

# **Grondstof van de spoordienstregeling klaar voor de toekomst**

Alwin Meijerink – ProRail – alwin.meijerink@prorail.nl

Vincent Weeda – ProRail – vincent.weeda@prorail.nl

## **Bijdrage aan het Colloquium Vervoersplanologisch Speurwerk 13 en 14 oktober 2022, Utrecht**

### **Samenvatting**

De Nederlandse spoorsector heeft grote ambities op het gebied van groei, punctualiteit, duurzaamheid en veiligheid. Naast diverse nationale en Europese veranderprojecten en innovaties is daarvoor van belang dat de basisvoorzieningen op orde zijn. Het plannen van de dienstregeling en verdelen van de capaciteit doen ProRail en vervoerders samen in het systeem Donna PTI en hierin zijn drie verbeterprojecten uitgevoerd:

1. Rijtijdenberekening: rijtijden valideren.  
Punctualiteitanalyses hebben verschillen tussen berekende en gemeten rijtijden uitgewezen. De afwijkingen zijn vergeleken met behulp van snelheidsgrafieken, oorzaken zijn aangepakt in modellering, infra- en materieeldata. In dienstregeling 2019 is de eerste grote stap gezet. Veel grote verschillen zijn inmiddels opgelost en het initiatief loopt door om ook kleinere afwijkingen weg te nemen.
2. Plannen in Tienden van minuten: nauwkeuriger plannen.  
Vanuit capaciteitsbenutting en energiezuinig rijden ontstond behoefte om de dienstregeling op te zetten in fijnere eenheden dan hele minuten. Hierdoor is de dienstregeling niet meer bij benadering maar echt uitvoerbaar voor machinist en conducteur. Na stapsgewijze invoering is dienstregeling 2020 in zijn geheel in tienden van minuten gepland. Reisinformatie en voorlopig ook verkeersleidingsystemen blijven in hele minuten werken.
3. Infrabezettingsconflict: nauwkeuriger bepaling van infragebruik.  
Met veiligheid als directe aanleiding is geïntegreerde software ontwikkeld voor microscopische opvolg- en overkruistijden op basis van sectiebezetting en seinbeelden. Dit biedt soms meer en soms ook minder ruimte dan de oude generieke normen in hele minuten ('3 minuten') en sluit daarmee beter aan bij de locatie specifieke mogelijkheden van de infrastructuur.

Uiteindelijk zijn alle drie projecten sterk verweven met gezamenlijke verbeteringen op alle fronten. Het verbeteren van de rijtijdberekening dient beide andere ontwikkelingen; na invoering van Plannen in Tienden waren de oude opvolgtijdnormen eigenlijk achterhaald geworden dus vormde het Infrabezettingsconflict een logische vervolgstap. Hoewel dergelijke verbeteringen voor de buitenwereld niet zo zichtbaar zijn, zijn het belangrijke structurele wijzingen in de basisvoorzieningen. Deze vormen belangrijke (grond)stof om handwerk te reduceren, transities te bewerkstelligen en bedrijfsdoelstellingen te bereiken zowel nu als in de toekomst.

## 1. Inleiding

Het wordt steeds drukker op het spoor, waardoor ProRail en de railsector zich geplaatst zien voor grote capacitaire uitdagingen. Zoals in een eerder paper al beschreven [16] heeft het Ministerie van Infrastructuur en Milieu in 2013 de Lange Termijn Spooragenda (LTSA) ontwikkeld en ProRail en NS verzocht de visie, ambities en doelen van de LTSA operationeel uit te werken.

In het kader van duurzaamheid is het streven vanuit Europa om, als onderdeel van de Green Deal, de spoorcapaciteit te vergroten en beter te benutten [1], zodoende de concurrentiepositie van het reizigersvervoer per spoor ten opzichte van het vliegtuig te verbeteren en een transitie van weg naar spoor te bewerkstelligen met betrekking tot goederenvervoer. Om aan die ambities invulling te geven, lopen diverse initiatieven en programma's, zoals Programma Hoog Frequent Spoor (PHS), de invoering van het European Rail Traffic Management System (ERTMS) en internationale programma's zoals Time Table Redesign (TTR).

### 1.1 Programma's en Innovaties

#### *Programma Hoog Frequent Spoor*

Binnen PHS [8] wordt de infrastructuur aangepast om voor het reizigersvervoer hoogwaardige verbindingen te realiseren, zonder grootschalig extra sporen aan te leggen. Het vergroten van de capaciteit wordt onder andere gedaan door het toepassen van een nieuw beveiligingssysteem (ERTMS) en het verminderen van het aantal wissels en overwegen [12]. Hiermee creëren we ook voldoende ruimte voor het goederenvervoer. In de paper 'Ontwerpen voor de toekomst...' [3] is al eerder een beeld geschetst van de *uitdagingen dienstregeling en netwerkontwikkeling*.

#### *ERTMS*

Om te kunnen groeien en in verbinding te blijven met de rest van Europa, voldoet de bestaande techniek niet op alle punten zoals bijvoorbeeld het verschil in beveiligingsystemen binnen Europa en de ATB-bepanking van 140 km/u. Met het European Rail Traffic Management System [7] kiezen we voor een digitaal, robuust en toekomstvast beveiligingssysteem. Binnen het ERTMS-programma worden de volgende hoofddoelen gerealiseerd:

- Van seinen langs het spoor naar cabinesignalering (digitaal systeem);
- Veilig bij iedere snelheid;
- Hogere capaciteit en betrouwbaarheid;
- Interoperabiliteit, makkelijker over landsgrenzen heen.

Met ERTMS is het internationale spoor klaar voor de toekomst. ERTMS is het grootste veranderprogramma in het spoor van de laatste decennia.

#### *Time Table Redesign for Smart Capacity Management*

Om makkelijker over landgrenzen te kunnen rijden is het, naast de technische interoperabiliteit zoals ERTMS biedt, ook noodzakelijk om de verdeling van infracapaciteit over landsgrenzen heen te verbeteren. In dat kader wordt op Europees niveau onder regie van RailNetEurope (RNE) gewerkt aan 'Time Table Redesign for Smart Capacity

Management' [13]. Het streven is om vanaf dienstregelingsjaar 2025 de capaciteitsverdelingsprocessen binnen Europa geharmoniseerd te hebben.

