

Kennisdocument

Voegloos Spoor

Beherende instantie:
Inhoud verantwoordelijke:
Status:

AM – Techniek - Spoor, Wissels en Geotechniek
Specialist Spoor, Wissels en Geotechniek
DEFINITIEF V1.0

Datum van kracht: 01-10-2024	Versie: V001	Documentnummer: -
--	------------------------	-----------------------------

INHOUD

1	Revisiegegevens.....	4
2	Algemeen	5
2.1	Inleiding	5
2.2	Spoor, wissels en kruisingen	5
2.3	Opzet van dit kennisdocument.....	5
2.4	Definities en afkortingen	5
2.5	Referenties.....	5
2.6	Disclaimer	6
3	Inleiding voegloos spoor	7
4	Voegen spoor.....	8
4.1	Werking voegen Spoor	8
4.2	De bezwaren van voegen Spoor.....	9
4.3	De situatie nu	10
5	Het ontstaan van voegloos spoor in Nederland.....	11
5.1	Maatregelen ter vergroting van de zijdelingse weerstand	11
5.1.1	Aanbrengen van een zig-zag verband in het spoor.	12
5.1.2	Aanbrengen van imprints in de onderzijde van de houten dwarsliggers.	13
5.1.3	Toepassen van spoorstaafbevestigingen met een hoge hoekverdraaiingsweerstand.....	13
5.1.4	Toepassen van zware betonnen dwarsliggers	14
5.1.5	Toepassen van een zwaarder ballastprofiel	14
5.1.6	Toepassen van betere ballastmaterialen	15
5.2	Onderhoudsmaatregelen	15
5.3	Toepassingsgebied voegloos Spoor.....	16
5.3.1	Spoor in rechtstand.....	16
5.3.2	Spoor in bogen.....	16
5.3.3	Spoor op kunstwerken	16
5.3.4	Wissels en kruisingen	18
5.4	Voegloos Spoor in de regelgeving	18
6	De werking van voegloos spoor.....	19
6.1	Definitie voegloos spoor.....	19
6.2	Temperatuurbereik van de spoorstaven	19
6.2.1	Relatie tussen lucht- en spoorstaaftemperatuur	20
6.3	Belangrijke temperatuurparameters.....	21
6.3.1	Gemiddelde spoorstaaftemperatuur T_m	21
6.3.2	Neutraaltemperatuurbereik / Installatietemperatuur T_I	21
6.3.3	Spanningsloze temperatuur T_{sf}	22
6.4	Rekenvoorbeelden.....	22
6.4.1	Verlenging en verkorting van de spoorstaaf	22
6.4.2	Trek en drukkrachten in de spoorstaaf	22
6.5	Wat is een spoorspatting?	23
6.6	Het ontstaan van een spoorspatting	23
6.7	Het registreren van spoorspattingen.....	25
6.8	Het tegengaan van spoorspattingen.....	25
6.8.1	Witte spoorstaven	25
6.8.2	Het met ijs koelen van de spoorstaaf.....	26
6.9	Wanneer is er sprake van voegloos spoor	27

7	Eisen aan voegloos spoor	28
7.1	Randvoorwaarden voegloos maken of spoorstaafspanning verdelen	28
7.2	Eis toepassing van methoden	28
7.3	Activiteiten in relatie tot het voegloze Spoor	28
7.3.1	Voegloos maken	28
7.3.2	Spoorstaafspanning verdelen	28
7.3.3	Maatregelen ten aanzien van de spoorstaafspanning zijn niet nodig	29
7.4	Eisen aan voegloos maken en spoorstaafspanning verdelen	29
8	Rollen, taken en kwalificaties van betrokken personeel	31
9	Methoden voegloze sporen, wissels en kruisingen.....	32
9.1	Methoden voegloze sporen.....	32
9.1.1	Bevestigingsmiddelen en vrij bewegen van constructies	32
9.1.2	Vaststellen temperaturen, bepalen verlenging en markeren controlepunten	32
9.1.3	Wijze van kunstmatig verlengen spoorstaven	33
9.1.4	Maximale lengte verlengen spoorstaven	33
9.1.5	Vastdraaien van bevestigingsmiddelen	33
9.1.6	Maken van sluitlas(sen)	33
9.1.7	Beëindigen van voegloos spoor	34
9.1.8	Tunnelcomplexen.....	34
9.1.9	Ingegoten spoor	34
9.2	Methoden voegloze wissels en kruisingen	35
9.2.1	Algemeen	35
9.2.2	Intern lassen en voegloos maken wissels en kruisingen	35
9.2.3	Opnemen wissels en kruisingen in voegloos spoor	35
9.2.4	Opnemen aansluitende wissels en kruisingen in voegloos spoor	37
9.3	Voegloos maken sporen, wissels en kruisingen bij onderhoud	37
10	Methodekwalificatie.....	38
11	Acceptatieprotocol	39

1 Revisiegegevens

Datum	Versie	Hoofdstuk/ paragraaf	Wijziging
01-10-2024	001		Eerste initiële versie

2 Algemeen

2.1 Inleiding

Ondanks dat voegloos Spoor op zichzelf geen fysieke asset is, maar slechts een eigenschap, is het een essentieel onderdeel van het Nederlandse spoorwegnet. Zonder voegloos spoor zou het Nederlandse spoorwegnet niet kunnen functioneren op de manier zoals het nu functioneert. Het is bijvoorbeeld ondenkbaar dat de intensief bereden buitensporen tussen Amsterdam en Utrecht op basis van voegenspoor in stand gehouden zouden kunnen worden.

RLN00120 bevat vanuit ProRail de regelgeving omtrent de realisatie en instandhouding van voegloos Spoor. Daarnaast zijn er vele andere documenten die een relatie hebben met voegloos Spoor, bijvoorbeeld ontwerpvoorschriften, productspecificaties en installatievoorschriften.

Op 1 januari 2023 is een ten opzichte van de voorgaande versie 003 sterk verbeterde versie 004 van RLN00120 gepubliceerd. Bij het tot stand komen van die nieuwe versie is het idee ontstaan om een van RLN00120 losstaand en informatief kennisdocument voegloos Spoor te maken om informatie en/of achtergronden vast te leggen die niet passen binnen de kaders van een richtlijn. In 2023 is gewerkt aan de totstandkoming van dit kennisdocument.

2.2 Spoor, wissels en kruisingen

Dit kennisdocument heeft betrekking op de objecten spoor, wissels en kruisingen. Voor de leesbaarheid van dit kennisdocument wordt dit samengevat als Spoor, dus met een hoofdletter. Als iets alleen betrekking heeft op het object spoor, wissels of kruisingen dan wordt het object met een kleine letter geschreven.

2.3 Opzet van dit kennisdocument

Dit kennisdocument bestaat uit twee delen. Het eerste deel betreft de hoofdstukken 3 t/m 6 en dit deel heeft als doel informatie te geven over de ontstaansgeschiedenis en werking van het voegloze spoor. Het tweede deel betreft de hoofdstukken 7 t/m 11 en dit deel heeft als doel ten opzichte van RLN00120-V004 aanvullende informatie te geven.

2.4 Definities en afkortingen

Voor de definities en afkortingen wordt verwezen naar § 2.4 van RLN00120-V004.

2.5 Referenties

Voor het opstellen van dit kennisdocument is gebruik gemaakt van de onderstaande referenties. Omdat er gebruik gemaakt is van verschillende versies van de documenten is er geen versie aangegeven. Indien nodig is in de tekst in dit kennisdocument zelf een verwijzing naar een specifieke versie opgenomen.

[-]	Referentie	Naam document
1	VTB Deel II	Voorschriften voor het technische Beheer van de weg en de onroerende objecten – Deel II – Onderhoud en Vernieuwing van de Bovenbouw van de weg
2	VTG Deel III	Verzameling van Technische Gegevens en eisen, samengesteld door de Dienst van Infrastructuur – Deel III – Technische voorschriften voor de bovenbouw van de weg
3	OVS00056-5.1	Ontwerpvoorschrift – Baan en Bovenbouw – Deel 5.1 Spoor in ballast
4	PRC00008	Procedure – Vastleggen (risico op) spoorspatting
5	RLN00165	Richtlijn – Procedures bij Extreme Weersomstandigheden
6	RLN00120-V004	Richtlijn – Het voegloos maken van sporen, wissels en kruisingen
7	RLN00419	Richtlijn – Best practices ter voorkoming van spoorspattingen

[-]	Referentie	Naam document
8	UIC Fiche 720	Laying and Maintenance of CWR Track
9	-	edilon)(sedra – Theorie en praktijk van voegloos spoor – door ing. F. Klösters
10	CT3041	Geometrisch en constructief ontwerp van wegen en spoorwegen – Deel D. Constructief ontwerp van spoorwegen – door Prof.dr.ir. C. Esveld

2.6 Disclaimer

Dit kennisdocument heeft een puur informatieve status. Bij het gebruik van de regelgeving van ProRail zoals gepubliceerd op de RIC kan men zich nooit beroepen op de inhoud van dit kennisdocument.

3 Inleiding voegloos spoor

Het overgrote deel van het Nederlandse spoorwegnet is voorzien van voegloos Spoor. Voegloos Spoor houdt in dat het spoor niet voorzien is van voegen die het op een regelmatige afstand van elkaar mogelijk maken dat de spoorstaaf kan uitzetten of krimpen ten gevolge van temperatuurverschillen én is op de neutraaltemperatuur gebracht.

Uit de RLN00120V004 onderstaande definities:

Term	Verklaring
Voegloos maken	Het volledig aan elkaar lassen van het spoor, waarbij de spanning in de spoorstaaf op neutraaltemperatuur T_N wordt gebracht.
Voegloos spoor	Sporen met een spoorstaaf lengte $l > 60$ m waarbij de temperatuursafhankelijke lengteverandering (dilatatie) van de spoorstaven is verhinderd.

Voegloos Spoor kent ten opzichte van voegen Spoor vele voordelen maar stelt daarentegen ook hogere eisen om het voegloze Spoor op een goede manier in stand te kunnen houden.

De meeste mensen zullen bekend zijn met de formule waarmee de lengteverandering van de spoorstaaf ten gevolge een temperatuurverschil berekend kan worden:

$$\Delta l = \Delta T \times l \times \alpha$$

In deze formules is:

- Δl De lengteverandering van de spoorstaaf (mm)
- ΔT Het temperatuurverschil ($^{\circ}\text{C}$)
- l De lengte van de spoorstaaf (mm)
- α De lineaire uitzettingscoëfficiënt van de spoorstaaf (mm/mm $^{\circ}\text{C}$). RLN00120-V004 gaat uit van een waarde van $11,5 \times 10^{-6}$, gebruik van een waarde van 12×10^{-6} is eveneens gebruikelijk.

De lengteverandering is onafhankelijk van:

- De dwarsdoorsnede A van de spoorstaaf, een spoorstaaf 46E3 zet niet meer of minder uit dan een spoorstaaf 54E1.

Bij voegloos Spoor wordt de lengteverandering tegengehouden door het afwezig zijn van de voegen. Omdat deze lengteverandering niet op kan treden treedt er een vervangende kracht in de spoorstaaf op. De optredende kracht kan berekend worden met de onderstaande formule, die de meeste mensen ook wel zullen kennen:

$$F = \alpha \times E \times A \times \Delta T$$

In deze formules is:

- F De in de spoorstaaf optredende kracht (kN)
- α De lineaire uitzettingscoëfficiënt van de spoorstaaf (mm/mm $^{\circ}\text{C}$).
- E Elasticiteitsmodulus van een spoorstaaf (210.000 N/mm²)
- A Oppervlakte van de dwarsdoorsnede van de spoorstaaf (mm²)
- ΔT Het temperatuurverschil ($^{\circ}\text{C}$)

De optredende kracht is onafhankelijk van:

- De lengte van de spoorstaaf, bij een spoorstaaf lengte van 10 m treedt geen andere kracht op dan bij een spoorstaaf met een lengte van 1 m.

4 Voegen spoor

Vóór 1950 kende men alleen voegen Spoor. Dat spoor bestond uit dwarsliggers waarop relatief korte stukken spoorstaaf werden bevestigd. De dwarsliggers, toen nog uitsluitend van hout, lagen in een ballastbed dat bestond uit rond Maasgrind. De stukken spoorstaaf hadden een lengte van 30 m en het spoorstaafprofiel 54E1 bestond nog niet.

4.1 Werking voegen Spoor

Bij het bouwen van het spoor liet men tussen de spoorstaven stukjes open, voegen genaamd. Deze voegen hadden als doen om de lengteverandering van spoorstaven ten gevolge van opwarming en afkoeling op te vangen. Bijkomend gevolg is dat de voegen groter zijn als het kouder is en kleiner of zelfs gesloten als het warmer is.

