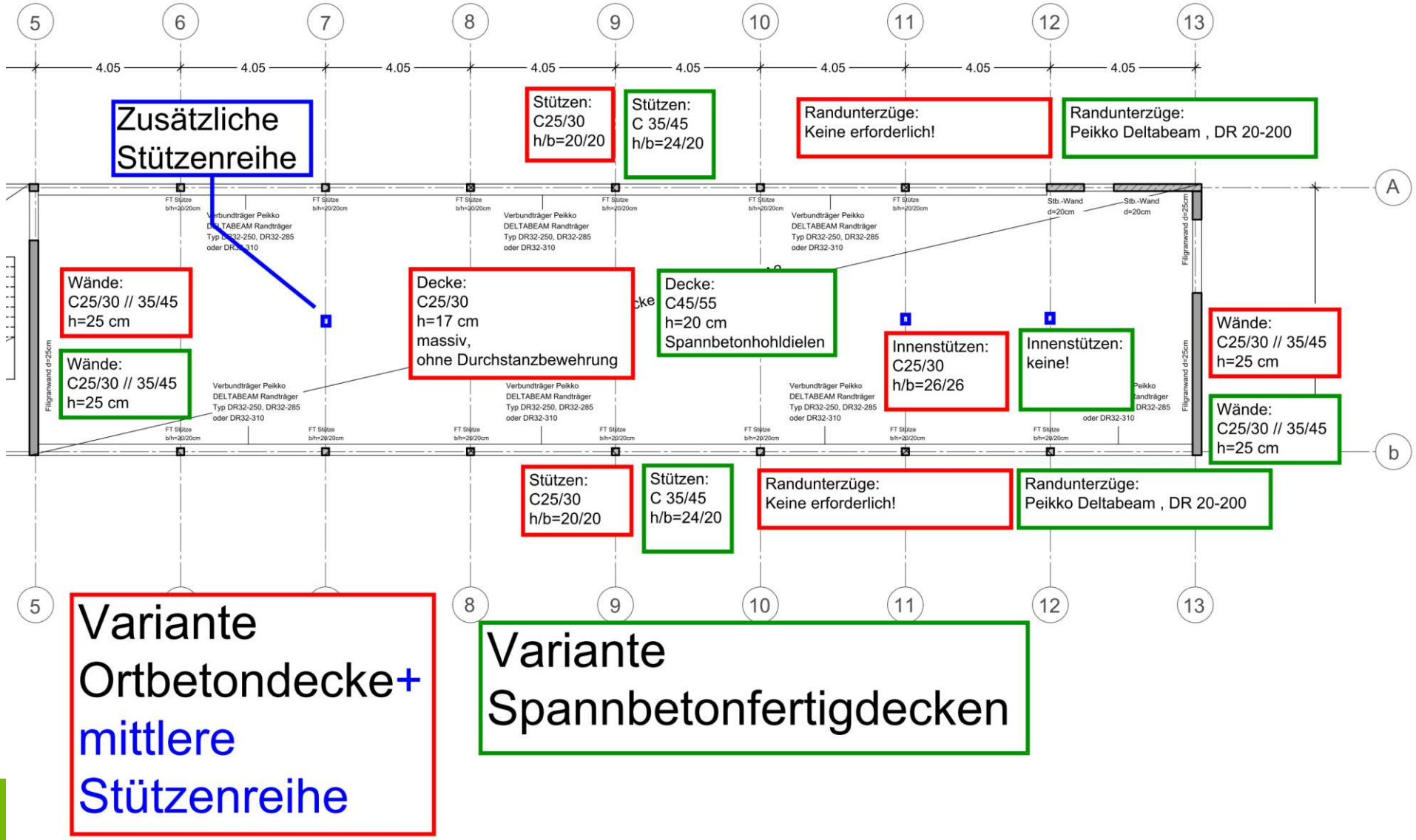
Ergebnisse
CO2-Bilanz (GWP)



Vergleich GWP Bestand und Umbemessung (Haus A - C)

