

Het 2e leven van spoorstaven in een modulaire
demontabele spoortraverse

DEELRAPPORT 3
ONTWERP TRAVERSE

MARTIJN ZEGERS

Versie 14 augustus 2018

Contactinformatie

Afstudeerder:

Martijn Zegers

Studentnummer: 500723411

E: martijn.zegers@hva.nl

M: +31 6 54696863

Afstudeerbegeleiders:

1^e begeleider HvA:

Dr. Ir. M.P. Horikx

m.p.horikx@hva.nl

2^e begeleider HvA:

Ing. J. Falek MSE

j.falek@hva.nl

Externe begeleider:

Ir. A. van der Sluis

a.vdsluis@vanrossumbv.nl

Hogeschoolgegevens:

Hogeschool van Amsterdam

Adres: Weesperzijde 190, 1097 DZ Amsterdam

Telefoon : 020 5951111

Website: www.hva.nl

Faculteit: Techniek

Opleiding: Master Structural Engineering

Vakcode: Module 3.4 Proeve van bekwaamheid

Inhoudsopgave

1.	Uitgangspunten voor de tijdelijke traverse.	3
1.1	Definitieve afmetingen op basis van het literatuuronderzoek.....	3
1.2	Definitieve belastingen op basis van het literatuuronderzoek	5
1.3	Definitieve maten van de elementen op basis van het literatuuronderzoek	5
2.	Variantenonderzoek constructieve onderdelen.....	7
2.1	Alternatieven voor de langsliggers	7
2.2.1	Uitwerking langsliggers	8
2.2	Alternatieven vloerconstructie	10
2.2.1	Houten vloeren	10
2.2.2	Massieve betonnen vloeren	12
2.2.3	Staalplaat-beton vloeren	16
2.3	Alternatieven dakconstructie.....	18
2.3.1	Houten daken.....	19
2.3.2	Staalplaat daken.....	19
3.	Bepaling voorkeursvariant	20
3.1	Toelichting beoordelingsfactoren en wegingsfactoren.....	20
4.	Bibliografie	24
	Bijlage 1 Schattingsregels	26
	Bijlage 2 Tekening ontwerp traverse	29
	Bijlage 3 Beslissingsmatrix	30
	Bijlage 4 Constructief ontwerp traverse	31

1. Uitgangspunten voor de tijdelijke traverse.

In het literatuuronderzoek zijn conclusies getrokken, die betrekking hebben op:

- Afmetingen van een tijdelijke traverse,
- Belastingen die op een traverse kunnen werken en
- Afmetingen en gewichten van vervoer over de weg.

Verder is het referentieproject “Tijdelijke traverse station Driebergen-Zeist” beschouwd.

In dit hoofdstuk zijn deze conclusies gebruikt om de definitieve afmetingen van de traverse te bepalen, waaruit een ontwerp voor de modulaire demontabele traverse is ontstaan, gebaseerd op het referentieproject. Vervolgens zijn de definitieve belastingen op de traverse en de grootte van de modulaire elementen vastgesteld.

1.1 Definitieve afmetingen op basis van het literatuuronderzoek.

In het literatuuronderzoek zijn in paragraaf 4.1 de globale afmetingen bepaald van een spoortraverse, die voor een tijdelijke situatie bestemd is.

In Tabel 1-1 zijn, ter verificatie, de afmetingen van het literatuuronderzoek vergeleken met de opgemeten maten van het referentieproject (zie hoofdstuk 5 uit deelrapport 2 ‘Literatuuronderzoek’).

De laatste kolom geeft de waarden weer waarmee verder ontworpen is.

Tabel 1-1: Verificatie afmetingen literatuuronderzoek met referentieproject

Onderdeel	Literatuuronderzoek	Opgemeten Driebergen-Zeist	Ontwerp
Vrije breedte onder de traverse	37,0 m	33,5 m	37,0 m
Vrije hoogte onder de traverse tov bk spoor	8,4 m	8,8 m	8,4 m
Vrije inwendige breedte van de traverse	4,0 m	3,7 m	3,8 m
Vrije inwendige hoogte van de traverse	3,0 m	3,4 m	3,4 m
Vrije breedte van het stijgpunt	4,0 m	3,8 m	3,8 m

De grootste afwijkingen tussen het literatuuronderzoek en het referentieproject zijn de vrije breedte en de vrije hoogte onder de traverse.

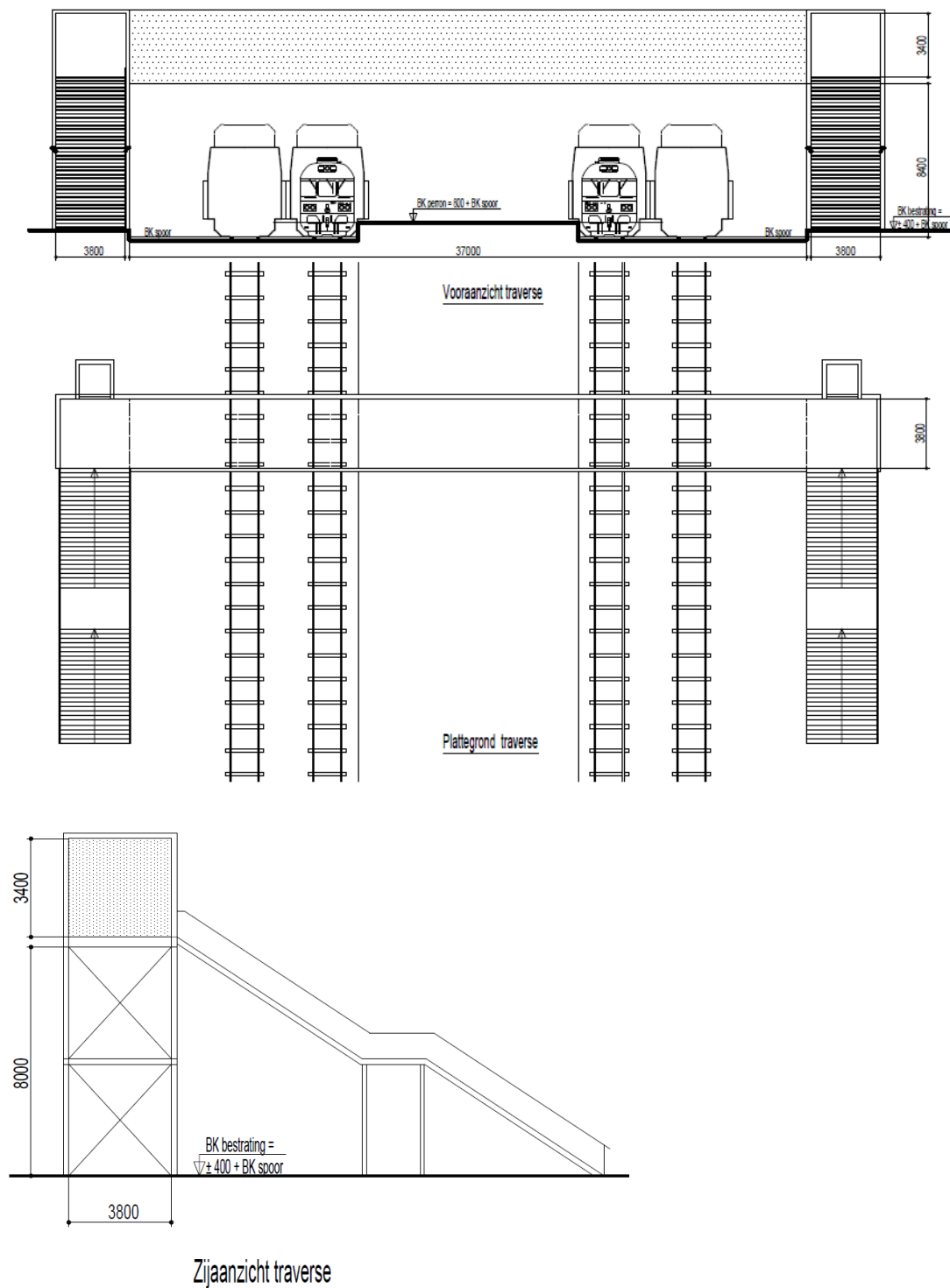
De afwijking van de vrije breedte van $37,0 - 33,5 = 3,5$ m heeft waarschijnlijk te maken met de wijze van fasering. Bij de opname van het referentieproject is geconstateerd dat de 2 bestaande sporen naar de westzijde zijn verlegd. Dit betekent dat later 2 nieuwe sporen aan de oostzijde gerealiseerd zullen gaan worden. In het literatuuronderzoek is uitgegaan dat de bestaande sporen eerst naar de nieuwe situatie helemaal oost en helemaal west verlegd worden en dat later 2 nieuwe sporen langs het nieuwe perron gemaakt worden. Dit laatste vergt meer vrije breedte onder de traverse.

Het verschil in vrije hoogte kan verklaard worden doordat het nieuwe perron verhoogd wordt aangelegd, zie literatuuronderzoek figuur 5-1 en figuur 5-2.