### *Innovaties*

Op verschillende vlakken wordt geïnvesteerd in innovatieve oplossingen. Zo ontwikkelt de RNE onder de noemer Digital Capacity Management (DCM) [13] tools om op Europees niveau beschikbare en niet beschikbare infracapaciteit zichtbaar te maken en eenvoudiger treinpaden te kunnen aanvragen. ProRail doet in kader van innovaties samen met vervoerders onderzoek naar innovatieve oplossingen zoals de inzet van Driver Advisory Systems (DAS) en Automatic Train Operation (ATO) [10].

### *1.2 Grondwerk voor de toekomst*

Om aan al deze uitdagingen invulling te geven zullen niet alleen veel bedrijfsprocessen moeten worden aangepast, maar zijn ook fundamentele veranderingen nodig in de spoor- en ICT-techniek, de informatievoorziening en daarmee in het applicatielandschap van ProRail en vervoerders.

### *Dienstregeling planning en verdeling – Donna PTI*

Om de dienstregeling te plannen en de infracapaciteit te verdelen wordt in Nederland sinds 2007 gebruik gemaakt van het informatiesysteem Donna PTI (Planning en Toewijzing Infra). Dit is een dienstregeling plan- én verdeelsysteem waarin alle vervoerders en ProRail samenwerken. Hierin wordt zowel de dienstregeling vastgelegd als ook alle andere vormen van infragebruik, zoals brugopeningen, infraonttrekkingen, rangeerbewegingen, behandelen en opstellen.

### *Basisvoorzieningen*

Om de innovaties en programma's te kunnen ondersteunen wordt gewerkt aan de juiste (ICT) basisvoorzieningen want met gedegen grondwerk en goede bouwmaterialen ontstaat een stevig fundament en de juiste grondstof voor de toekomstige ontwikkelingen. In dat kader lopen binnen ProRail en de sector verschillende projecten waarvan dit paper een drietal nader belicht:

1. Rijtijdenberekening
2. Plannen in Tienden van minuten (PInT)
3. Infrabezettingsconflict

Deze projecten hebben allemaal betrekking op het verbeteren van de ondersteuning en processen van Donna. Onderdelen hiervan zijn op eerdere congressen naar voren gekomen, maar ze worden nu in samenhang belicht.

### *Schaduwboekhouding*

De genoemde projecten werden op enig moment noodzakelijk om de ICT-ondersteuning op het juiste niveau te brengen. Ondanks het ontbreken van een bepaald detailniveau hadden ProRail en de vervoerders nog steeds te plicht om er het beste van te maken met wat er op dat moment beschikbaar was. Zo zijn in de loop van de jaren diverse hulp- en parallelle processen ontstaan zoals een rijtijdenboek, detailberekeningen in separate applicaties voor opvolgtijd- en overkruistijdconflicten, een feedbackloop met handmatige aanpassingen. Met dergelijke 'schaduwboekhoudingen' was veel handwerk gemoeid en het was foutgevoelig.

## 2. Rijtijdberekening

### 2.1 Aanleiding

In de eerste jaren van uitgebreide punctualiteitanalyses [15] bleek dat het grootste deel van de treinvertragingen niet door verstoringen veroorzaakt werd, maar door een mismatch tussen planning en uitvoering. Naar aanleiding van dit inzicht zijn jarenlang op veel plekken kleine aanpassingen in de dienstregeling gedaan om deze beter uitvoerbaar te maken. Dit sorteerde duidelijk succes, maar gaandeweg rees het besef dat het handmatige herstelwerk arbeidsintensief en foutgevoelig was. Bovendien ontbrak een bronaanpak: het dweilen op zich hielp, maar de kraan bleef lopen.

In feite werd de dienstregeling gebaseerd op een indicatieve modellering van de werkelijkheid. Bij de oplevering van Donna PTI rond 2007 en in productie name met de dienstregeling van 2009 gold als kwaliteitsmaat dat de afwijking ten opzichte van voorganger VPT (Vervoer Per Trein) niet groter mocht zijn dan 0,3 minuut tussen twee stations, terwijl beide systemen niet tot nauwelijks op de praktijk gevalideerd waren. Dat is niet zo gek want daar waren destijds nog weinig mogelijkheden voor. Echter met het inmiddels ontwikkelde instrumentarium om gerealiseerde rijtijden te meten, zijn de mogelijkheid en de wens ontstaan om de rijtijdberekening hieraan te ijken. Dit is destijds ook geadviseerd vanuit de TU Delft [2].

