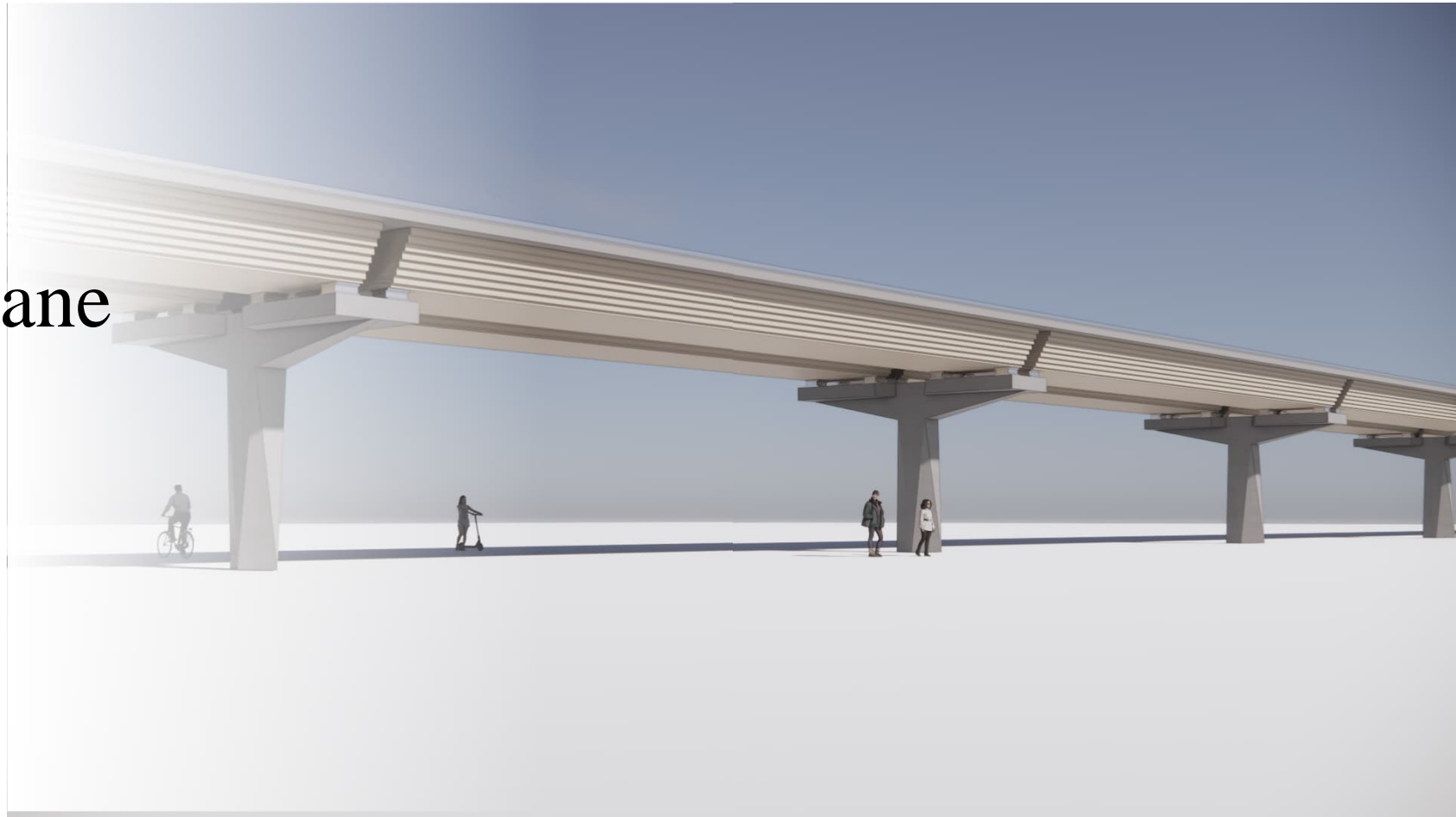


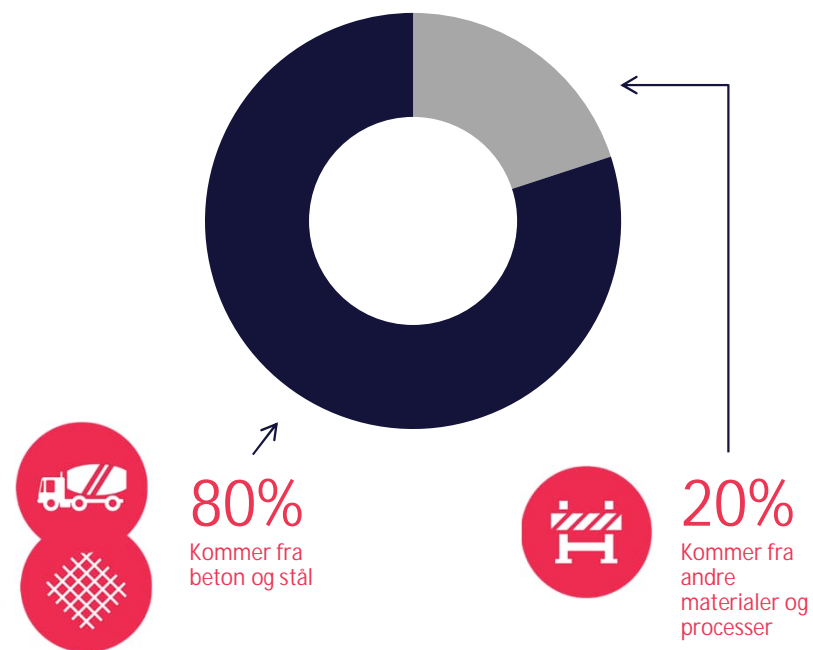