Onder de voegen werd een dubbelliger aangebracht om de spoorstaafuiteinden extra te ondersteunen. Een dubbelliger bestaat uit twee dwarsliggers die door middel van lange M22 bout met elkaar verbonden zijn. De spoorstaafuiteinden werden onderling gekoppeld met behulp van een plaatlas. De plaatlas bestaat uit twee in de lengte van de spoorstaaf geplaatste lasplaten die door middel van lasbouten met elkaar gekoppeld zijn.



Foto 1; Voorbeeld van een plaatlas in een gemend ballastbed. De foto is midden in de zomer gemaakt, de voeg is (nagenoeg?) gesloten.

De voegen zijn verantwoordelijk voor het door Guus Meeuwis bezongen kedeng kedeng geluid dat de wielen van de trein maken als ze over de voegen rollen. Door die slagwerking wordt het staal van de spoorstaafkoppen uitgewalst (verslagen koppen), de rughellingplaat wordt in het hout geslagen en de dubbelliger onder de las wordt in de ondergrond gehamerd. Logischerwijs nemen deze effecten toe als de voegen groter zijn, dus als het koud is.

Door de opbouw van de plaatlas met lasbouten M24, gaten $\varnothing 28$ in de spoorstaaf en de lasplaten is het mogelijk dat de voegwijdte varieert tussen 0 en 12 mm. Bij een gesloten voeg en verdere opwarming van de spoorstaaf ontstaat er een drukkracht in de spoorstaven die door beide spoorstaafuiteinden op elkaar overgedragen worden. Bij een maximaal geopende voeg en verdere afkoeling van de spoorstaaf ontstaat er een trekkracht in beide spoorstaven die via de lasbouten en lasplaten op elkaar overgedragen worden.

In het vroegere NS-reglement VTG III was een tabel opgenomen waarin de aan te houden voegwijdte is opgenomen voor spoorstaven met een lengte van 18 m, 24 m en 30 m bij verschillende temperaturen. Daarnaast is onderscheid gemaakt in een ballastbed bestaand uit enerzijds grind en anderzijds gebroken grind en/of steenslag. Extrapolatie van de waarden in de tabel leert dat bij een ballastbed bestaand uit grind en een spoorstaaf lengte van 30 m de voegen bij ca. 40 °C gesloten zijn. Vanaf die spoorstaaf temperatuur gaat er zich dus een drukkracht in de spoorstaaf opbouwen en ligt het risico van spoorspattingen op de loer.

Anderzijds, al bij een temperatuur van ca. 7 °C is de voeg maximaal geopend. Bij een verdere afkoeling ontstaan er trekkrachten in de spoorstaven die via de plaatlas overgedragen moet worden. Aangezien in die tijd de minimale spoorstaaf temperatuur rond de -20 °C lag konden de trekkrachten nog fors oplopen en zullen ook geresulteerd hebben in gebroken plaatlassen.

Bij een ballastbed van gebroken grind en/of steenslag koos men voor een andere afstelling van de voegwijdten en accepteerde men het ontstaan van grotere drukkrachten, resulterende in lagere trekkrachten. Duidelijk is dat ook bij voegen spoor langskrachten in de spoorstaven ontstaan, maar in vergelijking met voegloos spoor zijn deze kleiner.

Tabel voor voegwijdten bij temperatuurverschillen van de spoorstaven in °C						
Spoor in:	Steenslag of gebroken grind			Grindballast		
Bevestiging:	Gescheiden bevestiging			Niet gescheiden bevestigingen		
Voegwijdten in mm:	Spoorstaaf lengten			Spoorstaaf lengten		
	18 m	24 m	30 m	18 m	24 m	30 m
2	22 t/m 26	25 t/m 26				
3	17 t/m 21	21 t/m 24	22 t/m 25			
4	13 t/m 16	17 t/m 20	19 t/m 21	29 t/m 32	28 t/m 31	28 t/m 30
5	8 t/m 12	13 t/m 16	16 t/m 18	25 t/m 28	25 t/m 27	26 t/m 27
6	3 t/m 7	9 t/m 12	13 t/m 15	20 t/m 24	22 t/m 24	23 t/m 25
7	-2 t/m +2	5 t/m 8	10 t/m 12	15 t/m 19	18 t/m 21	20 t/m 22
8	-7 t/m -3	1 t/m 4	7 t/m 9	11 t/m 14	14 t/m 17	17 t/m 19
9	-12 t/m -8	-3 t/m 0	4 t/m 6	6 t/m 10	11 t/m 13	14 t/m 16
10		-6 t/m -4	1 t/m 3	1 t/m 5	8 t/m 10	12 t/m 13
11		-10 t/m -7	-2 t/m 0	-3 t/m 0	4 t/m 7	9 t/m 11
12		-12 t/m -11	-5 t/m -3	-8 t/m -4	1 t/m 3	6 t/m 8
			-8 t/m -6	-13 t/m -9	-3 t/m 0	3 t/m 5
Bij het leggen van nieuwe spoorstaven moeten de voegwijdten met 1 mm worden vergroot						

4.2 De bezwaren van voegen Spoor

Een nadeel van voegen spoor is dat het zeer onderhoudsintensief is en voegen de levensduur van de gehele bovenbouw sterk negatief beïnvloeden. Onder andere door rem- en aanzetkrachten schuiven de voegen open en dicht. Het onderhoud dat nodig is om de spoorstaven te kunnen laten dilateren moet plaatsvinden vóór 1 mei van elk jaar. Gebeurde dat niet dan ontstond de kans op spatten van het spoor in de daarna komende warmere perioden.

Het uit te voeren onderhoud aan de lassen bestond uit de volgende werkzaamheden:

- Aanvoelen van de kraagbouten en eventueel herstellen van de kraagboutgaten,
- Lichten en stoppen van de dubbelliggers,
- Demonteren en roestvrij maken van de laskamers en lasplaten,
- Laskamers en lasplaten insmeren met grafietolie,
- Aandraaien van de lasbouten.
- Regelen van de voegen,
- En indien nodig:
 - Verslagen koppen verwijderen, spoorstaven optrekken en passtukken plaatsen,
 - Ingeslagen dubbelliggers doorschuiven resp. vervangen.

Een noodmaatregel om te voorkomen dat slecht onderhouden voegen spoor gaat spatten, was het witkalken van spoorstaven. Door het witte oppervlak van de spoorstaven daalt de temperatuur enkele graden waardoor ook de spatkracht afneemt. Het was echter een zeer arbeidsintensieve maatregel met maar een beperkt effect.

Ten gevolge van de toename van de treinsnelheden van 120 naar 140 km/h en het verhogen van de aslasten naar 22,5 ton moest het onderhoud steeds plaatsvinden en daarbij ging het om meer dan 600.000 lassen. Vanuit dit bezwaar is de behoefte aan voegloos spoor ontstaan.

De twee onderstaande foto's tonen 2 bij voegenspoor voorkomende gebreken:

- Verslagen, of uitgeplette, spoorstaafkoppen. Het uitpletten van de spoorstaafkop is een gevolg van de grootte slagkracht op de spoorstaafkop als het wiel overgaat van het uiteinde van de ene naar de andere spoorstaafkop. Logischerwijs treedt het uitpletten van de spoorstaafkop in grotere mate op als de voegen verder open staan.
- Door de slagkracht op de spoorstaaf en vervolgens de rughellingplaat of klemstoel bezwijken de houtvezels daar direct onder en raken de dwarsliggers ingereden. Daardoor gaan de kraagbouten los zitten en neemt de slagwerking verder toe.



Foto 2; Verslagen koppen [9]



Foto 3; Ingereden dwarsliggers [9]

4.3 De situatie nu

De toepassing van voegloos Spoor is in de loop van tijd de standaard geworden en voegen Spoor kan eigenlijk alleen nog maar hele specifieke uitzonderingssituaties toegepast worden. Het bestaande voegen spoor is in de uitvoering van projecten vervangen door voegloos spoor en daardoor komt voegen spoor nog maar heel beperkt voor.

5 Het ontstaan van voegloos spoor in Nederland

Toen er meer gemeten en gerekend werd aan de bovenbouw werd rond 1950 in internationaal verband vastgesteld dat het achterwege laten van de voegen mogelijk was waardoor voegloos spoor ontstaat. Daarvoor moest echter wel aan een aantal randvoorwaarden voldaan worden.

De randvoorwaarden waren erop gericht de zijdelingse weerstand van het spoor voldoende hoog te maken zodat het spatten van het spoor voorkomen wordt. Spatten houdt in dat de spoorconstructie de drukkrachten in de spoorstaven niet op kan nemen en daardoor sterk zijdelings vervormd in de typische sinusvorm. Een voorbeeld van spoorspatting is weergegeven in onderstaande foto. Meer informatie over spoorspattingen volgt in § 6.5.



Foto 4; Spoorspatting Zwammerdam 30 juni 2006

5.1 Maatregelen ter vergroting van de zijdelingse weerstand

In Nederland werd getracht de zijdelingse weerstand te vergroten door de volgende constructieve aanpassingen:

1. Aanbrengen van een zig-zag verband in het spoor.
2. Aanbrengen van imprints in de onderzijde van de houten dwarsliggers.
3. Toepassen van spoorstaafbevestigingen met een hoge hoekverdraaiingsweerstand.
4. Toepassen van zware betonnen dwarsliggers in plaats van de veel lichtere houten dwarsliggers.
5. Toepassen van een zwaarder ballastprofiel.
6. Toepassen van betere ballastmaterialen.

De maatregelen worden hieronder puntsgewijs toegelicht. Van de maatregelen is niet bekend op welke schaalgrootte ze toegepast zijn.

5.1.1 Aanbrengen van een zig-zag verband in het spoor.

Toen vanaf 1955 begonnen werd met voegloos spoor golden bij NS de volgende uitgangspunten:

- Het gangbare spoorstaafprofiel was NP46 (nu bekend als 46E3).
- Het ballastbed bestond uit rond grind uit de Maas.
- Bijna alle sporen bij NS waren uitgevoerd met houten dwarsliggers.

Omdat in die tijd ook internationaal ervaring werd opgedaan met betonnen dwarsliggers, werd ook bij NS het voordeel van betonnen dwarsliggers ingezien. Juist het grotere gewicht zou voordelen kunnen bieden bij toepassing in voegloos spoor. Een probleem was dat het ballastbed bij NS erg slecht was en er werd betwijfeld of betonnen monoblok dwarsliggers voldoende zijdelingse spoorstijfheid konden opleveren.

Daarom werd een spoorconstructie ontwikkeld waarbij gebruik werd gemaakt van driescharnierbogen. Deze stijve elementen werden achter elkaar gemonteerd waarbij de beide spoorstaven en de koppelbuizen tussen de betonblokken de scharnierboog vormden en de betonblokken de scharnierpunten, zie foto 5. Het zig-zag spoor vormde op die manier een vrijwel onbuigzame ligger. De stijfheid werd in het spoor gebracht door na het leggen de verbindingbuizen in de betonblokken te verlijmen.

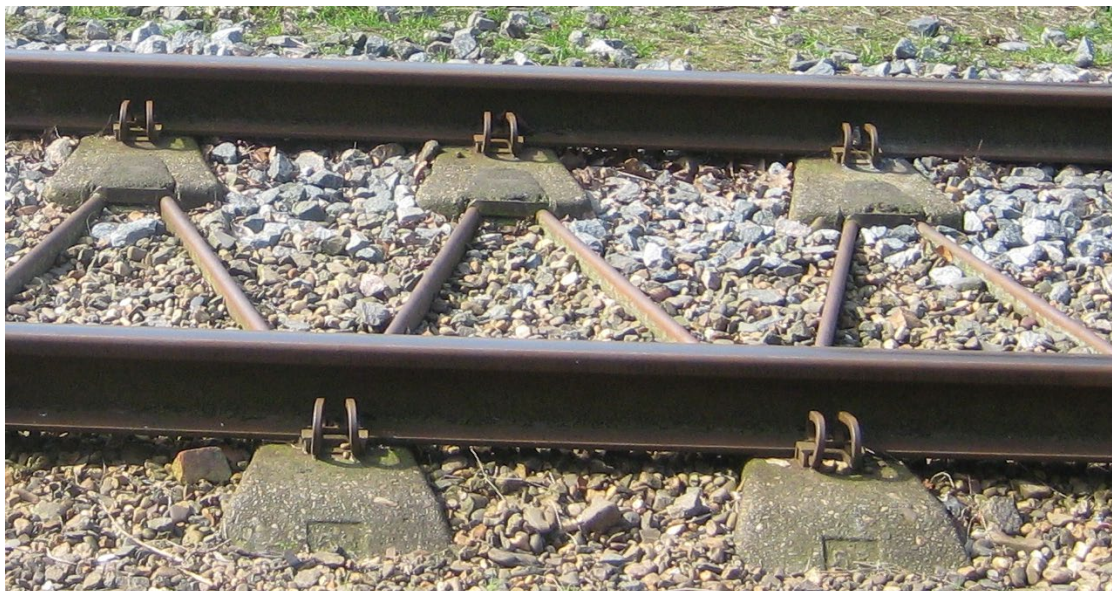


Foto 5; Spoor met zig-zag spoor

Naast het voordeel van de zijdelingse stijfheid bezat het zig-zag spoor ook een aantal belangrijke nadelen zoals:

- Het verlijmen van de buizen mag pas worden uitgevoerd nadat het spoor is gestopt, geschild en de spoorwijdte is afgeregeld. Als het spoor eerst wordt gelijmd kan de spoorwijdte niet meer worden veranderd en is het spoor zo stijf dat het na het schiften vanzelf weer in zijn oude positie terugkomt.
- Voor het stoppen was er een speciale stopmachine nodig omdat de blokken verspringend liggen. Bovendien moest erg precies worden gestopt om te voorkomen dat de blokken voorover of achterover kantelden hetgeen spoorvernauwing resp. -verwijding opleverde.
- Het kantelen van de blokken werd mede veroorzaakt doordat de koppelbuizen erg slap waren.
- Het reizigerscomfort op dit spoor was niet bijzonder goed.

