

Hoe groot is de CO₂-eq winst bij toepassing van gebruikte spoorstaven ten opzichte van gebruik van nieuwe staalprofielen bij de bouw van een modulaire spoortraverse?



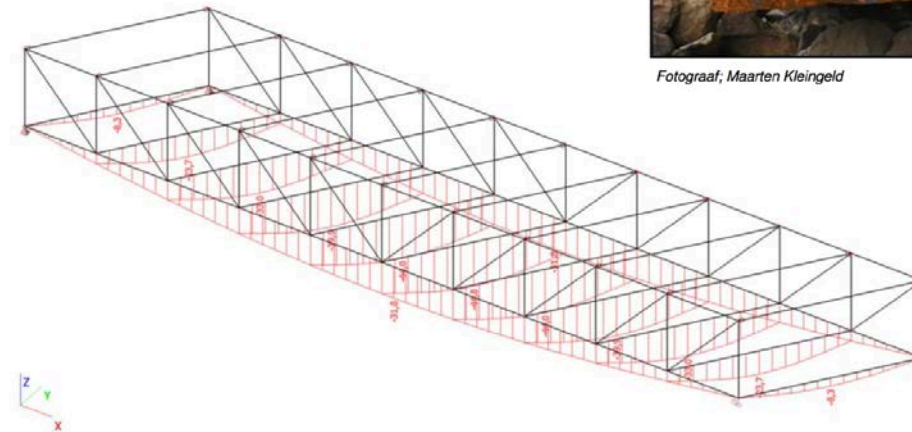
Referentieproject: Tijdelijke traverse over het spoor Driebergen Zeist

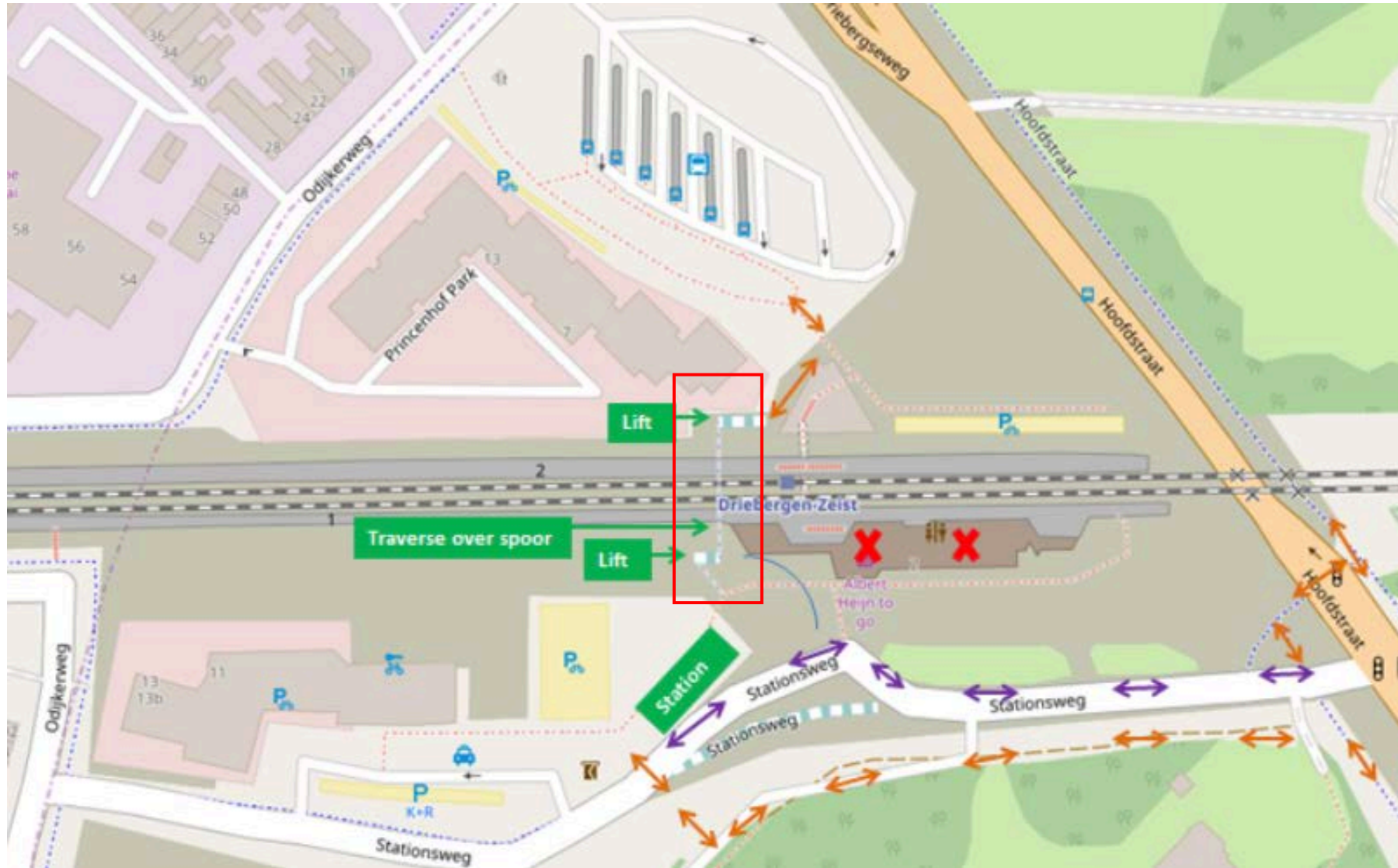
Inhoudsopgave

- Inleiding referentieproject
- Onderzoekstructuur
- Literatuuronderzoek
- Constructief onderzoek
- Onderzoek CO₂-last
- Conclusie en Aanbevelingen
- Stand van zaken afstuderen



Fotograaf; Maarten Kleingeld







Kan deze vloer modulair, demontabel met gebruikte spoorstaven uitgevoerd worden?



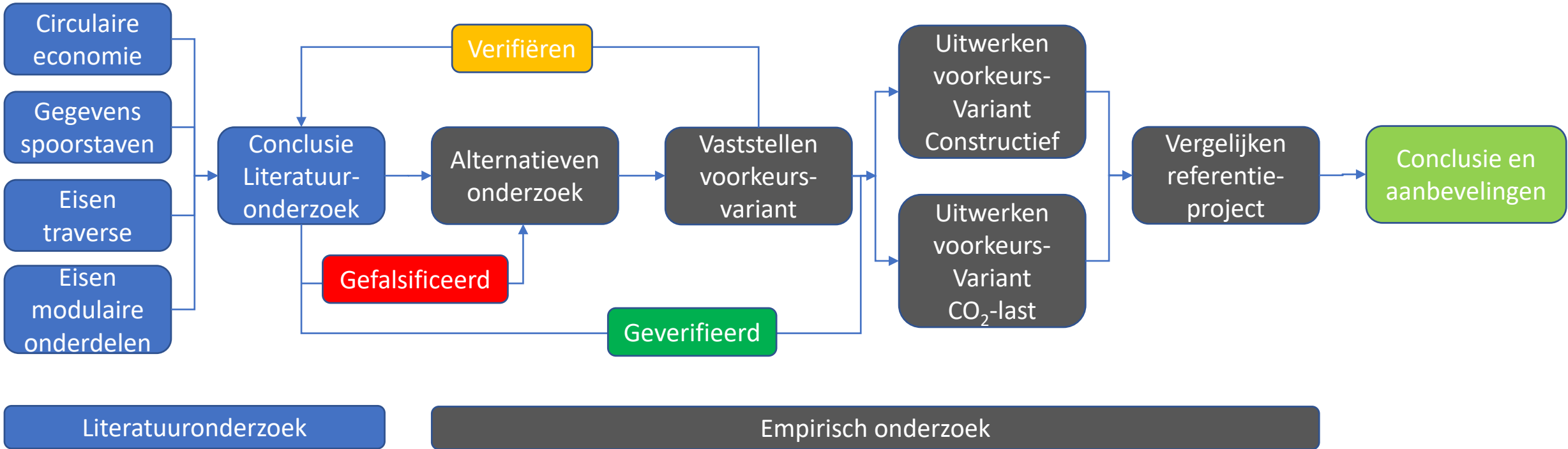
Hoe ziet een optimale module er uit?