De breedte van de stijpunten en de inwendige vrije breedte van de traverse zijn aan elkaar gelijk gehouden en gelijk gehouden aan het referentieproject op 3,7 m.

In Figuur 1-1 zijn de vastgestelde waarden in een schetsontwerp voor de traverse weergegeven. Het hoogteverschil tussen perron en BK spoor bedraagt 0,8 m. De staalconstructie zal ca op perron hoogte worden aangelegd dus de hoogte onderkant traverse tot onderkant staalconstructie bedraagt 7,6 m.

De liften en de trappen worden in het onderzoek buiten beschouwing gelaten. Deze zijn ter indicatie getekend. De tekeningen zijn op A3-formaat in de bijlage 2 bijgevoegd.



Figuur 1-1: Schetsontwerp traverse (zie ook bijlage 2)

1.2 Definitieve belastingen op basis van het literatuuronderzoek

De belastingen uit het literatuuronderzoek zijn gebaseerd op de minimale eisen volgens NEN-EN1991-1-1, NEN-EN1991-1-3, NEN-EN1991-1-4. Omdat er geen hogere eisen door ProRail worden gesteld, zijn de onderstaande waarden uit Tabel 1-2 aangehouden.

Tabel 1-2: Waarden belastingen op de traverse

Belastingen op traverse :								
	Afkorting	Dak	Vloer	Gevels	Ψ_0	Ψ_1	Ψ_2	opm.
		kN/m ²	kN/m ²	kN/m ²				
Permanent	P_{Gk}	worden later vast gesteld			1,0	1,0	1,0	
Opgelegd vloer	P_{Qk}		5,00		0,6	0,7	0,6	wordt gezien als vluchtroute
Sneeuw	$P_{Qk;sn}$	0,56			0,0	0,2	0,0	
Wind	$P_{Qk;w}(12,5)$	1,09	1,09	1,09	0,0	0,2	0,0	

1.3 Definitieve maten van de elementen op basis van het literatuuronderzoek

In het literatuuronderzoek is onderzoek gedaan naar de gewichten en afmetingen die toegestaan zijn voor een transport van elementen/modules over de weg.

Hiervoor zijn 3 opties mogelijk:

- Toegestaan transport zonder ontheffing
- Toegestaan transport met een doorlopende ontheffing
- Toegestaan transport met een incidentele ontheffing

In Tabel 1-3 zijn de resultaten weergegeven.

Om snel en effectief te kunnen bouwen, moeten modules gemaakt worden voor:

- Vloer
- Dak
- Gevel
- Ondersteuning

De kleinste inwendige afmeting van deze elementen is 3,8 m, zie Tabel 1-1 Tabel 1-1: Verificatie afmetingen literatuuronderzoek met referentieproject.

Bij vervoer zonder ontheffing kan een maximale hoogte en breedte, zie Tabel 1-3, van respectievelijk 3,3 m en 2,55 m vervoerd worden.

Diagonaal gemeten wordt de maximale maat: $\sqrt{3,3^2 + 2,55^2} = 4,17$ m. Dit betekent dat er geen elementen naast elkaar geplaatst kunnen worden en er dus een zeer beperkt aantal elementen per trekker-oplegger getransporteerd kunnen worden. Nader onderzocht kan worden of effectiever vervoer over de weg kan plaatsvinden waarbij doorlopende of incidentele ontheffing wordt verkregen. De maximale lengte voor vervoer zonder ontheffing is 15,2 m, zie literatuuronderzoek.

In het verdere onderzoek wordt een maximale modulemaat van 4,1 m bij 15,0 m aangehouden, zodat de modules zonder ontheffing via de weg getransporteerd mogen worden.

Tabel 1-3: Gewichten en afmetingen transport over de weg

Gewichten en afmetingen transport over de weg			
Zonder ontheffing			
	trailer	semi-dieplader	Euro- dieplader
Lengte	16,5 m	n.v.t.	n.v.t.
Breedte	2,55 m	n.v.t.	n.v.t.
Hoogte	4,0 m	n.v.t.	n.v.t.
Gewicht	50.000 kg	n.v.t.	n.v.t.
Doorlopende ontheffing			
	trailer	semi-dieplader	Euro- dieplader
Lengte	27,0 m	27,0 m	27,0 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
Incidentele ontheffing			
	trailer	semi-dieplader	Euro- dieplader
Lengte	27,0 m	40,0 m	> 40,0 m
Breedte	3,50 m	4,50 m	> 4,50 m
Hoogte	4,20 m	4,50 m	> 4,50 m
Gewicht	100.000 kg	100.000 kg	> 100.000 kg

2. Variantenonderzoek constructieve onderdelen

De constructieve onderdelen van de traverse zijn gepositioneerd in de vlakken van de vloer, het dak en de gevel. De alternatieven worden later met elkaar vergeleken om tot een voorkeursvariant te komen. Bij de constructie van vloer en dak is rekening gehouden met de positionering van de gevel. De voorkeursvariant van de traverse zonder de ondersteuning is in het deelrapport 4 'Constructieve uitwerking voorkeursvariant' constructief verder uitgewerkt.

Als eerst zijn de constructieve alternatieven van de gevel onderzocht. In de vlakken van de gevels moet de vrije breedte onder de traverse overspannen worden met langsliggers. Deze zijn hierdoor in grote mate bepalend voor het ontwerp. De alternatieven van het dak en de vloer zijn afhankelijk van de keuze van de langsliggers. Daarom wordt gestart met het onderzoek van de langsliggers.

2.1 Alternatieven voor de langsliggers

De grote vrije breedte onder de traverse betekent dat er langsliggers met grote overspanningen van ca 37,0 m gemaakt moeten worden.

In staal komen voor deze overspanning de volgende alternatieven in aanmerking:

- Vlakke vakwerkliggers
 - Overspanning van ca. 10 m tot ruim 60 m mogelijk
 - Globale hoogte $L/15$ tot $L/10 = 2,5$ tot $3,7$ m
- Ruimtelijke vakwerkliggers
 - Overspanning van ca. 20 m tot ruim 60 m mogelijk
 - Globale hoogte $L/16$ tot $L/12 = 2,3$ tot $3,1$ m
- Volle wandbogen
 - Overspanning van ca. 20 m tot ruim 80 m mogelijk
 - Globale hoogte ca. $L/8$ tot $L/12 = 4,6$ m
- Vakwerkbogen
 - Overspanning van ca. 20 m tot ruim 80 m mogelijk
 - Globale hoogte ca. $L/8$ tot $L/12 = 4,6$ m

De overspannings- en hoogtematen zijn schattingsregels voor overspanningsconstructies afkomstig uit het boek: Tabellen voor bouw- en waterbouwkunde (R.Blok, 2014). Deze schattingsregels zijn terug te vinden in *bijlage 1*.

Gezien het onderwerp van het onderzoek zijn de andere constructiematerialen zoals hout, beton, vezel-versterkte composieten etc. voor de langsliggers NIET beschouwd.

Uit de schattingsregels is gebleken dat een constructiehoogte van 2,5 tot 4,6 m noodzakelijk is voor een overspanning van 37,0 m. Indien de langsliggers ONDER de traverse worden geplaatst, zal een verhoging van de vloer van de traverse noodzakelijk zijn om de vrije hoogte onder de traverse te waarborgen. Een integratie van de langsliggers in de gevels heeft hierdoor de voorkeur.

De volle wandbogen en de vakwerkbogen vallen af vanwege de grote benodigde hoogte. Ook de maximale vervoersmaten zijn hierbij een probleem.

Omdat de constructie bij voorkeur in de gevel geïntegreerd moet worden, heeft een vlakke vakwerkligger de voorkeur gekregen ten opzichte van een ruimtelijke vakwerkligger.

2.2.1 Uitwerking langsliggers

Voor de langsliggers is de vlakke vakwerkligger als beste alternatief naar voren gekomen. Door de voorkeur voor integratie in de gevel is de maximale hoogte van de vlakke vakwerkligger, de vrije hoogte van de traverse 3,4 m plus de constructiehoogte van de traverse-vloer en het traverse-dak. Met een voorlopige schatting voor de vloer en het dak van ca 350 mm, komt de totale hoogte h_t op:

$h_t = 0,35 + 3,4 + 0,35 = 4,1$ m. De dikte van de vakwerkligger $b_t = 0,16$ m.

De diagonale lengte $\approx h_t = 4,1$ m.

Dit is precies de vastgestelde vervoersmaat uit paragraaf 1.3. De systeemhoogte is de totale hoogte minus de profielhoogte.

Een voorlopige systeemhoogte is vastgesteld op 3,9 m.

Bij vakwerken is de voorkeur voor de hoek α van de diagonale ca 45° . In verband met krachtswerking en lasmogelijkheden geldt: $30^\circ \leq \alpha \leq 60^\circ$.

Met behulp van de formule voor α is de helling te berekenen als de vakwerkligger wordt opgedeeld in n vakken.

$$\alpha = \arctan \frac{h * n}{L}$$

Hierin is :

- h de systeemhoogte van de vakwerkligger, hier 3,9 m
- L de lengte van de vakwerkligger, hier 37,0 m
- n het aantal vakken waarin de vakwerkligger is opgedeeld

Door variatie van n is Tabel 2-1 ontstaan.