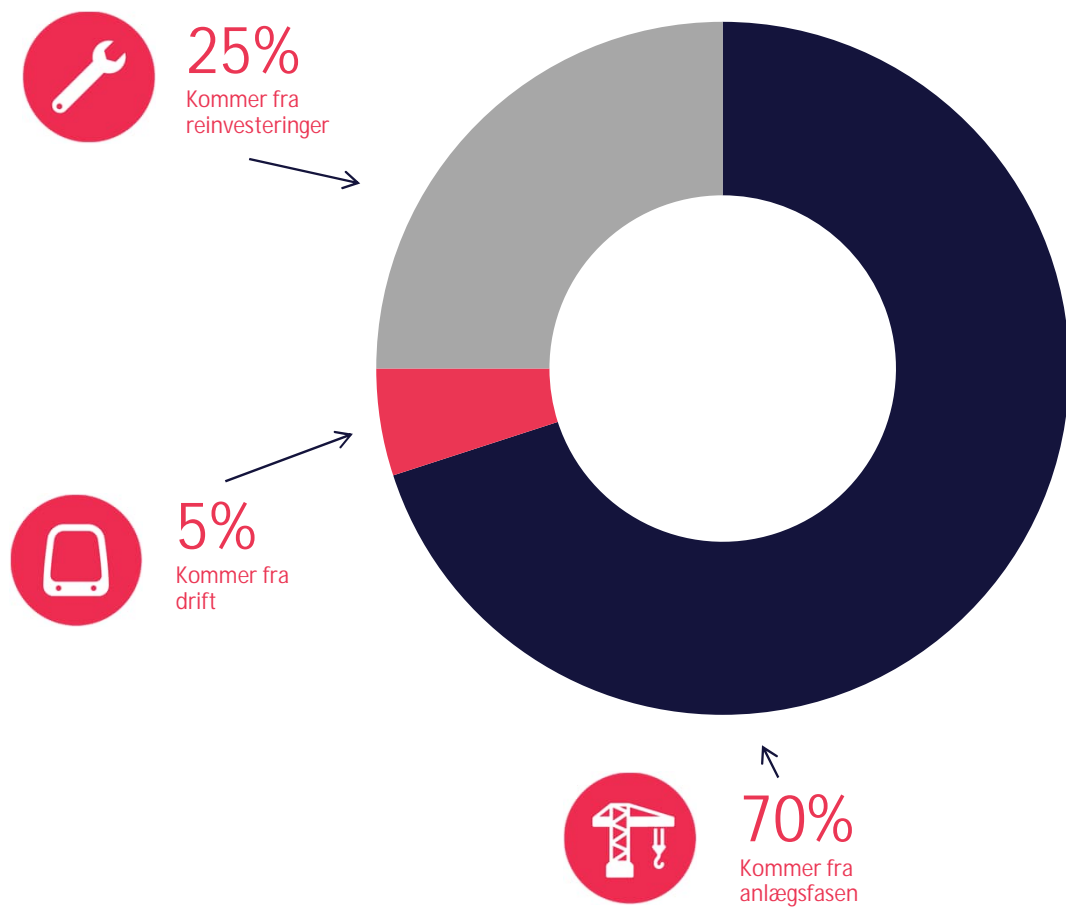
Metro Højbane