Hoe zijn verbindingen van modules demontabel te maken?



Onderzoeksmethode

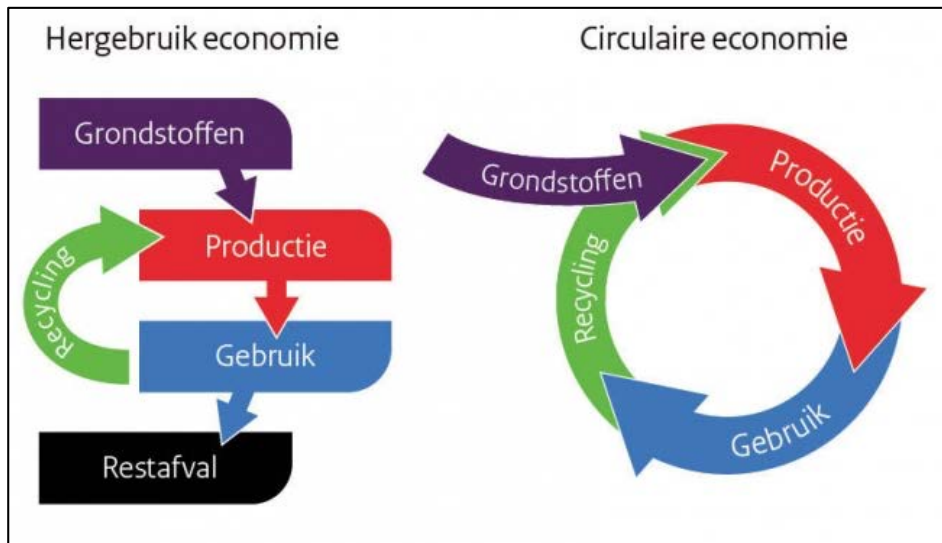


Aanleiding en Circulaire economie

- Uitputtelijkheid grondstoffen.
 - Van lineaire naar **circulaire economie**.
- Klimaatverandering
 - **CO₂-uitstoot**
 - Ontbossing
 - etc



- Klimaatakkoord Parijs 2015
 - **20% minder CO₂-uitstoot t.o.v. 1990.**
 - 20% minder energiegebruik
 - 20% energie afkomstig van hernieuwbare bronnen
- Circulaire economie wordt Europese milieuprioriteit:
 - Programmadeel “Bouw en Sloop”
 - Terugwinning van waardevolle hulpbronnen
 - Passend afvalbeheer
- 2016: Nederland circulair in 2050, prioriteiten:
 - Biomassa en voedsel
 - Kunststoffen
 - Maakindustrie
 - **Bouw**
 - Consumptiegoederen



Volle inzet op **CO₂-reductie** door minder grondstoffen te gebruiken via **Circulaire Economie**.
Zie regeerakkoord 2017

<https://www.rijksoverheid.nl/onderwerpen/circulaire-economie/alle-grondstoffen-hergebruiken>

Probleemanalyse

Gebruik van Nederlands spoorwegennet wordt gestimuleerd omdat:

- Milieutechnisch oogpunt
- Beperking dichtslibben openbare wegen.



Spoorboekloos rijden:

- Hoge frequentie treinreizen
- Aanleg hogesnelheidslijnen
- Meer goederenvervoer over trajecten



'Elke week ligt er een nieuwe laag roet op mijn balkon'

De Graadt van Roggenweg in Utrecht is een van de vervuildste straten van Nederland. Aanwoners merken daar regelmatig de gevolgen van. „Elke week ligt er weer een nieuwe laag roet op mijn balkon.“

Femke van Rooijen
Utrecht

De gemeente Utrecht zoekt naar oplossingen voor de vervuilde lucht. Er wordt gekeken of de intensiteit van het verkeer naar beneden kan en of de buslijnen volledig elektrisch kunnen worden.

Ook zijn er plannen om het eerste deel van weg te versmallen, de maximale snelheid te verlagen en langs de weg voor meer groen te zorgen. De gemeente is met het ministerie van Infrastructuur en Waterstaat in gesprek over de financiering.

Het is onafgebroken druk op de Graadt van Roggenweg. Trams, bussen, auto's en vrachtwagens hebben zich een weg naar de stad. Het staat er regelmatig muurvast met ronkende auto's en bussen. „Ik wil eigenlijk altijd zo snel mogelijk weer naar binnen, als ik voor mijn deur sta“, zegt bewoonster Gina Meursing. Per uur rijden er zo'n 40 bussen over de Graadt van Roggen-



Verkeersdrukte op de Graadt van Roggenweg. FOTO: WIKIMEDIA

Algemeen Dagblad 4 april 2018, Graadt van Roggenweg Utrecht

Stations moeten omgebouwd worden:

- Gescheiden sporen voor:
 - Treinen met verschillende snelheden
 - Treinen met verschillende stopplaatsen
 - Treinen voor zwaarder goederenvervoer



Meer slijtage:

- Treinwielen
- **Spoorstaven**
 - Spoorstaven hebben NIET het eeuwige leven !!



Kunnen spoorstaven hergebruikt worden als constructiemateriaal voor tijdelijke traversen bij de ombouw van stations?

Nieuwe Spoorstaven UIC54 kwaliteit 260 Mn

Railprofiel, afmetingen en sterkte gegevens

Rail gegevens	Railprofiel	S41	S49	NP46	UIC54	UIC60	Ri60
	hoogte h_r [mm]	138	149	142	159	172	180
	kopbreedte b_h [mm]	67	67	72	70	72	113
	voetbreedte B [mm]	125	125	120	140	150	180
	oppervlak A [cm ²]	52.7	63.0	59.3	69.3	76.86	77.05
	massa/meter m [kg/m]	41.3	49.4	49.6	54.4	60.3	60.5
	traagheid. moment I_y [cm ⁴]	1368	1819	1605	2346	3055	3334
	traagheid. moment I_z [cm ⁴]	276	320	310	418	513	884
	weerst. moment W_{yh} [cm ³]	196	240	224	279	336	387
	weerst. moment W_{yf} [cm ³]	200.5	248	228	313	377	355
	weerst. moment W_z [cm ³]	44.2	51.2	52	60	68	135

Railstaal eigenschappen

Elasticiteitsmodulus:	$E = 210 \text{ GPa}$	Lineaire uitzettingscoëfficiënt:	$\alpha = 1.15 \cdot 10^{-5} / ^\circ\text{C}$
Dwarscontractiecoëfficiënt:	$\nu = 0.3$	Dichtheid:	$\rho = 7850 \text{ kg/m}^3$

Toelaatbare buigspanning railvoet (σ_{rf})

Treksterkte σ_t [MPa]	Vloeigrens σ_y [MPa]	Constance spanningen		σ_{rf} [MPa] voor incidentele belasting	σ_{rf} [MPa] voor herhaalde belasting
		Richtspanning [MPa]	Temperatuurspanning voegloos spoor [MPa]		
700	450	220	100	450	~55*
900	580			580	220*

* uit Smith diagram

CT3041 Deel D : Constructief ontwerp van spoorwegen; Prof.dr.ir C. Esveld TU Delft

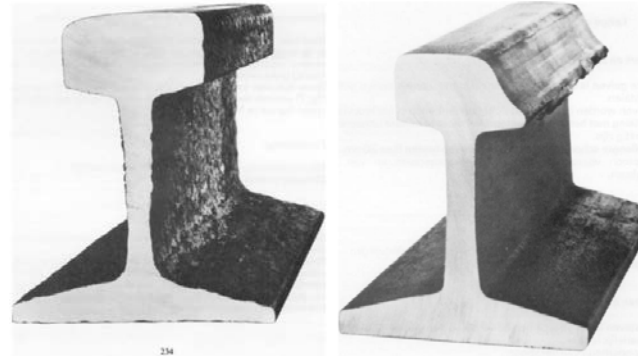
Jaarlijks komt ca. 250 – 300 km spoorstaaf vrij bij vervangingsprojecten door degradatie van de doorsnede.