Rood betekent: voldoet NIET aan de eis voor krachtswerking en lasmogelijkheid.

Oranje betekent: is mogelijk maar geen optimale krachtsverdeling.

Groen betekent: goede krachtsverdeling en optimaal voor een lasverbinding.

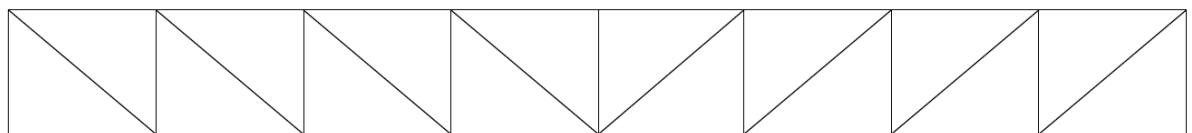
Verder geldt:

1. Hoe minder vakken hoe minder meters staaf er aangebracht moet worden.
2. Hoe meer vakken hoe kleiner de kniklengte van de bovenrand van de vakwerkligger is.
3. Even aantal vakken geeft een symmetrisch vakwerk.
4. Omdat de langsligger een totale lengte heeft van ruim 37,0 m zal de ligger in minimaal 3 delen gefabriceerd moeten worden om getransporteerd te kunnen worden.

In Figuur 2-1 zijn de opties 8 t/m 12 schematisch uitgewerkt. Omdat de opties 8 t/m 12 tot goede mogelijkheden leiden, zijn de oranje en rode opties niet verder bekeken.

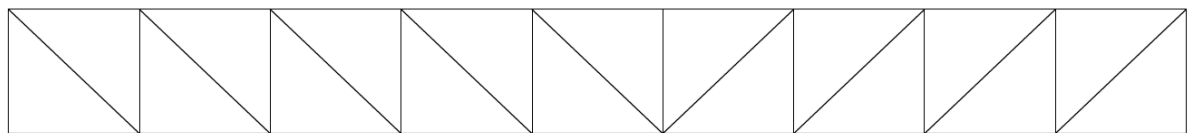
Tabel 2-1: Berekening hoek van de diagonaal en totaal aantal meters staaf

Berekening helling vakwerkliggers			
Lengte vakwerk L in [m]		37,0	
Hoogte vakwerk in [m]		3,9	totale lengte
n	hoek α	lengte vak in [m]	staven in [m]
5	27,8	7,40	139
6	32,3	6,17	145
7	36,4	5,29	151
8	40,1	4,63	157
9	43,5	4,11	164
10	46,5	3,70	171
11	49,2	3,36	177
12	51,7	3,08	184
13	53,9	2,85	191
14	55,9	2,64	198
15	57,7	2,47	206
16	59,3	2,31	213
17	60,8	2,18	220



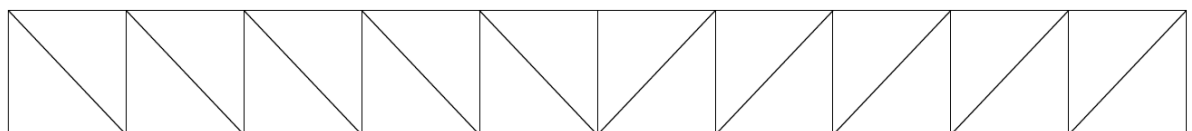
Optie n = 8 symmetrisch

8 * 4625



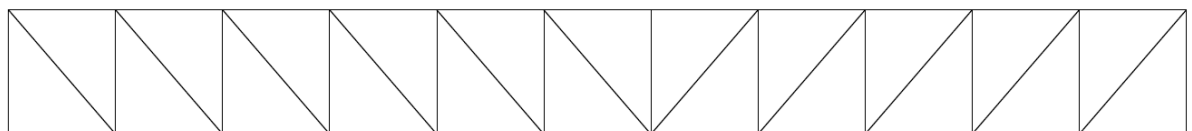
Optie n = 9 asymmetrisch

9 * 4111



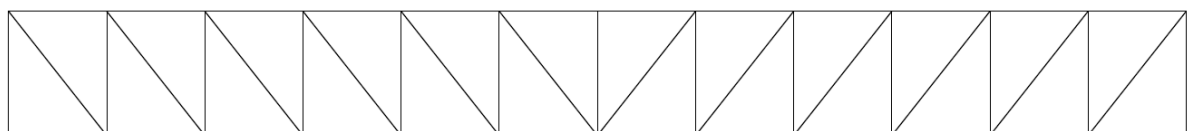
Optie n = 10 symmetrisch

10 * 3700



Optie n = 11 asymmetrisch

11 * 3364



Optie n = 12 symmetrisch

12 * 3083

Figuur 2-1: Mogelijke opties met 8 – 12 vakken

2.2 Alternatieve vloerconstructie

Vanwege de vorm van de spoorstaven moeten buigende momenten zoveel mogelijk voorkomen worden en moeten de vloerliggers bij voorkeur in de knopen van de langsliggers aansluiten.

De volgende vloertypen zijn onderzocht.

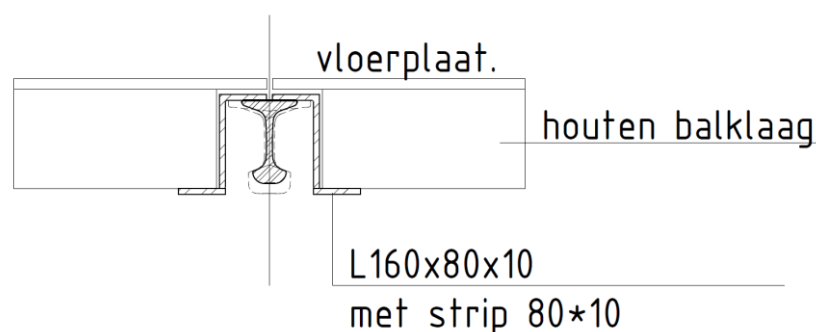
- Houten vloeren
- Massieve betonvloeren
- Staalplaat-betonvloeren

Vanwege het demontabel bouwen van de traverse zullen ook deze onderdelen modulair gefabriceerd moeten worden.

De inwendige breedte van de traverse is 3,8 m. Dit houdt in dat ook deze elementen, deze breedtemaat hebben en dus schuin vervoerd moeten worden.

2.2.1 Houten vloeren

Om snel te kunnen monteren worden eerst spoorstaven als liggers in de knopen van de onderranden van de vakwerkliggers gemonteerd. Op deze liggers worden de houten vloer-elementen opgelegd. Voor een eenvoudige en snelle montage worden de houten elementen voorzien van hoekprofielen met aangelaste strips, zie Figuur 2-2.



Figuur 2-2: Principe-detail oplegging houten vloer element op spoorstaaf

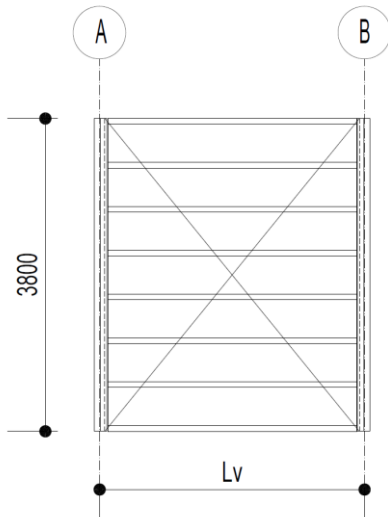
De afmetingen van de houten liggers zijn in te schatten met de schattingsformules (R.Blok, 2014) zie *bijlage 1*.

- $h = L_v/15$
- $b = h/3,5$

Als gewicht van de houten vloeren, inclusief de stalen hoekprofielen en vloerplaten, leidingen en afwerking onderzijde, is $P_{G,k} = 0,7 \text{ kN/m}^2$ aangehouden.

In Figuur 2-3 is de eenvoudigste belastingafdracht van een houten-vloer (optie H1) weergegeven.

De afmetingen zijn bepaald met de schattingsformules en zijn verwerkt in Tabel 2-2. Houten balken tot afmetingen $b * h = 70 * 245$, zijn gangbare maten. Deze krachtsafdracht is daarom alleen mogelijk voor opties $n=11$ en $n = 12$.

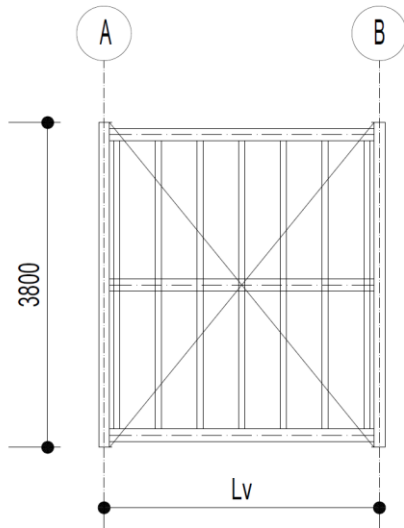


Figuur 2-3: Belastingafdracht houten vloer H1

Tabel 2-2: Balkafmetingen houtenbalklaag H1

Houten balklaag vloer zonder tussenondersteuning				
	L_v	$L_{\text{houten balk}}$	h	b
optie	mm	mm	mm	mm
n=8	4625	4625	308	88
n=9	4111	4111	274	78
n=10	3700	3700	247	70
n=11	3364	3364	224	64
n=12	3083	3083	206	59

Figuur 2-4 geeft een alternatief voor toepassing van een houten vloer H2. De lengte van de houten balken zijn voor de 5 opties gelijk, dus krijgen de opties dezelfde balklaag. Tabel 2-3 **Error! Reference source not found.** geeft de houtafmetingen weer voor dit alternatief. Bij dit alternatief zijn 3 extra spoorstaven met een lengte van L_v extra benodigd.



