

Eindrapport

Ontsporing LPG ketelwagen

27 november 2017 te Sloe Frankrijkweg



Onderwerp: Eindrapport ontsporing Sloe

Eigenaar: ProRail afdeling Veiligheid

Incidentnummer in Promise: 542443

Kenmerk Sharepoint:

[VT20150049-844414331-10747](#)

Status: DEFINITIEF

Datum: 23 augustus 2018

Managementsamenvatting

Op maandag 27 november 2017 ontspoord en kantelt op spoor 51 langs de Frankrijkweg in het niet centraal bediend gebied (NCBG) Sloe een met LPG beladen ketelwagen. Deze wagen rijdt als tweede wagen (van 20 wagens totaal) in een geduwde trein met 13 km/h van emplacement Sloe richting het emplacement van Vopak. Het voorste draaistel van de derde wagen ontspoord als gevolg van het kantelen van de tweede wagen.

Van de later gekantelde wagen ontspoord de voorste as van het achterste draaistel 1 als eerste, binnen een seconde gevolgd door de voorste as van draaistel 2. Daarna ontsporen ook de achterste assen van beide draaistellen op vrijwel dezelfde twee plaatsen als de voorste assen. De ontsparing van elk van de vier assen begint met het van de binnenste spoorstaaf van de boog vallen van het linker wiel. Dat kan uitsluitend als de spoorwijdte gelijk of breder is dan de breedte van het wielstel, 1525 mm tussen de rechter wielflens en de buitenkant van het linker wiel. Enkele meters verder in de rijrichting, vanaf de plaats waar het linker wiel van de spoorstaaf valt, is op de rechter spoorstaaf de afdruk zichtbaar van de wielflens van het rechterwiel waar deze over de spoorstaaf rolt als gevolg van de ontsparing van het linker wiel. Twaalf meter (bij 13km/u 3,3 seconden) na de ontsparing kantelt de ketelwagen. Het totale incident voltrekt zich in ongeveer vijf seconden.

Binnen de afstand waarin ontsparing plaatsvindt is een aantal opeenvolgende houten dwarsliggers van matige tot slechte kwaliteit aanwezig. De rughellingplaten zijn in het hout gedrongen of ingeslagen. De spoorwijdte in de boog van spoor 51 bij de laatste statische meting voorafgaand aan de ontsparing is niet overal even groot. Onder belasting door een trein bewegen de spoorstaven naar buiten in een kantelende beweging.

ProRail voert een pilot uit met de meetstations van Quo Vadis. Uit metingen van vier Quo Vadis meetstations tussen de Duitse grens en Sloe blijkt dat de ontspoorde wagen een diagonale onbalans heeft in draaistel 1. De onbalans leidt tot grotere verticale en horizontale krachten op de spoorstaven. DB Cargo is geen deelnemer aan deze pilot en ontvangt geen informatie uit dat systeem. Daardoor vindt geen interventie plaats, bijvoorbeeld door de wagen met onbalans uit te rangeren en te herstellen door de vervoerder en wageneigenaar.

Onderzoek van de wagen door de wageneigenaar Ermewa toont de oorzaak van de onbalans aan: 5 van 16 draagveren zijn korter dan de norm die daarvoor geldt. Het gevolg is dat diagonaal in draaistel 1 een verschil van ongeveer 3 ton wiellast ontstaat bij een gemiddelde van ongeveer 10 ton. In de draaikom, waarmee de wagen op het draaistel rust, is een scheef gesleten frictieplaat gevonden als gevolg van de onbalans. Aannemelijk is dat bij veranderen van richting van het draaistel, bij het in- en uitrijden van bogen extra (dwars)kracht geleverd worden door de wielflensen om het draaistel het spoor te laten volgen. Bij draaistellen met intacte frictieplaten treedt die extra kracht niet op. Dit is de meest waarschijnlijke reden waarom juist dit draaistel als eerste ontspoord: daar waar de rechter spoorstaaf net iets verder kantelt door de veronderstelde extra kracht die dwars op de spoorstaafkop optreedt. De spoorstaaf mag deze kantelbeweging niet maken en moet juist star zijn onder belasting. Als de extra dwarskracht, die nodig is om het draaistel te draaien groot genoeg is, zou bij een starre spoorconstructie de rechter wielflens als eerste over de spoorstaaf gedrukt zijn. Die afdrukken van overrollen van de spoorstaafkop zijn wel gevonden, echter ruim voorbij de plaats waar eerst het linker wiel van de spoorstaaf is gevallen.

Conclusies¹

1. De directe oorzaak van de ontsparing is de te grote spoorwijdte onder belasting door een trein. Bijdragende factor zijn de extra krachten die specifiek zijn bij de ontspoorde wagen door een diagonale onbalans als gevolg van afwijkingen in de veren van het eerst ontspoorde draaistel. Daardoor ontspoord juist deze wagen als eerste.
2. De spoorwijdte wordt conform voorschriften in onbelaste toestand gemeten. Metingen onder belasting door een trein zijn op niet centraal bediend gebied (NCBG) niet voorgeschreven door ProRail.

¹ Voor de diverse oorzaakgebieden geen expliciete normering gesteld. Maatregel 1 in het Overzicht van maatregelen n.a.v. incident Ontsporing Sloe gaat hierop in.

3. Het geconstateerde slijtagebeeld van de buitenste spoorstaafkop van de boog kan alleen ontstaan als de spoorstaaf kantelt. Dat slijtagebeeld heeft niet geleid tot nader beoordelen door de aannemer en/of ProRail van met name de dwarsliggers, rughellingplaten, kraagbouten en Vossloh veerklemmen.
4. In het ontsporingsgebied is vastgesteld dat meerdere Vossloh veerklemmen niet goed op hun plaats zaten. Daardoor ligt de spoorstaaf niet goed vast op de dwarsliggers en kan deze kantelen onder belasting.
5. In het ontsporingsgebied zijn alle rughellingplaten in het hout ingeslagen door de degradatie van de kwaliteit van het hout in de loop van jaren. Alle kraagbouten in het ontsporingsgebied steken omhoog. Enkele kraagbouten konden met de hand verwijderd worden. Bij mechanisch uitdraaien waren grote verschillen in de kracht nodig.
6. In het ontsporingsgebied zijn de dwarsliggers in meerdere of mindere mate verweerd. In dat gebied is geen dwarsligger aangetroffen die in staat was de spoorwijdte te handhaven onder belasting. In combinatie met de ingeslagen rughellingplaten zijn deze dwarsliggers niet functioneel. Door de krachten van het eerst ontspoorde draaistel en de reactie van de wagen door de ontsporing, kantelt en tordeert de buitenste spoorstaaf omdat de kraagbouten en Vossloh klemmen die krachten niet kunnen weerstaan. Daardoor ontsporen binnen een seconde ook de voorste assen van de wagen, 15 meter voor het eerst ontspoorde achterste draaistel.
7. De trein is op vier plaatsen door Quo Vadis gemeten. Het achterste draaistel van de tweede wagen heeft een diagonale onbalans tussen 21% en 27%.
8. De oorzaak van de onbalans is gevonden in de te kleine lengte van de veren van dat draaistel. Deze onbalans heeft geleid tot schade aan de teflon frictiekomp van dat draaistel waardoor meer kracht nodig is om het draaistel te corrigeren bij spoorwijdte veranderingen en in bogen en wissels. Bij starre infrastructuur en extreme frictiekracht zou de onbalans kunnen leiden tot opklimmen en ontsporen van een rechter wiel, niet tot het vergroten van de spoorwijdte waardoor een draaistel tussen de spoorstaven terechtkomt en op die wijze ontspoorde.