5.1.2 Aanbrengen van imprints in de onderzijde van de houten dwarsliggers.

Door het lagere gewicht hebben houten dwarsliggers een lagere zijdelingse weerstand dan betonnen dwarsliggers. Dit werd nog eens versterkt bij spoor dat was gebouwd met vers gecreosoteerde houten dwarsliggers die in een ballastbed werden gelegd bestaande uit rond grind. Om dit tegen te gaan werden in de onderzijde van de dwarsliggers imprints gemaakt door er ronde kogels van ca 30 mm diameter in het houtoppervlak te drukken. Een nadeel was dat de houtstructuur aan de onderzijde van de dwarsliggers werd vernield.

De mate van toepassing van deze maatregel is niet bekend.

5.1.3 Toepassen van spoorstaafbevestigingen met een hoge hoekverdraaiingsweerstand

De hoekverdraaiingsweerstand tussen de spoorstaaf en de dwarsligger is een andere factor waarmee de zijdelingse weerstand beïnvloed kan worden. Om een spoor te kunnen laten spatten moeten de spoorstaven in hun bedding kunnen verdraaien en hoe hoger de weerstand tegen verdraaien ten opzichte van de dwarsligger is, hoe minder gevoelig het spoor is tegen spatten. Dit is ook de reden waarom standaard (brede) rughellingplaten met 4 kraagbouten aan de dwarsligger bevestigd zijn, in plaats van 2 bij een smalle rughellingplaat. De toepassing van de rughellingplaat met 4 kraagbouten was verplicht bij voegloos spoor.



Foto 6; Smalle rughellingplaat



Foto 7; Brede (standaard) rughellingplaat

In de tijd van de ontwikkeling van het voegloos spoor werd ook de zogenaamde Nefit bevestiging ontwikkeld. Per spoorstaafbevestiging bestond deze bevestiging uit 2 klemhouders die in de dwarsligger geperst werden. Om de invloed van de beddingwijdte te elimineren werden de klemhouders zodanig in het hout geperst dat er een beddingmaat werd verkregen die 1 mm kleiner was dan de nominale voetbreedte van de spoorstaaf. Om de spoorstaafvoet tussen de klemhouders te krijgen moesten de klemhouders wat uit elkaar worden gedrukt. Na montage zat de spoorstaafvoet vastgeklemd tussen beide klemhouders.



Foto 8; Nefit bevestiging

Overigens is de Nefit bevestiging ontwikkeld als een oplossing met een beperkte levensduur van ca. 15 jaar toen in 1968 besloten werd over te stappen naar het door het UIC genormaliseerde profiel UIC 54 (nu bekend als 54E1) en de daarvoor benodigde rughellingplaten niet beschikbaar waren en het ook niet mogelijk bleek om op korte termijn hier een betonnen dwarsligger voor te ontwikkelen. Niet zelden is de Nefit bevestiging langer meegegaan en pas na 25 á 30 jaar vervangen.

5.1.4 Toepassen van zware betonnen dwarsliggers

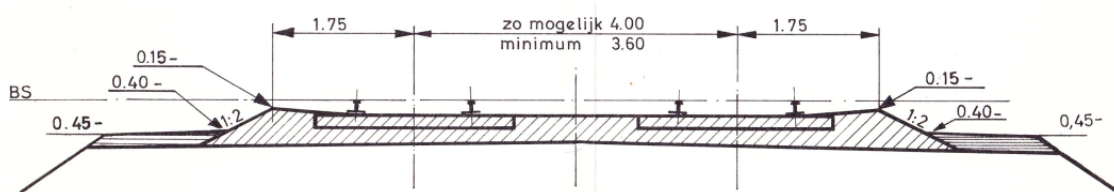
De introductie van het spoorstaafprofiel 54E1 was bij NS de aanleiding om over te gaan van het zig-zag spoor op een ander type betondwarsliggers, de zogenaamde duoblok dwarsligger. In 1970 is met de productie van deze dwarsliggers gestart. Deze dwarsliggers werden eveneens voorzien van de Nefit spoorstaafbevestiging.

Het gewicht van deze dwarsliggers bedroeg ca 200 kg, wat aanzienlijk minder is dan de ca. 280 kg zware Duitse B70 dwarsligger die op hetzelfde moment werd ontwikkeld. De zijdelingse weerstand van het spoor verschilde echter niet zoveel omdat beide blokken een kopvlak bezaten.

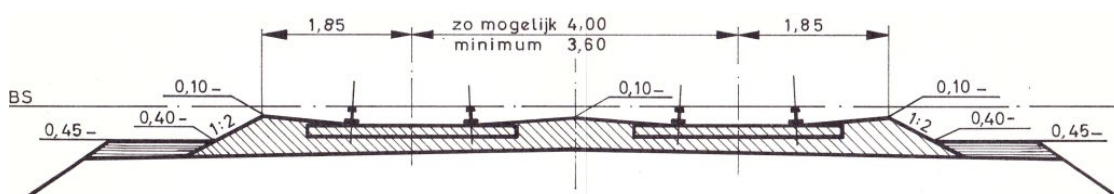
Tot 1990 is de duoblok dwarsligger toegepast waarna deze opgevolgd werd door de nu nog steeds toe te passen NS90 dwarsligger. In het voegloze spoor waren er nooit problemen met de duoblok dwarsliggers. Wel traden problemen op met de spoorstaafbevestiging. In de klemhouders ontstond slijtage waardoor de draadveren hun klemming kwijtraakten en op een aantal trajecten ontstonden problemen met de isolatie van het spoor.

5.1.5 Toepassen van een zwaarder ballastprofiel

Onderstaande 2 figuren tonen de verschillen in het profiel van het ballastbed voor voegen en voegloos spoor. Duidelijk is dat bij voegloos spoor de ballastkop hoger en breder is om een betere opsluiting van de dwarsliggers te krijgen. Beide figuren komen uit de VTG Deel III uit 1969 en tonen de situatie voor een ballastbed bestaande uit grind.

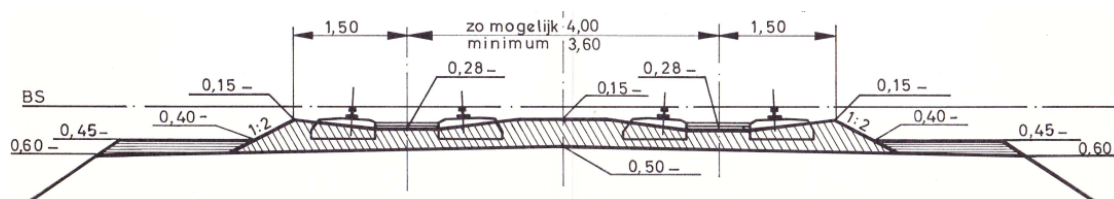


Figuur 1; Ballastprofiel van voegen spoor op de vrije baan (recht spoor $V > 40$ km/h)



Figuur 2; Ballastprofiel van voegloos spoor op de vrije baan (recht spoor $V > 40$ km/h)

Voor het zig-zag spoor werd juist weer een smaller ballastbed toegepast. De reden hiervan was ook de kortere lengte van ca. 2,4 m in vergelijking met de houten dwarsligger (2,6 m) maar ook dat de dwarsligger uit zichzelf stabiel is. Voor de pas later te introduceren duoblok dwarsligger werd in de VTG Deel III van 1982 hetzelfde ballastprofiel zoals weergegeven in figuur 2 voorgeschreven.



Figuur 3; Ballastprofiel van voegloos zig-zag spoor op de vrije baan (recht spoor $V > 40$ km/h)

5.1.6 Toepassen van betere ballastmaterialen

Voor het ballastbed werd oorspronkelijk gebruik gemaakt van grind wat uit De Maas gewonnen werd. NS bezat hiervoor zelfs tot ca. 1990 een eigen grinderij in het Limburgse plaatsje Linne. Grind is een granulair afzettingsgesteente van door schuring afgeronde korrels. Door de afgeronde hoeken kan het ballastbed maar een beperkte bijdrage leveren aan de zijdelingse weerstand.

Door over te stappen op de toepassing van steenslag kon de zijdelingse weerstand aanzienlijk verhoogd worden. Steenslag ontstaat door uit groeven gewonnen natuursteen te breken in de gewenste grootte; de fracties. Door het breken ontstaat een onregelmatig en hoekig waardoor de fractie beter in elkaar kan grijpen en een solide geheel volgt. De norm NEN-EN 13450 bevat de eisen waaraan steenslag dient te voldoen, eisen die een belangrijke relatie met de zijdelingse weerstand zijn de Flakiness en Shape Index.



Foto 9; (Maas)Grind



Foto 10; Steenslag

5.2 Onderhoudsmaatregelen

Naast de genomen constructieve maatregelen om voegloos spoor beter bestand te maken tegen spoorspattingen zijn er ook in het onderhoud maatregelen genomen waarmee de risico's op het kunnen ontstaan van spoorspattingen worden beperkt.

In de VTB deel II was in artikel 16 vastgelegd dat vóór 1 mei van elk jaar een aantal werkzaamheden moesten worden uitgevoerd. Deze werkzaamheden waren er allemaal op gericht om de risico's die voegloos spoor met zich meebrengt te beperken voordat de temperaturen in de nakomende maanden omhoogging. Daarbij moest er rekening mee worden gehouden dat de maand mei de meest risicovolle maand is vanwege de grote temperatuurverschillen die in deze maand tussen dag- en nachttemperatuur optreden. De uit te voeren onderhoudswerkzaamheden zijn:

- In orde maken van het ballastprofiel.
- Controleren en vastzetten van de spoorstaafbevestigingen.
- Corrigeren van korte schiftslagen.
- Controleren en afstellen van de compensatielassen.

5.3 Toepassingsgebied voegloos Spoor

5.3.1 Spoor in rechtstand

De toepassing van voegloos spoor is begonnen in rechtstanden en ruime bogen¹. In die situaties was het gedrag van het voegloze spoor goed te voorspellen. Daar waar overgegaan werd op constructies die niet voegloos gemaakt mochten worden werden compensatielassen toegepast. Resultaat hiervan was dat voornamelijk de sporen op de vrije baan voegloos gemaakt werden en dat de stations en emplacements voegen Spoor hielden.

5.3.2 Spoor in bogen

Indien in spoor in een rechtstand een drukkracht ontstaat dan werkt deze alleen in de lengterichting van het spoor en is het spoor maximaal in staat om deze kracht op te nemen. Bij spoor in een boog is dit niet meer het geval en staat een deel van deze kracht haaks op het spoor, de naar de buitenzijde van de boog gerichte spatkracht. Dit effect neemt toe met het kleiner worden van de boogstraal. In vergelijking met spoor in een rechtstand moet de zijdelingse weerstand groter zijn om alle krachten op te kunnen nemen.

Dit is de reden dat men voorzichtig omgegaan is met de toepassing van voegloos spoor in bogen. In combinatie met het opdoen van ervaring en het toepassen van betonnen dwarsliggers is de minimale boogstraal waarbij voegloos spoor toegepast mag worden steeds kleiner geworden.

Onderstaande tabel is herleid uit bijlage B van UIC Fiche 720 en geeft een indicatie van de veilige verhoging van de spoorstaaftemperatuur T_{all} ² waarbij er geen risico voor het spatten van het spoor bestaat. De gegeven waarden gelden voor een betonnen dwarsligger. Let op: De gegeven waarden gelden ten opzichte van de temperatuur waarbij er in de spoorstaaf geen trek- en drukkrachten aanwezig zijn (Stress-free temperature, T_{sf}).