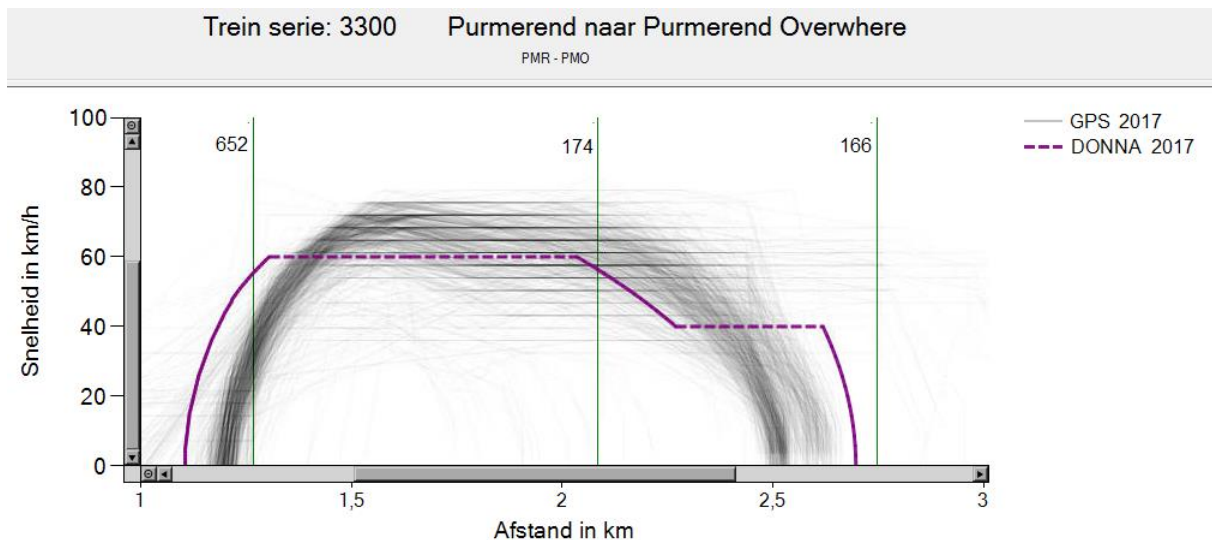
### 2.2 Onderzoekaanpak

Aankomst- en vertrektijden worden gemeten vanuit de baan (sectiebezetting) en hieruit worden rijtijden bepaald. In de eerste verkenningen is gebleken dat het 10<sup>e</sup> percentiel van de gerealiseerde rijtijden doorgaans goed overeenkomt met de berekende technisch minimale rijtijd. Door variatie in rijgedrag en omstandigheden wordt de theoretische 'kale rijtijd' toch nog door 10% van de treinen onderschreden; de meeste treinen hebben meer tijd nodig en daarvoor is dan ook rijtijdspeling aanwezig. Daar waar de berekende waarde duidelijk groter of kleiner is dan het 10<sup>e</sup> percentiel, blijkt een aanwijsbare oorzaak te bestaan. Dit is bijzonder prettig om vast te stellen, want het biedt grip op de zaak. Werken met een 5<sup>e</sup> of 20<sup>e</sup> percentiel is ook mogelijk maar dit maakt voor de aanpak niet wezenlijk uit. Hogere percentielen zijn minder geschikt, omdat dan allerlei spreidings- en verstoringsoorzaken de data binnen sluipen.

Rond 2015 is de oorzaakanalyse ter hand genomen op basis van detailgegevens:

- Van de **berekende rijtijd** worden 'rijtijdlogs' gegenereerd. Onder één getal (bijvoorbeeld 3,2 minuten) hangt een uitgebreid bestand waarin te vinden is hoe o.a. begin- en eindpunt, materieel, toegestane snelheden en seinstanden tot het snelheidsverloop en de uiteindelijke rijtijd leiden.
- Van de **praktijk** kwam rond die tijd GPS-data beschikbaar. Uit positiemeldingen elke 10s van minstens de helft van de treinen is een goed snelheidsverloop te reconstrueren.

Door berekening en praktijk op elkaar te plotten (zie figuur 2.1) is na te gaan waar precies de verschillen optreden. In de details van de rijtijdlog is vervolgens te herleiden door welke brondata of modelleringskeuze dit komt.



Figuur 2.1: Vergelijking theoretisch en praktisch snelheidsverloop, voorbeeld Purmerend

### 2.3 Gerealiseerde verbeteringen

#### Grote, lokale verschillen

Bij de eerste gestructureerde inventarisatie in 2014 zijn landelijk op ruim 100 plekken afwijkingen gevonden groter dan een halve minuut. Dit is het spreekwoordelijke topje van een ijsberg: afwijkingen van enkele tienden waren nog veel talrijker. Via de geschetste onderzoekaankpak bleek een groot deel van de afwijkingen terug te voeren op een handvol generieke oorzaken.

De grafiek in figuur 2.1 geeft een voorbeeld. De sprinter vanuit Purmerend nadert in Purmerend Overwhere een bediend sein (166).

- De rijtjijmodellering ging er vanuit dat bediende seinen voor stoppende treinen altijd rood zijn. Vanwege de seinafstand zou de trein dan bij vertrek uit Purmerend (sein 652) al tot 60 km/h beperkt zijn (geel 6 – geel – rood). Dit leverde een berekende rijtjij op van 2,2 minuten.
- In werkelijkheid is sein 166 in Overwhere al vroegtijdig groen, waardoor treinen met de plaatselijk toegestane snelheid van 80 km/h kunnen rijden zonder verdere beperking. Dit is te zien aan de dunne grijze GPS-lijnen: het 10<sup>e</sup> percentiel in de praktijk is 1,4 minuut.

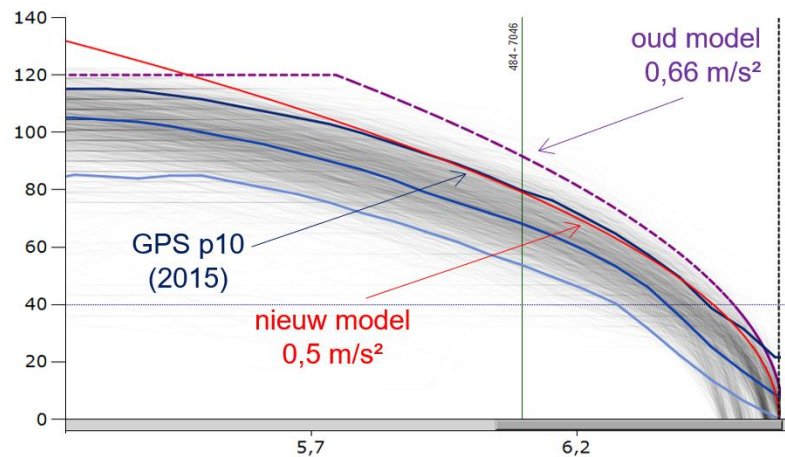
Dit fenomeen speelde landelijk op tientallen plekken en het rijtjijmodel is aangepast: bij een korte stop waar geen overweg achter ligt, staat het bediende sein al bij aankomst op groen.

#### Kleine, structurele verschillen

Naast relatief grote lokale afwijkingen blijken er ook subtiele verschillen te zijn die bij elke aanzet of remming optreden. Deze zijn niet op te sporen via een locatie-aankpak, maar door de gemiddelde rijtjijafwijking van een bepaald materieeltype op een groot aantal trajecten te bekijken. Als elke aanzet of remming van een bepaald materieeltype enkele seconden te snel of te langzaam is, telt dat over een traject aardig op – vooral bij sprinters omdat deze veel stoppen. Voor een goed uitvoerbare dienstregeling moet de gemiddelde afwijking per aanzet onder de 0,1 minuut blijven.