Inhoudsopgave

Managementsamenvatting.....	2
1 Inleiding	5
1.1 Onderzoek	5
2 Reconstructie ontsporing	6
2.1 Globale beschrijving.....	6
2.2 Overzicht van de ontsporingslocatie.....	7
2.3 Toedrachtbeschrijving	8
3 Analyse van de ontsporing	10
3.1 Plaats en aard van de ontsporing	10
3.2 Invloed van het materieel op de spoorconstructie.....	11
3.2.1 Inspectie wagen.....	11
3.2.2 Meting veren	13
3.3 De reactie van de spoorconstructie op het materieel	14
3.3.1 Dynamische krachten zijn van invloed op de spoorwijdte	14
3.4 Ontsporing door combinatie van materieel en infra samengevat	15
4 Conclusies	16
Bijlage 1 – literatuurlijst.....	17

1 Inleiding

Op maandag 27 november 2017 is op de Frankrijkweg in het niet centraal bediend gebied (NCBG) Sloe een wagen, beladen met LPG ontspoord en gekanteld. Deze wagen reed als tweede wagen (van 20 wagens totaal) in een geduwde trein richting het emplacement van Vopak. Het voorste draaistel van de derde wagen is ontspoord. ProRail heeft diverse gegevens vastgelegd, zowel van de infrastructuur ter plaatse als van de betreffende wagen, gemeten door de Quo Vadis meetsystemen op de route vanaf de grens bij Zevenaar tot aan NCBG Sloe.

1.1 Onderzoek

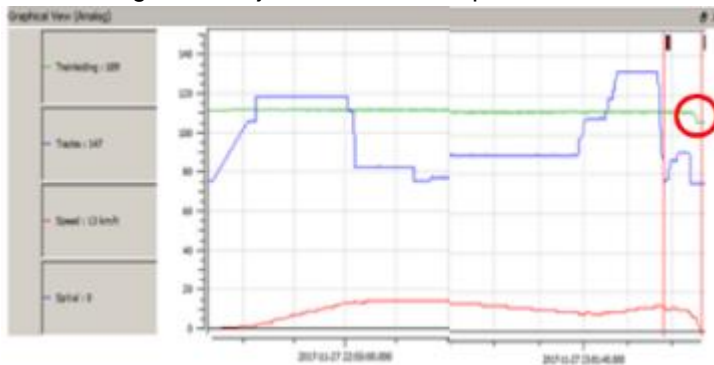
ProRail, ILT, Politie, DB Cargo en schade-experts van de verzekeraars (Clensch) van de vervoerder en spoorbeheerder hebben ter plaatse onderzoek uitgevoerd. Tussen partijen zijn foto's, relevante documenten, rapporten en voorschriften uitgewisseld. De wagens zijn voor reparatie en nader onderzoek terzijde gesteld, de vrijgekomen inframaterialen zijn na de berging van de wagens opgeslagen op een afgesloten terrein, eveneens ten behoeve van nader onderzoek. Met hulp van een onafhankelijk deskundige op het gebied van railinfrabeheer heeft ProRail afdeling Veiligheid een analyse van het incident uitgevoerd. Ermewa is als wageneigenaar betrokken bij het onderzoek aan hun voertuigen. Dekra is ingeschakeld voor een simulatieberekening en een aantal technische proeven.

2 Reconstructie ontsporing

2.1 Globale beschrijving

Op maandag 27 november 2017 rond 23:00 uur ontspoord bij het uitrijden van de boog op spoor 51 nabij km 300.340 langs de Frankrijkweg in het NCBG Sloe een trein. De tweede wagen vanaf de voorzijde ontspoord met alle wielen en kantelt. De koppeling tussen deze wagen en de voorste wagen breekt af, gelijk met de buffer rechtsachter van de voorste wagen. De koppeling tussen de gekantelde tweede en de derde wagen houdt stand. De tweede wagen trekt het voorste draaistel van de derde wagen uit het spoor. Het spoor raakt ernstig beschadigd over een lengte van ongeveer twintig meter.

De trein, samengesteld uit twintig met LPG beladen wagens (GEVI 23, UN 1965), rijdt vanuit Duitsland via de Betuweroute en het emplacement Kijfhoek naar het emplacement Sloehaven. Vanaf dit emplacement duwt de locomotief de complete trein over spoor 51 langs de Frankrijkweg met als bestemming het bedrijventerrein van Vopak.



Figuur 1: machinist, rangeerder, snelheid en vermogen op spoor 51 [bron: ARR locomotief]