Alignement	Veilige verhoging van de spoorstaaftemperatuur T_{all} [K]		
	Goede ballast	Matige ballast	Slechte Ballast
Rechtstand	77	68	58
R = 900	70	60	47
R = 600	63	52	42
R = 300	50	42	32

5.3.3 Spoor op kunstwerken

Bij de toepassing van voegloos Spoor op kunstwerken ontstaat er een interactie tussen het voegloze Spoor en het kunstwerk. Het op het kunstwerk aansluitende voegloze Spoor zal krachten overbrengen op het kunstwerk die vervolgens afgedragen dienen te worden naar de onderbouw. Aan de andere kant zullen vervormingen van het kunstwerk (met name, maar niet uitsluitend) door uitzetting en krimp krachten uitoefenen op het voegloze Spoor.

Deze interactie is maar tot een bepaalde hoogte toegestaan en wordt op basis van de in de spoorstaaf optredende additionele krachten en de verplaatsing van de spoorstaaf getoetst. Bij te hoog oplopende drukspanningen in de spoorstaaf ontstaat er een risico op spoorspattingen. Bij te hoog oplopende trekspanningen in de spoorstaaf bestaat een risico op breuk van de spoorstaven.

In de basis worden er 3 verschillende situaties onderscheiden.

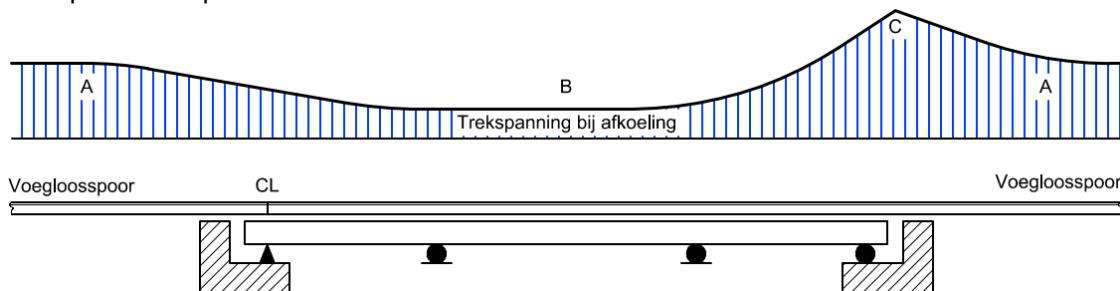
¹ Niet bekend is bij welke boogstraal de grens lag.

² T_{all} staat voor "Allowable Temperature"; de toegestane temperatuur. T_{all} werd vroeger aangeduid als T_{allow} . T_{all} geldt ten opzichte van de temperatuur waarbij er geen trek- en drukkrachten in de spoorstaaf aanwezig zijn.

5.3.3.1 Kunstwerk met doorgaand voegloos Spoor

Bij een kunstwerk met doorgaand voegloos Spoor zijn de volgende 3 kenmerken van belang:

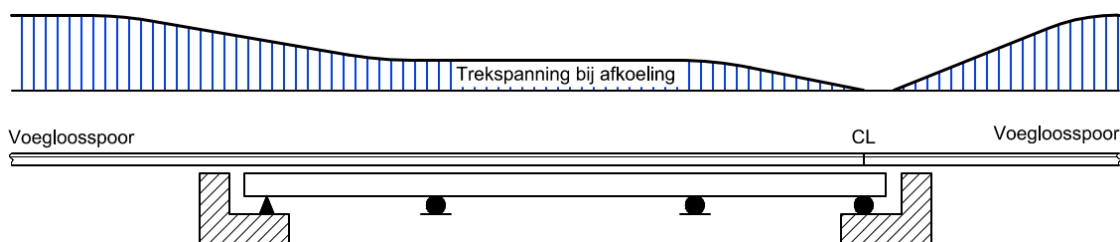
- A. Aan weerszijden van het kunstwerk is in het aansluitende voegloze Spoor “de normale spanning” in de spoorstaaf aanwezig.
- B. Op het kunstwerk is er een lagere spanning in de spoorstaaf aanwezig omdat net zoals de spoorstaaf het kunstwerk ook langer en korter wordt bij temperatuursverandering.
- C. Bij het beweegbare uiteinde van het kunstwerk beweegt het kunstwerk ten opzichte van het aansluitende voegloze Spoor. Hier treden de hoge maatgevende spanningen in de spoorstaaf op.



Figuur 4; Spanningsverloop in de spoorstaaf bij een kunstwerk met doorgaand voegloos spoor.

5.3.3.2 Kunstwerk met een compensatielas aan de zijde van het beweegbare uiteinde

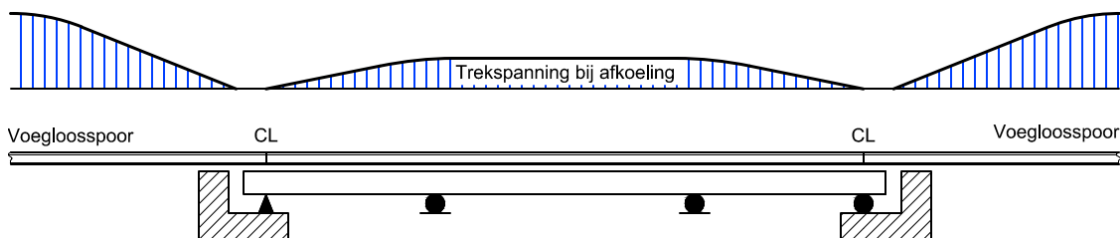
Deze situatie is grotendeels vergelijkbaar met de situatie in § 5.3.3.1 maar als de spanningen bij C. te hoog zijn dient een compensatielas te worden aangebracht waarna er in de spoorstaaf geen spanningen meer aanwezig zijn.



Figuur 5; Spanningsverloop in de spoorstaaf bij een kunstwerk met een compensatielas aan de zijde van het beweegbare uiteinde

5.3.3.3 Kunstwerk met compensatielassen aan beide zijden

Als het niet gewenst is dat het aansluitende voegloze Spoor krachten overbrengt op het kunstwerk dienen aan beide zijden van het kunstwerk compensatielassen te worden toegepast. Op het kunstwerk zelf treden dan maar beperkte spanningen in de spoorstaaf op.



Figuur 6; Spanningsverloop in de spoorstaaf bij een kunstwerk met compensatielassen aan beide zijden

5.3.4 Wissels en kruisingen

Rond 1975 is voorzichtig begonnen met het voegloos maken van enkele wissels, onder andere in Driebergen. Mondjesmaat zijn daarna meer voegloze wissels ingebouwd totdat het voegloos maken rond 1980 standaard is geworden. Aangezien in Nederland in het verleden was gekozen voor wissels met een hoge tong, is die constructie ook in de voegloze wissels doorgezet. In de voegloze wissels is tot 1995 gebruik gemaakt van zogenaamde nul-lassen. Dit zijn plaatlassen waar geen dilaterende mogelijkheid in zat. Daarna zijn de nul-lassen zoveel mogelijk vervangen door thermietlassen en waar dat niet mogelijk was zijn GL-lassen ingevoerd.

Overigens geldt ook hier dat men met de “makkelijke” gewone en symmetrische wissels begonnen is om deze voegloos te maken. (Halve) Engelse wissels volgden pas op een veel later moment.

Vanaf 1977 zijn ook de eerste wissels met het spoorstaafprofiel 54E1 geïntroduceerd, tot dan werden alle wissels uitgevoerd in het spoorstaafprofiel 46E3.

5.4 Voegloos Spoor in de regelgeving

In de VTG deel III van 1969 staat nog dat in bijzondere gevallen de Chef Weg en Werken kan bepalen, dat overgegaan wordt op de toepassing van voegloos spoor. Daaruit kan opgemaakt worden dat de toepassing van voegloos spoor op dat moment nog vrij bijzonder was. Al is de verwachting wel dat toepassing op de vrije baan toen niet ongewoon was.

In de VTG deel III van 1982 staat dat voegloos spoor over het algemeen toegepast wordt in alle sporen die met een snelheid hoger dan 100 km/h bereden worden. In de sporen die met een lagere snelheid bereden worden kán voegloos spoor toegepast worden maar was het minder gebruikelijk. Bij snelheden hoger dan 40 km/h was de minimale boogstraal waarbij voegloos spoor toegepast mag worden altijd minimaal 900 m. Bij een maximale snelheid van 40 km/h was een voegloos spoor bij een kleinere boogstraal toegestaan, meestal 500 m maar minimaal 300 m bij ingekofferd spoor.

In OVS00056-5.1-V001 uit 2007 staat dat de grens tussen voegen en voegloos spoor ligt bij een boogstraal van 500 m. Alleen in uitzonderingssituaties mochten bogen met een boogstraal tussen de 190 en 500 m voegloos gemaakt worden, en bij een boogstraal <190 m mocht sowieso niet voegloos gemaakt worden.

In OVS00056-5.1-V003 uit 2009 werd vastgelegd dat alle bogen voegloos uitgevoerd dienden te worden. Enige verbijzondering was de verplichting om ankerschoenen toe te passen indien de boogstraal <190 m is, een eis die nu nog steeds geldt.

6 De werking van voegloos spoor

Zoals al aangegeven in hoofdstuk 3 wordt bij voegloos spoor het uitzetten van de spoorstaven verhinderd door het ontbreken van de voegen. Doordat het uitzetten van de spoorstaven niet plaats kan vinden treden hoge langskrachten in de spoorstaven op. Een spoorspatting treedt op als de spoorconstructie de langskrachten niet op kan nemen; de energie die in de vorm van de langskrachten in de spoorstaven aanwezig is ontsnapt dan door het spoor zijdelings te laten verplaatsen. Voor het instandhouden van voegloos spoor zijn daarom de 2 volgende punten van belang:

- Zorgen dat de krachten in de spoorstaven niet te hoog oplopen. Daarvoor is het van belang dat de neutraaltemperatuur (de temperatuur waarbij het spoor spanningsloos is) aangehouden wordt en dat deze in de gebruiksfase niet te veel af gaat wijken.
- De kwaliteit van de spoorconstructie van voldoende kwaliteit is zodat deze voldoende weerstand kan bieden tegen het ontstaan van een spoorspatting / zijdelingse verplaatsing.

Dit hoofdstuk gaat in op de werking van het voegloze spoor zoals dat bij ProRail toegepast wordt.

6.1 Definitie voegloos spoor

Als OVS00056-5.1-V014 kent voor het begrip voegloos ballastspoor de volgende omschrijving:

Dit spoor is opgebouwd uit een ballastbed, dwarsliggers en spoorstaven. De spoorstaven zijn in de baan door middel van afbrandstuiklassen, thermietlassen en/of ES-lassen voegloos aan elkaar gelast. Hierdoor ontstaan bij temperatuurverandering in de spoorstaaf trek- en drukkrachten, bij gelijkblijvende lengte van de spoorstaaf.

Het inbrengen van de juiste spoorstaafspanning bij aanleg en behouden bij onderhoud is noodzakelijk om het systeem van voegloos spoor veilig en betrouwbaar te laten functioneren.

UIC Fiche 720 kent een omschrijving die deels wat theoretischer is, maar wel goed aangeeft waar het om gaat. Onderstaand de letterlijke vertaling uit UIC Fiche 720:

Voegloos spoor is spoor waarin de vrije uitzetting en krimp van de spoorstaven veroorzaakt door temperatuursveranderingen beperkt worden, door het kunstmatig aanbrengen van een gecontroleerde verlenging van de spoorstaaf voorafgaand aan het aanbrengen van de spoorstaaf bevestigingsmiddelen.

Hierdoor ontstaan ten gevolge van de temperatuursveranderingen grote langskrachten in de spoorstaven.

Weerstand tegen de verplaatsing van de spoorstaven in langsrichting, onder invloed van deze kracht, wordt tegengegaan door de klemkracht van de spoorstaafbevestigingsmiddelen en de opsluitende werking van de ballast tussen de dwarsliggers.

6.2 Temperatuurbereik van de spoorstaven

Over het temperatuurbereik zegt OVS00056-5.1-V014 het volgende:

Het temperatuurbereik dat in Nederland moet worden aangehouden voor de spoorstaaf-temperatuur bedraagt 80°C en ligt tussen -20 °C en +60 °C. De neutrale temperatuur is op +25 °C vastgesteld. De neutrale temperatuur ligt dus niet in het midden van het bereik.

De neutraaltemperatuur is de temperatuur waarbij er geen langskrachten in de spoorstaaf aanwezig zijn. De neutraaltemperatuur is hoger dan de gemiddelde spoorstaaf-temperatuur van 20 °C gekozen omdat hoge drukspanningen in de spoorstaven als een groter risico gezien worden dan hoge trekspanningen. De neutraaltemperatuur wordt in RLN00120-V004 aangegeven met T_N .