Figuur 2-4: Alternatief belastingafdracht houten vloer, H2

Tabel 2-3: Balkafmetingen houten balklaag, H2

Houten balklaag vloer met tussenondersteuning				
	L_v	$L_{\text{houten balk}}$	h	b
optie	mm	mm	mm	mm
n=8	4625	1900	127	36
n=9	4111	1900	127	36
n=10	3700	1900	127	36
n=11	3364	1900	127	36
n=12	3083	1900	127	36

2.2.2 Massieve betonnen vloeren

De elementen voor de vloeren worden bij Railpro gefabriceerd. Deze vloeren worden op de kop gestort, zodat de stortzijde aan de onderzijde van de vloer komt. Op deze wijze ontstaat een glad loopoppervlak, zodat er naderhand geen dekvloer meer hoeft te worden aangebracht.

In de vloer worden direct de spoorstaven met opgelaste deuvelds ingestort, zodat de liggers als een staal-betonligger gaan fungeren.

Opties voor de overspanningsrichtingen van de betonvloer zijn in de langsrichting van de traverse (B1) of in de dwarsrichting van de traverse (B2).

Bij optie B1 worden vloerelementen direct ter plaatse van de knopen in de onderrand van de vakwerkliggers verbonden met de vakwerkwerkliggers.

Met behulp van benaderingsformules voor de slankheid van vloeren (Braam, 2010), Tabel 2-4, is de dikte van de betonnen vloeren bepaald.

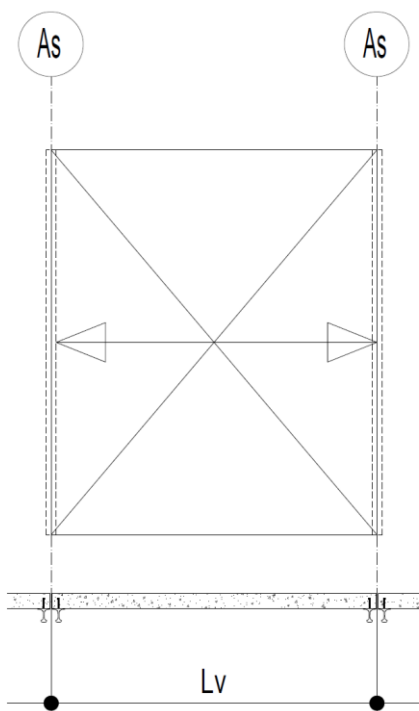
Tabel 2-4: Benaderingsformules voor de slankheid van vloeren (Braam, 2010)

schema	l_{eff}/d ($l_{\text{eff}} \leq 7,0$ m)	l_{eff}/d ($l_{\text{eff}} > 7,0$ m)
	25	$175/l_{\text{eff}}$
	32	$225/l_{\text{eff}}$
	35	$245/l_{\text{eff}}$

Voor een enkel veld (optie B1.1), zie Figuur 2-5 is de volgende formule gebruikt:

- $h = L_v / (25 * 0,9) = L_v / 22,5$

De factor 0,9 is toegevoegd in verband met de omrekening van hoogte h naar nuttige hoogte d. De vuistregel $d \approx 0,9 h$ is hierbij toegepast. De hoogte h en het gewicht per oppervlakte is per optie weergegeven in Tabel 2-5.



Figuur 2-5: Massieve betonnen vloer als enkel veld, B1.1

Nadelen van deze optie (B1.1) zijn:

- Het grote gewicht van de massieve betonvloer, zie Tabel 2-5
- Geen optimaal gebruik van de spoorstaaf als staal-beton ligger doordat geen T-balk maar slechts een L-balk vorm gecreëerd is.
- De vloer-elementen worden ter plaatse van de staal-betonliggers direct gekoppeld aan de vakwerkliggers. Bij de montage zal een tijdelijke koppeling van de onderranden van de vakwerkliggers gemaakt moeten worden.

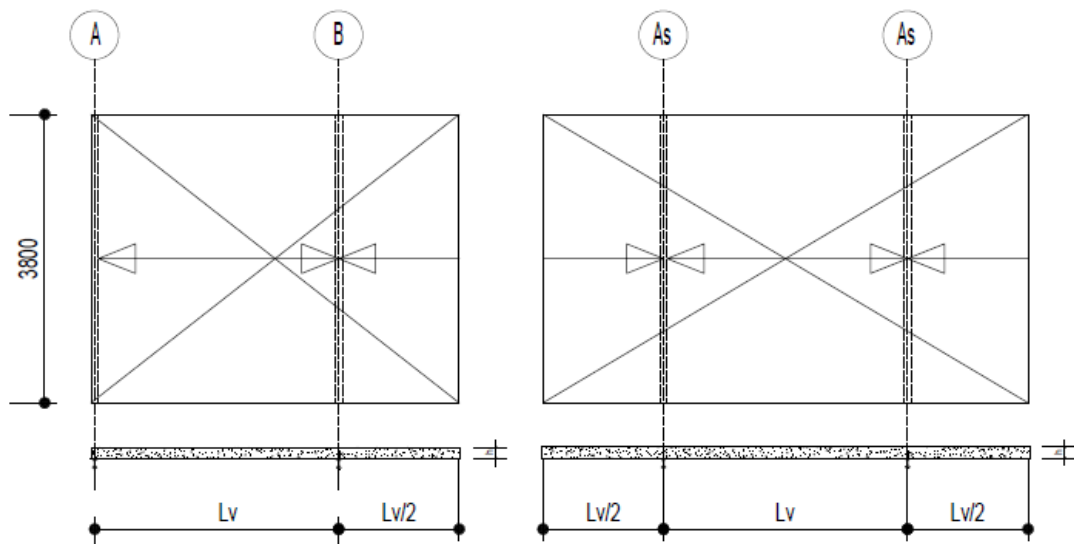
Voordeel van deze optie is:

- Per as zijn uit uitvoerings-oogpunt slechts 2 spoorstaven nodig.

Tabel 2-5: Hoogte en gewicht per m² van een massieve betonnen vloer, B1.1

massieve betonnen vloer, 1 veld (B1)				
	L _v	h _{req}	h _{appl}	P _{G,eg}
optie	mm	mm	mm	kN/m ²
n=8	4625	206	200	4,80
n=9	4111	183	180	4,32
n=10	3700	164	160	3,84
n=11	3364	150	150	3,60
n=12	3083	137	140	3,36

Een optimalisatie (B1.2) zou kunnen zijn als de vloer-elementen niet als een enkel veld maar als vloer-elementen met 1 overstek en 2 overstekken uitgevoerd worden. Zie Figuur 2-6. Om te voorkomen dat er "gat" ontstaat tussen de vloer-elementen moet de lengte van het overstek ongeveer een halve veldlengte bedragen.



Figuur 2-6: Eind- en midden-element massieve vloer met doorsneden, B1.2

Voor een veld met overstek, wordt de volgende formule gebruikt, zie Tabel 2-4. Het overstek reageert als een inklemming.

- $h = L_v / (32 * 0,9) = L_v / 29$

Echter voor het overstek geldt dezelfde schattingsformule die gebruikt is bij optie B1.1, echter hier moet 2 maal de lengte van het overstek is $2x L_v / 2 = L_v$ in rekening worden gebracht. Daardoor blijft de dikte van de plaat gelijk aan de dikte van optie B1.1.

Voordeel is:

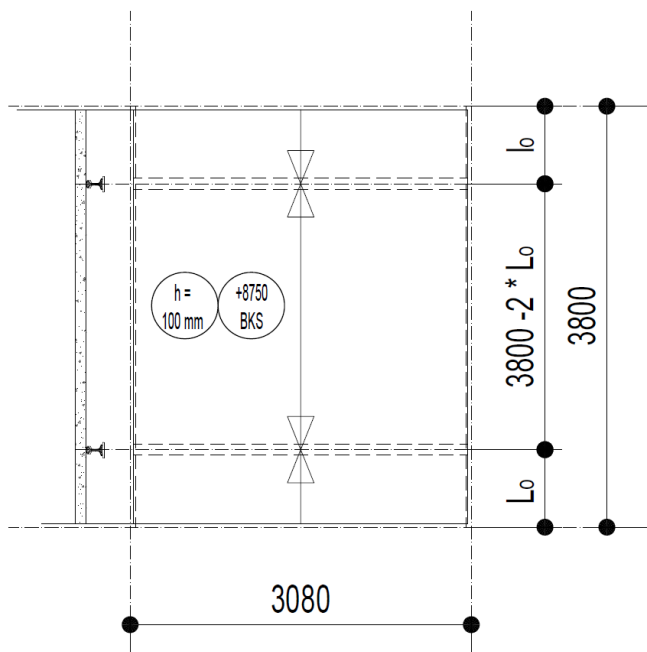
- Grotere elementen, dus minder montage handelingen.
- De spoorstaaf kan als in de maatgevende situaties als een T-vormige staal-beton ligger worden uitgevoerd.