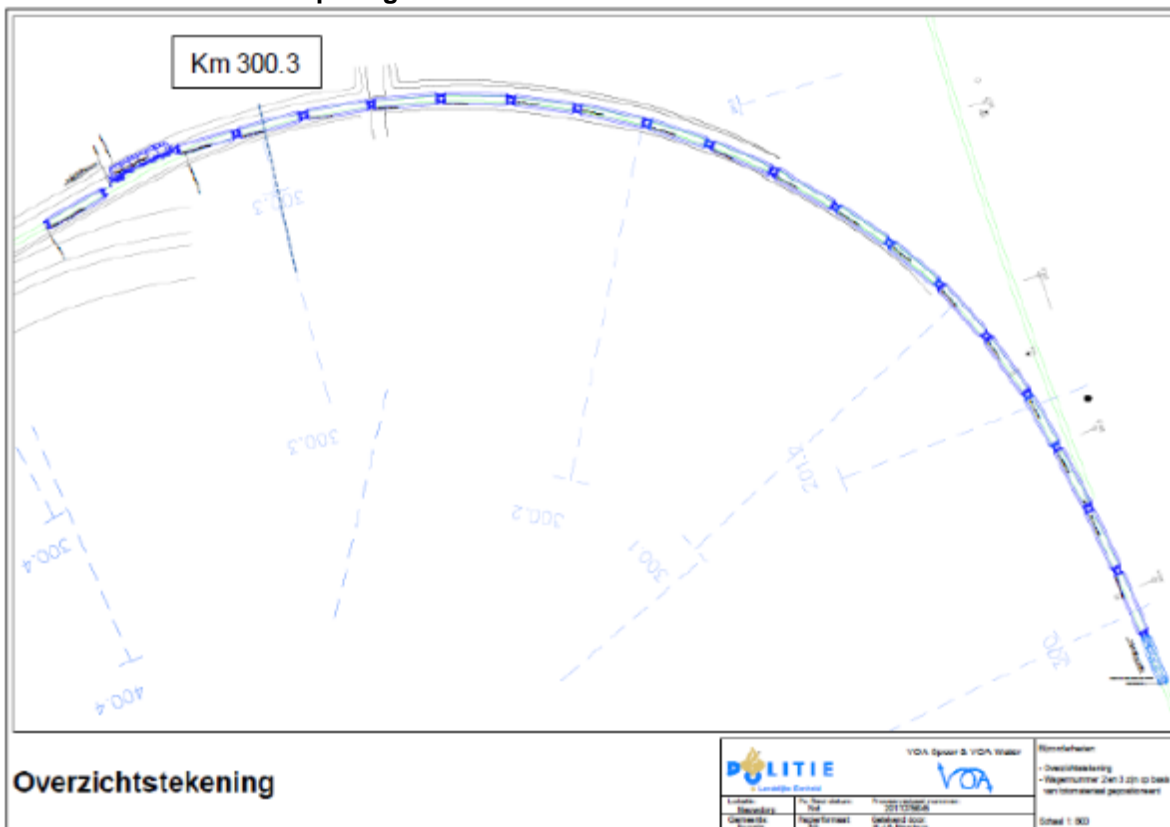
De locomotief wordt van Sloe naar Vopak radiografisch bestuurd. De machinist en de rangeerder staan op het bordes van de eerste wagen, aan de zijde van de tweede wagen. Op het moment van ontsporen rijdt de trein ongeveer 13 km/h. Kort voor de ontsporing loopt de snelheid (rood in figuur 1) iets terug en weer op. Rechts op de grafiek (figuur 1) is in de rode cirkel het moment te zien waarop de remleiding breekt en de druk (groen) wegvalt. De remleiding breekt op het moment dat de tweede wagen kantelt. Vlak daarvoor vermindert de snelheid van de locomotief omdat deze geblokkeerd wordt doordat de wagens tegen de ontspoorde tweede wagen duwen en even later tot stilstand komen tegen de gekantelde wagen.

De ontspoorde en gekantelde wagen blijft op de spoordijk liggen. De koppeling met de derde wagen staat onder mechanische spanning, houdt stand en verhindert dat de gekantelde wagen verder doorrolt en het incident escaleert.

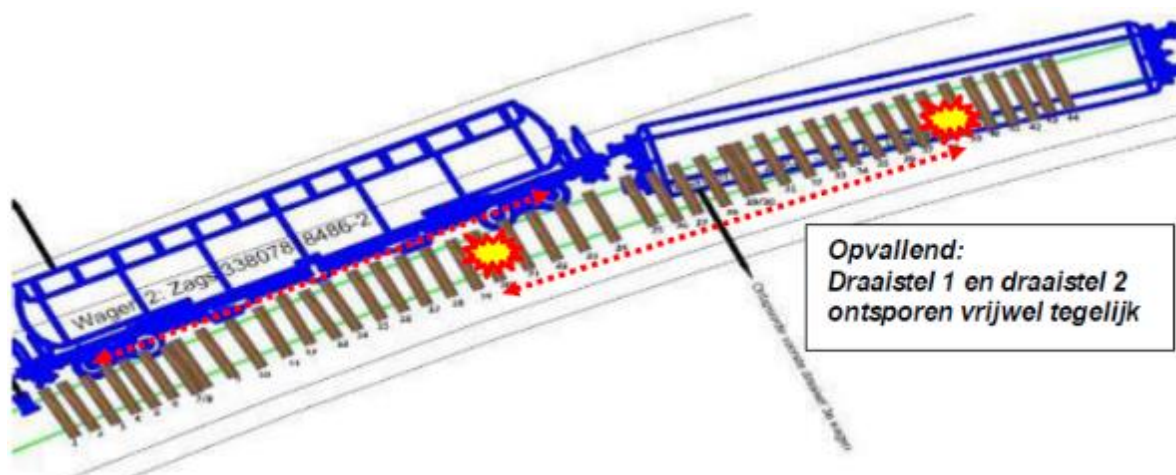


Figuur 2: gekantelde wagen 2 en koppeling met ontspoorde wagen 3 [bron: foto Politie]