- Slijtage
- Corrosie

Vervangen spoorstaven gaan naar:

- 20 % hergebruik in export of rangeerterreinen
- 80 % in stukken geknipt en als schroot naar de hoogovens

Abnormale corrosie

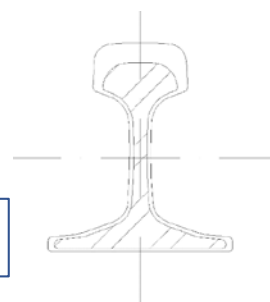


Richtlijnen Spoorstaafgebreken RLN 00036 Prorail



Spoorstaven geknipt tot schroot voor recycling; (en.demarec.nl, 2018)

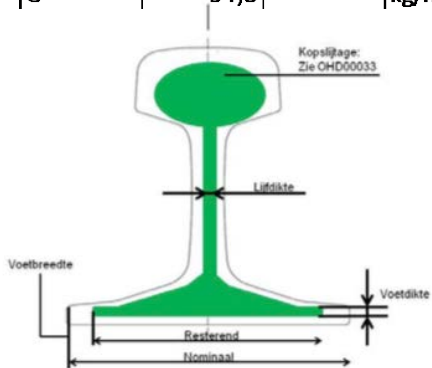
Gegevens Spoorstaven



Degradatie van de doorsnede:

Doorsnede zonder corrosie en slijtage				
A	6981		mm ²	100%
h	159		mm	100%
b	140		mm	100%
I _y	2357	*10 ⁴	mm ⁴	100%
Z _{y,o}	75,9		mm	
Z _{y,b}	83,1		mm	
W _{y,o}	310,5	*10 ³	mm ³	100%
W _{y,b}	283,6	*10 ³	mm ³	100%
I _z	419	*10 ⁴	mm ⁴	100%
Z _z	70		mm	
W _z	59,9	*10 ³	mm ³	100%
G	54,8		kg/m	100%

Doorsnede met corrosie en slijtage				
A	4244		mm ²	61%
h	142		mm	89%
b	130		mm	93%
I _y	1296	*10 ⁴	mm ⁴	55%
Z _{y,o}	61,5		mm	
Z _{y,b}	80,5		mm	
W _{y,o}	210,7	*10 ³	mm ³	68%
W _{y,b}	161,0	*10 ³	mm ³	57%
I _z	195	*10 ⁴	mm ⁴	47%
Z _z	65		mm	
W _z	30,0	*10 ³	mm ³	50%
G	33,3		kg/m	61%



Groen is de minimum spoorstaafprofiel.

	54 ^{E1} // 54 ^{E5}			46 ^{E3}			60 ^{E1}		
	Nom	BW	VW	Nom	BW	VW	Nom	BW	VW
Bevestiging	Bevestiging moet altijd nog volledig grip hebben op de spoorstaafvoet en voldoende klemkracht uitoefenen.								
Lijfdikte	16	12	10	14	11	10	16,5	12	10
Voetdikte	11	7	6	11,5	7	6	11,5	7	6
Voetbreedte	140	94	70	120	81	60	150	101	75

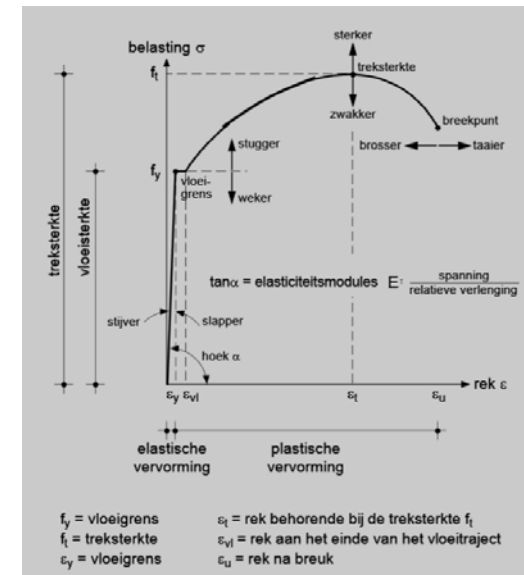
Nom = Nominaal: Nieuwbouwwaarde met tolerantie volgens SPC00011 en RLN00002 (EN13674).

Detectie en beoordeling van spoorstaafdefecten RLN 00399 Prorail

Degradatie van materiaaleigenschappen:

Belangrijke eigenschappen van staal zijn:

- Treksterkte
- Vloeisterkte
- Breukrek
- Elasticiteitsmodulus



Bouwenmetstaal.nl

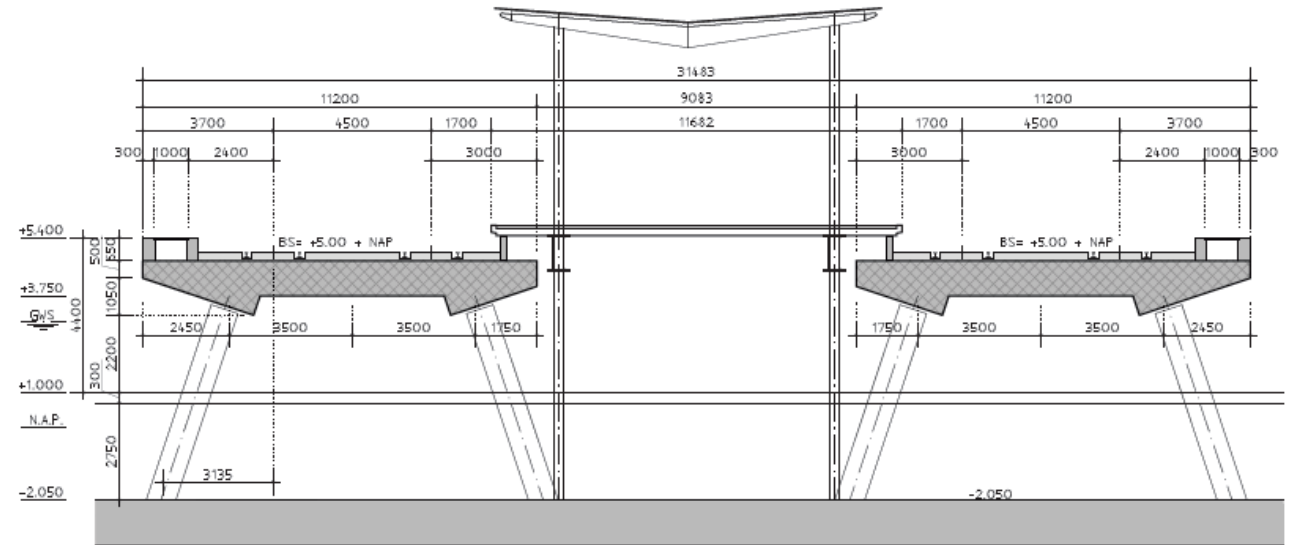
- Geen gegevens gevonden over degradatie van materiaaleigenschappen.
- Nader onderzoek moet gedaan worden.
- Rekening gehouden met **25 %** reductie

Eisen traverse



Herinrichting station Driebergen-Zeist 15RV009

- Profiel van vrije ruimte onder de traverse:
 - Breedte ca. 35 m
 - Hoogte ca. 8,0 m
- Profiel van vrije ruimte traverse:
 - Breedte ca. 4,0 m
 - Hoogte ca. 3,3 m