Jared Frisendahl, Metroselskabet & Jens Frederiksen, Arup

09 04 2024

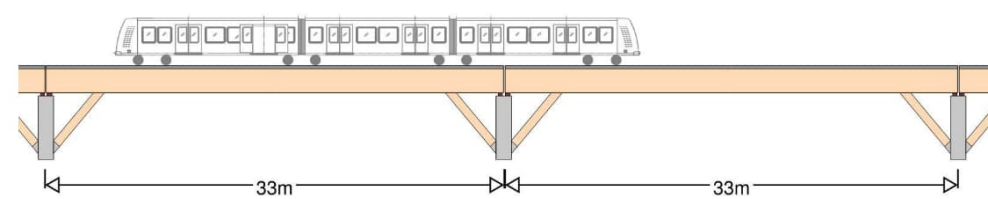
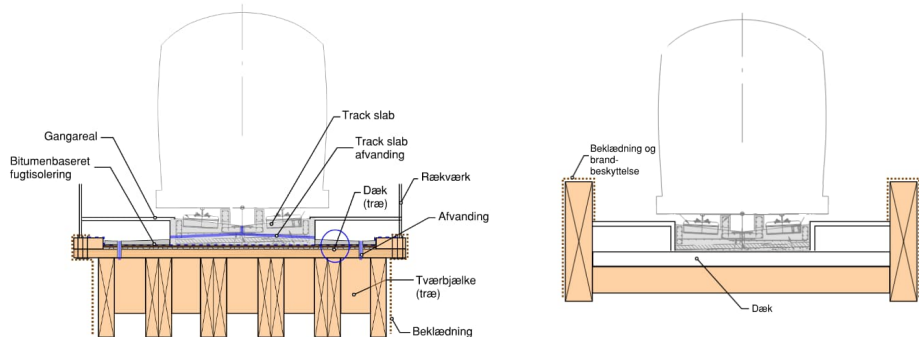
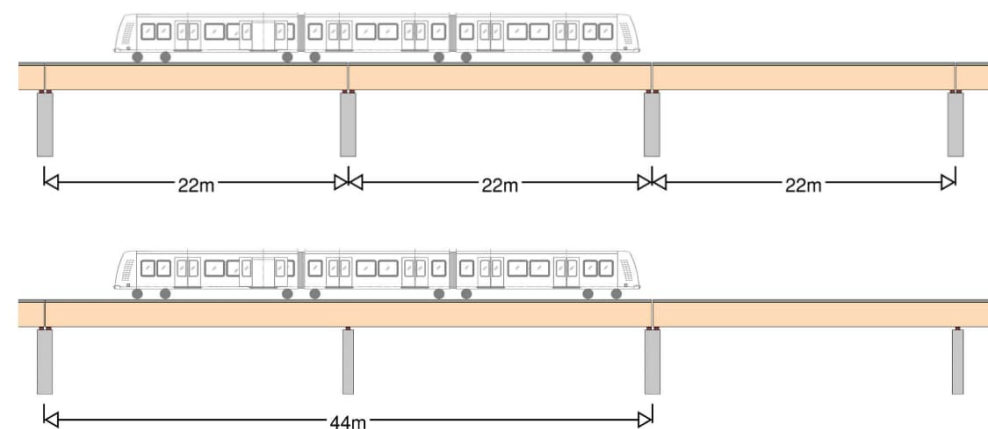
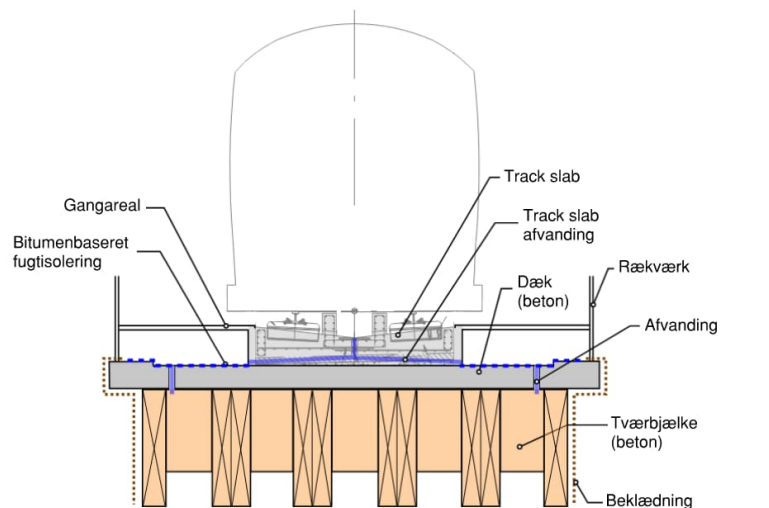
Metroens klimaaftryk i et livscyklusperspektiv (m. fremskrevne emissioner fra el)



Station af træ forundersøgelse (2021)



Højbane af træ forundersøgelse (2022)



Arup Træ Højbane – Forundersøgelse (Arup, 2022)

Arup Træ Højbane – Forundersøgelse (Arup, 2022)

Træ-beton kompositbroer



Visuel repræsentation af fortdant forbindelse (IB-Miebach, 2018)

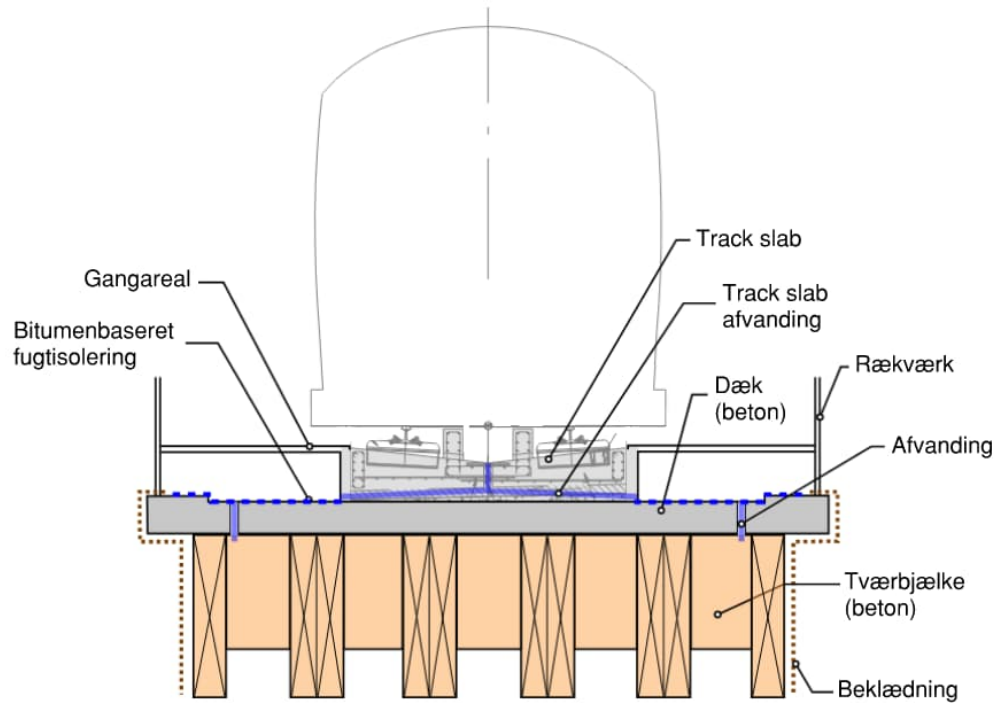


Birkberg Bro i Wippra, Tyskland, bygget med dyveler med hoveder (IB-Miebach, 2018)