De ijking van aanzet en remming is als eerste gedaan voor alle gangbare reizigersmaterieel en recenter voor goederentreinen. De voornaamste onderzochte en waar nodig aangepaste parameters zijn:

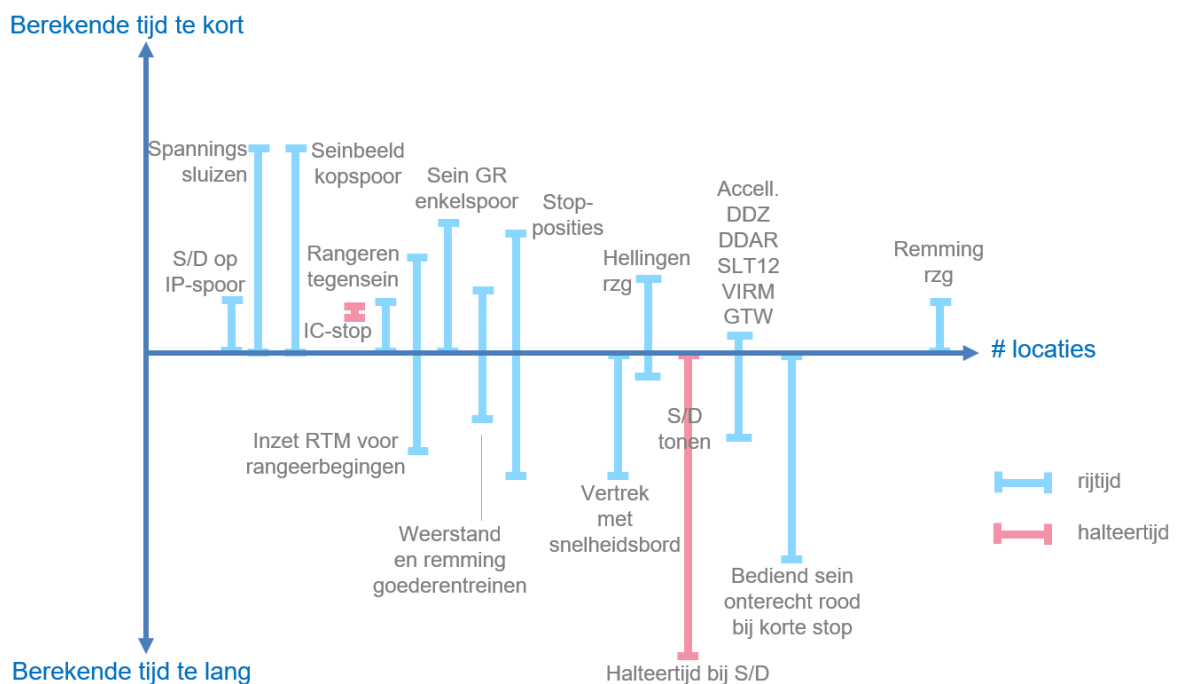
- **Opstarttijd;** een trein bereikt vanuit stilstand niet direct zijn maximale acceleratie, maar doet daar een paar seconden over.
- **Weerstandsfactoren;** met name bij goederentreinen hebben deze effect op het optrekken en de te behalen maximumsnelheid.
- **Remvertraging:** veel materieelsoorten waren 'sportief' gemodelleerd met  $0,66 \text{ m/s}^2$  (zie figuur 2.2) en modern sprinter-materieel zelfs met een enthousiaste  $0,8 \text{ m/s}^2$ . Machinisten bleken over de hele remming gezien niet verder te gaan dan  $0,5 \text{ m/s}^2$  ongeacht het materieeltype. Nu wordt daarmee gerekend.



Figuur 2.2: IJking remvertraging, voorbeeld Weesp-Diemen

### Voortgang

Het eerste grote pakket verbeteringen is begin 2017 uitgewerkt voor het ontwerp van dienstregeling 2019. Daarna zijn jaarlijks enkele issues opgepakt. Vaak betrof dit het model van de rijtijdmodule of de materieelgegevens, soms is infradata gecorrigeerd of aangevuld. Figuur 2.3 geeft een indruk welke zaken zoal aangepakt zijn, inclusief halteertijden op stations (hier niet besproken maar nauw verweven). Inmiddels zijn de



Figuur 2.3: Schematische weergave rij- en halteertijdverbeteringen

lokale afwijkingen boven een halve minuut vrijwel allemaal opgelost. Het werken met een parallel 'rijtijdenboek' van in de praktijk haalbare rijtijden is dan ook losgelaten. De ijking van materieel gaat gelijk op met de instroom: van de bestaande vloot is de modellering in orde bevonden, SNG klopt op hoofdlijnen, WINK en ICNG staan op de agenda.

#### 2.4 *Terug- en vooruitblik*

De discrepantie tussen theorie en praktijk tekende zich ruim 10 jaar geleden af. Bij de analyseafdeling was de kunst om naast dienstregelingsverbeteringen op de korte termijn ook aandacht te hebben voor verbeteren van de onderliggende systemen. Het was niet direct vanzelfsprekend om binnen de schaarse ontwikkelcapaciteit van Donna ruimte te vinden voor dit initiatief, maar gaandeweg is een continue verbetercyclus tot stand gekomen die door alle betrokkenen als logisch en belangrijk wordt ervaren. Daarbij is realisme en prioriteren een belangrijke sleutel geworden: de omvang van een probleem (grootte van de afwijking en aantal locaties, zie figuur 2.3) wordt steeds afgezet tegen de benodigde inspanning om de verbetering te realiseren.

Methodisch zijn twee aspecten van de rijtijdverbetering aardig om te benoemen:

- **Plussen en minnen.** De berekende rijtijden zijn (ook bij de eerste inventarisatie) niet stelselmatig te kort of te lang gebleken. Voor het werkproces van capaciteitsverdeling is dan ook geprobeerd en doorgaans gelukt om de verbeteringen die op een zeker moment voorbereid zijn, als één pakket door te voeren. Dan hoeft de dienstregeling maar één keer herzien te worden en niet het ene jaar sneller en het volgende jaar weer langzamer te worden.
- **Compenserende fouten.** Soms komt de rijtijd op een traject toevallig overeen met de praktijk doordat twee afwijkingen elkaar compenseren. Een generieke 'verbetering' in een van beide kan dan lokaal tot een slechtere match met de praktijk leiden. Dat was eerst een onaangename verrassing, maar bij nadere beschouwing ontstond het vertrouwen dat dit op de langere termijn toch de weg vooruit is. Het volgende probleem komt zo beter bloot te liggen, klaar om als volgende op te pakken.

#### *Relatie met plannauwkeurigheid*

In een dienstregeling afgerond op hele minuten gaf een afwijking rond of boven een halve minuut al een vrij grote kans om de verkeerde minuut te plannen. Met PInT en het infrabezettingsconflict (zie volgende hoofdstukken) gaat het ambitieniveau verder omhoog: idealiter zou op 'de juiste tiende' gepland moeten worden. Afwijkingen van 0,1 en soms 0,2 minuut zijn redelijkerwijs niet te voorkomen ook door spreiding in de uitvoering, maar afwijkingen vanaf 0,3 minuut zijn eigenlijk niet meer acceptabel. Het voornaamste openstaande punt om daar te komen is een fijnere modellering van stoplocaties.