2.2 Overzicht van de ontspningslocatie

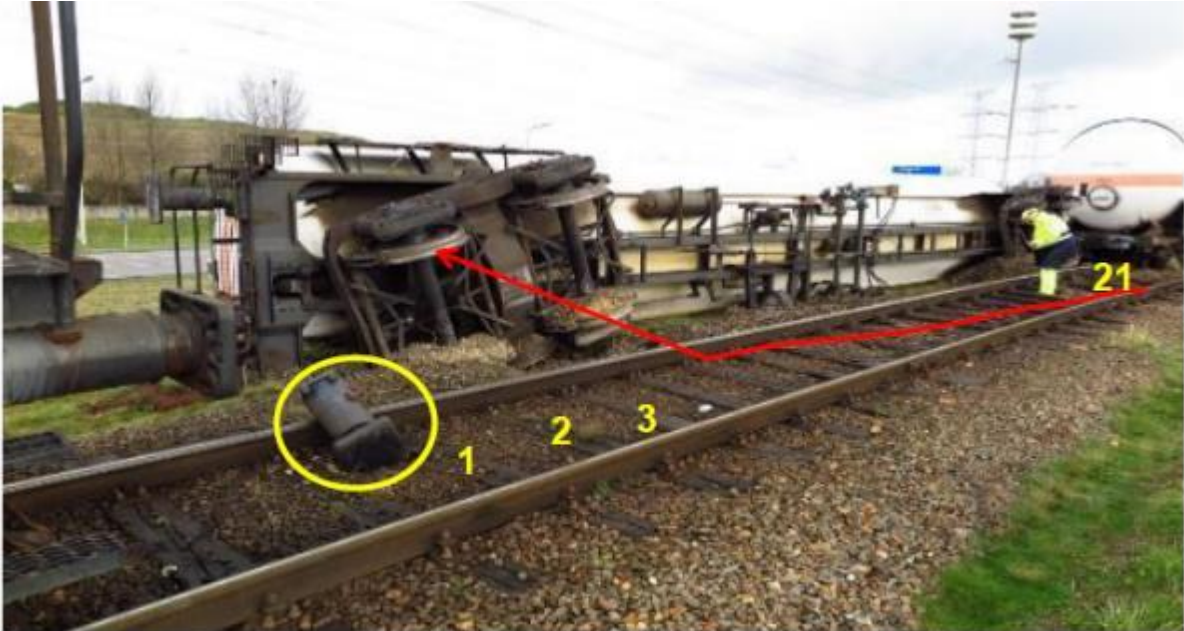


Figuur 3: overzichtstekening boog met positie van de trein [bron: tekening Politie]



Figuur 4: nummering dwarsliggers gekantelde en ontspoorde wagen [bron: ProRail]

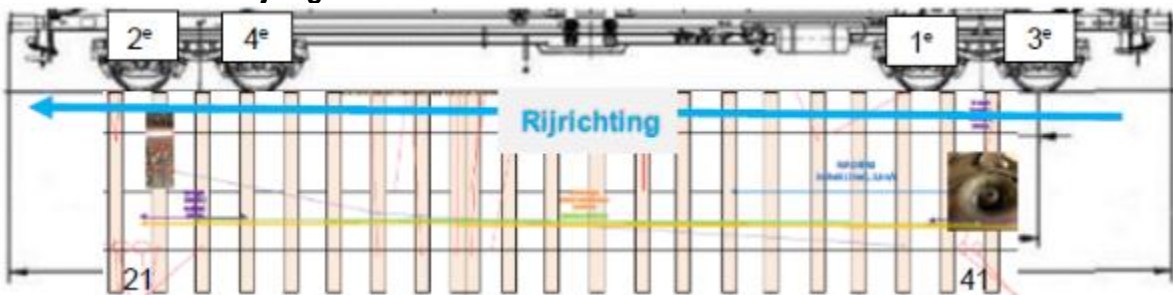
Na de ontsporing zijn door aanwezige partijen foto's gemaakt, waarmee onder andere de dwarsliggers ter plaatse van de ontsporing van 1-44 zijn genummerd vanaf de plaats waar het spoor onbeschadigd is voorbij de ontsporing, daar ligt een buffer op de spoorstaaf, tot de laatste dwarsligger voor de eerste niet ontspoorde as. Een spoorlengte van ongeveer 33 meter.



Figuur 5: dwarsliggers genummerd vanaf de buffer die op het spoor ligt [bron: Politie]

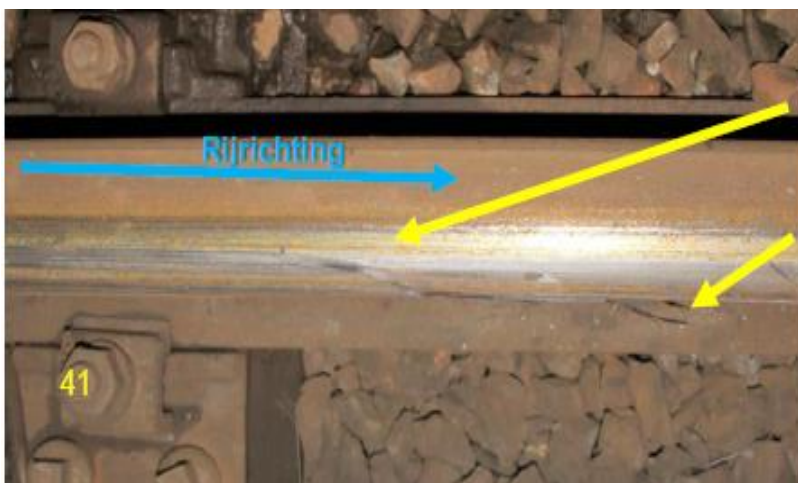
De dwarsligger na de afgebroken buffer krijgt nummer 1 en de laatste dwarsligger vóór het niet ontspoorde achterste draaistel van de derde wagon krijgt nummer 44.

2.3 Toedrachtbeschrijving



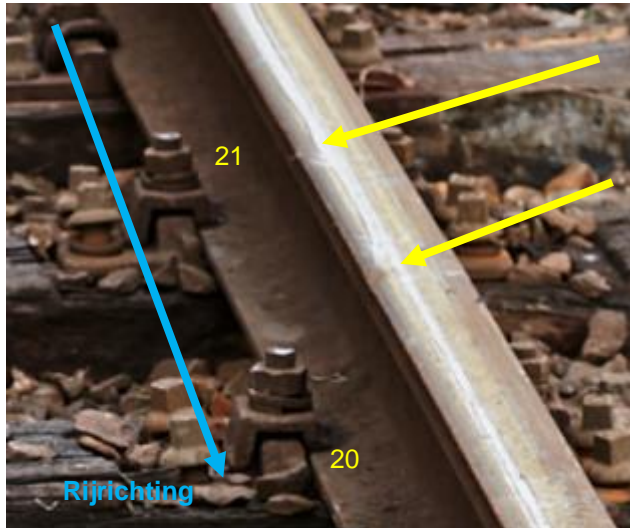
Figuur 6: volgorde waarin de assen ontsporen ten opzichte van de infra, rijrichting naar links

Wagen 33 80 781 8 486-2, de tweede wagon in de rijrichting, ontspoord als de voorste as van het achterste draaistel dwarsligger 41 passeert.



De ontsporing begint als de eerst ontsporende as van de linker spoorstaaf rolt en tussen het spoor valt. Op de spoorstaaf tekent deze beweging zich duidelijk af en eindigt waar een rand van de spoorstaafkop breekt en als een braam aan de spoorstaaf hangt. Vanaf daar tot en met dwarsligger 21 zijn afdrucken van wielflenzen te zien tot de plaats waar de wagon kantelt.