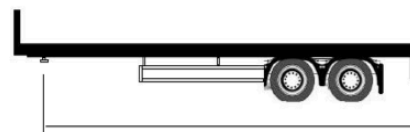
STATIONSGEBIED DRIEBERGEN-ZEIST PLANSTUDIE FASE 2B
L3.1-1 RAPPORTAGE BASELINE 3

- Belasting van mensenmassa:
 - Prorail klasse C3 :
 - $P_{GK} = 5,0 \text{ kN/m}^2$
 - $\Psi_0 = 0,4$ bij normaal gebruik
 - $\Psi_0 = 0,6$ bij calamiteiten
 - $\Psi_1 = 0,7$
 - $\Psi_0 = 0,6$

Eisen modulaire onderdelen

- Zo groot mogelijke afmetingen.
- Snelle verbindingen.
- Makkelijk te plaatsen.
- Vervoerbaar:
 - Afmetingen
 - Lengte
 - Breedte
 - Hoogte
 - Gewicht

Oplegger



Zonder ontheffing:

Hart koppeling tot achterzijde voertuig	12,00	meter.
Breedte	2,55	meter.
Hoogte	4,00	meter.

Breedte geconditioneerd vervoer	2,60	meter.
---------------------------------	------	--------

Kopstraal	voor 31-12-1997	2,05	meter.
	vanaf 01-01-1998	2,04	meter.

<https://www.rdw.nl/-/media/rdw/rdw/pdf/sitecollectiondocuments/ontheffingen-tet/themasite-ontheffingen/handleidingen/2-b-1097b-overzicht-maten-en-gewichten.pdf>



Met ontheffing:

Nederland

	Trailers	Semi-diepladers	Euro-diepladers
Lengte:	27,00 m	27,00 m	27,00 m
Breedte:	3,50 m	3,50 m	3,50 m
Hoogte:	4,25 m	4,25 m	4,25 m
Gewicht:	50.000 kg	63.000 kg	100.000 kg

https://martenstransport.nl/exceptioneel_transport/vergunningen

- CO2-reductie door Circulaire Economie belangrijk item Regeerakkoord
- Vervoersproblematiek oplossen door middel van spoorboekloos treinverkeer vraagt om aanpassing van bestaande stations
- Door slijtage en corrosie, is er een jaarlijkse vervangingsopgave van hoogwaardige spoorstaven
- Bij een 2^e gebruik van de hoogwaardige spoorstaven moet rekening gehouden worden met een doorsnede reductie van ca 40 % en een aangenomen degradatie van materiaaleigenschappen van ca 25 %
- Traverse gaat over 4 sporen met een eilandperron, hierdoor worden de globale maten:
 - Lengte ca 35 m
 - Breedte ca 4 m
 - Hoogte vloer ca 8 m
 - Hoogte dak ca 11,5 m
 - Belasting door mensenmassa 500 kg/m²
- Maximale afmetingen modules in verband met transport met ontheffing:
 - $L < 27$ m
 - $B < 3,5$ m
 - $H < 4,25 - 0,35 = 3,9$ m
 - $G < 63$ ton

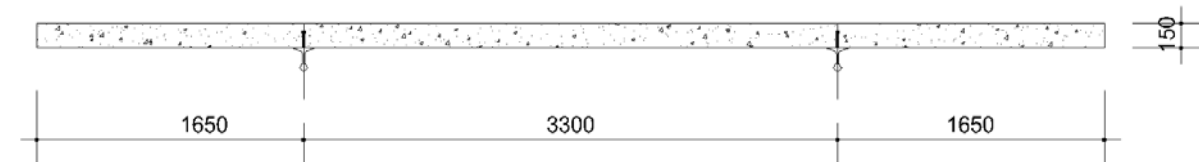
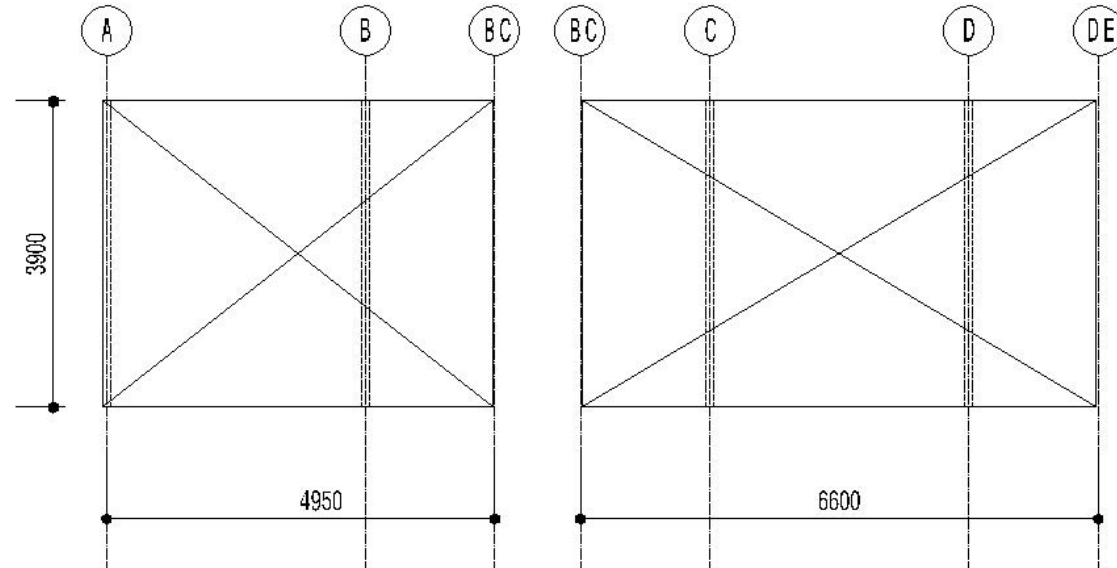
Onderzoek alternatieven

Alternatieven vloer:

- Spoorstaaf-staal
- Spoorstaaf - hout
- Spoorstaaf - beton 😊

Opbouw:

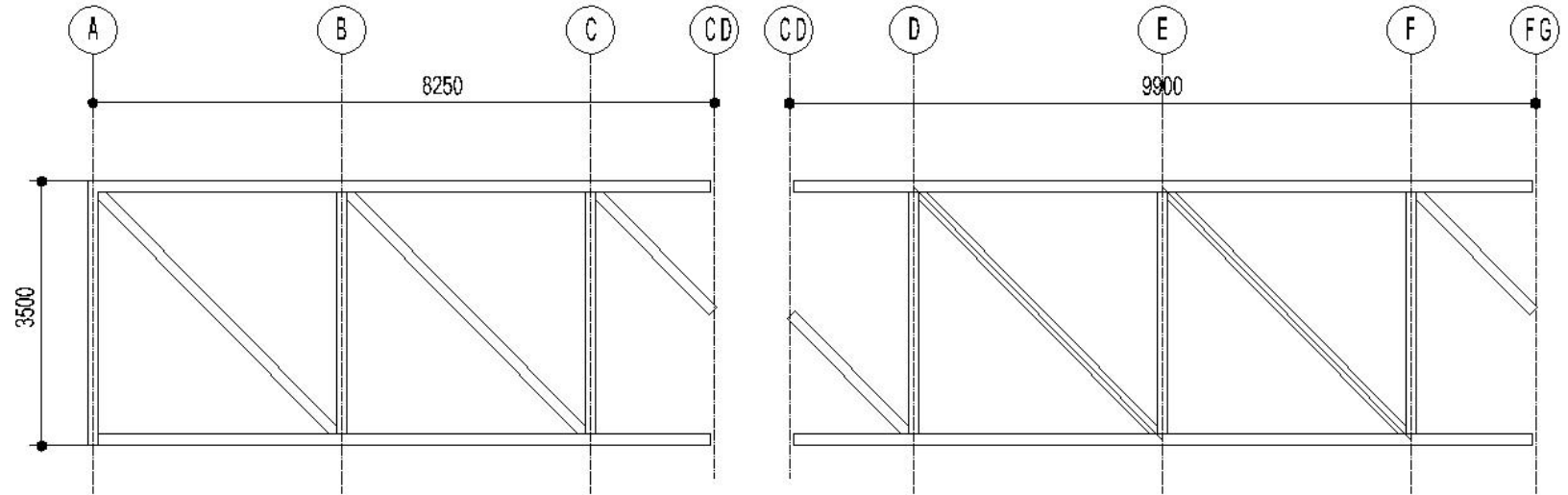
- Spoorstaaf
- Betondikte 150 mm
- BetonC25/30, XC3
- Wapening # 8-150 (o+b)
- Stiftdeuvels Φ 13