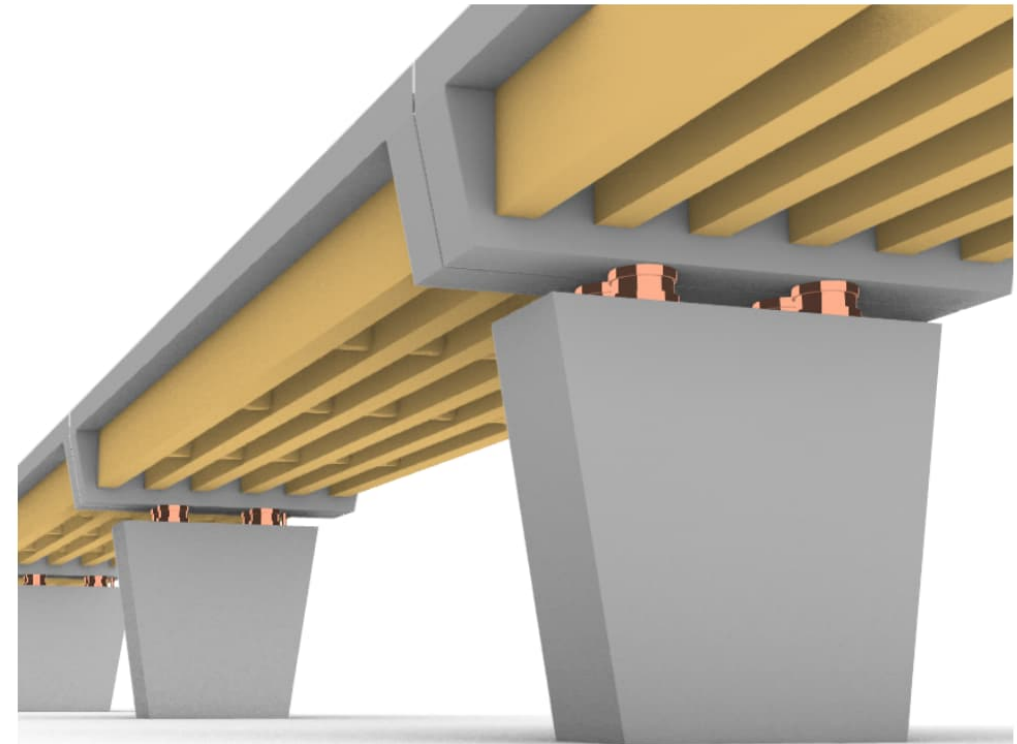


TBK fodgængerbro, Neckartenzlingen, Tyskland (Foto: Neckartenzlingen/Helmut Kern Kommune, Burkhard Walther og Schaffitzel Holzindustrie)

Højbane af træ forundersøgelse (2022)

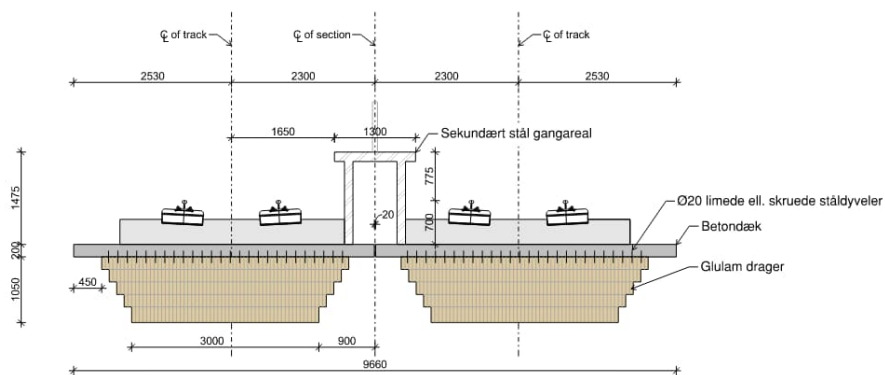


Arup Træ Højbane – Forundersøgelse (Arup, 2022)

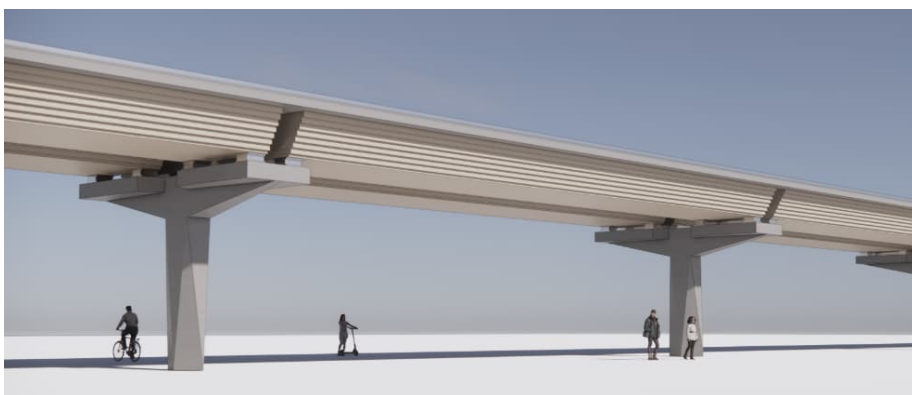


Arup Træ Højbane – Forundersøgelse (Arup, 2022)