Wanneer na werkzaamheden aan het spoor het spoor voegloos gemaakt wordt dient het spoor in de lengte gebracht te worden die de spoorstaven bij een spoorstaaftemperatuur van 25°C zouden hebben. Dit kan echter alleen als de spoorstaaftemperatuur voor aanvang van het voegloos maken lager is dan 25 °C, de spoorstaven dienen dan kunstmatig verlengd te worden. Bijvoorbeeld door de spoorstaven te verwarmen of eraan te trekken.

Wanneer de spoorstaaftemperatuur hoger dan de neutraaltemperatuur is kan het spoor niet voegloos gemaakt worden. Er bestaan namelijk geen mogelijkheden om de spoorstaven kunstmatig te verkorten, bijvoorbeeld door de spoorstaven af te koelen of in elkaar te drukken.

6.2.1 Relatie tussen lucht- en spoorstaaftemperatuur

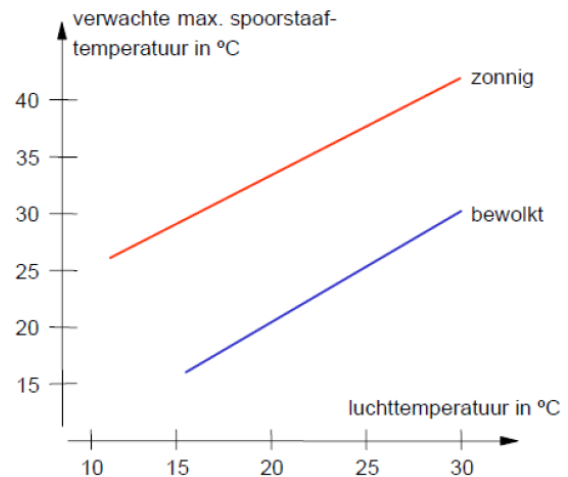
De spoorstaaftemperatuur is niet altijd gelijk aan de luchttemperatuur. Bij ProRail wordt aangehouden dat de minimale spoorstaaftemperatuur 5 °C lager is dan de minimale luchttemperatuur. Voor de maximale spoorstaaftemperatuur wordt aangehouden dat deze 20 °C hoger is dan de maximale luchttemperatuur.

Er geldt dus:

- $T_{\text{rail,min}} = T_{\text{air,min}} - 5$
- $T_{\text{rail,max}} = T_{\text{air,max}} + 20$

De werkelijke maximale spoorstaaftemperatuur is sterk afhankelijk van de weersomstandigheden. Bij bewolkt weer zal er nauwelijks sprake zijn van een verschil in temperatuur. Bij zonnig weer zal het verschil in temperatuur juist maximaal zijn. Nevenstaand figuur geeft dit grafisch weer.

De spoorstaaftemperatuur wordt gemeten door een spoorstaafthermometer aan de schaduwzijde van de spoorstaaf in de ziel te plaatsen. In onderstaande foto's is de spoorstaafthermometer abusievelijk aan de zonzijde geplaatst.



Figuur 7; Relatie maximale lucht- en spoorstaaftemperatuur [10]



Foto 11; Spoorstaafthermometer



Foto 12; Spoorstaafthermometer (detail)

6.3 Belangrijke temperatuurparameters

Voor het voegloos Spoor worden de volgende belangrijke temperatuur parameters onderkend. Deze temperatuur parameters worden niet allemaal in RLN00120-V004 benoemd maar spelen wel een rol in de temperatuur parameters die wel opgenomen zijn in RLN00120.

6.3.1 Gemiddelde spoorstaaftemperatuur T_m

De gemiddelde spoorstaaftemperatuur T_m is het rekenkundige gemiddelde tussen de minimale spoorstaaftemperatuur $T_{rail,min}$ en maximale spoorstaaftemperatuur $T_{rail,max}$.

$$T_m = \frac{T_{rail,min} + T_{rail,max}}{2}$$

Zoals aangegeven in § 6.2 bedraagt in Nederland de minimale spoorstaaftemperatuur $T_{rail,min}$ -20 °C en de maximale spoorstaaftemperatuur $T_{rail,max}$ $+60$ °C. Daaruit volgt een gemiddelde spoorstaaftemperatuur T_m van $+20$ °C.

Vroeger bedroeg de maximale spoorstaaftemperatuur $T_{rail,max}$ $+55$ °C en was de gemiddelde spoorstaaftemperatuur T_m $+17,5$ °C.

Neutraaltemperatuur T_N

Hoge en lage temperaturen t.o.v. de neutraaltemperatuur T_N zorgen voor respectievelijk druk- en trekspanningen in de spoorstaven. De neutraaltemperatuur T_N is zo gekozen dat het gevaar op spoorspatting (te hoge drukspanning) en gevaar voor spoorstaafbreek (te hoge trekspanning) minimaal is.

UIC Fiche 720 schrijft hierover het volgende:

The nominal rail temperature T_s is the optimum temperature at which the track should be fastened down. It should be several degrees above the mean rail temperature in order to limit the magnitude of compressive stresses.

$$T_s = T_m + X$$

Note: X usually ranges between 0 and 10 K.

Om het aangegeven risico van drukspanningen te voorkomen is in Nederland gekozen voor een neutraaltemperatuur T_N van $+20$ °C (met de aanduiding T_N in plaats van T_s), terwijl de letterlijke vertaling nominaal temperatuur zou zijn geweest. Dit houdt in dat voor de waarde van X $+5$ K³ aangehouden wordt.

6.3.2 Neutraaltemperatuurbereik / Installatietemperatuur T_i

Het neutraaltemperatuurbereik is het bereik waarbinnen bevestigingsmiddelen aangedraaid moeten worden en de sluitlassen gemaakt moeten worden. Het bereik wordt aangehouden omdat het in de praktijk niet mogelijk is om gedurende de werkzaamheden het gehele Spoor op een temperatuur van exact 25 °C te houden. De aangehouden tolerantie van ± 3 °C maakt dit wel mogelijk en is voldoende klein om geen significant effect te hebben op de maximale trek- en drukkrachten die in het Spoor kunnen ontstaan.

UIC Fiche 720 geeft (als voorbeeld) dezelfde tolerantie:

The installation temperature range is the nominal temperature ± 3 °C (for example).

De installatietemperatuur T_i is de uiteindelijke temperatuur waarbij het spoor voegloos gemaakt is, de spoorstaafbevestigingen zijn aangedraaid en de sluitlassen zijn gemaakt. De installatietemperatuur T_i dient te liggen binnen het gegeven Neutraaltemperatuurbereik van ± 3 °C en kan dus minimaal 22 en maximaal 28 °C bedragen.

³ K staat voor Kelvin. De schaalverdeling van Kelvin is hetzelfde maar kent een ander nulpunt. In UIC Fiche 720 wordt Kelvin gebruikt voor temperatuurverschillen (dus tussen 2 verschillende temperaturen) en °C voor absolute temperaturen.

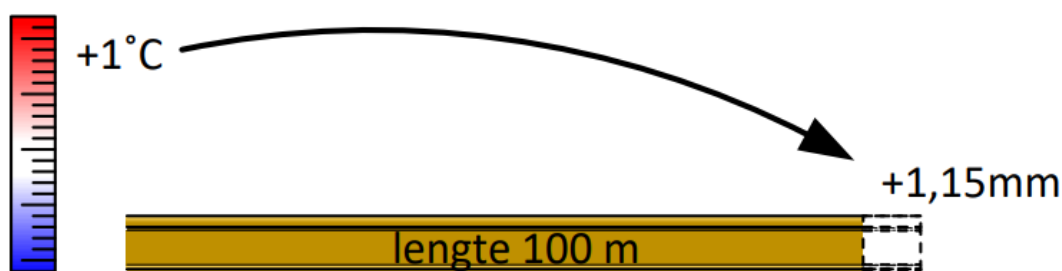
6.3.3 Spanningsloze temperatuur T_{sf}

De spanningsloze temperatuur T_{sf} is de temperatuur waarbij er geen krachten ten gevolge van temperatuurverschillen aanwezig zijn. Kort na het voegloos maken van de sporen zal deze temperatuur gelijk zijn aan de installatietemperatuur T_1 maar gedurende verloop van tijd kan deze gaan afwijken. Bijvoorbeeld door het plaatsen van passtukken of het aanpassen van de ligging van het spoor waarbij geen maatregelen ten aanzien van het voegloze Spoor genomen zijn.

6.4 Rekenvoorbeelden

6.4.1 Verlenging en verkorting van de spoorstaaf

In hoofdstuk 3 is al de formule aan bod gekomen waarmee de verlenging van de spoorstaaf berekend kan worden. Als een spoorstaaf met een lengte van 100 m als uitgangspunt genomen wordt dan volgt uit de formule dat de spoorstaaf per $^{\circ}\text{C}$ dat deze warmer wordt 1,15 mm langer worden.



Figuur 8; Verlenging van 100 m spoorstaaf bij een temperatuurstijging van 1°C .

Dezelfde lengte spoorstaaf zal over het volledige temperatuurbereik tussen -20°C en $+60^{\circ}\text{C}$ ten opzichte van de neutraaltemperatuur van $+25^{\circ}\text{C}$ 52 mm korter en 40 mm langer worden, mits de spoorstaaf vrij kan uitzetten en krimpen, wat bij voegloos spoor dus juist niet het geval is.

6.4.2 Trek en drukkrachten in de spoorstaaf

Met de eveneens al in hoofdstuk 3 aan bod gekomen formule kan de in de spoorstaaf optredende langskracht berekend worden. In onderstaande tabel is per spoorstaaf-type aangegeven wat de maximale trekkracht is bij een spoorstaaf-temperatuur van -20°C en de maximale drukkracht bij een spoorstaaf-temperatuur van 60°C .

Spoorstaaf-profiel	Doorsnede A [mm ²]	(Trek)kracht bij -20°C [kN]	(Druk)kracht bij $+60^{\circ}\text{C}$ [kN]
46E3	5944	674	-524
54E1	6977	791	-615
60E1	7670	870	-676

6.5 Wat is een spoorspatting?

Voor een spoorspatting zijn verschillende definities te hanteren. Daarbij speelt ook een schifflslag een rol. Uit UIC Fiche 720 volgt de onderstaande letterlijke vertaling:

Het spatten of vervormen van het spoor treedt op wanneer de door warmte geïnduceerde drukkrachten in de spoorstaven voldoende zijn om de zijdelingse weerstand van de spoorconstructie te overwinnen.

De golflengte van een spoorspatting ligt tussen de 8 en 20 m met een amplitude tot 1000 mm of meer.

De golflengte van een schifflslag ligt tussen de 4 en 8 m met een amplitude tussen 20 en 80 mm.

PRC00008 kijkt voor de definitie meer naar het functionele aspect:

Een spoorspatting is een vervorming van spoorstaven ten gevolge van (toegenomen) drukspanning waarbij de functionaliteit van de Infra wordt aangetast.

Er is alleen sprake van een spoorspatting als de Interventiewaarde volgens IHS00001-1 voor schiffl op de 1 en 9 m koorde overschreden wordt én als de (verwachte) buitentemperatuur hoger dan 25 °C is. Als niet aan beide voorwaarden voldaan wordt is het dus geen spoorspatting.

Spoorspattingen komen in verschillende grootten voor. De spoorspatting van Zwammerdam is onmiskenbaar en voldoet duidelijk aan de definitie die in UIC Fiche 720 gegeven is. Voor de spoorspatting in Elst op 19 juli 2022 is dat veel minder duidelijk. Volgens de definitie van PRC00008 is het een spoorspatting (schiffl op koorde van 9 m > 10 mm) maar volgens de definities van UIC Fiche 720 is het een grensgeval.



Foto 13; Spoorspatting Zwammerdam 30 juni 2006 Foto 14; Spoorspatting Elst 19 juli 2022

6.6 Het ontstaan van een spoorspatting

Een spoorspatting ontstaat als de zijdelingse weerstand van de spoorconstructie de drukkrachten in de spoorstaven niet meer op kan nemen. Er zijn verschillende parameters (voornamelijk aan de zijde van de zijdelingse weerstand van de spoorconstructie) die hierin een rol spelen.

Aan de zijde van de drukkrachten spelen de parameters die al eerder aan bod geweest zijn een rol:

- Een hogere temperatuur resulteert in een grotere drukkracht.
- Een grotere doorsnede van een spoorstaaf resulteert in een grotere drukkracht, zie § 6.4.2.