Figuur 7: de derde as van de tweede wagon ontspoord bij dwarsligger 41 als het linker wiel tussen het spoor valt [bron: ProRail]



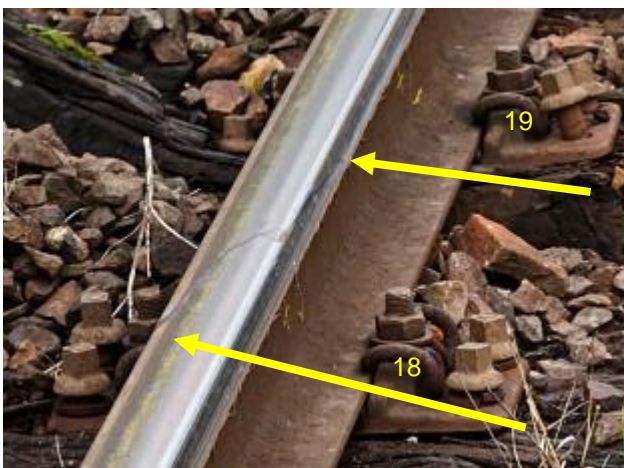
De wagen rijdt 1,5 meter verder, bij 13 km/u duurt dat 0,41 seconden, dan ontspoord de voorste as van het voorste draaistel als deze dwarsligger 21 passeert. Ook bij deze as rolt het linker wiel van de linker spoorstaaf, valt tussen het spoor en vervolgt zijn weg over de dwarsliggers tot dwarsligger 5. De rode lijn in figuur 5 geeft de baan aan die dat wiel volgt, totdat de wagen kantelt en het linker wiel omhoog beweegt.

Figuur 8: het voorste linker wiel van het voorste draaistel ontspoord bij dwarsligger 21 [bron: Politie]



Op de rechter spoorstaaf bij dwarsligger 37 is te zien waar de rechterwielflens, van het bij dwarsligger 41 ontspoorde linker wiel, over de spoorstaaf rolt. Vanaf die plaats schuurt de binnenkant van het rechter wiel tegen de buitenkant van de rechter spoorstaaf.

Figuur 9: bij dwarsligger 37 rolt een rechter wielflens over de rechter spoorstaaf. [bron:Politie]



Op de rechter spoorstaaf bij dwarsligger 18 is de afdruk te zien waar de rechter wielflens, van het bij dwarsligger 21 ontspoorde linker wiel, tegen de binnenkant van de spoorstaafkop opklimt en over de spoorstaaf rolt. Vanaf die plaats rolt het rechterwiel over de boutkoppen en dwarsliggerkoppen naar het ballastbed en rolt uiteindelijk van het talud waar de wagen kantelt.

Figuur 10: bij dwarsligger 18 rolt een rechter wielflens over de rechter spoorstaaf. [bron:Politie]

Bij alle vier assen is de volgorde van ontsporen dat eerst het linker wiel van de linker spoorstaaf tussen het spoor valt, daarna rolt het rechter wiel op dezelfde as over de rechter spoorstaaf. De 41^e en de 21^e dwarsligger zijn de plaatsen waar de ontsporingen 0,4 seconde na elkaar plaatsvinden. De afstand tussen de ontsporingplaatsen is 1,5 meter groter dan de afstand tussen de voorste assen van de twee draaistellen, respectievelijk 15 meter en 13,5 meter. De wagen kantelt als het voorste draaistel de rand van het talud bereikt, 12 meter (dwarsligger 21-5 x 0,75m) na de ontsporing. De ontspoorde wagen begint 3,3 seconden na de ontsporing met 13 km/u (12 m : 3,6 m/s) te kantelen waar de afdruk van het linker wiel in dwarsligger 5 ophoudt.

3 Analyse van de ontsporing

3.1 Plaats en aard van de ontsporing

Een derde van de vierde wagon van de trein bevindt zich na de ontsporing op km 300.3. Zie de overzichtstekening in figuur 3. Uit berekening van de afstand van km 300.3 + 29,716 meter (van 1/3 van wagon 4 tot de 3^e as van wagon 2) bevindt de derde as van de tweede wagon zich op km 300.330 als deze ontspoord. Dat is ter hoogte van de dwarsligger met nummer 41 in figuur 4.

km	meetp.	zij-slijtage* mm	Horizontale slijtage	hoek slijtage** graden	Spoorwijdte	verzanding
300.310	1	73	35		1453	-29
	2	73	35		1451	-31
	3	74	34		1456	-34
	4	74	35		1446	-36
	5	74	35		1467	-36
	6	74	35		1453	-32
	7	74	35		1450	-32

Op 22 oktober 2017 is een meting van de spoorwijdte uitgevoerd door de aannemer. Om de 5 dwarsliggers, met een afstand van 0,75 m, is de spoorwijdte vastgesteld. Iedere meting is 3,75 m verder dan de vorige. Een deel van het meetblad is in figuur 11 in de tabel weergegeven. Daaruit volgt dat de spoorwijdte, onbelast gemeten, 1467mm is op km 300.325.

Kilometer	Spoorwijdte
300.310	1453
300.313,75	1451
300.317,50	1456
300.321,25	1446
300.325	1467 (breedste punt)
300.328,75	1453 linker wiel valt tussen het spoor
300.332,50	1450

Figuur 11: meetblad van 22 oktober 2017

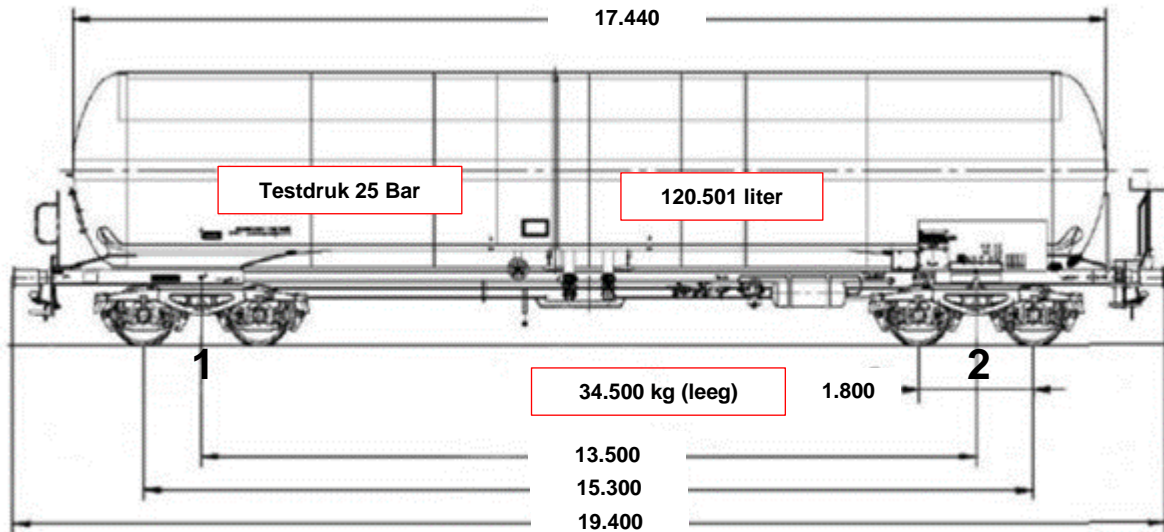
Door de boog volgen de rechter wielflenzen in de rijrichting de buitenste spoorstaaf. Dat is te zien aan het slijtageprofiel van de spoorstaaf. Van km 300.325 tot km 300.328 Volgt de rechter wielflens de buitenste spoorstaaf en rolt het linker wiel van de binnenste spoorstaaf van de boog.