Onderzoek alternatieven

Alternatieven langsliggers:

- Spoorstaaf- vakwerk 😊
- Spoorstaaf - beton



Bovenrand:

- Dubbele spoorstaaf
- Drukkracht $N_{Ed} = 1520$ kN
- Drukkracht maximaal $N_{Rd} = 1920$ kN
- UC = 0,79

Onderrand:

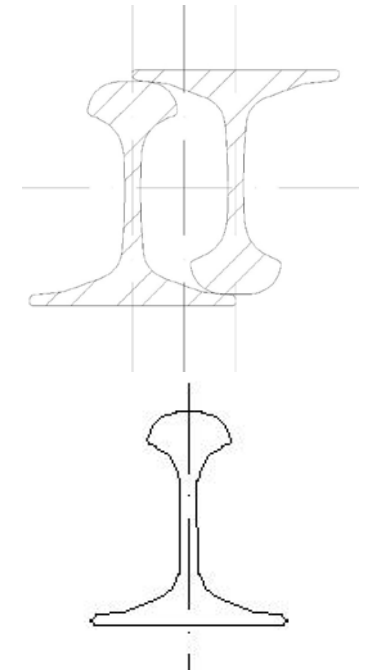
- Enkele spoorstaaf
- Trekkracht 1520 kN
- Trekkracht maximaal $N_{Rd} = 1846$ kN
- UC = 0,83

Vertikaal:

- dubbele spoorstaaf
- Drukkracht 586 kN
- Drukkracht maximaal $N_{Rd} = 1772$ kN
- UC = 0,33, optimaliseren met ander profiel?

Diagonaal:

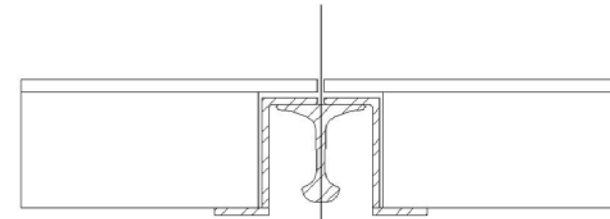
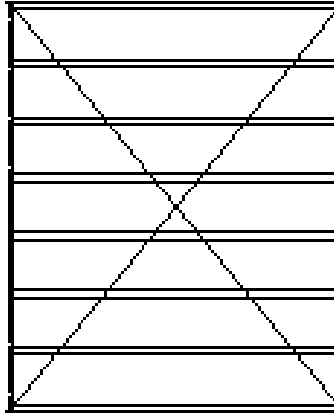
- Enkele spoorstaaf
- Trekkracht 733 kN
- Trekkracht maximaal $N_{Rd} = 1846$ kN
- UC = 0,40, optimaliseren met ander profiel?



Onderzoek alternatieven

Alternatieven dak

- Hout 😊
- Stalen dakplaat



L160x80x10 met strip 80*10
houten balklaag 169 x 71, hoh 535 mm

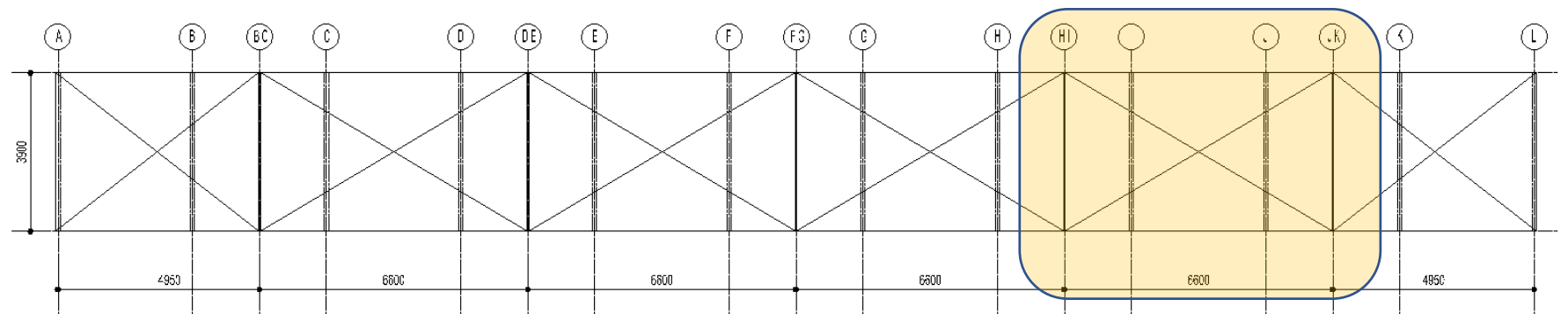
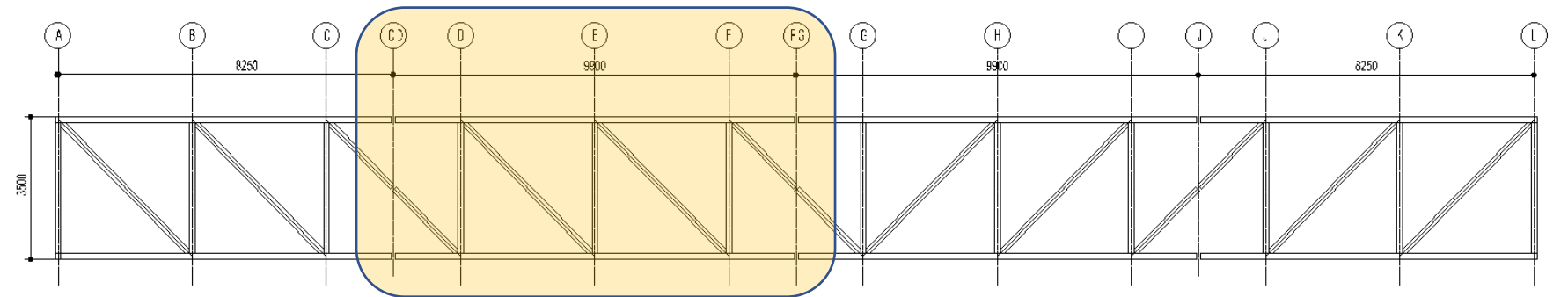
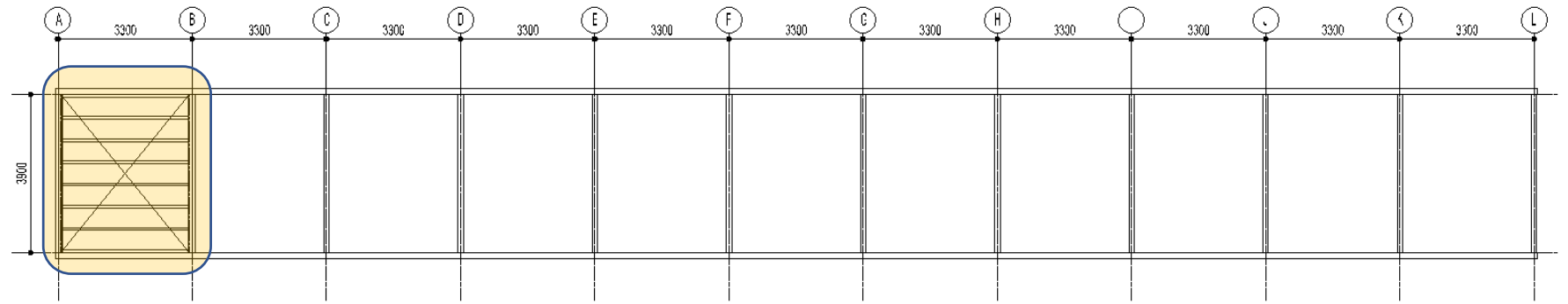
Opbouw:

- Dakplaat underlayment 18 mm
- Balklaag b x h = 69 x 171
- Windverband strip 100 x 6
- Randligger L 160 x 80 x 10

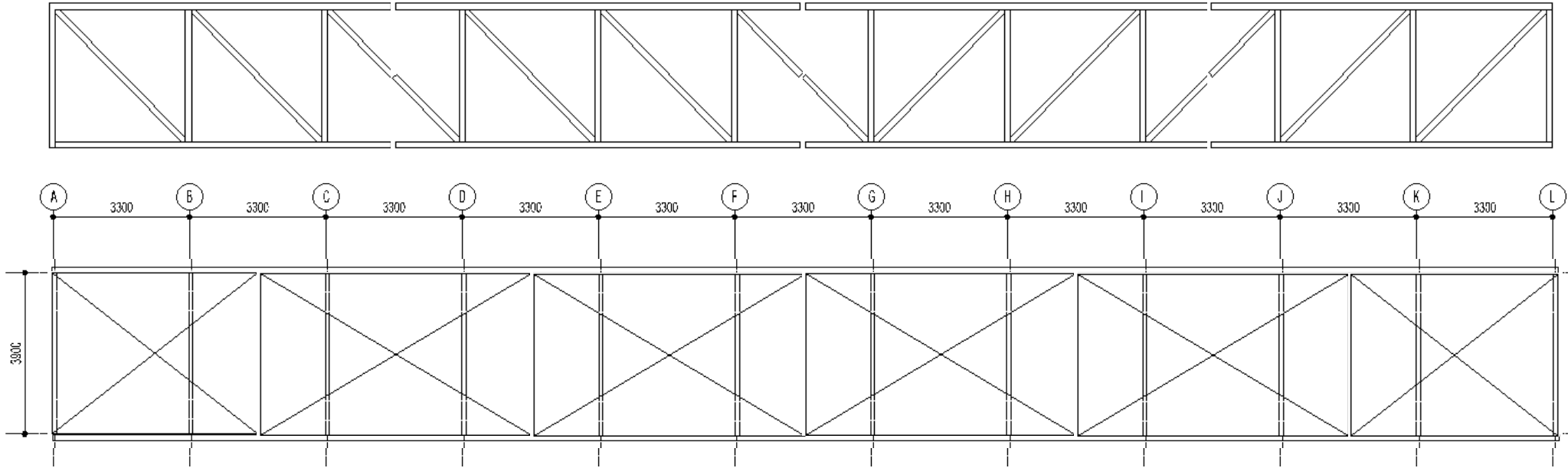
Verificatie

Traverse				Elementen					
	ontwerp	eis	validatie		L	B	H	G	validatie
Lengte	36,3 m	ca 35 m	+	Eis	27 m	3,5 m	3,9 m	63000 kg	
breedte	3,9 m	ca 4,0 m	±	vloer eind	4,95 m	0,3 m	3,9 m	7650 kg	±
hoogte	3,5 m	ca 3,5 m	+	vloer tussen	6,60 m	0,3 m	3,9 m	10100 kg	±
				vakwerk eind	8,25 m	0,25 m	3,5 m	7650 kg	+
				vakwerk tussen	9,90 m	0,25 m	3,5 m	7650 kg	+
				dak element	4,95 m	0,25 m	3,9 m	7650 kg	+