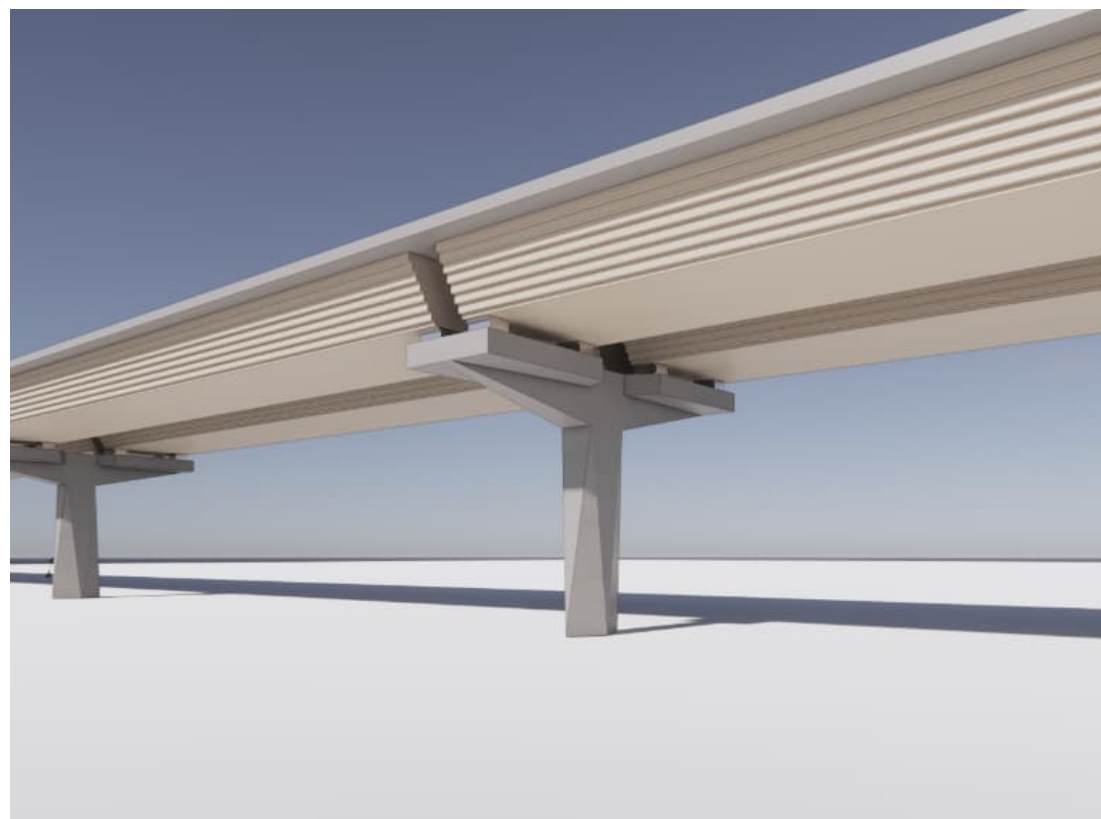
Træ-beton viadukt nuværende design (2024)



Træ-beton viadukt tværsnit (COWI-ARUP JV, 2024)



Træ-beton viadukt perspektiv (COWI-ARUP JV, 2024)



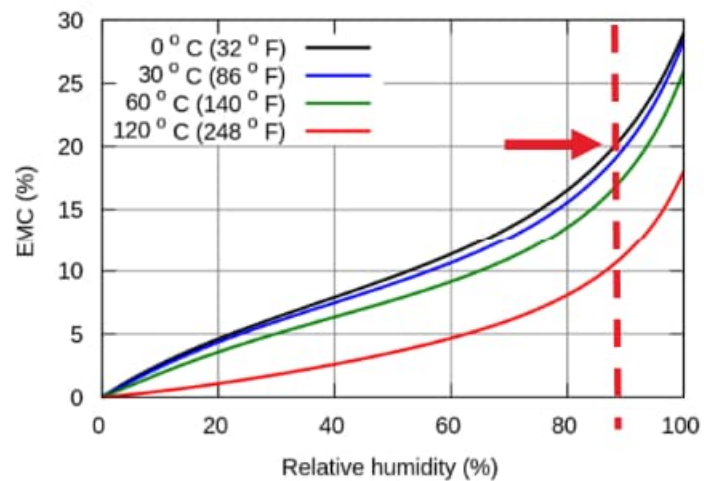
Træ-beton viadukt perspektiv (COWI-ARUP JV, 2024)

Relevante kontroller og overvejelser

- Holdbarhed
- Komposit opførsel
 - Termiske, svind og variationer i indhold af fugt
 - Krybning
- Nedbøjninger og vibrationer
- Lejer
- Udmattelse
- Ulykkeslaster
 - Brand
 - Påkørsel
 - Afsporing af metrotog
- Interaktion mellem skinner og konstruktion (track structure)