De afstand van binnenkant rechter wielflens tot buitenkant linker wiel is 1525 mm. Het linker wiel kan links van het spoor af rollen als de spoorwijdte gelijk of groter is dan 1525 mm. Onder belasting door de trein moet de spoorwijdte op die plaats, ter hoogte van dwarsligger 41 ongeveer de breedte van een spoorstaafkop (72 mm = 1525-1453) groter zijn geworden.

De spoorwijdte wordt dus groter dan de breedte van het wielstel. Als het spoor star is geconstrueerd en onderhouden, varieert de spoorwijdte nauwelijks bij treinpassage. Metingen door Dekra tonen aan dat de starheid van het spoor wordt belemmerd, het spoor wordt beweegbaar, door de kwaliteit (buigzaamheid / indrukbaarheid) van de dwarsliggers en doordat kraagbouten met relatief weinig kracht uit de dwarsligger getrokken kunnen worden. De gemeten kracht bij een aantal steekproeven bij materiaal uit de ontsporingsplaats blijkt 1,5 – 62 kN te zijn. Bij intacte dwarsliggers ligt die waarde rond 50 kN.

Draaistellen oefenen bij verandering van boogstraal een dwarskracht uit vanuit de wielflenzen tegen de binnenkant van de spoorstaafkop. Door de uitgeoefende kracht en het beweegbaar zijn van de spoorstaaf kantelt de spoorstaaf daadwerkelijk, en al langere tijd. Dat is waarneembaar aan het in de zijkant van de spoorstaafkop gesleten profiel.

3.2 Invloed van het materieel op de spoorconstructie



Figuur 12: aanzicht, maten en gewichten van de gekantelde ketelwagen, rijrichting met de handrem voorop

Bij het passeren van vier meetstations van Quo Vadis blijkt dat draaistel 1 een diagonale onbalans vertoont van ongeveer 27%. Het relevante effect van deze onbalans is een verschil in krachten op de spoorstaven. Tijdens het onderzoek is de wagen uitgebreid onderzocht en zijn ook de veren in de draaistellen gemeten.

ProRail voert een pilot uit ter verbetering van Quo Vadis. Het meetniveau “low alarm” van dit systeem, bij >25% onbalans, wordt niet in de rapportage aan de deelnemende vervoerders vermeld. Uitsluitend “high alarm”, >35% onbalans, wordt vermeld in de dagelijkse rapportage. Van onmiddellijke interventie door een vervoerder kan in deze fase van de pilot nog geen sprake zijn. DB Cargo is geen deelnemer aan de pilot.

Diagonale onbalans wordt door Quo Vadis geconstateerd bij gemiddeld 2,23% van 7.034.829 treinen tussen januari 2015 en juli 2018. “Low alarm” zoals bij het voorliggende voertuig betreft 5 promille van dit percentage. 1,6 promille betreft “high alarm”.

Bij voorliggend onderzoek komt overigens de oorzaak van de onbalans pas aan het licht na demontage van de wagen en de draaistellen in de werkplaats. Na de ontsporing is de wagen door meerdere deskundigen visueel gecontroleerd. Geen van de deskundigen heeft daarbij een afwijking geconstateerd.

3.2.1 Inspectie wagen

Op 27 maart 2018 heeft Dekra een visuele inspectie van deze ketelwagen uitgevoerd. Daarnaast is op twee plaatsen in elk wiel een opname van de wielband gemaakt. Deze opnamen zijn over elkaar gelegd en laten volledig identieke wielbanden zien, waar geen zichtbare sporen van slijtage op waarneembaar zijn.



Figuur 13: gemeten 2 x 8 profielen van de wielbanden op elkaar gelegd [bron: meting Dekra]

Dekra heeft met een endoscoop een visuele inspectie gedaan van de veren in de beide draaistellen. Deze visuele inspectie heeft geen onregelmatigheden opgeleverd.

Vervolgens is de bovenbouw gelicht, waardoor de beide draaistellen beter aan een inspectie konden worden onderworpen. Hierbij werd een duidelijk onregelmatige slijtage aan de draaikom in het achterste draaistel 1 en de bol van de bovenbouw zichtbaar. De teflon frictiekom (frictie $0,15\mu$) dient voor vermindering van de frictiekracht bij het draaien van het draaistel en is gedeeltelijk weggesleten. De twee kommen draaien naar schatting voor 10% van de frictie staal op staal (frictie $0,45\mu$).



Figuur 14: onregelmatige slijtage in de kom van het draaistel [bron: foto Dekra]

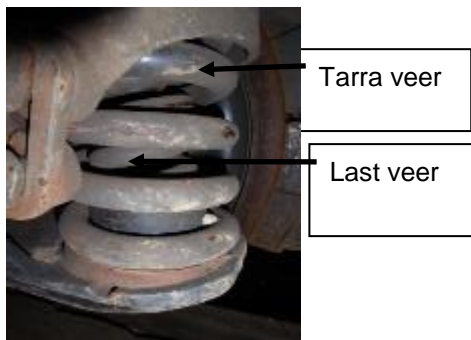


Figuur 15: onregelmatige slijtage aan de oplegbol van de bovenbouw [bron: foto ProRail]

Hiermee is aangetoond dat de door Quo Vadis gemeten diagonale onbalans inderdaad veroorzaakt is door een onbalans in dit draaistel. Een mogelijke oorzaak voor dit slijtpatroon is dat een of meer

veren in het draaistel een afwijkende maatvoering heeft ten opzichte van de andere veren. De eigenaar van de wagen, Ermewa, heeft op grond van deze constatering aan de firma Spoorijzer gevraagd om het draaistel te demonteren en alle veren na te meten.