Momenteel gaat alle ontwikkelcapaciteit van de rijtijdmodule in Donna naar het geschikt maken voor ERTMS, want de rij- en opvolgtijdberekening zijn met cabinesignalering fundamenteel anders dan bij vaste baansein. Als deze omvangrijke aanpassing gereed is, staat het verfijnen van de stoplocaties hoog op de verlanglijst.





maar voor de planner afgerond. De externe dienstregeling voor klanten blijft overigens in minuten, want reisinformatie wordt er niet overzichtelijker op als deze in tienden of seconden wordt gepubliceerd.

### Praktijkproef

De invoering van gedetailleerder plannen is in stappen gegaan, te beginnen met een proof of concept. In 2014 zijn experimenten gedaan tussen Utrecht en Den Bosch, niet toevallig een van de trajecten waar frequentieverhoging in de pijplijn zat. Hieruit bleek dat machinisten en conducteurs met de gedetailleerde dienstregelingsinformatie overweg kunnen en beter in staat worden gesteld op tijd te rijden. De ondersteuning met smartphone, smartwatch en tablet is in de jaren daarna doorontwikkeld [16].

### DInT

In 2016 zijn Dienstkaartjes In Tienden (van een minuut) landelijk bij NS geïntroduceerd [4]. Het grootste deel van het ICT-landschap is op dat moment nog ongemoeid gelaten, maar de plantijden die oorspronkelijk in tienden berekend werden, werden via een bypass aan het einde van de gegevensketen weer aan de dienstkaartjes toegevoegd. Hoewel dit enig handwerk vergde, is het een verstandige werkwijze geweest om snel resultaten te kunnen realiseren en ervaring op te doen met nauwkeurig plannen en uitvoeren.

Alleen treinen die volgens het Basis Uur Patroon rijden, zijn voorzien van DInT. Dit was ongeveer 70% tot 80% van de NS-treinen. Uitzonderingen aan de randen van de dag of bij werkzaamheden worden op deze manier nog niet bereikt en het personeel krijgt in die gevallen nog hele minuten te zien. De implementatie van DInT was ruim op tijd voor de introductie van Elke Tien Minuten Een Trein op de A2-corridor in december 2017.

### PInT

Intussen is gewerkt aan een diepere verwerking van de tienden in het hart van plansysteem Donna PTI: Plannen In Tienden en nu voor alle vervoerders. Figuur 3.2 laat zien hoe dit eruit ziet voor de planner. Een minuten-dienstregeling wordt hiervan afgeleid o.a. ten behoeve van materieelplanning en reisinformatie. De berekende dienstregelings-tijden worden niet langer afgerond en komen zonder trucs op de dienstkaartjes van NS-

Drglpt	Sp...	Act	Van	N...	PINT	Plantijd	Bereke	Kaal	Spl	Spltot	Spl%	S.	Snelh	LBS	Dw	SB	Fac	Bijzonderh	R...	Mat...	A.	#	StdBz
Es	2	V	2	EH	08:46.0	08:46							140						IC	ICM		9	
Esk	1	D			08:49.1	08:49	08:49.1	02.9	0.2														
Hgl	2A	A	EH	2A	08:53.0	08:53	08:53.2	03.7	0.2	0.4	5.8 %		2B										
Hgl	2A	V	2A	HH	08:54.0	08:54	08:54.0						120	2B									
Bn	2	D			08:58.1	08:58	08:57.9	03.6	0.5														
Amri	1	D			09:02.3	09:02	09:02.0	03.8	0.4														
Aml	4A	A	HH	4A	09:05.0	09:05	09:04.7	02.4	0.3	1.1	11.3 %		4B										
Aml	4A	V	4A	AW	09:06.0	09:06	09:06.0						140	4B									
Wdn	2	D	AW	WR	09:09.2	09:09	09:09.4	03.2	0.1				110					TEV Wdn					
Rsn	3	D	WR	RS	09:13.4	09:13	09:13.8	04.1	0.1				140										
Hon	2	D			09:17.1	09:17	09:17.6	03.5	0.2														
Dvc	1	D			09:24.5	09:24	09:25.0	06.9	0.5														
Spa	FF	D			09:25.8	09:25	09:26.3	01.2	0.1														
Dvgea	NN	D			09:26.5	09:26	09:27.1	00.7	0.0														
Dv	4A	A	RS	4A	09:30.0	09:30	09:29.8	02.5	1.0	2.0	8.9 %		4B										
Dv	4A	V	4A	DD	09:32.0	09:32	09:32.0						4B						extra tijd...				
Twl	2	D			09:37.2	09:37	09:36.1	03.8	1.4														
Apdo	2	D			09:40.7	09:40	09:39.6	03.2	0.3														

Figuur 3.2: Activiteitsvenster Donna-PTI met de Plantijd in tienden

personeel terecht. Hierdoor kan de 'schaduwboekhouding' komen te vervallen. Andere vervoerders zijn nog niet overtuigd van het nut om machinisten in de uitvoering te laten werken met een dienstregeling in tienden van een minuut. Hun machinisten werken vooralsnog met de minuten-dienstregeling.

PInT is in productie genomen voor de dienstregeling vanaf december 2019. Alle treinen die minstens een dag van tevoren gepland zijn, hebben sindsdien een planning in tienden van een minuut. Hiermee wordt indicatief 95% van de treinen bereikt; wat betreft de reizigersdienst nog wel meer. Vooral goederentreinen worden last-minute ingelegd of gewijzigd door Verkeersleiding en daar is PInT vooralsnog niet in beeld.

### *3.3 Terug- en vooruitblik*

De totstandkoming van de dienstregeling kent veel betrokkenen. De wens tot nauwkeuriger plannen bestond al langer, maar bewust of onbewust werd aan een 100%-oplossing gedacht. Naast de interne dienstregeling voor het personeel en de reisinformatie kent het spoorstelsel nog tal van andere systemen, zoals de operationele systemen van Verkeersleiding waarmee o.a. rijweginstelling en bijsturing plaatsvinden. Aanpassing van dit alles is tijdrovend en duur en daarom zat er jarenlang weinig schot in iets als PInT. De gerealiseerde vooruitgang is te danken aan een pragmatische, stapsgewijze weg met als voorlopig eindbeeld een dienstregeling in tienden, maar verkeersleiding in minuten. Het verfijnen daarvan is vooralsnog toekomstmuziek.