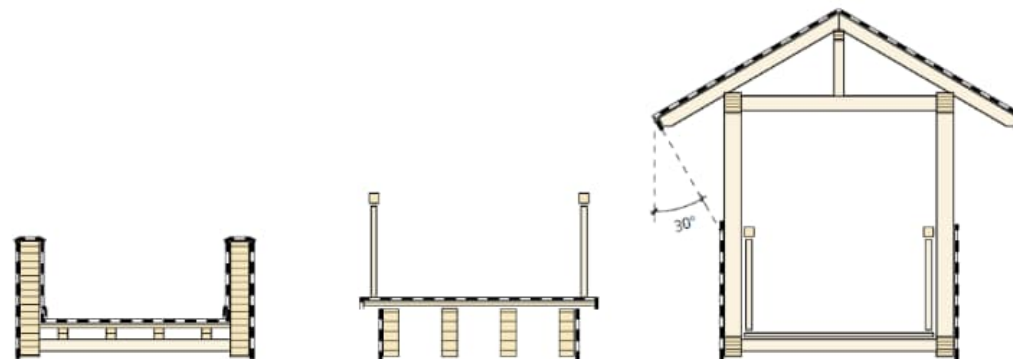
Holdbarhed

- Hvis træ holdes tørt, kan det holde for evigt
- Lettere behandlinger er tilgængelige 'for en sikkerheds skyld' løsninger – mere kritisk i regioner med høj relativ luftfugtighed



Ligevægts fugtindhold (EMC) og relativ luftfugtighed (Wikipedia)

ARUP



Beskyttelse af forskellige brotyper iflg. Tysk National Annex til EN1995-2

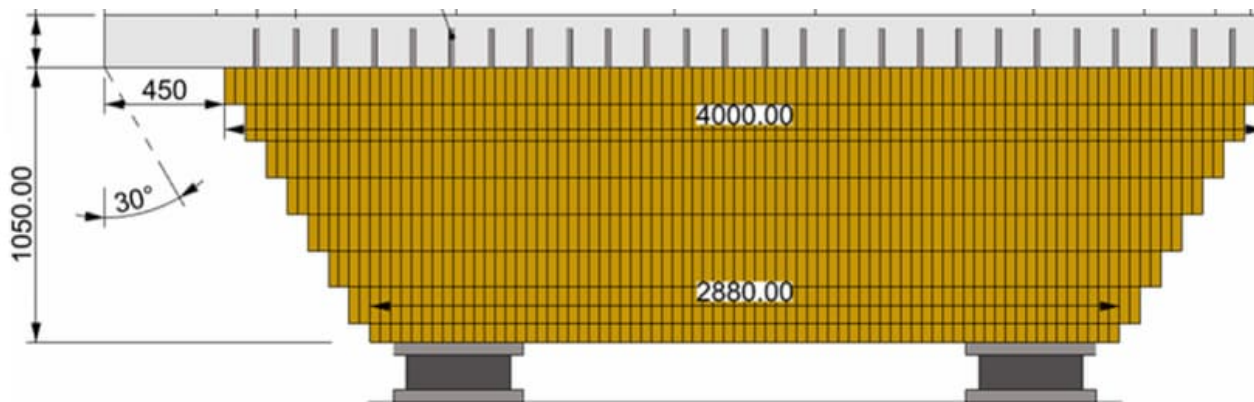


St Andrew's kirke, Greenchurch, England (Acabashi, 2015)

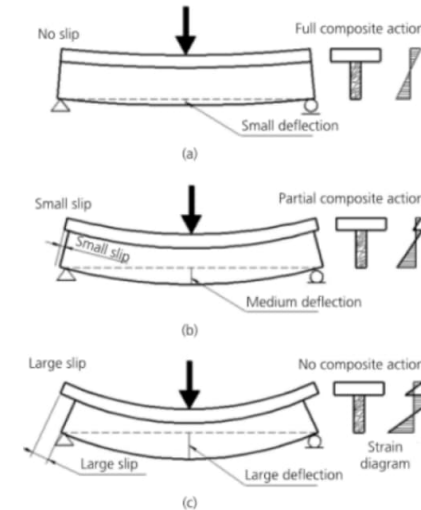
Kompositkonstruktionen

- ‘Delvis’ komposit opførsel opnået
- Svind af beton kontra træ
- Langtids- kontra korttidslaster
- Forskellige varmeudvidelseskoefficienter
- Forskellige temperaturgradienter