3.2.2 Meting veren



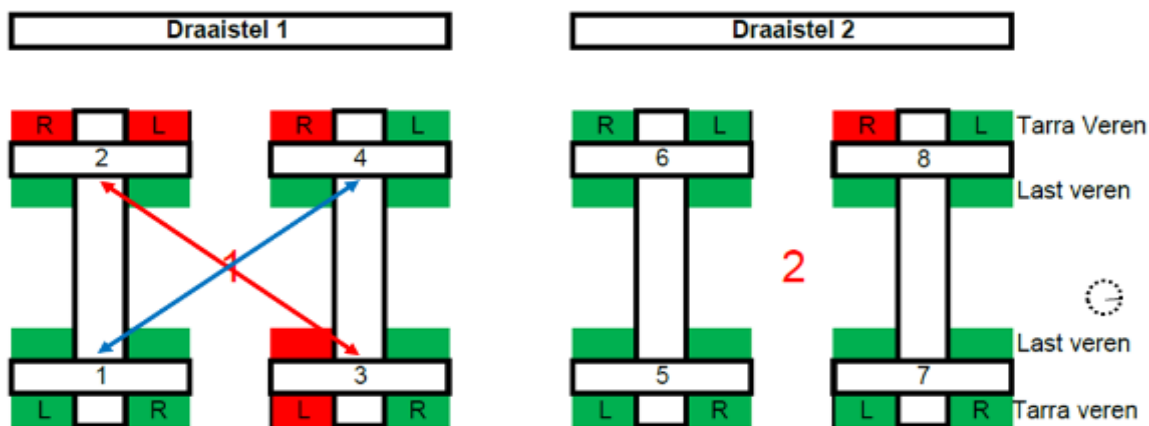
Bij deze meting is onderscheid gemaakt tussen de Tarra veren en de Last veren.

Bij het nameten van de lengte van de veren heeft Spoorijzer geconstateerd dat 5 van de 16 Tarra veren en 1 van de 16 Last veren onvoldoende lengte hebben en dus afgekeurd zijn.

In figuur 17 zijn deze veren rood gemerkt.

Figuur 16: veren per wiel in een draaistel [bron: foto Dekra]

De afgekeurde veren zitten op één na allemaal in draaistel 1. Dit is het draaistel met de onregelmatige slijtage uit de voorgaande paragraaf en ook het draaistel met de diagonale onbalans, zoals deze door Quo Vadis gemeten is.



Figuur 17: de rode velden geven aan welke veren bij meting in de werkplaats te kort bleken.

Uit de metingen blijkt dat 5 van de 16 veren in draaistel 1 te kort zijn waardoor de wagen door die veren minder ondersteund wordt. Het gewicht van de wagen wordt dan meer via de andere veren overgebracht op de wielen en het spoor. Het effect op de verticale spoorbelasting is door vier Quo Vadis stations gemeten en in figuur 18 schematisch weergegeven.



Figuur 18: per wiel de uitgeoefende verticale kracht op de spoorstaaf bij passeren van vier QV meetstations

Door het verschil in verticale belasting in het draaistel is de slijtage aan de teflon tussenkom ontstaan. Het effect daarvan is dat het draaien van het draaistel meer frictie geeft op de plaatsen waar de stalen delen op elkaar dragen. Deze extra kracht werkt uit op de horizontale (Y) krachten op de wielflenzen.

3.3 De reactie van de spoorconstructie op het materieel

Tijdens het onderzoek is vastgesteld dat tussen dwarsligger 17 en dwarsligger 45 alle bevestigingen van de buitenste spoorstaaf een of meer gebreken vertoonden, van losse kraagbouten, ingereden rughellingplaten tot ontbrekende of losgekomen Vossloh klemmen. Corrosie en beschadigingen tonen aan welke gebreken zijn ontstaan tijdens de ontsporing en welke voorafgaand aan de ontsporing aanwezig waren.



Figuur 19: dwarsligger 45 is vast bevestigd. De daaropvolgende dwarsliggers zitten los of vertonen gebreken



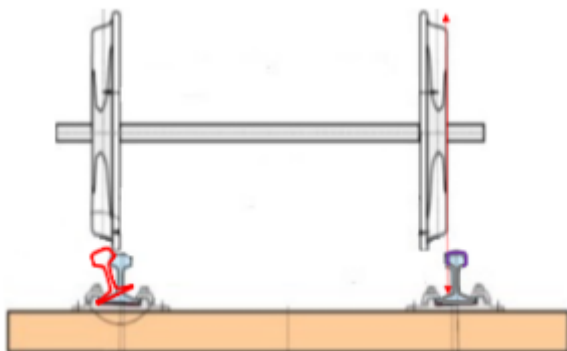
De spoorstaaf is uit de Vosslohklemmen getrokken of de rughellingplaat zit nog aan de spoorstaaf waar de kraagbouten uit de dwarsligger zijn getrokken. Ook combinaties daarvan zijn waargenomen. Waar dit verschijnsel optreedt, wordt de spoorwijdte groter dan bij de laatste meting is vastgesteld in de onbelaste toestand.

Bij dwarsligger 41, waar het draaistel met de beschadigde teflon frictiekomp moet draaien, wordt de spoorwijdte groter dan 1525 mm waardoor het linker wiel van de linker spoorstaaf rolt. De schok die de wagen door deze ontsporing krijgt, leidt tot extra krachten op ook het voorste draaistel dat na 1,5 meter (0,4 seconden) verder rijden eveneens ontspoord bij dwarsligger 21.

De indrukken die de bij dwarsligger 41 ontspoorde as in de dwarsliggers maakt, lopen door tot dwarsligger 21. Daar eindigt dat spoor omdat de wagen kantelt en dat wiel omhoog beweegt.

Figuur 20: dwarsligger 17 heeft als eerste vanaf dwarsligger 44 een correcte bevestiging van de spoorstaaf

3.3.1 Dynamische krachten zijn van invloed op de spoorwijdte



Te Sloe tussen dwarsligger 17 en dwarsligger 44 biedt het spoor onvoldoende weerstand tegen de combinatie van zijdelingse en verticale krachten waardoor de spoorwijdte toeneemt (en weer terugveert) bij iedere passage van een draaistel.

Figuur 21: spoorwijdte wijzigt onder belasting. Indien de spoorwijdte groter is dan 1525 mm ontspoord de wielas

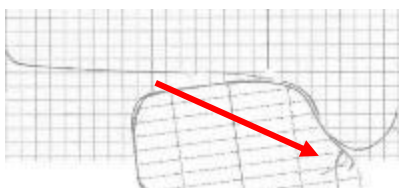
Als de spoorconstructie beweegt tijdens belasting door een trein zal onder andere de spoorwijdte variëren. Zolang de spoorwijdte onder belasting niet groter wordt dan de breedte van de as, gemeten vanaf de binnenkant van de wielflens tot de buitenkant van het andere wiel op dezelfde as, is het onmogelijk dat het linker wiel van de spoorstaaf rolt zoals bij voorliggend incident is gebeurd.