Nadelen zijn:

- Het grote gewicht van de massieve betonvloer als bij optie B.1.1, zie Tabel 2-5
- Kan alleen uitgevoerd worden met 2 eindvelden en x tussen velden. Dus geldt: $2 * 1,5 * L_v + x * 2 * L_v$, dus uitsluitend bij oneven aantal velden, dus alleen bij optie n = 9 en n = 11.
- Er moet een tijdelijke koppeling van de onderranden van de vakwerkliggers gemaakt worden.

Bij optie B2 worden de vloerelementen op gelijke wijze als bij optie B1 gefabriceerd. Uit optie B1 zijn de nadelen van het gewicht al besproken en daarbij de optimalisatie om met overstekken te werken geopperd. Echter de overstekken moeten kleiner worden dan een halve veldlengte. Door het toepassen van spoorstaven als definitieve koppeling tussen de onderranden van de vakwerkliggers is hiermee ook direct de oplegging gecreëerd voor de oplegging van de vloer elementen.

In Figuur 2-7 is deze optie B2 weergegeven.



Figuur 2-7: Vloer-element met 2 overstekken, optie B2

Ideaal is de situatie waarbij het veld en het steunpuntsmoment ongeveer aan elkaar gelijk zijn. Hierbij gelden de volgende 3 vergelijkingen:

1. $|M_{st}| = |M_v| \rightarrow |1/2 * q * L_0^2| = |-1/2 * q * L_0^2 + 1/8 * q * L_v^2|$
2. $L = 2 * L_0 + L_v$
3. $L_0 = \alpha * L$

Oplossen van deze vergelijkingen geeft $\alpha = 0,207$.

Hieruit volgt:

- $L_0 = 0,207 * L = 0,207 * 3800 \approx 0,75$

- $L_v = 0,586 * L = 0,586 * 3800 \approx 2,30$

Voor een veld met 2 overstekken, zie Tabel 2-4 is de volgende formule gebruikt:

- $h = L_v / (35 * 0,9) = L_v / 32$

De minimale vloerdikte volgens de normen is 80 mm. Voor een traverse met een opgelegde belasting van $5,0 \text{ kN/m}^2$, is dit ook erg weinig, derhalve is een minimale dikte van 100 mm vastgesteld. Het gewicht van deze vloer is in Tabel 2-6 weergegeven.

Tabel 2-6: Hoogte en gewicht per m^2 van een massieve betonnen met 2 overstekken vloer(B2)

massieve betonnen vloer met 2 overstekken (B2)				
	L_v	h_{req}	h_{appl}	$P_{G, \text{eg}}$
optie	mm	mm	mm	kN/m^2
n=8	2300	72	100	2,40
n=9	2300	72	100	2,40
n=10	2300	72	100	2,40
n=11	2300	72	100	2,40
n=12	2300	72	100	2,40

Voordelen zijn:

- Duidelijk lager gewicht door de kleinere vloerdikte.
- Er hoeft geen tijdelijke koppeling van de onderranden van de vakwerkliggers gemaakt worden.
- Door de lengte van het overstek aan te passen kan het moment en de doorbuiging in de spoorstaaf die dient als oplegging van de vloer-elementen geoptimaliseerd worden.
- Is voor alle opties mogelijk.

Nadeel is:

- Per as zijn 3 spoorstaven nodig.

2.2.3 Staalplaat-beton vloeren

Voor de staalplaat-betonvloer kunnen voor de elementen dezelfde opties SB1.1, SB1.2 en SB2 als bij de massieve betonvloer gebruikt worden. Hierbij wordt de staalplaat al op de spoorstaven bevestigd voor het storten. De toegepaste deuvels zorgen voor de werking van de spoorstaaf in combinatie met de staalplaatbetonvloer als staal-betonligger.

Het verschil met de massieve vloer is, dat de stortzijde nu de bovenzijde van het beton is. De bovenzijde van de staalplaat-betonvloer moet gedurende de verharding van het beton constant behandeld worden, om een zo glad mogelijk loopoppervlak te krijgen.

Met behulp van de online rekensheet van Dutchengineering (Dutchengineering, 2018) is de dikte en het gewicht van de vloeren bepaald.

Bij aanwezigheid van een overstek van de vloer is dezelfde dikte aangehouden als bij de massieve betonnen vloer. Bij staalplaat-betonvloeren is 120 mm de minimale dikte.

In Tabel 2-7 worden voor de opties SB1.1, SB1.2 en SB2 de dikte, het gewicht per m² en de gewichtsreductie ten opzichte van de massieve betonnen vloer weergegeven.

Tabel 2-7: Vloerdikte staal-betonvloer met type, gewicht per m² en gewichtsreductie ten opzichte van een massieve plaat

Staalplaat-beton vloer ComFlor					
SB1.1	Lv	h _{appl}	ComFlor	P _{G,egg}	gewichtsreductie
optie	mm	mm	type	kN/m ²	% t.o.v. massieve vloer
n=8	4625	150	95/0,90	2,64	55,0%
n=9	4111	130	75,0,90	2,38	55,1%
n=10	3700	120	E60/1,20	2,12	55,2%
n=11	3364	120	E60/0,90	2,09	58,1%
n=12	3083	120	E60/0,90	2,09	62,2%
Staalplaat-beton vloer ComFlor met overstek					
SB1.2	Lv	h _{appl}	ComFlor	P _{G,egg}	gewichtsreductie
optie	mm	mm	type	kN/m ²	% t.o.v. massieve vloer
n=8	4625	200	100/0,90	3,42	71,3%
n=9	4111	180	100,0,90	2,95	68,3%
n=10	3700	160	95/1,20	2,87	74,7%
n=11	3364	150	95/0,90	2,64	73,3%
n=12	3083	140	E60/0,90	2,56	76,2%
Staalplaat-beton vloer ComFlor met overstek					
SB2	Lv	h _{appl}	ComFlor	P _{G,egg}	gewichtsreductie
optie	mm	mm	type	kN/m ²	% t.o.v. massieve vloer
n=8	2300	120	E60/0,90	2,09	87,1%
n=9	2300	120	E69/0,90	2,09	87,1%
n=10	2300	120	E60/0,90	2,09	87,1%
n=11	2300	120	E69/0,90	2,09	87,1%
n=12	2300	120	E60/0,90	2,09	87,1%

Voordeel ten opzichte van de massieve vloeren is:

- In een lager gewicht ten opzichte van een massieve vloer.

Nadeel is:

- Om een glad loopoppervlak te krijgen is een zorgvuldige nabehandeling van het stortoppervlak noodzakelijk.

Een voorbeeld van de berekening met de rekensheet is weergegeven in Figuur 2-8.

Ontwerpprogramma Staalplaat-betonvloeren

Gegevensinvoer

Algemeen - Vloer:
 Overspanning - de overspanning en/of de vloerdikte moet gegeven zijn
 Vloerdikte - de overspanning en/of de vloerdikte moet gegeven zijn
 Aantal velden die één staalplaat tijdens de constructiefase overspant
 Aantal velden die een SPBV in gerede toestand overspant (gelijke overspanning)
 Vloer onderdeel staal-betonligger - deuvels op ligger
 Brandwerendheid van de vloer (brand van onder naar boven)

Permanente belasting:
 Cement gebonden afwerklaag
 Plafond en leidingen
 Som permanente belasting G:

Nuttige belasting:
 Opgelegde belasting
 Lichte scheidingswanden: 1-2-3 kN/m¹ = 0.5/0.8/1.2 kN/m²
 Som nuttige belasting Q:

mm
 mm

mm
 kN/m²
 kN/m²
 kN/m²
 kN/m²
 kN/m²

Resultaten

Staalplaat	Plaatdikte	ComFlor 46		ComFlor 51+		ComFlor E60		ComFlor 75		ComFlor 95		ComFlor 100		ComFlor 210		ComFlor 225	
		0,90	1,20	0,90	1,20	0,90	1,20	0,90	1,20	0,90	1,20	1,00	1,25	1,25			
Stempelvrije ontwerpen																	
Maximale overspanning	mm	-	-	-	-	-	3083	3083	-	3083	-	3083	-	3083	-	3083	-
Minimale vloerdikte	mm	-	-	-	-	-	120	120	-	150	-	170	-	270	-	285	-
Betonvolume	l/m ²	-	-	-	-	-	98	99	-	120	-	123	-	114	-	138	-
Eigen gewicht	kN/m ²	-	-	-	-	-	2,43	2,43	-	2,95	-	3,02	-	2,81	-	3,43	-
Prijsnivo	%	-	-	-	-	-	107%	100%	-	111%	-	113%	-	137%	-	159%	-
Gestempelde ontwerpen																	
Maximale overspanning	mm	3083	-	3083	-	3083	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Minimale vloerdikte	mm	120	-	120	-	120	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Betonvolume	l/m ²	101	-	111	-	85	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Eigen gewicht	kN/m ²	2,47	-	2,74	-	2,09	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Prijsnivo	%	105%	-	122%	-	108%	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

= Stempelvrij ontwerp
 = Gestempeld ontwerp
 = Voordeligste ontwerp
 = Lichtste ontwerp

Figuur 2-8: Voorbeeld van de rekensheet gebruikt voor de optie SB1.1 met veldlengte 3083 mm. (Dutchengineering, 2018)

2.3 Alternatieven dakconstructie

Een belangrijke eigenschap voor het platte dak voor de traverse is de waterdichtheid. Om een waterdichte aansluiting tussen de dak-elementen te verkrijgen zullen in ieder geval de aansluitingen met de dakbedekking geplakt moeten worden. Omdat er behalve de waterdichtheid nauwelijks eisen aan het dak gesteld worden, zoals geen isolerende, geen warmte-accumulatieve eisen en nauwelijks een draagfunctie, komt hier een zo licht en eenvoudig mogelijke constructie het meest tot zijn recht.