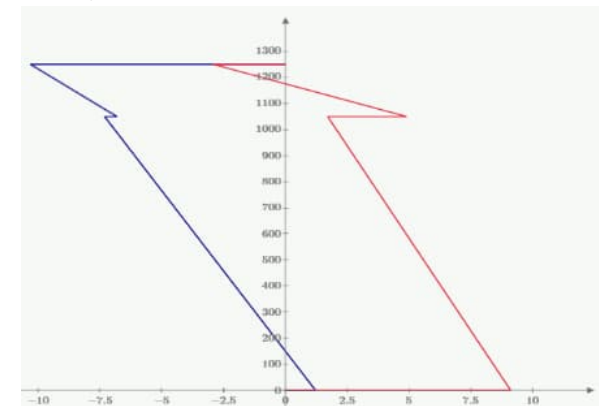
→ **Kompleks**



Tværsnit der viser forskydningsforbindelse



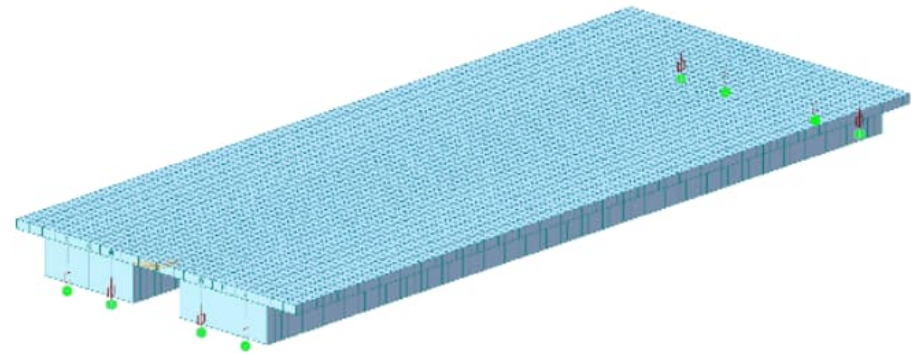
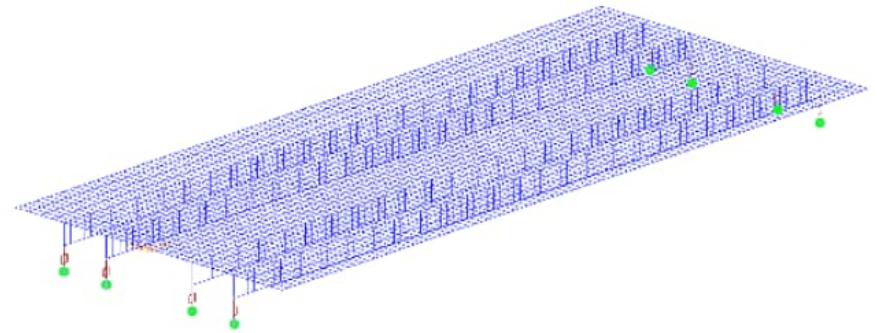
Tøjnings diagrammer for komposit konstruktioner. Reproduceret fra Fragiacom and Lukaszewska (2011)



Komposit spændingsdistribution (min og maks) i brudgrænsetilstand (korttidslaster)

Udførte verifikationer

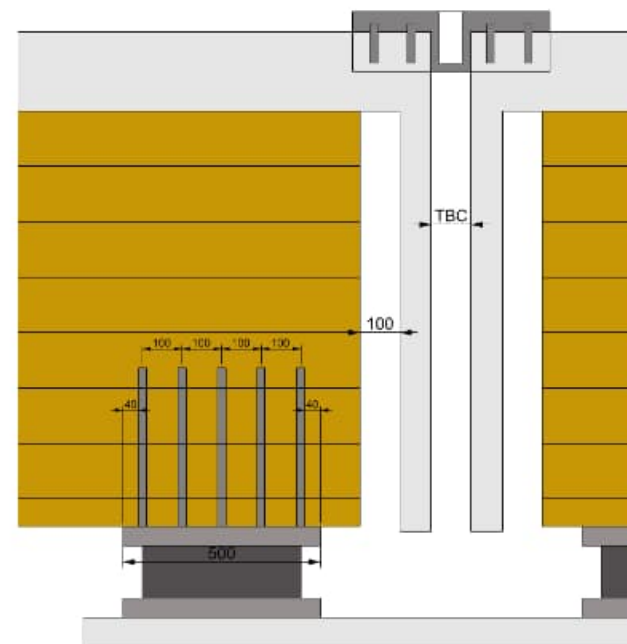
- Nedbøjning fra trafiklast $< L/600$
- Slab track
- Dæktwist
- Dynamisk analyse
- Vibrationer
- Deformationer ved understøtninger
- Spændinger
- Udmattelse