Aan de zijde van de zijdelingse weerstand spelen 2 hoofdparameters een rol:

- De gezamenlijke reactie van het ballast dwarsligger systeem. Deze gezamenlijke reactie wordt uitgedrukt in een kracht die benodigd is om een dwarsligger waarvan de spoorstaafbevestigingen losgenomen zijn haaks op de spoorstaaf onder het spoor vandaag te trekken. De gezamenlijke reactie van het ballast dwarsligger systeem wordt beïnvloed door vele parameters beïnvloed. Onderstaand een samenvatting daarvan:
 - De dwarsligger, gewicht, afmetingen/vorm, materiaal en ruwheid.
 - De dwarsliggerafstand.
 - De materiaaleigenschappen van de ballast.
 - De vorm van het ballastbed, waaronder de hoeveelheid ballast tussen de dwarsliggers.
 - De verdichtingsgraad van het ballastbed.
- De stijfheid van het spoorframe bestaande uit de spoorstaven en de dwarsliggers. De stijfheid van het spoorframe is van belang omdat om het spoor te laten spatten de denkbeeldige “rechthoeken” die bestaan uit de dwarsliggers en spoorstaven moeten vervormen. Deze stijfheid van het spoorframe wordt beïnvloed door:
 - De doorsnede van de spoorstaven, een grotere doorsnede resulteert in een stijver spoorframe.
 - De rotatiestijfheid van de spoorstaafbevestiging, een grotere rotatiestijfheid resulteert in een stijver spoorframe.
 - De doorschuifweerstand van de spoorstaafbevestiging, een grotere doorschuifweerstand resulteert in een stijver spoorframe.

In het bovenstaande speelt de doorsnede van de spoorstaaf een bijzondere rol. Dit is namelijk de enige parameter die bij een grotere doorsnede zowel bijdraagt aan een grotere drukkracht alsook een grotere zijdelingse weerstand. Het is niet op voorhand te zeggen welk effect dominant is, dus of een grotere doorsnede resulteert in een groter of kleiner risico op het ontstaan van spoorspattingen.

Daartussen speelt ook nog de grootte van een initiële afwijking in de spoorligging een rol. Perfect recht liggend spoor zal nooit spatten, maar in de werkelijkheid zal spoor nooit perfect recht liggen. Des te groter de initiële afwijking des te lager hoeft de drukkracht in de spoorstaven te zijn om het spoor te laten spatten.

Door de hoge drukkrachten en initiële afwijking in de spoorligging ontstaat een kracht die haaks op het spoor staat, de zogenaamde spatkracht. Een spoorspatting kan alleen ontstaan als deze spatkracht groter is dan de zijdelingse weerstand die door het spoor gemobiliseerd kan worden.

Vaak is voor het ontstaan van een spoorspatting ook nog een externe invloed nodig, meestal in de vorm van een treinpassage. Na een wielpassage treedt kortstondig een ontlasting van het spoor plaats (uplift) waardoor ook de zijdelingse weerstand afneemt. Deze kortstondige afname is druppel die de emmer doet overlopen waarna de spoorspatting ontstaat.

Op internet zijn foto's van veel extremere spoorspattingen te vinden dan die in vergelijking met Zwammerdam. De oorzaak van dergelijke spoorspattingen hoeft niet per se in het spoor zelf gezocht te worden. Van de spoorspatting hiernaast is bijvoorbeeld bekend dat deze op 4 september 2010 ontstond tijdens de “Canterbury earthquake” in Nieuw-Zeeland. Maar ook hier treedt een zodanige verstoring van de zijdelingse weerstand op waarbij een spoorspatting kon ontstaan.



Foto 15; Spoorspatting Nieuw-Zeeland [Bron]

6.7 Het registreren van spoorspattingen

Ten behoeve van de aantoonbare veilige berijdbaarheid, en de rapportage daarover aan de Inspectie Leefomgeving en Transport (ILT), dienen spoorspattingen gemonitord te worden. Registratie van deze spoorspattingen dient plaats te vinden volgens de in PRC00008 beschreven procedure.

In deze procedure wordt gebruik gemaakt van de volgende 2 aanvullende termen.

Term	Verklaring
Vermeende spoorspatting	Vermeende spoorspatting Een vermeende spoorspatting is een melding van een spoorspatting waarbij nog niet is vastgesteld of het een kleine schiftslag betreft of werkelijk een spoorspatting.
Vastgestelde spoorspatting	Een vastgestelde spoorspatting is een gemelde spoorspatting waarbij vastgesteld is dat de Infra beperkt wordt en/of er aanvullende maatregelen nodig zijn voor het beheersen van de functionaliteit van de infra.

Deze procedure heeft als doel om met behulp van de bijbehorende registratielijst vast te stellen of er bij een Vermeende spoorspatting “echt” sprake is van een spoorspatting.

Zoals al aangegeven in § 6.5 is er pas werkelijk sprake van een spoorspatting als de Interventiewaarde volgens IHS00001-1 voor schift op de 1 en 9 m koorde overschreden wordt én als de (verwachte) buitentemperatuur hoger dan 25 °C is. Als aan beide voorwaarden voldaan wordt is er sprake van een Vastgestelde spoorspatting.

De ingevulde registratielijsten worden door de systeemspecialist verzameld en geanalyseerd. Analyse is nodig om te kunnen bepalen of er wellicht sprake is van een bepaalde trend en of mogelijk aanpassing van regelgeving nodig is. Uiteindelijk vindt rapportage aan ILT plaats.

6.8 Het tegengaan van spoorspattingen

In het verleden bestond RLN00165. Deze RLN bevatte procedures voor de omgang voor allerlei extreme weersomstandigheden, niet alleen warmte maar bijvoorbeeld ook sneeuw. Met betrekking tot spoorspattingen regelde deze RLN bijvoorbeeld het uitvoeren van de hitteschouw. Voor het overige herstelde de RLN eigenlijk wat in § 16 van de inmiddels vervangen VTB Deel II stond, de zogenaamde maatregelen bij hoge temperaturen.

Per 2016 is RLN00165 vervangen door RLN00417. Deze RLN bevat een aantal handreikingen voor een aanpak waarmee het risico op het ontstaan van spoorspattingen zoveel als mogelijk beperkt kan worden. Deze aanpak valt uiteen in de volgende twee stappen:

1. Het bepalen van welke situaties een risico hebben op het optreden van spoorspattingen.
2. Een advies waarmee voor de risicolocaties het optreden van spoorspattingen beperkt kan worden.

6.8.1 Witte spoorstaven⁴

Het wit schilderen van spoorstaven is een maatregel om de toename van de spoorstaaftemperatuur te beperken. Daardoor ontstaat een minder grote langskracht in de spoorstaaf en daardoor ook een minder grote spatkracht waarmee het risico op het ontstaan van een spoorspatting kleiner wordt.

In meerdere landen is onderzoek gedaan naar de effectiviteit van het wit schilderen van de spoorstaaf. Hieruit volgt dat daarmee een verlaging van de spoorstaaftemperatuur van ca. 5 tot maximaal 8 °C mogelijk is. Door vervuiling van de spoorstaaf is de werkingsduur ech-

⁴ Gebaseerd op het artikel “Robuste Gleise im Sommer, Ergebnisse aus Untersuchungen mit weißen Schienen im DACH-Raum” in de Eisenbahn Ingenieur van april 2021.

ter beperkt en na 6 maanden is er geen effect meer. Daaruit volgt dat bij het eventueel toepassen het wit schilderen minstens jaarlijks herhaald moet worden wat het een kostbare maatregel maakt.

Het toepassen van witte spoorstaven wordt alleen van toegevoegde maatregel geacht als tijdelijke maatregel in situaties waar de zijdelingse weerstand niet voldoende is.

In tegenstelling tot de bovenstaande informatie die gebaseerd is op de DACH landen wordt het wit schilderen van de spoorstaven in Italië wel algemeen toegepast.



Foto 16; Witte spoorstaven in Italië

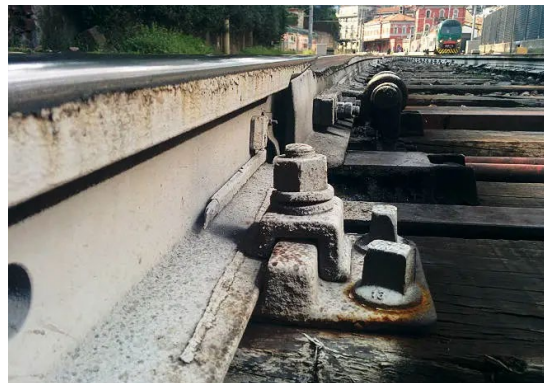


Foto 17; Witte spoorstaven in Italië (detail)

6.8.2 Het met ijs koelen van de spoorstaaf

Op internet circuleren filmpjes waarbij een spoorstaaf gekoeld wordt met ijs. Daar staat dan bij dat dit gedaan wordt om de spoorstaaf te koelen om spoorspattingen te voorkomen.

De inschatting is dat dit echter een maatregel is om plaatselijk de spoorstaafbevestigingen los te kunnen nemen om bijvoorbeeld de railpads te kunnen vernieuwen (die zijn op de foto te zien). Om over een grotere lengte en over een lange periode de spoorstaaf te koelen lijkt het geen zinnige maatregel.



Foto 18; Koelen spoorstaaf

6.9 Wanneer is er sprake van voegloos spoor

§ 2.4 in RLN00120-V004 geeft aan voegloos spoor de volgende betekenis:

Sporen met een spoorstaaf lengte $l > 60$ m waarbij de temperatuursafhankelijke lengteverandering (dilatatie) van de spoorstaven is verhinderd.

Er is dus sprake van voegloos spoor als de afstand tussen de lassen die het uitzetten en krimpen van de spoorstaaf mogelijk maken groter dan 60 m is. Is de afstand 60 m of kleiner dan is er dus sprake van voegen spoor, al is het bij voegenspoor gebruikelijk dat de afstand tussen de lassen slechts 30 m is.

VTB deel II gaf in § 16 een afstand van 48 m als grens tussen voegen en voegloos spoor. Onderstaand ter informatie de volledige definitie:

In dit verband wordt onder voegloos spoor verstaan: elk spoor waarvan de uitzetvoegen meer dan 48 m uit elkaar liggen. Bij een spoorstaaf temperatuur hoger dan die, welke bij het leggen, door middel van trekken of verwarmen, in de spoorstaven werd gebracht, ontstaat drukspanning in het spoor. Het spoor kan drukspanningen zonder knikken opnemen, indien:

- het ballastbed voldoende zijdelingse weerstand biedt;*
- de bevestiging van de spoorstaven op de dwarsliggers in goede staat is;*
- geen korte schiftingslagen aanwezig zijn.*

7 Eisen aan voegloos spoor

Dit hoofdstuk geeft een nadere onderbouwing van de in hoofdstuk 3 van RLN00120-V004 opgenomen eisen. De structuur van dit hoofdstuk is gelijk aan dat van hoofdstuk 3 in RLN00120-V004.

7.1 Randvoorwaarden voegloos maken of spoorstaafspanning verdelen

§ 3.1 van RLN00120-V004 geeft een aantal randvoorwaarden waaraan voldaan moet worden alvorens men het spoor voegloos maakt of de spoorstaafspanning herstelt.

Deze randvoorwaarden hebben als doel de situatie te creëren waarin het voegloze Spoor de langskrachten die nadien in het Spoor zullen ontstaan op kan nemen zonder dat er een risico op spoorspattingen ontstaat.

7.2 Eis toepassing van methoden

Voor het voegloos maken en het verdelen van de spoorstaafspanning bestaan een aantal vastgelegde/standaard werkmethoden. Met deze werkmethoden wordt beoogd dat als deze in de uitvoering gevolgd worden resulteren in het beoogde resultaat; een “goed” voegloos Spoor. Hierbij is het voor de opdrachtnemer niet nodig dat hij eigen methoden ontwikkelt en daarbij aantoont dat deze resulteren in een “goed” voegloos Spoor.

Zie verder hoofdstuk 9.

De opdrachtnemer heeft echter ook de mogelijk eigen werkmethoden te ontwikkelen en deze te laten kwalificeren, de zogenaamde bedrijfsspecifieke methoden. De opdrachtnemer kan hier bijvoorbeeld voor kiezen als een andere methode beter past bij de manier hoe er binnen een bedrijf gewerkt wordt.

Zie verder hoofdstuk 10.

7.3 Activiteiten in relatie tot het voegloze Spoor

§ 3.3 van RLN00120-V004 kent een drietal activiteiten in relatie tot het realiseren van voegloos Spoor. De mate waarin het bestaande voegloze Spoor door werkzaamheden beïnvloed wordt bepaalt welke activiteiten nodig zijn om het voegloze Spoor na de werkzaamheden te herstellen.