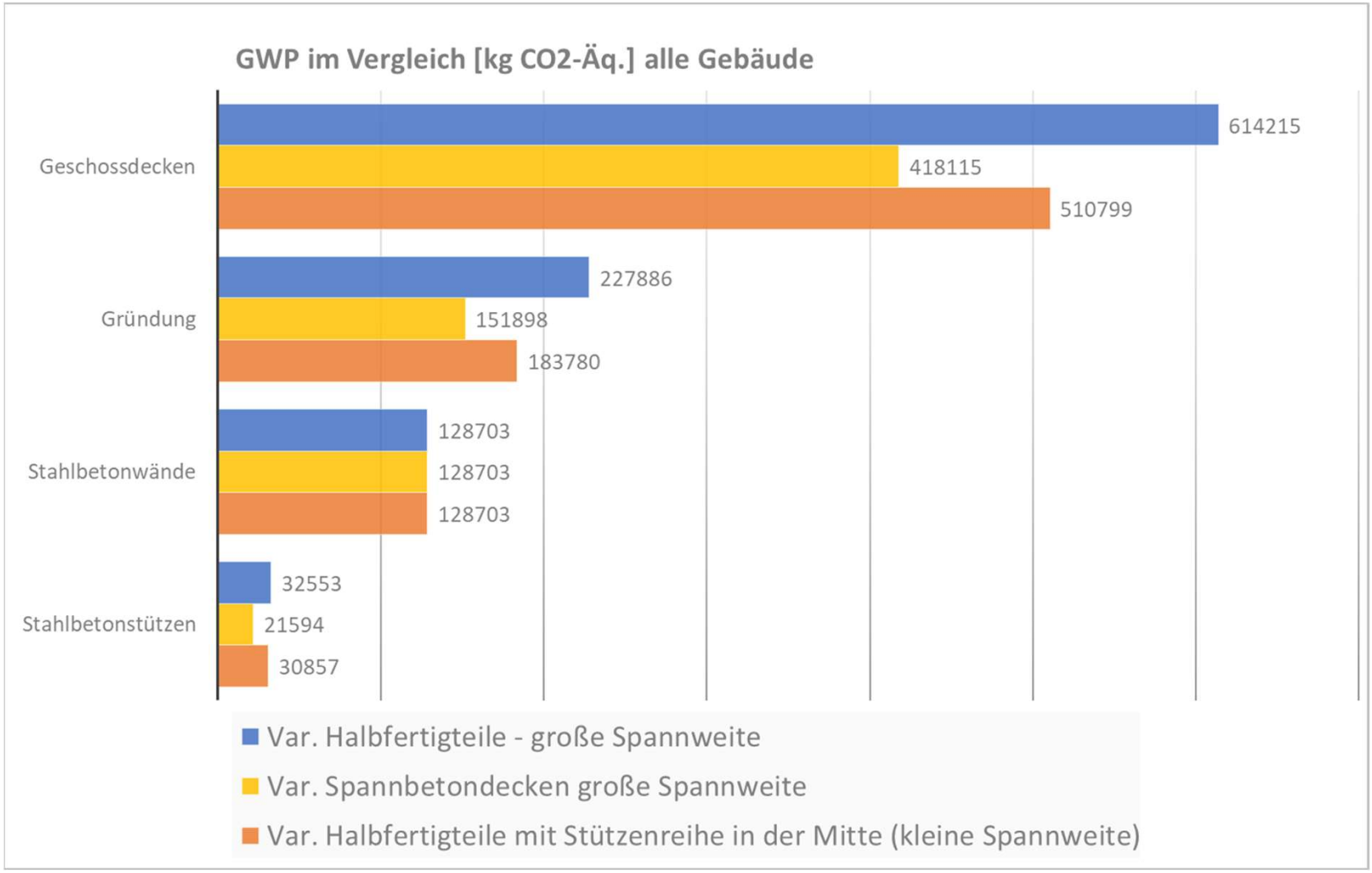
Haus A2 mit zusätzlicher Stützenreihe und Stahlbetondecke

- Kriterium Deckendicke: Durchstanznachweis (h=17 cm)
- Verzicht auf Randunterzüge