Lejer

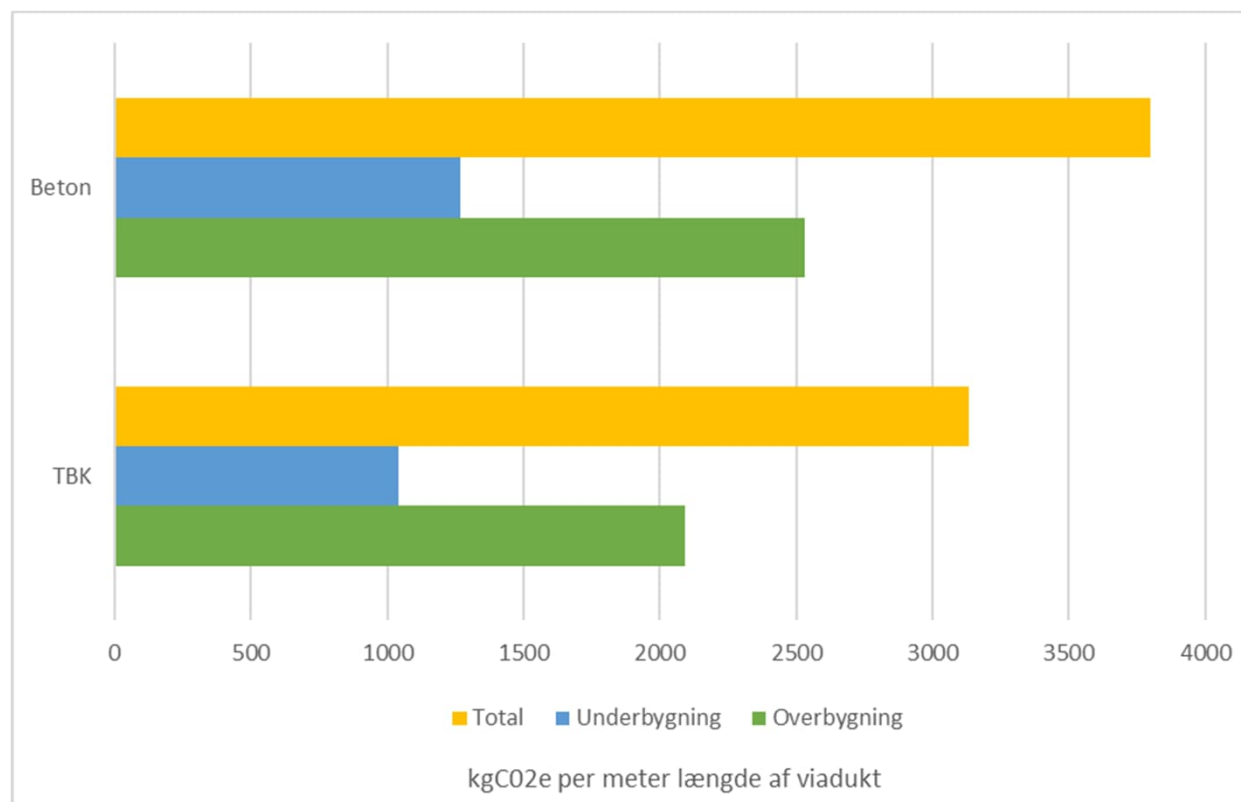


Bro over floden Aggar, Tyskland (Foto: Schaffitzel)



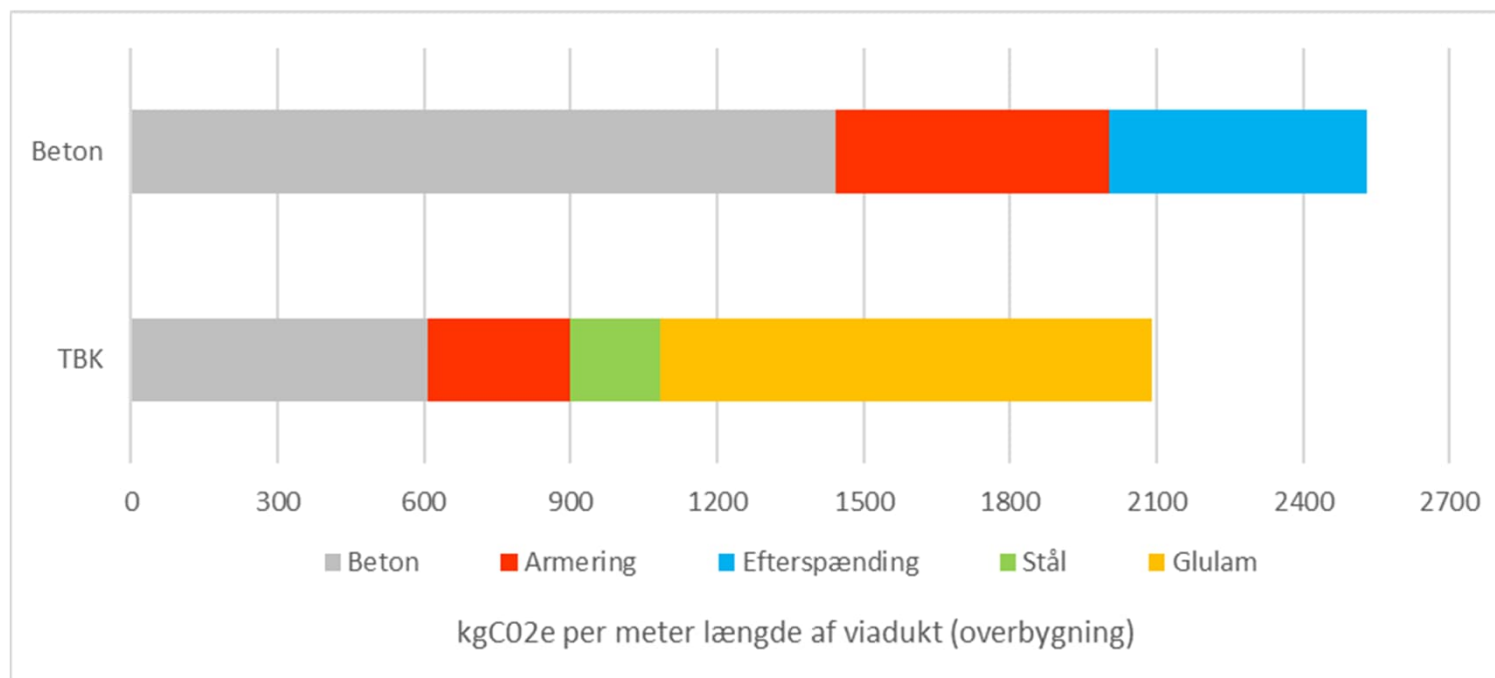
Bæredygtighed & CO₂e

Faser A1 til A3



Bæredygtighed & CO₂e

Faser A1 til A3



Drift & vedligehold

- Eftersyn
- Vedligehold
- Monitorering af fugt
- Forventning



Fugtsensorer i træ (Ingenieurbüro Miebach (2018) Holz-Beton-Verbundbrücken - Erfahrungen und Perspektiven)

Næste trin

- Dialog med træproducenter og branche
- Procurement
- Byggetakt
- Afvanding
- Risici
- Yderligere detaljeret eftervisning af:
 - Underbygning
 - Udmattelse
 - Track structure analyse
 - Tværgående design
 - Brand
 - Ulykkeslaster



ARUP