De twee mogelijkheden zijn:

- Houten daken
- Staalplaat daken

2.3.1 Houten daken

Houten daken zijn vergelijkbaar met de houtenvloeren, alleen gelden er iets andere kengetallen voor de hoogte bepaling. (R.Blok, 2014).

- $h = L_v/22$
- $b = h/3,5$

Voor de belastingafdracht die hoort bij Figuur 2-3 zijn de afmetingen bepaald zoals weergegeven in Tabel 2-8.

Tabel 2-8: Balkafmetingen houten balklaag dak

Houten balklaag dak zonder tussenondersteuning				
	L_v	$L_{\text{houten balk}}$	h	b
optie	mm	mm	mm	mm
n=8	4625	4625	210	60
n=9	4111	4111	187	53
n=10	3700	3700	168	48
n=11	3364	3364	153	44
n=12	3083	3083	140	40

Gezien de afmetingen uit Tabel 2-8 heeft de alternatieve belastingafdracht zoals bij de houten vloeren geen zin.

2.3.2 Staalplaat daken

Zoals eerder genoemd heeft het dak geen isolerende functie. Stalen dakplaten zijn er voor zowel in een "koud dak-" als in een "warm dak-" variant. Op de warmdakplaat wordt isolatie aangebracht. Omdat het isoleren hier niet nodig is en alleen extra kosten met zich mee brengt, valt deze mogelijkheid af. Het koude dak is ook direct de afwerking van het dak. Dit levert bij regen echter een onaangenaam hoog geluidsdruk niveau, waardoor ook deze optie niet verder wordt uitgewerkt.

3. Bepaling voorkeursvariant

In hoofdstuk 2 zijn de opties voor de constructieve onderdelen: langsliggers, vloer en dak onderzocht.

De langsliggers (vakwerkliggers) kunnen op gedeeld worden in n vakken waarbij $8 \leq n \leq 12$. Dus 5 opties.

Voor de vloer zijn als opties 2 houten vloer H1 en H2, 3 massieve betonvloeren B1.1, B1.2 en B2 en 3 staal-betonvloeren BS1.1, BS1.2 en BS2 bekeken.

Voor het dak zijn de opties hout en staal onderzocht.

De keuze voor het aantal vakken n voor de vakwerkligger heeft invloed op het gewicht van de massieve en staal-betonvloeren uitsluitend bij de opties B1.1, B1.2, SB1.1 en SB1.2 maar niet op H1, H2, B2 en SB2. Een kleine n geeft een grote tussenlengte, waardoor bij de bovenrand van de vakwerkligger een grotere kniklengte ontstaat.

Om in één oogopslag de juiste combinatie te kiezen, is daarom niet mogelijk. Hierdoor is er een beslissingsmatrix, Tabel 3-2, opgesteld.

Er is gekozen de combinatie van opties te beoordelen op de volgende 4 aspecten:

- Gewicht van het element
- Gebruik spoorstaven
- De kans en de mogelijkheid om de constructie te optimaliseren
- Uitvoeringsaspecten en gebruikscomfort

Aan de aspecten worden wegingsfactoren toegekend.

Voor de beoordeling is gekozen voor het systeem:

- neutraal (0 punten)
- positief (1 punt)
- negatief (-1 punt)

3.1 Toelichting beoordelingsfactoren en wegingsfactoren.

Het gewicht, P_G in kN/m^2 , van de elementen bepaalt in grote mate de grootte van momenten, normaalkrachten en doorbuiging van de elementen en werkt door tot in de fundering. Bij hergebruik van de traverse moet de traverse gedemonteerd en vervoerd worden. Een hoger gewicht heeft een negatieve invloed op de CO_2 -emissie bij deze activiteiten. Hierdoor is een wegingsfactor van 2 toegekend. Bij het opstellen van de varianten zijn de waarden voor P_G bepaald.

- $P_G \leq 1,5 \text{ kNm}^2$, positief
- $1,5 < P_G \leq 2,5 \text{ kNm}^2$, neutraal
- $P_G > 2,5 \text{ kNm}^2$, negatief

De totale staaf lengte neemt toe naarmate het aantal vakken n toeneemt. In de beslissingsmatrix is de staaf lengte aangegeven en daarbij een percentage (%) ten opzichte van de laagste waarde voor de lengte. Gelijktijdig met de toename van de

lengte neemt ook het aantal knopen en dus verbindingen toe. Het aantal montage-verbindingen blijft echter gelijk. De spoorstaven zijn al beschikbaar. Hierdoor is een wegingsfactor van 1 toegekend.

- $100\% \leq \% \leq 110\%$, positief
- $110\% < \% \leq 120\%$, neutraal
- $\% > 120\%$, negatief

Omdat de onderzoeksvraag constructieve toepassing van gebruikte spoorstaven betreft, is er overwegend 1 profielsoort voor het constructieve staal beschikbaar. Door deze beperking moet de kans dat constructieve ingrepen (bijvoorbeeld voorkomen van knik van de bovenrand van de vakwerkligger) noodzakelijk zijn, beperkt blijven en de mogelijkheid tot optimalisatie juist groot zijn. Hierdoor is een wegingsfactor van 3 toegekend. De kans wordt als klein beschouwd bij $L_v < 3500$ mm en groot bij $L_v > 3500$ mm, zie hiervoor Tabel 3-2. Voor de optimalisatiemogelijkheid wordt verwezen naar de behandeling van de voor- en nadelen bij de opties. Dit aspect is uitsluitend van toepassing bij de vloeren.

- Kans klein en optimalisatie mogelijk , positief
- Kans klein en optimalisatie niet mogelijk, neutraal
- Kans groot en optimalisatie mogelijk, neutraal
- Kans groot en optimalisatie niet mogelijk, negatief

Uiteraard moet de traverse na fabricage gemonteerd (uitvoering) en daarna gebruikt (comfort) worden. Ondanks dat dit 2 verschillende aspecten zijn, zijn deze onder 1 noemer geschaard. Het verschil in uitvoering van de elementen betreft de eventuele toepassing van tijdelijk hulpstaal en of er extra arbeid voor het vlak maken van de vloer noodzakelijk is. Onder comfort wordt verstaan, geluid door bijvoorbeeld weersomstandigheden en kans op hinderlijke trillingen. Vanwege de tijdelijke aard van de traverse wordt het comfort minder belangrijk en daardoor niet apart gewogen, maar samen gewogen met uitvoering. Omdat het aantal keren van hergebruik beperkt zal blijven is de wegingsfactor 2.

Middels een extra hulpmatrix, Tabel 3-1, is de waardering opgesteld.