Het instrumentarium van PInT is voor alle vervoerders beschikbaar, maar alleen NS gebruikt het voor interne sturing en instructie aan machinist en conducteur. De urgentie hiervoor was op het Hoofdrailnet overigens ook relatief groot. De logistiek eenvoudiger regionale lijnen met eenmensbediening hadden al eerder een hogere punctualiteit bereikt (2014-2021 95% binnen 3 minuten, bron ProRail Prestatie Analyse Bureau). Mede dankzij de fijne operationele sturing heeft NS op de veelal lange en deels vervlochten lijnvoeringen het verschil met de regionale lijnen verkleind van -5 naar -3%. Bij goederenvervoerders is nog ruimte voor verbetering in capaciteit en punctualiteit.

PInT is nu behulpzaam bij de dienstuitvoering door machinist en conducteur. Daarnaast is het een mooie opstap naar verdere computerondersteuning. DAS en ATO zijn middelen om de machinist te helpen om de nauwkeurige dienstregeling uit te voeren en vragen om een nauwkeurige planning om het optimale resultaat te bereiken.

## 4. Infrabezettingsconflict

### 4.1 Aanleiding

#### Plannormen

Bij het plannen van treinen en rangeerbewegingen en het verdelen van infracapaciteit maakte ProRail tot voor kort gebruik van plannormen. Deze plannormen worden gepubliceerd in de netverklaring en geven aan hoeveel minuten treinen in een bepaalde situatie van elkaar vandaan dienen te zijn.

Tabel 3 Overkruistijd in tegengestelde richting in minuten voor alle combinaties treinen en/of rangeerdelen per activiteit

		Trein 2			
		A	D	K	V
Trein 1	aankomst (A)	3	2	1	1
	doorkomst (D)	4	3	4	1
	korte stop (K)	6	5	6	1
	vertrek (V)	6	5	6	2

		Rangeerdeel 2	
		A	V
Trein 1	aankomst (A)	2	1
	doorkomst (D)	4	1
	korte stop (K)	4	1
	vertrek (V)	4	2

		Trein 2			
		A	D	K	V
Rangeer-deel 1	aankomst (A)	3	3	3	1
	vertrek (V)	4	4	4	2

		Rangeerdeel 2	
		A	V
Rangeer-deel 1	aankomst (A)	3	1
	vertrek (V)	4	2

Hierbij worden de geplande tijden van de activiteiten van de verschillende bewegingen met elkaar vergeleken en wordt op basis van de normen bepaald of er een conflict is in de dienstregeling. Zo zijn er normen voor onder andere opvolgtijd, spooropvolging en overkruistijd.

Met de toenemende capaciteitsvraag was door planners en verdelers geconstateerd dat de normen, die in basis nog stammen uit 1995, in sommige situaties eigenlijk te ruim waren en in andere situaties juist te krap. Bij bepaalde infrasiuaties in combinatie met bepaalde types materieel waren de bestaande normen voor met name reizigerstreinen eigenlijk te ruim. Deze constatering is beschreven in onderzoeken zoals [2] en [6]. Laatstgenoemde stelt de volgende beperkingen vast met betrekking tot de normen:

#### 1. De plannormen zijn te globaal;

De dienstregeling wordt gepland met algemene plannormen, wat een macroscopische benadering is. Een voordeel van deze benadering is dat er altijd een standaardtijd bekend is die tussen twee bewegingen moet zitten. Bij een lage intensiteit op het spoor is dit geen probleem. Een nadeel van deze methode is dat de norm niet altijd gelijk is aan de werkelijkheid.

##### a. De plannorm is te laag

Het lijkt alsof er in de geplande dienstregeling geen conflict is terwijl deze er in werkelijkheid wel zal zijn.

##### b. De plannorm is te hoog

Dan wordt er meer tijd tussen twee bewegingen gepland dan nodig is waardoor een deel van de beschikbare capaciteit verloren gaat.

#### 2. Plannen in minuten is te globaal;

Zie het hoofdstuk *Plannen In Tienden van minuten* in dit paper.

#### Ongeval Westerpark

Ook is geconstateerd dat de bestaande conflictsignalering niet altijd volledig correct functioneert en niet werkt conform de laatste stand van de techniek zoals opgenomen in de bevindingen van de Onderzoeksraad naar aanleiding van de aanrijding Westerpark [5] waarbij de Onderzoeksraad refereert aan toepassen controles gebaseerd op UIC406 [17].

## Plannen In Tienden

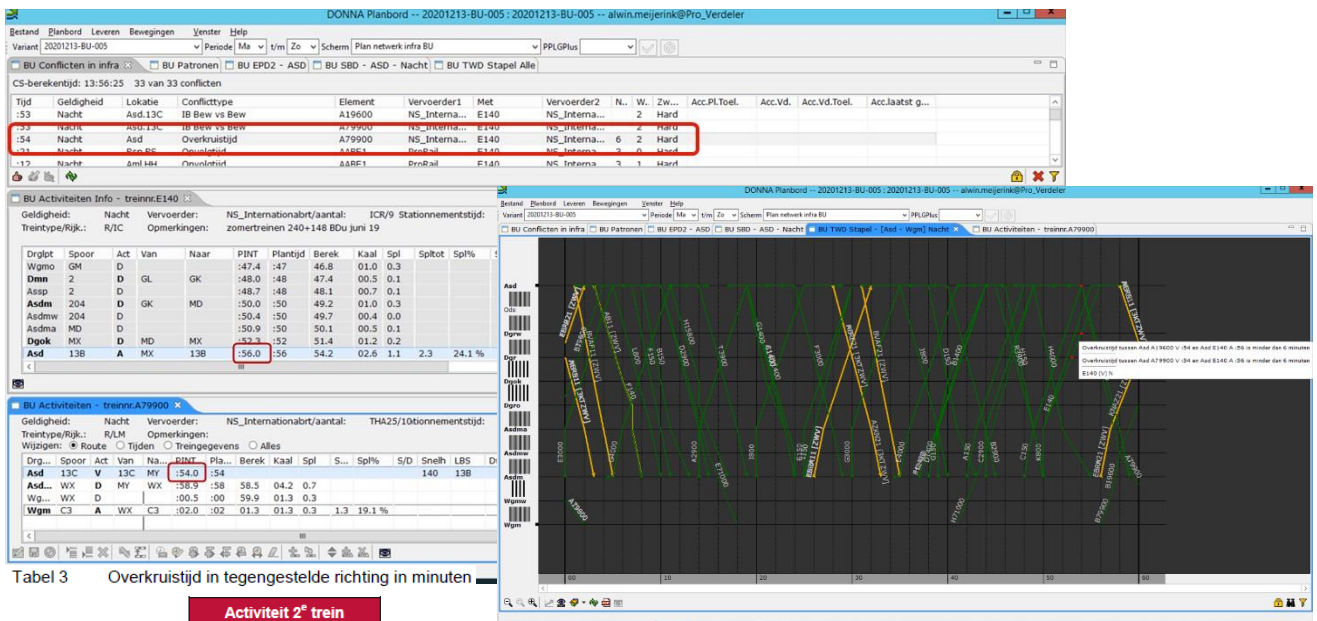
Doordat er sinds de dienstregeling van 2020 gepland wordt in tienden van minuten maar de conflictsignalering nog werkte in hele minuten was een verschil ontstaan tussen het plannen van en de controle op de dienstregeling. Ook ontstonden er conflictsituaties die ofwel niet werden gedetecteerd ofwel door verschil in detail niet op te lossen waren.