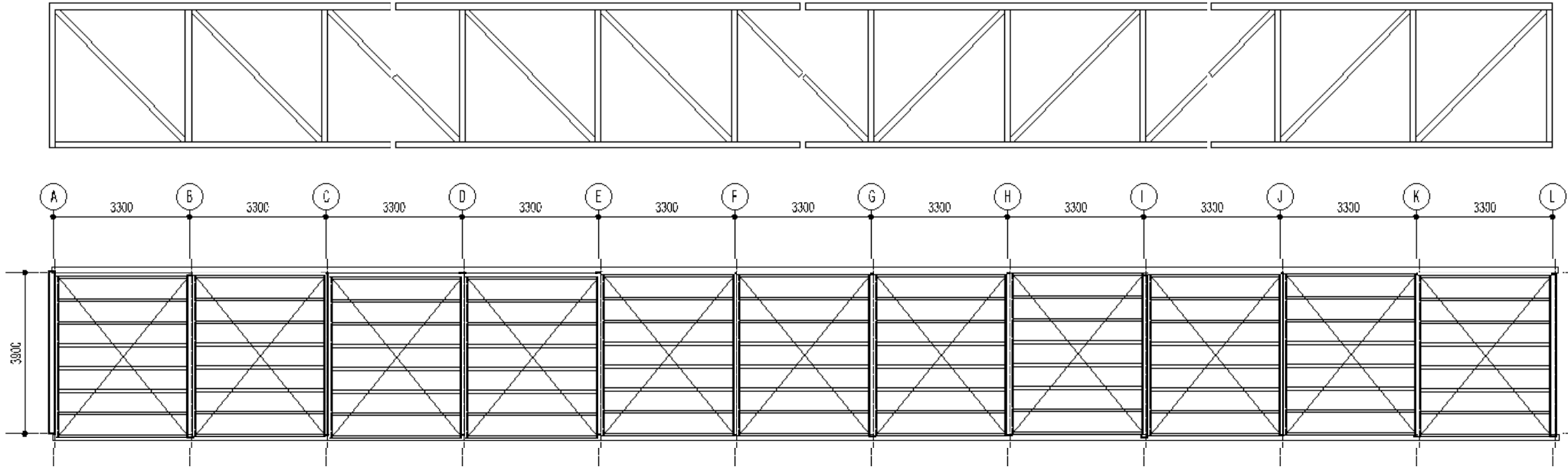
Uitwerking Constructief



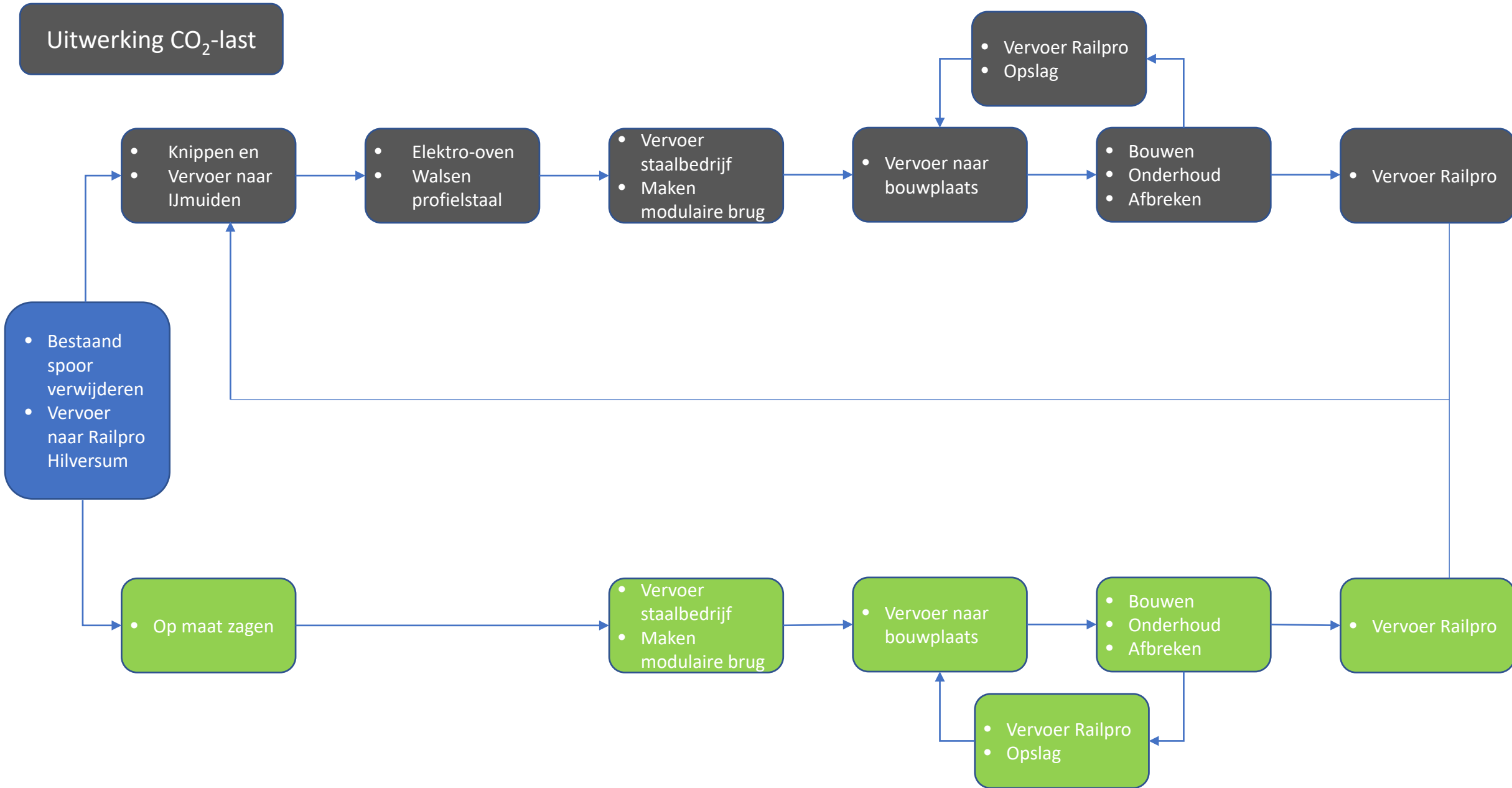
Uitwerking Constructief



Uitwerking Constructief

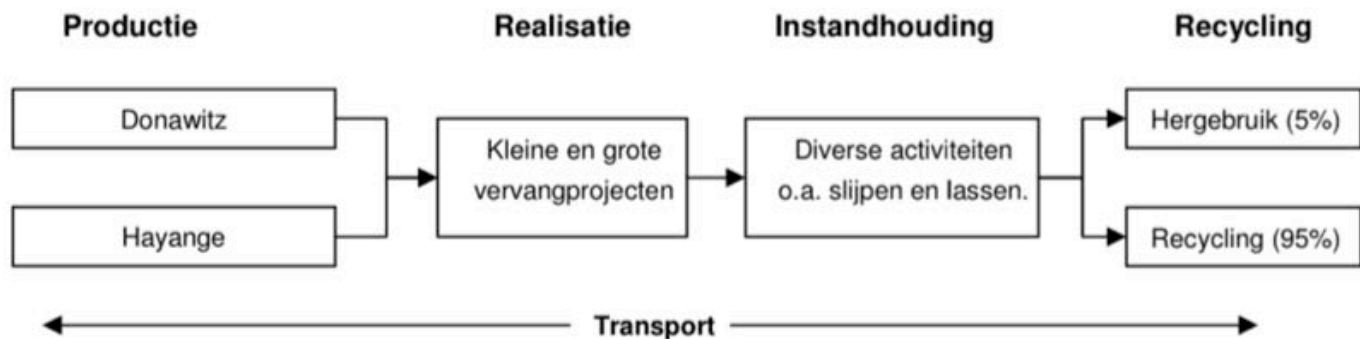


Uitwerking CO₂-last



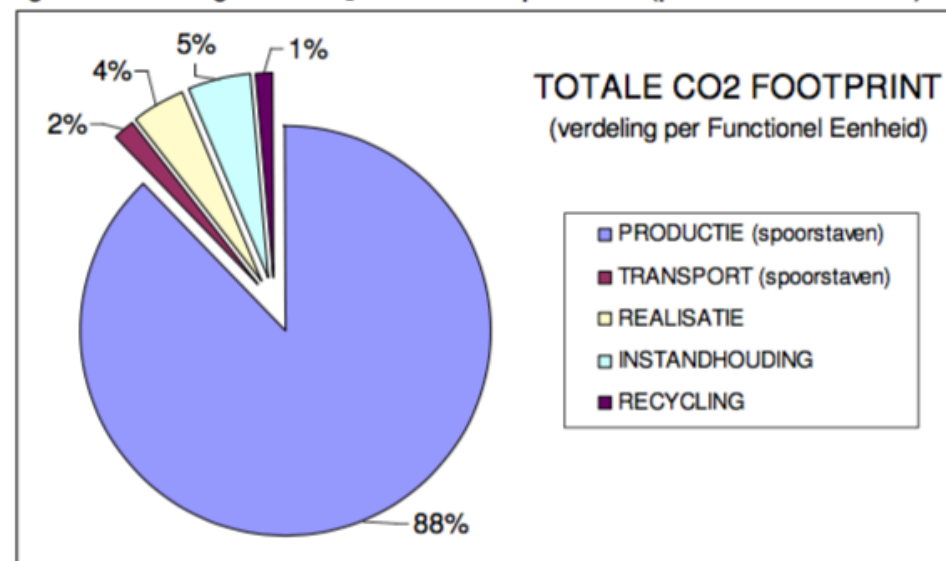
Uitwerking CO₂-last

Figuur 1 – Waardeketen spoorstaven (54^E1)



CO₂Ketenanalyse spoorstaven

Figuur 1 – Verdeling van de CO₂ emissies van spoorstaven (per functionele eenheid)



Tabel 1 – CO₂ emissies van spoorstaven per FE

Ketenonderdeel en activiteit / materiaal	Toelichting	Kg CO ₂ / FE
Productie (spoorstaven)		110,915
Spoorstaaf (54E1)	nu veel toegepast	74,070.9
Spoorstaaf (46E3)	vroeger veel toegepast	33,354.4
Spoorstaaf (60E1)	toegepast in betuweroute en HSL (2006)	3,489.8
Transport (spoorstaven)		2,510
Transport naar leverancier (RailPro)	Vanuit Oostenrijk (95%)	1,835.8
	Vanuit Frankrijk (5%)	37.0
Transport naar bouwplaats	Grootschalig per trein	120.6

Uitwerking CO₂-last

Kengetallen gehaald uit spoorstaven, vervoer las-en montage werkzaamheden :

- CO2 ketenanalyse spoorstaven, Prorail

Kengetallen nieuw staal:

- Bouwen met staal
- In materiaal zit ook vervoer montage etc.