7.3.1 Voegloos maken

§ 2.4 in RLN00120-V004 geeft aan voegloos maken de volgende betekenis:

Het volledig aan elkaar lassen van het spoor, waarbij de spanning in de spoorstaaf op neutraaltemperatuur T_N wordt gebracht.

De uit te voeren werkzaamheden hebben een zodanig grote impact op het bestaande voegloze Spoor waardoor het voegloze Spoor opnieuw dient te worden gerealiseerd. Ook als dat voor de uit te voeren werkzaamheden niet noodzakelijk is dienen de spoorstaven⁵ onderbroken te worden, noodzakelijk voor het opnieuw voegloos maken.

7.3.2 Spoorstaafspanning verdelen

§ 2.4 in RLN00120-V004 geeft aan spoorstaafspanning verdelen de volgende betekenis:

Het laten uitvloeien van de spoorstaafspanning over een grotere lengte door de spoorstaafbevestigingsmiddelen over de gehele lengte van de vernieuwing los te draaien, inclusief aan weerszijden van de vernieuwing 30 m in de bestaande infra.

De uit te voeren werkzaamheden hebben een beperkte impact op het bestaande voegloze Spoor. Door het verdelen van de spoorstaafspanning wordt de beperkte impact over een groter gebied verdeeld (uitgesmeerd) zodanig dat er ten opzichte van de uitgangssituatie geen

⁵ In enkele situaties waarbij één spoorstaaf uitgewisseld wordt volstaat het doorhalen van alleen die spoorstaaf.

significante afwijking is. Bij het verdelen van de spoorstaafspanning wordt de spoorstaaf nooit doorgehaald.

7.3.3 Maatregelen ten aanzien van de spoorstaafspanning zijn niet nodig

De uit te voeren werkzaamheden hebben een verwaarloosbare invloed op het voegloze Spoor. Daarom zijn er voor het voegloze Spoor geen activiteiten nodig. Dit laat onverlet dat bij indienststelling van het spoor voldaan dient te worden aan de randvoorwaarden in § 3.1.

7.4 Eisen aan voegloos maken en spoorstaafspanning verdelen

Deze paragraaf geeft een toelichting op de in § 3.4 van RLN00120-V004 opgenomen eisen.

Neutraaltemperatuur

Voor informatie over de neutraaltemperatuur zie § 6.3.1.

Neutraaltemperatuurbereik

Voor informatie over het neutraaltemperatuurbereik zie § 6.3.2.

Neutraaltemperatuur T_N in tunnelcomplexen / spoortunnels

In spoortunnels heerst gedurende het gehele jaar globaal dezelfde temperatuur, de buitentemperatuur heeft daar niet of nauwelijks invloed op. Omdat daardoor de spoorstaven niet of nauwelijks zullen afkoelen of opwarmen is er ook geen noodzaak om de spoorstaven op de neutraaltemperatuur van 25 °C te brengen.

Omdat dit niet geldt door de open toeritten en maar in beperkte mate voor de eerste en laatste gesloten 100 m van de spoortunnel dient in die gedeelten wel een neutraaltemperatuur van 25 °C aangehouden te worden.

Voor de Nederlandse spoortunnels geldt in het algemeen dat de temperatuur lager is dan 25 °C. Voor buitenlandse tunnels die door bergen heen gaan of veel dieper liggen zal de temperatuur vaak hoger dan 25 °C zijn, van bijvoorbeeld de Gotthard-Basistunnel wordt aangegeven dat deze een temperatuur van 40 °C en hoger heeft.

Uitgangstemperatuur T_U

De uitgangstemperatuur T_U is de spoorstaaf temperatuur op het moment dat we werkzaamheden voor het voegloos maken starten. Een uitgangstemperatuur lager dan 0 °C is niet toegestaan omdat dit problemen bij de uitvoering op kan leveren, bijvoorbeeld met het maken van thermietlassen. Een uitgangstemperatuur hoger dan 28 °C is niet toegestaan omdat het niet mogelijk is de spoorstaaf af te koelen of "in elkaar te drukken" zodat voldaan wordt aan de eis van het neutraaltemperatuurbereik.

Ankerlengte

De ankerlengte van het spoor is de lengte waarover de voegloze kracht zich in het spoor op kan bouwen van 0 kN tot maximaal, tegelijkertijd neemt de verplaatsing van de spoorstaaf af van maximaal naar 0 mm.

De krachtsopbouw neemt stapsgewijs per elke dwarsligger toe. Bij betonnen dwarsliggers is deze toename per dwarsligger groter door de grotere weerstand die de betonnen dwarsligger in de ballast heeft in vergelijking met houten en kunststof dwarsliggers, de maximale kraacht in de spoorstaaf wordt over een kortere lengte bereikt. Daarom bestaat er een onderscheid in ankerlengte.

Ondanks dat het onderscheid in RLN00120-V004 niet aangegeven is zal het type spoorstaaf ook een invloed op de ankerlengte hebben. Van een spoor met een 60E1 spoorstaaf zal de ankerlengte groter zijn dan van een 54E1 spoorstaaf.

Metallurgische lassen

-

Minimale lasafstand

Een minimale lasafstand dient te worden aangehouden om ervoor te zorgen dat in het onwaarschijnlijke geval dat beide lassen breken het tussenliggende stuk spoorstaaf nog steeds stabiel op de dwarsliggers blijft liggen als deze bereden wordt.

Lassen 'Oud' op 'Nieuw' vóór einde buitendienststelling

Vanwege de vaak aanwezige slijtage op de bestaande constructie is het maken van een vloeiende overgang van het loopvlak met behulp van noodlasconstructies (met doorgezette lasplaten) vaak niet goed mogelijk, of alleen door veel te slijpen.

Door deze lassen voor het einde van de buitendienststelling te maken wordt voorkomen dat deze bereden worden door het reguliere treinverkeer en daarbij schade ontstaat, of dat al zoveel geslepen is dat het nadien niet meer goed mogelijk is een kwalitatief goede las te maken.

Sluitlassen overgang in spoorstaafprofiel

Lassen met een overgang in spoorstaafprofiel (m.a.w. twee verschillende spoorstaafprofielen) mogen niet als sluitlas dienen. Reden is dat bij het gebruik van trekapparatuur bij verschillende profielen de verlenging in ook verschillend zal zijn. Immers: $F = \alpha \times E \times A \times \Delta T$, de oppervlakte (A) is bij verschillende profielen anders.

Elektrische scheidingslassen (ES-lassen)

Het vroegtijdig belasten van een in de baan gemaakte ES-las kan ertoe leiden dat de ES-las al bezwijkt voordat de lijm is gehard. Pas nadat de lijm voldoende is uitgehard kan de ES-las de voegloze krachten opnemen.

Geometrie

Het spreekt voor zichzelf dat werkzaamheden voor het voegloos maken of spoorstaafspanning verdelen geen nadelige invloed op de uiteindelijke geometrie mag hebben. Hier zou met name bij wissels en kruisingen sprake van kunnen zijn als de werkzaamheden onjuist uitgevoerd worden.

Wissels en kruisingen

Alhoewel dat in BID00021-1 niet specifiek vermeld wordt dienen alle wissels en kruisingen op betonnen wisselliggers opgenomen te worden in voegloos Spoor. Dat is namelijk wel op die manier beschreven in OVS00056-6.1.

Voor de Wissels en Kruisingen op houten dwarsliggers is in BID00021-1 per uitvoering aangegeven of deze bedoeld is voor voegen of voegloos Spoor. Van bestaande voegen wissels en kruisingen is het niet bij voorbaat uitgesloten dat deze omgebouwd zouden kunnen worden naar een voegloze toepassing. De mogelijkheden daartoe zullen echter per situatie beoordeeld moeten worden.

Indien in een afwijkende situatie besloten wordt tot de toepassing van nieuwe wissels en kruisingen op houten of kunststof dwarsliggers dan dienen die ook voegloos uitgevoerd te worden. Hiervoor gelden de eisen beschreven in OVS00056-6.1.

Opnemen wissel in voegloos Spoor

Wissels worden vanwege hun omvang en massa als vast punt beschouwd. Toch bestaat met name voor de kortere wissels het risico dat ze van hun plek getrokken worden of vervormen als ze maar eenzijdig aangesloten zijn op voegloos Spoor. Vandaar de reden dat wissels rondom "omsloten" dienen te zijn door voegloos Spoor.

8 Rollen, taken en kwalificaties van betrokken personeel

Ten aanzien van het gelijklopende hoofdstuk in RLN00120-V004 is geen aanvullende achtergrondinformatie beschikbaar.

9 Methoden voegloze sporen, wissels en kruisingen

Dit hoofdstuk heeft dezelfde opbouw als het gelijklopende hoofdstuk in RLN00120-V004. Alleen als er relevante achtergrondinformatie beschikbaar is dan is dit opgenomen in dit hoofdstuk. Als er geen relevante achtergrondinformatie beschikbaar, bijvoorbeeld als het redelijkerwijs vanzelfsprekend is waarom een eis opgenomen is, is dan is dit aangegeven met een liggend streepje.

9.1 Methoden voegloze sporen

9.1.1 Bevestigingsmiddelen en vrij bewegen van constructies

9.1.1.1 Losdraaien bevestigingsmiddelen

-

9.1.1.2 Ontspannen van spoorstaven

Het gebruik van stalen hamers kan leiden tot het beschadigen van de spoorstaaf.

Door het gebruik van de rollen ondervinden de spoorstaven bij het ontspannen minder minderstand dan in vergelijking met wanneer ze op het oplegvlak van de dwarsliggers zouden liggen.

9.1.2 Vaststellen temperaturen, bepalen verlenging en markeren controlepunten

9.1.2.1 Vaststellen uitgangstemperatuur T_U

Wanneer een spoorstaaf door de zon beschenen wordt zal de spoorstaafzijde die beschenen wordt snel warmer worden. Het is echter niet zo dat de hele doorsnede van de spoorstaaf tegelijkertijd opwarmt en een deel van de spoorstaaf zal zelfs aanmerkelijk koeler blijven. Door aan de schaduwzijde te meten wordt een meer gemiddelde spoorstaaftemperatuur gemeten dan in vergelijking met de zonzijde van de spoorstaaf.

9.1.2.2 Vaststellen neutraaltemperatuur T_N

-

9.1.2.3 Bepalen verlenging ΔL

De tabel waarnaar verwezen wordt is gebaseerd op een berekening waarbij voor α een waarde van 0,012 is aangehouden. De waarden in de tabel zijn daarom ca. 4% groter dan wanneer ze zelf berekend zouden worden met de in dit artikel aan α gegeven waarde van 0,0115.

9.1.2.4 Aftekenen verlenging ΔL ter plaatse van controlepunten

-

9.1.3 Wijze van kunstmatig verlengen spoorstaven

-

Kunstmatig verlengen met hydraulische trekapparatuur

De in te stellen kracht is gebaseerd op de doorsnede van de spoorstaaf. Door het verschil in doorsneden van de verschillende spoorstaafprofielen kan nooit voor de beide tegelijkertijd de juiste kracht ingesteld worden waardoor het niet mogelijk is de spoorstaven de juiste verlenging te geven.

Wordt bijvoorbeeld de kracht ingesteld op basis van een 46E3 spoorstaaf (5978 mm²) dan zal de verlenging van de 54E1 spoorstaaf (6977 mm²) te klein zijn. Andersom, wordt de kracht ingesteld op basis van den 54E1 spoorstaaf dan zal de verlenging van de 46E3 spoorstaaf te groot zijn.

Hoewel RLN00120-V004 dit niet expliciet benoemt gaat dit niet op wanneer spoorstaven zijn samengesteld uit 54E1 en 54E5 of 60E1 en 60E2. Het verschil in doorsnede tussen deze spoorstaven is verwaarloosbaar.

Kunstmatig verlengen met verwarmingswagen

-

Kunstmatig verlengen middels inductieverwarmen

-

9.1.4 Maximale lengte verlengen spoorstaven

Maximale lengte verlengen bij rechtstand en in bogen $R > 900$ m

De maximale lengte van 900 m wordt bepaald door wat praktisch uitvoerbaar geacht wordt. Bij grotere lengten zou wrijving te groot worden. Daarbij ook rekening houdend met wat binnen één dienst uitvoerbaar is.

Maximale lengte verlengen in bogen $R \leq 900$ m

De beperking van de maximale lengte is erop gebaseerd dat de spoorstaaf door de ligging in de boog meer weerstand zou kunnen ondervinden bij het uitzetten. Door de beperking van de lengte is dit beter beheersbaar. Bij het hydraulisch trekken kan de kracht bij kleine boogstralen in de dwarsrichting zo hoog oplopen dat de spoorstaaf uit de bedding wordt getrokken.