## Parallele beoordelingsprocessen

Om bij het plannen van de dienstregeling al krappert te plannen dan de normen in het plansysteem bestond er jarenlang een parallel beoordelingsproces waarbij in een aparte berekeningstool (ROBERTO – Rij- en OpvolgtijdBERekeningSTool) specifieke berekeningen werden gemaakt. Alleen al tijdens de jaardienstverdeling werden gemiddeld 800-1200 dienstregeling situaties doorgerekend wat vervolgens binnen Donna PTI resulteerde in tienduizenden geaccordeerde dienstregelingsconflicten. Dit had niet alleen een negatief effect op de performance van het plan- en verdeelsysteem maar moest vervolgens tijdens de verdeling van de infracapaciteit ook worden gecontroleerd en in latere planfasen worden bijgehouden. Al met al heel veel handwerk, foutgevoelig en vanwege de lange doorlooptijd niet toepasbaar in de dagplanfase, terwijl juist in die fase nog veel individuele aanpassingen worden doorgevoerd in de dienstregeling.

## 4.2 Van macroscopisch naar microscopisch

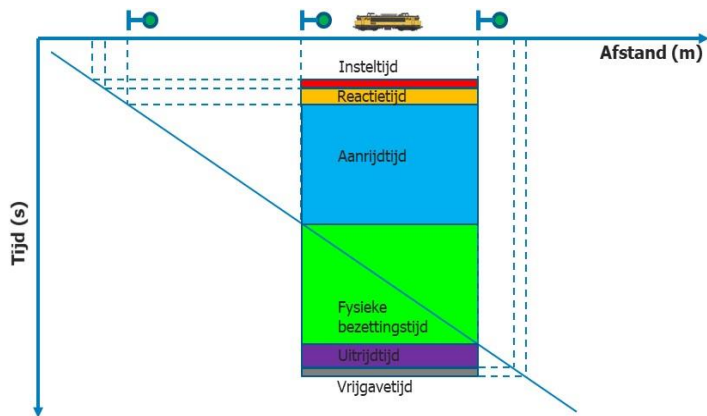
Vanwege de hierboven genoemde doelstellingen is door ProRail en NSR de afgelopen jaren gewerkt aan de overgang van norm gebaseerde conflictsignalering op basis van plantijden in minuten naar conflictsignalering op basis van infrabezetting in seconden [11].



Tabel 3 Overkruistijd in tegengestelde richting in minuten

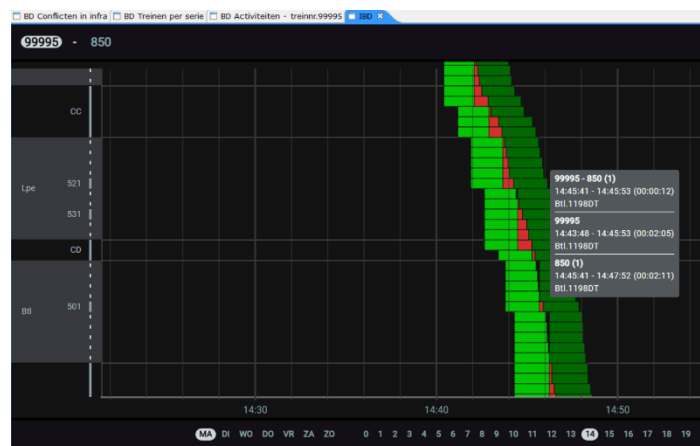
		Activiteit 2 <sup>e</sup> trein			
		A	D	K	V
Activiteit 1 <sup>e</sup> trein	aankomst (A)	3	2	1	1
	doorkomst (D)	4	3	4	1
	korte stop (K)	6	5	6	1
	vertrek (V)	6	5	6	2

Bij het plannen en verdelen van de infracapaciteit controleerde het oude systeem of de geplande tijden in combinatie met de soort activiteit en de volgorde van bewegingen aan de plannorm voldeed.



In de nieuwe situatie wordt door het systeem, op basis van de geplande snelheid van de trein, de treinlengte, de infrasiituatie en de benodigde seinstappen, het tijdsinterval van bezetting van iedere spoorsectie uitgerekend inclusief de ruimte aan de voorkant (de 'boeggolf') die de trein nodig heeft om ongehinderd door te kunnen rijden, ook wel aangeduid met bloktrap [17].

Vervolgens wordt door het systeem gecontroleerd of er overlappende sectiebezettingen (overlapping blocking times) zijn en zo ja, dan wordt dit als conflict gemeld aan de planner en/of verdeler. Op deze wijze ontstaat er een nauwkeurig beeld van de bezetting van de infrastructuur en daarmee ook een nauwkeurig beeld van de niet bezette infrastructuur zoals te zien in het **Infra Bezetting Diagram** van Donna-PTI.



### Rijtijden

Zoals hierboven te zien bestaat een opvolgtijd voor het overgrote deel uit rijtijd. Om de genoemde sectiebezettingen te kunnen uitrekenen was het noodzakelijk om de rijtijdberekening uit te breiden. De rijtijdmodule is aangepast om van elk gepasseerd object te rapporteren wanneer dit gepasseerd wordt, om daarmee te berekenen wanneer een sectie bezet raakt en wanneer deze weer wordt vrijgegeven. De werking van het nieuwe infrabezettingsconflict heeft op zijn beurt weer geleid tot veel verbeteringen in de rijtijdmodule aangezien er situaties naar voren kwamen waarop in eerste instantie werd aangenomen dat die 'fout' zouden zijn, maar die dat na analyse door de software-ontwikkelaars helemaal niet waren. De eerdergenoemde rijtijdverbeteringen waren een belangrijke randvoorwaarde voor het kunnen implementeren van het nieuwe infrabezettingsconflict en er ontstond een wisselwerking tussen de rijtijdverbeteringen en het infrabezettingsconflict die elkaar enorm versterken.