Tabel 3-1: Hulpmatrix beoordeling uitvoering en comfort

	uitvoerbaar	hulp	vlak	trillingen	geluid	score
Vloer hout H1		1	1	-1		1
Vloer hout H2		1	1	-1		1
vloer massief B1.1		-1	1	1		1
vloer massief B1.2		-1	1	1		1
vloer massief B2		1	1	1		3
Vloer staalplaat-beton SB1.1		-1	-1	1		-1
Vloer staalplaat-beton SB1.2		-1	-1	1		-1
Vloer staalplaat-beton SB2		1	-1	1		1
						0
Dak hout					1	1
Dak staal					-1	-1

In de beslissingsmatrix, Tabel 3-2, is de volgende toekenning gebaseerd op:

- score > 1 , positief
- $-1 \leq \text{score} \leq 1$, neutraal
- score < -1, negatief

Tabel 3-2: Beslissingsmatrix

Beslissingsmatrix																				
optie	n=8				n=9				n=10				n=11				n=12			
Lv [m]	4625				4111				3700				3364				3083			
helling diagon. [α°]	40,1				43,5				46,5				49,2				51,7			
Σ lengte staven [m]	157				164				171				177				184			
%	100%				104%				109%				113%				117%			
	gewicht elementen	staaflengte	kans en mogelijkheid optimalisatie	uitvoering en comfort	gewicht elementen	staaflengte	kans en mogelijkheid optimalisatie	uitvoering en comfort	gewicht elementen	staaflengte	kans en mogelijkheid optimalisatie	uitvoering en comfort	gewicht elementen	staaflengte	kans en mogelijkheid optimalisatie	uitvoering en comfort	gewicht elementen	staaflengte	kans en mogelijkheid optimalisatie	uitvoering en comfort
weegfactor	2	1	3	2	2	1	3	2	2	1	3	2	2	1	3	2	2	1	3	2
Vloer hout H1	1	1	-1	-1	-2	1	1	-1	-1	-2	1	1	-1	-1	-2	1	0	0	0	2
Vloer hout H2	1	1	-1	0	0	1	1	-1	0	0	1	1	-1	0	0	1	0	0	0	2
vloer massief B1.1	-1	1	-1	0	-4	-1	1	-1	0	-4	-1	1	-1	0	-4	-1	0	0	0	-2
vloer massief B1.2	-1	1	-1	0	-4	-1	1	-1	0	-4	-1	1	-1	0	-4	-1	0	0	0	-2
vloer massief B2	0	1	0	1	3	0	1	0	1	3	0	1	0	1	3	0	0	1	1	5
Vloer staalplaat-beton SB1.1	-1	1	-1	-1	-6	0	1	-1	-1	-4	0	1	-1	-1	-4	0	0	0	-1	-2
Vloer staalplaat-beton SB1.2	-1	1	-1	-1	-6	-1	1	-1	-1	-6	-1	1	-1	-1	-6	-1	0	0	-1	-4
Vloer staalplaat-beton SB2	0	1	0	0	1	0	1	0	0	1	0	1	0	0	1	0	0	1	0	3
Dak hout	1	1	-1	1	2	1	1	-1	1	2	1	1	-1	1	2	1	0	0	1	4
Dak staal	1	1	-1	-1	-2	1	1	-1	-1	-2	1	1	-1	-1	-2	1	0	0	-1	0

In bijlage 3 is de beslissingsmatrix vergroot weergegeven.

Uit de beslissingsmatrix wordt duidelijk dat een verdeling van de vakwerkligger in 11 of 12 vakken de voorkeur heeft, waarbij een massieve betonnen vloer optie B2, dus de overspanning van het beton loodrecht op de traverse richting en een houten dak.

Er is gekozen om de vakwerklijger in $n = 12$ vakken gekozen vanwege de symmetrie van de traverse.

Het constructieve ontwerp van de traverse gebaseerd op de beslissingsmatrix is bijgevoegd in bijlage 4.

In deelrapport 4 'Constructieve uitwerking voorkeursvariant in spoorstaven' is verder ingezoomd op de constructieve aspecten van de traverse.

4. Bibliografie

- Aan de Stegge BV. (2018). *www.adst.nl*.
- Arcadis. (2011). *Stationsgebied Driebergen-Zeist Fase 2B*.
- Arcadis. (2011). *Stationsgebied Driebergen-Zeist Planstudie fase 2B, 0756646080:C*. Amersfoort.
- Bouwen met staal. (2001). *Demonstratieproject IFD-bouwen in vernieuwende staalframebouw*. Bouwen met staal.
- Braam, D. I. (2010). *Constructieleer Gewapend Beton*. Boxtel: Aeneas Media.
- DHV. (2010). *Dominatie-analyse scope 3*. Amersfoort.
- Dutchengineering. (2018, 08 01). Opgehaald van Dutchengineering downloads: <https://www.dutchengineering.nl/Nederlands/page/Website/Downloads/e/p/m/84/>
- en.demarec.nl. (2018, maart 6). *en.demarec.nl*. Opgehaald van Demarec RC-30 Rail Cutter: <http://en.demarec.nl/portal/products/rail-cutter>
- Esveld, P. C. (2005). *Geometrisch en constructief ontwerp van wegen en spoorwegen Deel D*. Delft: TU Delft.
- Europese commissie. (2015). *Mededeling van de commissie aan het Europees parlement, de Raad, het Europees economisch en sociaal Comité en het comité van de Regio's*. Brussel: Europese Commissie.
- Grunbauer. (2018). Opgehaald van <http://www.grunbauer.nl/ned/thq-kolomverbinding.htm>.
- Hagelaars, J. (2015, december 14). *Klimaatverandering*. Opgehaald van COP21-Het klimaatakkoord van Parijs: <https://klimaatverandering.wordpress.com/2015/12/14/cop21-het-klimaatakkoord-van-parijs-2015/>
- Intergovernmental Panel on Climate Change. (2014). *Climate Change 2014, Mitigation of Climate Change*. WMO UNEP.
- Janssens, B. (2014, oktober 12). *Over duurzaamheid*. Opgehaald van zeelandnet.nl: <http://www.zeelandnet.nl/weblog/bduurzaam/bericht/215315?setcookie=true>
- Jonkers, D. H. (2018). *Materials & Ecological Engineering*. Delft: TU Delft Faculty of Civil Engineering & Geosciences.
- Nederlandse Norm. (2017). *NEN-EN 13674-1+A1*. NEN.
- (2017). *NEN-EN 13674-1:2011 + A1:2017*. NEN.
- Prorail. (2012). *Spoorstaafgebreken*.
- Prorail. (2015). *Instandhoudingsspecificaties*. Prorail.
- Prorail. (2016). *Identificatie en typering van spoorstaafdefecten*.
- Prorail Productbeheer. (2005). *Instandhoudingsdocument*.
- R.Blok. (2014). *Tabellen voor bouw- en waterbouwkunde 10e druk*. Amersfoort: ThiemeMeulenhoff.
- RDW. (2012). *regelingen voertuigen*.
- SBR-CUR-net. (2015). *Bepaling van de milieuprestaties van gebouwen en gww-werken*.

stationsgebied Driebergen-Zeist. (2018). Opgehaald van
<https://www.youtube.com/watch?v=ZOFGapzIif0>
Treinreiziger.nl. (2009, november 17). *ProRail bouwt perron nieuwe stijl op station
Leiden Centraal*. Opgehaald van Treinreiziger.nl:
[https://www.treinreiziger.nl/prorail-bouwt-perron-nieuwe-stijl-op-station-
leiden-centraal/](https://www.treinreiziger.nl/prorail-bouwt-perron-nieuwe-stijl-op-station-leiden-centraal/)

Bijlage 1 Schattingsregels

benaming	doorsnede	h	opmerking	gangbaar overspanningsgebied															
VLOERCONSTRUCTIES				$l =$	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75
staalplaat-betonvloeren		$\frac{1}{20} - \frac{1}{25} l$																	
(staalplaat-) betonvloeren met I- balken		$\frac{1}{20} - \frac{1}{25} l$																	
(staalplaat-) betonvloeren met vakwerkligger		$\approx \frac{1}{15} l$																	
DAKCONSTRUCTIES				$l =$	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75
geprofileerde staalplaat		$\frac{1}{50} - \frac{1}{60} l$	dikte plaat 0,75 à 1,25 mm																
warmgewalste met I- balken		$\frac{1}{30} - \frac{1}{35} l$																	
raat- en plaatliggers		$\frac{1}{20} - \frac{1}{30} l$																	
vakwerkliggers		$\frac{1}{10} - \frac{1}{15} l$																	tot 60 m en meer
ruimtelijke vakwerkliggers		$\frac{1}{12} - \frac{1}{16} l$																	tot 60 m en meer
vollewandbogen		$\frac{1}{60} - \frac{1}{80} l$	$f > \approx \frac{1}{8} l$																tot 80 m en meer

86 4.25 SCHATTINGSREGELS OVERSPANNINGSCONSTRUCTIES IN STAAL 4.25 SCHATTINGSREGELS OVERSPANNINGSCONSTRUCTIES ALGEMEEN

vakwerkbogen		$\frac{1}{30} - \frac{1}{40} l$	$f > \approx \frac{1}{8} l$																tot 100 m en meer
kniespanten		$\frac{1}{30} s$																	
driehoekspanten		$\frac{1}{20} - \frac{1}{25} s$																	
hoge bogen		$\approx \frac{1}{30} s$																	
koepeldaken			netwerk van staven																tot 100 m en meer
kabelconstructies			zeeg $f \approx \frac{1}{20} l$																tot 100 m en meer
ruimtevakwerken		$\frac{1}{25} l$																	

4.25 SCHATTINGSREGELS OVERSPANNINGSCONSTRUCTIES IN STAAL (vervolg) 4.25 SCHATTINGSREGELS OVERSPANNINGSCONSTRUCTIES ALGEMEEN

overspanningsconstructies in staal

Figuur B1-1: schattingsregels voor staalconstructies. (R.Blok, 2014)