9.1.5 Vastdraaien van bevestigingsmiddelen

-

9.1.6 Maken van sluitlas(sen)

Na het maken van de sluitlas functioneert het spoor volledig als voegloos Spoor. Doordat voldaan dient te worden aan de voorwaarden in § 3.1 kan het spoor ook werkelijk als voegloos Spoor functioneren. Zou nadien bijvoorbeeld de spoorligging nog aangepast worden dan zou dit resulteren in een verandering van de neutraaltemperatuur T_N .

9.1.6.1 Lasvoegen

Het thermisch aanbrengen van de voeg kan een negatieve invloed hebben op de kwaliteit van de spoorstaaf of voeg en is daarom in slechts een beperkt aantal gevallen toegestaan.

9.1.6.2 Sluitlas(sen)

-

Het maken van sluitlassen na verlengen middels hydraulisch trekken

Wanneer een thermietlas nog niet afgekoeld is tot onder de 300 °C is deze nog niet in staat de trekkracht op te nemen die zou ontstaan als de trekapparatuur verwijderd wordt.

Het maken van sluitlassen na verlengen middels verwarmen

-

9.1.7 Beëindigen van voegloos spoor

Bij het einde van een spoor (kopspoor) levert de vrije dilatatie van een spoor geen problemen op. Een compensatievoorziening zorgt voor een soepele wielovergang van de voegloze Spoor zonder dat een kracht doorgegeven kan worden.

Ondanks dat RLN00120-V004 dat niet vermeld dient een compensatievoorziening ook toegepast te worden bij de overgang van voegloos Spoor naar voegen spoor.

9.1.7.1 Einde spoor (vrije dilatatie)

-

9.1.7.2 Compensatielassen, -inrichtingen en brugovergangen

In deze paragraaf wordt een dilatatielengte van 60 m aangehouden. Achtergrond achter deze 60 m is dat de vrije lengteverandering over deze 60 m gelijk is aan de lengteverandering die plaatsvindt over de ankerlengte van spoor met betonnen of houten dwarsliggers, respectievelijk 80 en 100 m. Over de ankerlengte is namelijk geen sprake van vrije uitzetting. Over de ankerlengte neemt de kracht in de spoorstaaf af van maximaal naar 0 kN en omgekeerd de verplaatsing van 0 mm naar maximaal.

Een opmerking op figuur 5.6 is dat in tegenstelling tot wat in de tekst beschreven is de dilatatielengte getekend is tot aan de thermietlas van de compensatielas, in tegenstelling tot het midden van de compensatielas.

9.1.7.3 Vaste punten

9.1.7.4 Harmelen-overwegen (Embedded Rail System)

Vanaf een lengte van 18 m is een Harmelen overweg in staat de kracht die maximaal in de spoorstaaf op kan treden over te dragen naar de ondergrond zonder dat het risico bestaat dat de ingegoten spoorstaven zich ten opzichte van de goot verplaatsen of dat de harmelen platen zelf van hun plaats getrokken worden.

9.1.7.5 Spoordraagplaten-overwegen

Voor overwegen van spoorwegplaten geldt dezelfde reden als § 9.1.7.4 echter geldt vanwege de andere (lichtere) opbouw van de overweg een lengte van minimaal 27 m.

9.1.8 Tunnelcomplexen

Voor meer informatie over spoortunnels zie § 7.4 onder de kop "Neutraaltemperatuur T_N in tunnelcomplexen / spoortunnels".

9.1.9 Ingegoten spoor

-

9.2 Methoden voegloze wissels en kruisingen

9.2.1 Algemeen

Door het wissel of de kruising eerst intern voegloos te maken wordt voorkomen dat het wissel of de kruising bij het opnemen in voegloos Spoor als één geheel gezien kan worden met een zo klein als mogelijk risico op vervorming van de wissel of de kruising.

9.2.1.1 Tussenlassen en sluitlassen

-

9.2.1.2 Controle afstelling wisseltong en anti-kruip

Na het lassen van de wisseltongen is het niet meer mogelijk om iets aan te passen. Vandaar dat het van belang is om de controle voor het lassen uit te voeren.

9.2.1.3 Lasvolgorde en aandachtspunten wissels en kruisingen t.b.v. methoden

De opgenomen aandachtspunten zijn allen van belang om ervoor te zorgen dat bij het intern voegloos maken en het opnemen in voegloos Spoor het risico op vervorming of verplaatsing van het wissel of de kruising zo klein mogelijk is.

9.2.2 Intern lassen en voegloos maken wissels en kruisingen

Het onderscheid in totaal 8 groepen is gemaakt omdat elk wisseltype, of de afmetingen daarvan, specifieke eisen stelt aan de volgorde van het intern voegloos maken. De aangegeven lasvolgorde is vaak gebaseerd op voorgaande versies van RLN00120.

Voor NG 2.0 wissels is contractueel geregeld dat alle regelgeving door de leverancier opgesteld wordt en ontsloten is in aparte regelgeving. Gevolg daarvan is dat ook de regels voor het intern voegloos maken in die aparte regelgeving opgenomen is.

Een belangrijk uitgangspunt is dat lassen altijd twee aan twee gemaakt worden. Daarmee wordt met behulp van de voorgeschreven lasvolgorde ervoor gezorgd dat een wissel of een kruising bij het afkoelen van de las symmetrisch belast wordt.

9.2.2.1 Methode gewoon of symmetrisch wissel met een hoekverhouding $\leq 1:9$

-

9.2.2.2 Methode gewoon of symmetrisch wissel met een hoekverhouding $> 1:9$ en $\leq 1:15$

-

9.2.2.3 Methode gewoon of symmetrisch wissel met een hoekverhouding $> 1:15$ en $\leq 1:20$

-

9.2.2.4 Methode (Heel) Engels wissel

-

9.2.2.5 Methode Half Engels wissel

-

9.2.2.6 Methode hogesnelheidswissel 1:34,7 en 1:39,173

-

9.2.2.7 Methode kruising met tussenspoorstaaf

-

9.2.2.8 Methode kruising zonder tussenspoorstaaf

-

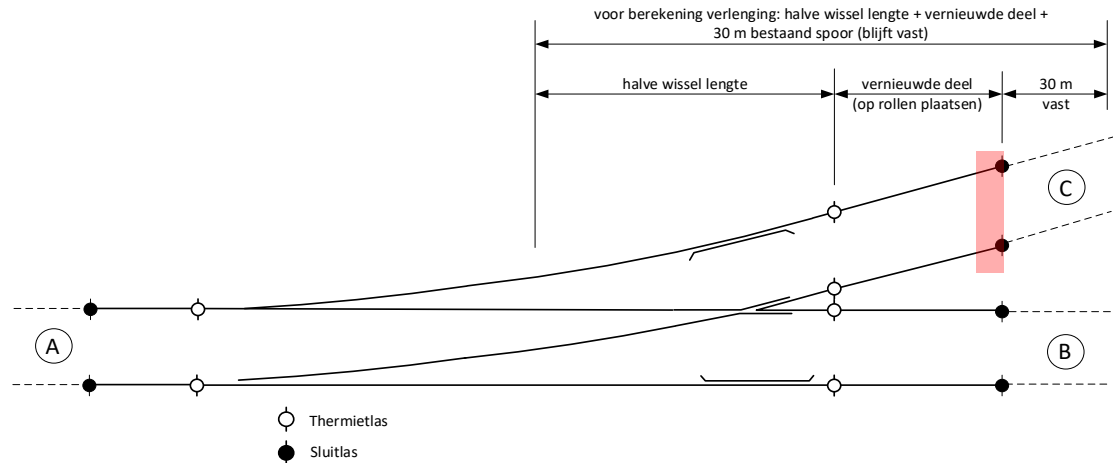
9.2.3 Opnemen wissels en kruisingen in voegloos spoor

Het onderscheid in totaal 6 groepen is gemaakt omdat elk wisseltype, of de afmetingen daarvan, specifieke eisen stelt aan het aansluiten van het voegloze spoor. Met name voor wat betreft de bij manier waarop de benodigde lengte berekend moet worden.

Zoals in § 5.2.1.3 van RLN00120-V004 is aangegeven is het van belang dat eerst de recht-doorgaande sporen aangesloten worden op het voegloze spoor. Daarna kunnen de afbui-gende zijde aangesloten worden, tenzij de methode anders aangeeft.

9.2.3.1 Opnemen gewoon of symmetrisch wissel met een hoekverhouding $\leq 1:15$

Voor het berekenen van de verlenging van een 1:15 is onderstaand een voorbeeldberekening opgenomen.



Figuur 9; gewoon of symmetrisch wissel met een hoekverhouding $\leq 1:15$ opnemen in voegloos spoor (Figuur 5.16 uit RLN001230-V004)

De vraag is hoe groot de benodigde verlenging ter plaatse van de sluitlassen dient te zijn. Hiervoor worden de volgende uitgangspunten aangehouden:

- Uitgangstemperatuur $T_U = 15 \text{ }^\circ\text{C}$.
- Lengte vernieuwde deel = 40 m.
- Halve lengte wissel = 24 m.

De formule uit § 5.1.2.3 van RLN00120-V004 dient hier te worden gebruikt. Deze formule luidt:

$$\Delta l = \Delta T \times l \times \alpha$$

In deze formule kan ΔT vervangen worden door $T_N - T_U$. De formule wordt dan:

$$\Delta l = (T_N - T_U) \times l \times \alpha$$

Invulling van de waarden resulteert in:

$$\Delta l = (25 - 15) \times (24 + 40 + 30) \times 0,0115 \rightarrow \Delta l = 10,8 \text{ mm, afgerond } 11 \text{ mm.}$$

Over de lengte van het vernieuwde deel van 40 m dient dus ter plaatse van de sluitlassen een verlenging van 11 mm gerealiseerd te worden.

9.2.3.2 Opnemen gewoon of symmetrisch wissel met een hoekverhouding $> 1:15$ en $\leq 1:20$, en hogesnelheidswissels 1:34,7 en 1:39,173

-

9.2.3.3 Opnemen Heel of Half Engels wissel

-

9.2.3.4 Opnemen kruising met of zonder tussenspoorstaaf

-

9.2.3.5 Opnemen NG2.0 wissel in voegloos spoor (intern voegloos conform RLN00435)

-

9.2.3.6 Opnemen kruiswissel in voegloos spoor

-

9.2.4 Opnemen aansluitende wissels en kruisingen in voegloos spoor

Deze paragraaf bevat de regels voor het voegloos maken van in elkaars verlengde liggende wissels. In hoeverre bepaalde activiteiten nodig zijn hangt sterk af van de lengte van het stuk spoor tussen de beide wissels.

9.3 Voegloos maken sporen, wissels en kruisingen bij onderhoud

-

10 Methodekwalificatie

Een methode gerelateerd aan het voegloos maken of spoorstaafspanning verdelen van sporen, wissels en kruisingen (van temperatuur meten tot volgorde van lassen) heeft invloed op de uiteindelijke spoorstaafspanningen. De Opdrachtnemer kan gebruik maken van alle gekwalificeerde methoden zoals vastgelegd in RLN00120. Deze methoden hebben in de praktijk bewezen, mits goed uitgevoerd, te leiden tot de gewenste resultaten aan voegloos spoor, wissels en kruisingen.

Brede wens van de aannemers was ook eigen methodes te mogen gebruiken. In de nieuwe RLN00120 is deze mogelijkheid opgenomen. De Opdrachtnemer ook een eigen methode toevoegen (hierna aangeduid als bedrijfsspecifieke methode). Voordat deze echter toegepast mag worden dient deze gekwalificeerd te worden door ProRail. De kwalificatie geschiedt door een Verklaring van Geen Bezwaar (VGB) voor de methode af te geven door de Manager Spoor Wissels & Geotechniek van ProRail.

Van een nieuwe methode, als alternatief of aanvulling op de methoden beschreven in deze richtlijn, dient een dossier te worden opgesteld zoals beschreven in RLN00120.

Indien een Opdrachtnemer voor een bedrijfsspecifieke methode een VGB wil aanvragen, dient een dossier te worden opgesteld. Dit dossier dient aan te tonen dat de methode leidt tot voegloos spoor, wissels en kruisingen dat voldoet aan de eisen zoals gesteld in de RLN00120. Het dossier dient minimaal de volgende punten te bevatten alvorens het aan ProRail ter beoordeling wordt aangeboden:

- Een uitwerking van de methode;
- Een risicobeoordeling;
- Een theoretische berekening;
- Praktijkbeproevingen.

In de RLN00120-V004 wordt specifiek de inhoud van de bovenstaande punten behandeld.

11 **Acceptatieprotocol**

Het opstellen van het acceptatieprotocol heeft als doel aantoonbaar te maken dat het voegloos maken op de juiste manier heeft plaatsgevonden. Daarnaast kunnen bijzonderheden die tijdens de uitvoering opgetreden of waargenomen zijn vastgelegd worden.