### 4.3 Terug- en vooruitblik

#### Oplossingsvarianten

Voordat de huidige oplossing tot stand is gekomen, zijn verschillende varianten onderzocht aangezien van tevoren al vaststond dat het een uitdagend traject zou worden. Omdat in de planningspraktijk aan meerdere planperiodes tegelijk wordt gewerkt voor verschillende dienstregelingsjaren, op basis van verwachte infrasiituaties

van verschillende jaren door honderden planners die ieder tientallen mutaties aanbrengen, gaat het om enorme hoeveelheden gegevens. Daarbij bestaat de infrastructuur uit duizenden spoorsecties dus in de praktijk gaat het om honderden miljoenen sectiebezettingen die binnen enkele seconden door het systeem doorgerekend moeten worden.

#### *Softwarekeuzes*

Bij de keuze voor de uiteindelijke oplossing is ook onderzoek gedaan naar de mogelijkheid om bestaande softwarepakketten aan te sluiten maar dat bleek in de praktijk lastig realiseerbaar. Uiteindelijk is de keuze gemaakt om Donna PTI uit te breiden. Daarvoor bleek het noodzakelijk om voor een nieuw technisch platform te kiezen dat specifiek bedoeld is voor complexe en parallelle berekeningen. Alleen al over de technische complexiteit en overige ICT-uitdagingen is een heel paper te schrijven.

#### *Dienstregeling 2023*

Met de ingang van de dienstregeling van 2020 (in december 2019) is de spoorsector in Nederland met Plannen In Tienden (PInT) overgegaan op een nauwkeuriger planning en de dienstregeling van 2023 (in december 2022) is het eerste dienstregelingsjaar waarbij gebruik wordt gemaakt van signalering op basis van Infrabezetting [11]. Hiermee is een belangrijke volgende stap gezet om nauwkeuriger te plannen én te signaleren.

## **5. Conclusie**

Net als veel andere bedrijven zien ProRail en de railsector zich gesteld voor grote uitdagingen en noodzakelijke transitie's zoals de verschuiving van weg en vliegtuig naar spoor. Naast diverse nationale en Europese veranderprojecten is daarvoor van belang dat de basisvoorzieningen op orde zijn. De rijtijdberekening is een continu verbeterproces, primair aangepakt vanuit punctualiteitsverbetering. PInT en infrabezetting zijn te kenmerken als transitie's, waarbij PInT is ingezet vanuit punctualiteit, capaciteitsverhoging en energiebesparing terwijl bij infrabezetting veiligheid de directe aanleiding vormde. Uiteindelijk zijn alle drie projecten sterk verweven met gezamenlijke verbeteringen op alle fronten.

De verbetering van de rijtijdberekening dient beide andere ontwikkelingen, maar is ook weer de basis om in Donna-PTI een ERTMS-compliant rijtijdberekening te ontwikkelen. Na de invoering van PInT was de verfijning van de opvolgtijdbepaling een logische vervolgstap. En zowel PInT als het infrabezettingsconflict zijn grondwerk voor innovaties zoals DAS en ATO.

Hoewel veranderingen als rijtijdberekening, PInT en infrabezetting voor de buitenwereld niet of nauwelijks zichtbaar zijn, zijn het belangrijke structurele verbeteringen in de basisvoorzieningen. Wijzigende businessbehoefte gaan hand in hand met continue ICT-ontwikkelingen en vormen daarmee (grond)stof zijn om bedrijfsdoelstellingen te realiseren zowel nu als in de toekomst.

## Referenties

1. European Union Agency for Railways, *Fostering the Railway Sector through the European Green Deal*, July 2021
2. Goverde, R.M.P, *Punctuality of Railway Operations and Timetable Stability Analysis*. Proefschrift, TRAIL Research School, 2005.
3. Guis N., R. Kamer en G.J. van de Koppenol, *Ontwerpen voor de toekomst: meer dan de herfst-spits*. Colloquium Vervoersplanologisch Speurwerk, november 2021
4. Huet, R.G. van, G.M. Scheepmaker en R.S. Luijt, *Energiezuinig rijden van treinen om op tijd te rijden*. Colloquium Vervoersplanologisch Speurwerk, november 2017
5. Onderzoeksraad voor veiligheid, *Treinbotsing Amsterdam Westerpark*. 2012
6. Planting T.J. *Ontwerpmethoden van Dienstregelingen: Verkennend onderzoek naar de ontwerpmethodiek per fase in het planningsproces bij NS & ProRail*. Afstudeeronderzoek, 2016
7. Programma ERTMS, *Wat is ERTMS?* <https://www.ertms.nl/over-ertms/wat-is-ertms/default.aspx>, 2022
8. ProRail, *Doelstellingen Hoog Frequent Spoor*, 2022  
<https://www.prorail.nl/programmas/programma-hoogfrequent-spoorvervoer>
9. ProRail, *Supersnel treinen inplannen*, 2020, <https://www.prorail.nl/nieuws/supersnel-treinen-inplannen>
10. ProRail, *Spoorsector kiest voor ATO*, 2021,  
<https://www.prorail.nl/nieuws/spoorsector-kiest-voor-ato>
11. ProRail, *Treinpaden plannen kan nu nog nauwkeuriger*, 2020,  
<https://www.youtube.com/watch?app=desktop&v=Rqu-8u2-3Nk&feature=youtu.be>
12. ProRail en Ministerie van Infrastructuur en Milieu, *Evaluatie Reductie Netwerkcomplexiteit*, 2017.
13. RailNetEurope, *TTR for Smart Capacity Management*, <https://ttr.rne.eu/ttr-media-2/>
14. Wang, P. en R.M.P. Goverde, *Multi-train trajectory optimization for energy-efficient timetabling*. In: European Journal of Operational Research 2019, pp. 621-635.
15. Weeda, V.A. en K.S. Hofstra, *Performance analysis: improving the Dutch railway service*. In: J. Allen et al., Proceedings Computers in Railways XI (pp. 463-471), WIT Press, Southampton, 2008
16. Weeda V.A. en J. van Onna, *Geen boze treinreizigers meer*. Colloquium Vervoersplanologisch Speurwerk, november 2019
17. UIC, *UIC Code 406*, June 2013