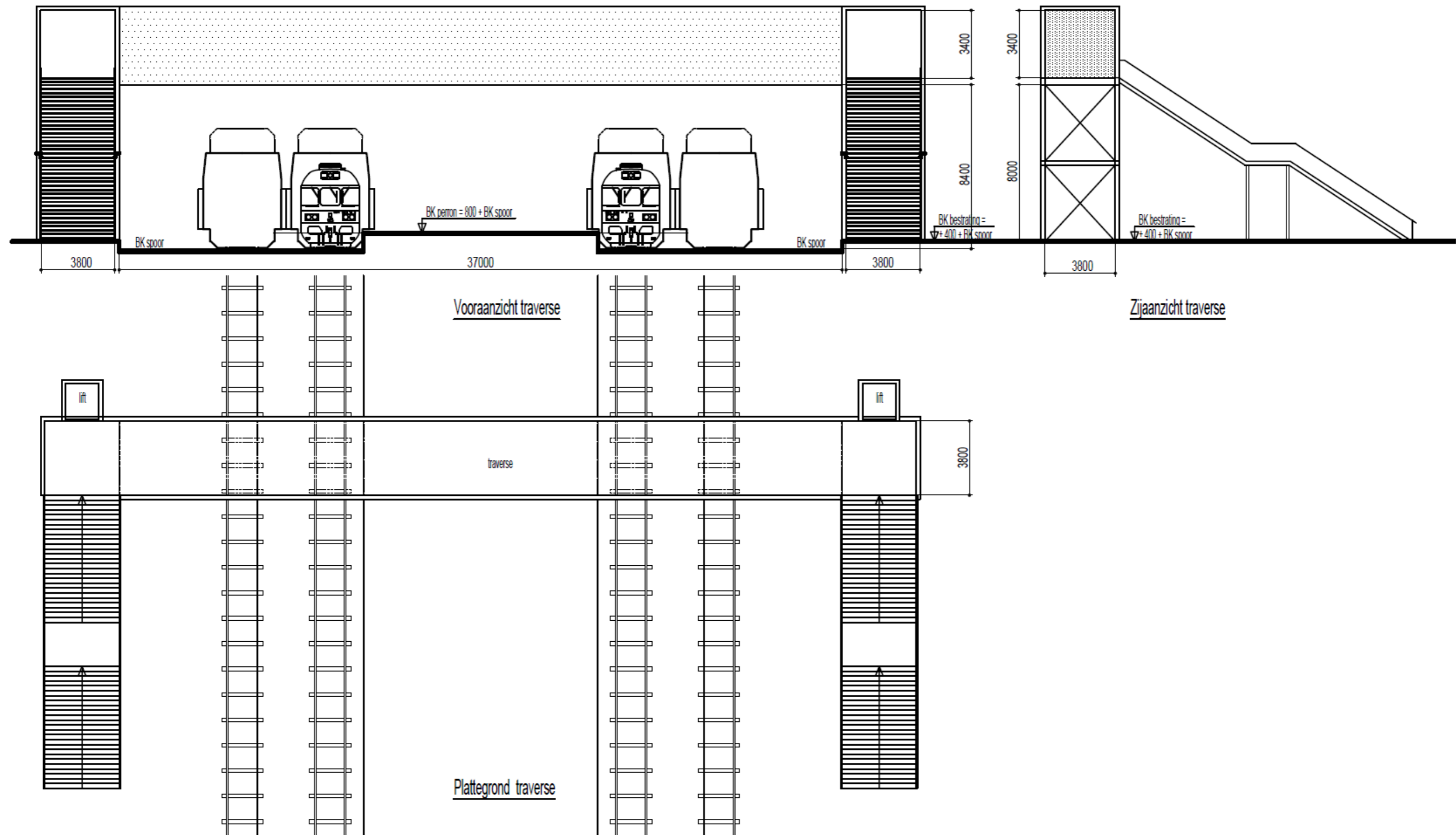
benaming	doorsnede	h	opmerking	gangbaar overspanningsgebied
VLOERCONSTRUCTIES				$l = 5 \quad 10 \quad 15 \quad 20 \quad 25 \quad 30 \quad 35 \quad 40 \quad 45 \quad 50 \quad 55 \quad 60 \quad 65 \quad 70 \quad 75$
planken en triplexplaten		$\frac{1}{25} - \frac{1}{30} l$		$< - 0,8 \text{ m}$
balken, gezaagd		$\frac{1}{15} - \frac{1}{20} l$	$b \approx \frac{1}{3} \text{ à } \frac{1}{4} h$	
ribpanelen		$\frac{1}{20} - \frac{1}{25} l$		
DAKCONSTRUCTIES				$l = 5 \quad 10 \quad 15 \quad 20 \quad 25 \quad 30 \quad 35 \quad 40 \quad 45 \quad 50 \quad 55 \quad 60 \quad 65 \quad 70 \quad 75$
planken en triplexplaten		$\frac{1}{30} - \frac{1}{35} l$ $\frac{1}{40} - \frac{1}{50} l$	platte daken hollende daken	$< - 1,0 \text{ m}$ $< - 1,5 \text{ m}$
balken, gezaagd		$\frac{1}{20} - \frac{1}{30} l$		
gelamineerde liggers		$\frac{1}{17} - \frac{1}{20} l$	$b \approx \frac{1}{6} - \frac{1}{8} h$	
doos- of kokerliggers		$\frac{1}{12} - \frac{1}{15} l$	$b \approx \frac{1}{6} - \frac{1}{8} h$	
vakwerkliggers		$\frac{1}{12} - \frac{1}{16} l$		
vollewandbogen		$\frac{1}{40} - \frac{1}{50} l$	$f > \approx \frac{1}{8} l$ $b \approx \frac{1}{6} h$	tot 60 m en meer

vakwerkbogen		$\frac{1}{20} - \frac{1}{25} l$	$f > \approx \frac{1}{8} l$	tot 80 m en meer
kniepantten		$\frac{1}{15} - \frac{1}{20} s$	$b \approx \frac{1}{6} h$	
driehoekspantten		$\frac{1}{15} - \frac{1}{20} s$	$f \approx \frac{1}{4} l$ $b \approx \frac{1}{6} h$	
hoge bogen		$\approx \frac{1}{20} s$	$b \approx \frac{1}{6} h$	
vouwdaken		$\frac{1}{12} - \frac{1}{16} l$		
zadeldak		$f \approx \frac{1}{40} \text{ opp.}$	$d \approx 80 - 100 \text{ mm}$	
koepeldaken			netwerk van staven	tot 100 m en meer

overspanningsconstructies in hout

Figuur B1-3: schattingsregels houtconstructies. (R.Blok, 2014)

Bijlage 2 Tekening ontwerp traverse



Bijlage 3 Beslissingsmatrix

Beslissingsmatrix																									
optie	n=8					n=9					n=10					n=11					n=12				
Lv [m]	4625					4111					3700					3364					3083				
helling diagon. [α°]	40.1					43.5					46.5					49.2					51.7				
Σ lengte staven [m]	157					164					171					177					184				
%	100%					104%					109%					113%					117%				
	gewicht elementen	staaflengte	kans en mogelijkheid optimalisatie	uitvoering en comfort		gewicht elementen	staaflengte	kans en mogelijkheid optimalisatie	uitvoering en comfort		gewicht elementen	staaflengte	kans en mogelijkheid optimalisatie	uitvoering en comfort		gewicht elementen	staaflengte	kans en mogelijkheid optimalisatie	uitvoering en comfort		gewicht elementen	staaflengte	kans en mogelijkheid optimalisatie	uitvoering en comfort	
weegfactor	2	1	3	2		2	1	3	2		2	1	3	2		2	1	3	2		2	1	3	2	
Vloer hout H1	1	1	-1	-1	-2	1	1	-1	-1	-2	1	1	-1	-1	-2	1	0	0	0	2	1	0	0	0	2
Vloer hout H2	1	1	-1	0	0	1	1	-1	0	0	1	1	-1	0	0	1	0	0	0	2	1	0	0	0	2
vloer massief B1.1	-1	1	-1	0	-4	-1	1	-1	0	-4	-1	1	-1	0	-4	-1	0	0	0	-2	-1	0	0	0	-2
vloer massief B1.2	-1	1	-1	0	-4	-1	1	-1	0	-4	-1	1	-1	0	-4	-1	0	0	0	-2	-1	0	0	0	-2
vloer massief B2	0	1	0	1	3	0	1	0	1	3	0	1	0	1	3	0	0	1	1	5	0	0	1	1	5
Vloer staalplaat-beton SB1.1	-1	1	-1	-1	-6	0	1	-1	-1	-4	0	1	-1	-1	-4	0	0	0	-1	-2	0	0	0	-1	-2
Vloer staalplaat-beton SB1.2	-1	1	-1	-1	-6	-1	1	-1	-1	-6	-1	1	-1	-1	-6	-1	0	0	-1	-4	-1	0	0	-1	-4
Vloer staalplaat-beton SB2	0	1	0	0	1	0	1	0	0	1	0	1	0	0	1	0	0	1	0	3	0	0	1	0	3
Dak hout	1	1	-1	1	2	1	1	-1	1	2	1	1	-1	1	2	1	0	0	1	4	1	0	0	1	4
Dak staal	1	1	-1	-1	-2	1	1	-1	-1	-2	1	1	-1	-1	-2	1	0	0	-1	0	1	0	0	-1	0

Bijlage 4 Constructief ontwerp traverse