Dat te Sloe de spoorwijdte al langere tijd varieert onder belasting door een trein kan worden afgeleid uit het slijtageprofiel van de buitenste spoorstaaf en het berijden daarvan door de wielen. Wielflenzen hebben een maximale hoogte van 32 mm boven de loopcirkel. Zie daarvoor het gemeten profiel (28 mm flenshoogte) in figuur 13. Bij het profiel van de buitenste spoorstaaf valt op dat aan de zijkant van de spoorstaafkop, waar de wielflenzen krachten uitoefenen om het spoor te volgen, geheel onderaan het slijtvlak een punt van uitgewalst materiaal is ontstaan dat onmogelijk kan ontstaan als het spoor star is bevestigd op de dwarsliggers.



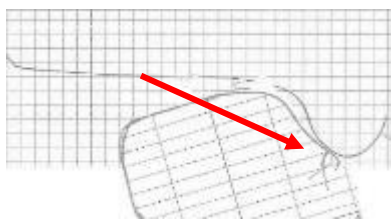
De zijdelingse slijtage van de spoorstaafkop in de boog is bij de normale hellingshoek van de spoorstaaf niet te verklaren. Pas als de spoorstaaf iets kantelt, wordt het zijdelingse slijtagevlak beter verklaarbaar.

Figuur 22: combinatie wielband – spoorstaafkop



Dit contactvlak tussen wiel en rail verklaart de kopslijtage aan de onderzijde niet. Daarvoor moet de spoorstaaf verder kantelen. Het 'puntje' onderaan het slijtvlak wordt op diverse foto's zichtbaar geraakt door wielflenzen, die minimaal 28 mm en maximaal 32 mm hoog zijn.

Figuur 23: verklaring zijdelingse slijtage spoorstaafkop



De spoorstaaf moet kantelen over de hier getoonde hoek om dat beeld te reconstrueren. De onderkant van de flens walst dan het 'puntje' aan de onderkant van de spoorstaafkop. Bij die kantelhoek wordt de spoorwijdte onder belasting groter dan de toegestane waarde van 1.470 mm. Dat herhaaldelijk kantelen gaat door tot de spoorwijdte groter wordt dan de breedte van een wielstel. Dan valt het andere wiel tussen het spoor.

Figuur 24: kantelende spoorstaaf met slijtage aan de onderzijde van de kop

Figuur 21 maakt duidelijk dat deze slijtage vergroting van de spoorwijdte onder belasting door een trein doet vermoeden, die zonder tijdige interventie waarbij de spoorstaven weer star worden bevestigd, uiteindelijk zal leiden tot een ontsporing.

3.4 Ontsporing door combinatie van materieel en infra samengevat



Figuur 25: verhouding in de bijdragen van materieel en infrastructuur aan de ontsporing schematisch

4 Conclusies²

1. De directe oorzaak van de ontsporing is de te grote spoorwijdte onder belasting door een trein. Bijdragende factor zijn de extra krachten die specifiek zijn bij de ontspoorde wagen door een diagonale onbalans als gevolg van afwijkingen in de veren van het eerst ontspoorde draaistel. Daardoor ontspoot juist deze wagen als eerste.
2. De spoorwijdte wordt conform voorschriften in onbelaste toestand gemeten. Metingen onder belasting door een trein zijn op niet centraal bediend gebied (NCBG) niet voorgeschreven door ProRail.
3. Het geconstateerde slijtagebeeld van de buitenste spoorstaafkop van de boog kan alleen ontstaan als de spoorstaaf kantelt. Dat slijtagebeeld heeft niet geleid tot nader beoordelen door de aannemer en/of ProRail van met name de dwarsliggers, rughellingplaten, kraagbouten en Vossloh veerklemmen.
4. In het ontsporingengebied is vastgesteld dat meerdere Vossloh veerklemmen niet goed op hun plaats zaten. Daardoor ligt de spoorstaaf niet goed vast op de dwarsliggers en kan deze kantelen onder belasting.
5. In het ontsporingengebied zijn alle rughellingplaten in het hout ingeslagen door de degradatie van de kwaliteit van het hout in de loop van jaren. Alle kraagbouten in het ontsporingengebied steken omhoog. Enkele kraagbouten konden met de hand verwijderd worden. Bij mechanisch uitdraaien waren grote verschillen in de kracht nodig.
6. In het ontsporingengebied zijn de dwarsliggers in meerdere of mindere mate verweerd. In dat gebied is geen dwarsligger aangetroffen die in staat was de spoorwijdte te handhaven onder belasting. In combinatie met de ingeslagen rughellingplaten zijn deze dwarsliggers niet functioneel. Door de krachten van het eerst ontspoorde draaistel en de reactie van de wagen door de ontsporing, kantelt en tordeert de buitenste spoorstaaf omdat de kraagbouten en Vossloh klemmen die krachten niet kunnen weerstaan. Daardoor ontsporen binnen een seconde ook de voorste assen van de wagen, 15 meter voor het eerst ontspoorde achterste draaistel.
7. De trein is op vier plaatsen door Quo Vadis gemeten. Het achterste draaistel van de tweede wagen heeft een diagonale onbalans tussen 21% en 27%.
8. De oorzaak van de onbalans is gevonden in de te kleine lengte van de veren van dat draaistel. Deze onbalans heeft geleid tot schade aan de teflon frictiekomp van dat draaistel waardoor meer kracht nodig is om het draaistel te corrigeren bij spoorwijdte veranderingen en in bogen en wissels. Bij starre infrastructuur en extreme frictiekracht zou de onbalans kunnen leiden tot opklimmen en ontsporen van een rechter wielvlens, niet tot het vergroten van de spoorwijdte waardoor een draaistel tussen de spoorstaven terechtkomt en op die wijze ontspoot.

² Voor de diverse oorzaakgebieden geen expliciete normering gesteld. Maatregel 1 in het Overzicht van maatregelen n.a.v. incident Ontsporing Sloe gaat hierop in.

Bijlage 1 – literatuurlijst

1. 24-uursrapportage van de ontsporing van een rangeerdeel te Sloe op 27 november 2018, ILT, kenmerk KMS-DRW-F214-versie 1.1, 7 februari 2018;
2. Rapportage Spoorstaafslijtage, Strukton Rail, 22 oktober 2017;
3. Onderzoeksanalyse ontsporing ketelwagen, Dekra, DR/18/180083/002, 9 mei 2018.