Uitgangspunten:

- Voor vervoersafstand is steeds 200 km voor een retour aangehouden.
- Vervoer elementen door speciaal vervoer.
- Vervoer personeel bestelbus met 4 personen

Vergelijking traverse spoorstaven met nieuwstaal

Spoorstaven		Nieuw staal	
gewicht		gewicht	
spoorstaal	32400 kg	spoorstaal	kg
nieuwstaal	1650 kg	nieuwstaal	20250 kg
beton	53300 kg	beton	53300 kg
hout	3300 kg	hout	3300 kg
totaal gewicht	90650 kg	totaal gewicht	76850 kg
CO2		CO2	
materiaal	792 kg	materiaal	9720 kg
montage	19480 kg	montage	15621 kg
vervoer	13427 kg	vervoer	9590 kg
	33699 kg		34931 kg
cyclus	14830 kg	cyclus	11926 kg

Conclusie:

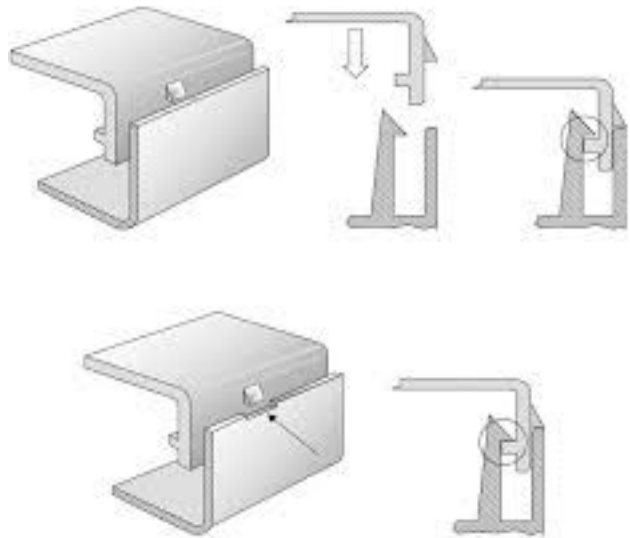
- Bij het eerste gebruik een beperkte winst 1230 kg CO₂.
- Na eerste cyclus is de winst weg.
- In het nieuwe staal is de restwaarde van recyclen al opgenomen.

Aanbevelingen:

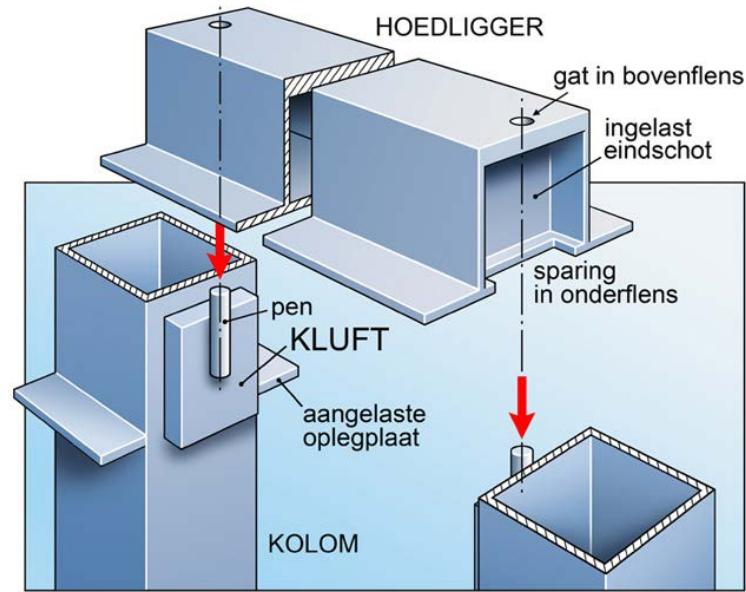
- Door aannames degradatie van de materiaaleigenschappen zijn veilige conservatieve waarden gehanteerd. Dit kan leiden tot een te negatief beeld. Hiervoor is nader onderzoek noodzakelijk.
- Er is rekening gehouden met maximale reductie van de doorsnede. Een spoorstaaf zal zelden op alle fronten de afkeurnorm benaderd zijn. Vooraf zouden profiele hierop onderzocht kunnen worden.
- Uitwerking van de onderbouw wordt nog beschouwd. Dit kan de waarden beïnvloeden.

Stand van zaken afstuderen

Planning afstudeeropdracht Vs 180306 Martijn Zegers hergebruik spoorstaven			Hoofdzaak: Hoe groot is de CO2-eq winst bij toepassing van gebruikte spoorstaven ten opzichte van gebruik van nieuwe staalprofielen bij de bouw van een modulaire spoortraverse?																																			
			afgerond in vorige afstudeerperiode		beschikbaarheid ca 8 uren per week												beschikbaarheid ca 16 u per week																					
16 EC	ca 440 uren		8	8	8	8	8	8	8	0	0	8	8	8	8	16	16	16	16	16	0	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	328					
120			128	136	144	152	160	168	176	176	176	184	192	200	208	224	240	256	272	288	288	304	320	336	352	368	384	400	416	432	448							
			week	week	week	week	week	week	week	week	week	week	week	week	week	week	week	week	week	week	week	week	week	week	week	week	week	week	week	week	week	week						
			17-45	17-46	17-47	17-48	17-49	17-50	17-51	17-52	18-01	18-02	18-03	18-04	18-05	18-06	18-07	18-08	18-09	18-10	18-11	18-12	18-13	18-14	18-15	18-16	18-17	18-18	18-19	18-20	18-21							
		dinsdag	07-nov	14-nov	21-nov	28-nov	05-dec	12-dec	19-dec	26-dec	02-jan	16-jan	23-jan	30-jan	06-feb	13-feb	20-feb	27-feb	06-mrt	13-mrt	20-mrt	27-mrt	03-apr	10-apr	17-apr	24-apr	01-mei	08-mei	15-mei	22-mei	29-mei							
Nr	hoofdonderdeel	sub onderdeel	stand van zaken op te leveren producten																																			
1	oriëntatiefase 120 u	Plan van aanpak met probleemstelling en doelstelling																																				
		uitgangspunten literatuuronderzoek																																				
		uitgangspunten empirisch onderzoek																																				
		activiteitenplan en -planning																																				
2	onderzoeksfase 240 u	materiaaleigenschappen en vorm van spoorstaven, materiaal degradatie afkeursysteem																																				
		Modulaire spoorbrug, PvE, modulaire maten, onderdelen varianten, circulaire economie, definitie en eisen																																				
		conclusie, vergelijk spoorstaaf met standaardprofiel, circulaire opbrengst, uitvoerbaarheid, voorstel andere toepassingen op basis van dit onderzoek																																				
		Uitwerking van de voorkeursvariant van de spoortraverse, verbinding																																				
		Onvoorzien																																				
3	afrondingsfase 80 u	Samenstellen van het definitieve rapport																																				
		voorbereiden presentatie en maken powerpoint																																				
		presentatie																																				



Snap-fit verbinding



Kluft verbinding

Mogelijke demontabele verbindingen

Nog om te werken voor de spoorstaven



“Communicatie gaat niet om zenden en ontvangen, maar om: vragen stellen, luisteren, begrijpen en verbinden.”



Aanwezigen:

- André Speksnijder, ABT
- Eric Brink, Railpro
- Nadia Verdeijen, Hogeschool Utrecht
- Kitty Vreeswijk, Hogeschool Utrecht
- Olaf Verschuren, Hogeschool Utrecht
- Ursula Backhausen, Hogeschool Utrecht
- Yvonne Luiken, Hogeschool Utrecht

Aanbevelingen naar aanleiding van de presentatie:

- Overweeg de toepassing van de staal-betonvloer.
 - Het gewicht veroorzaakt een dubbele bovenregels en dubbele verticale stijlen → overmatig gebruik van spoorstaven
 - Extra gewicht levert extra CO₂-last bij transport, daardoor wordt het voordeel van meervoudig hergebruik te niet gedaan.
- Bekijk de CO₂ -last van nieuw staal grondig.
 - In de aanname zit ook montage en vervoer.
 - Door leveranciers worden verschillende CO₂ waarden gehanteerd.
- Bekijk of eventueel een kortere stamienmaat van de vakwerken lijdt toch materiaal- = CO₂ -besparing