Decke über EG / Stützen, Wände EG

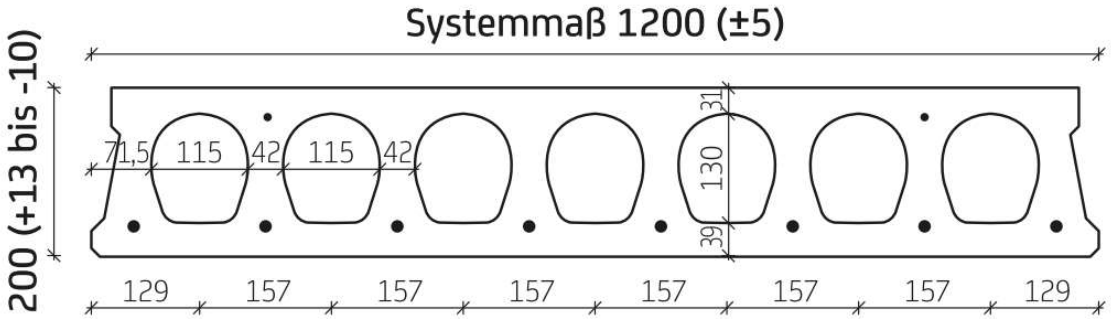
Haus A2 mit zusätzlicher Stützenreihe



CO2-Bilanz im Vergleich aller Gebäude bei

Ergebnisse
Folgerungen / Einsparpotentiale

- Die Betonfestigkeit hat maßgebenden Einfluss auf die CO_2-Bilanz
- Anteil der Bewehrung am CO_2-Aufkommen ist relativ gering (10-25%) – maßgebend ist das Betonvolumen
- Die Deckendicke wird vorrangig über das Durchbiegungskriterium bestimmt / Tragfähigkeitskriterien sind zweitrangig in Hinblick auf das CO_2-Ziel
- Vorgespannte Decken erzielen eine deutlich bessere Ökobilanz



Ergebnisse
Folgerungen / Einsparpotentiale

- **Erfahrung aus der Praxis:**

  in vielen Fällen wird grundlos eine zu hohe Betonfestigkeit gewählt (mit Einführung der DIN 1045-1: aus B25 wurde C25/30 oder C30/37)

B25 = C 16/20!

- Bei Wänden führt die Herabsetzung der Betonfestigkeit oft auf eine Einsparung von Bewehrung (Rissbreitenbeschränkung aus Hydratation) und gleichzeitig zur CO2-Reduktion

Höhere Betongüte = höhere Zugfestigkeit = mehr Mindestbewehrung

- Fundamente sind oft überdimensioniert und unnötig bewehrt
- Eine Ausführung unbewehrter Fundamente führt zur Reduktion der Mindestbetonfestigkeit und damit zu einer besseren Nachhaltigkeit

Zusammenfassung

- Maßgebend für die Ökobilanz in der Tragwerksplanung ist das GWP
- Erhöhung der Betonfestigkeitsklasse = 10-15% mehr CO_2
- In erster Näherung lässt sich das GWP eines Stahlbetonbauteils über das Betonvolumen abschätzen (mit leichten Zuschlägen für den Betonstahl)
- Vergleich zwischen vorgespannter Deckenvariante und schlaff bewehrter Deckenvariante zeigt deutliche Auswirkungen auf das Gesamtgebäude hinsichtlich des CO_2-Äquivalents
- Der Anteil der Decken an der Ökobilanz eines Gebäudetragwerks beträgt etwa 50%
- Konventionelle Denkmuster in der Tragwerksplanung sollten überdacht werden:
  - muss jedes Bauteil bewehrt sein?
  - höhere Betonfestigkeit = Bewehrungsreduktion?
  - Wände und Stützen aus C35/45 weil alle es so machen?

Quellennachweise

- EN 15804: Nachhaltigkeit von Bauwerken –Umweltproduktdeklarationen. Grundregeln für die Produktkategorie Bauprodukte;Deutsche Fassung EN 15804:2012+A2:2019 + AC:2021. Berlin: Beuth-Verlag GmbH 03/2022.
- EPD Fertigteildecken, 2020: Institut Bauen und Umwelt e.V. (IBU): UMWELT-PRODUKTDEKLARATION. nach ISO 14025 und EN 15804+A1. Spannbeton-Fertigteildecken DW Systembau GmbH, 07.12.2020.
- GEO: https://www.geo.de/natur/oekologie/2906-rtkl-erdgasfoerderung-fracking-das-sollten-sie-wissen
- UBA, Treibhausgase: https://www.umweltbundesamt.de/daten/klima/atmosphaerische-treibhausgas-konzentrationen#beitrag-langlebiger-treibhausgase-zum-treibhauseffekt
- Becke, 2020: *A. Becke, J. Reiners:* Erläuterungen zu den Umweltproduktdeklarationen für Beton. Erkrath: Bau + Technik GmbH (2020).
- Ift, 2022: *ift Rosenheim GmbH:* Umweltprokuktdeklaration (EPD) Deklarationsnummer: EPD-BS-10.2. Betonbewehrung Betonstahl. https://docplayer.org/168183492-Umweltproduktdeklaration-epd.html, 15.12.2022.
- Spaencoms, 2021: Spaencoms neuer Markt. https://www.lr-online.de/nachrichten/wirtschaft/spaencoms-neuer-markt-35487640.html, 24.06.2021.
- *DW Systembau, 2022: DW SYSTEMBAU GMBH:* Technische Datenblätter über BRESPA-Decken. file:///C:/Users/Andreas%20Heuer/Downloads/DW007%20009_DW%20SYSTEMBAU%20Technische%20Datenbl%C3%A4tter.pdf, 15.12.2022.

Hochschule für Technik
und Wirtschaft Berlin

University of Applied Sciences

HTW Berlin

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit