

## **Kritieke circuits: treinpunctualiteit op enkelsporige lijnen**

Rob M.P. Goverde  
Technische Universiteit Delft  
Transport & Planning  
r.m.p.goverde@tudelft.nl

Vincent A. Weeda  
Technische Universiteit Delft  
Transport & Planning  
v.a.weeda@tudelft.nl

**Bijdrage aan het Colloquium Vervoersplanologisch Speurwerk  
20 en 21 november 2008, Santpoort**

## Samenvatting

### *Kritieke circuits: treinpunctualiteit op enkelsporige lijnen*

Regionale spoorlijnen mogen zich verheugen in een groeiende belangstelling: de toekomst ziet er beter uit dan ooit. Wel zijn veel regioliijnen grotendeels enkelsporig waardoor ze een zwak punt kennen. Vertragingen kunnen makkelijk "rondzingen" want heen- en terugrit bijten elkaar op kruissingsstations in de staart; een beginnende vertraging kan zo uiteindelijk effect hebben op de trein van een halfuur later in dezelfde richting. Als de opeenvolgende processen (rijden, halteren, kruisen, keren) in een dergelijk circuit samen bijna net zo lang duren als de geplande intervaltijd, kunnen vertragingen moeilijk uitdempen en is er sprake van een kritiek circuit. Het verschil tussen minimaal benodigde en beschikbare tijd is de speling en de hoeveelheid speling is een maat voor de stabiliteit. De vraag is: hoeveel speling per circuit is voldoende?

De relatie tussen speling en uitvoeringskwaliteit is onderzocht aan de hand van enkele praktijkvoorbeelden met recente meetgegevens van de treindienst. Uit gemeten rijtijden is bepaald welke circuits kritiek zijn en hoeveel speling erin aanwezig is. Vertragingen metingen geven aan in hoeverre de normaliter optredende variaties uitdempen. Uit de casussen komt een tamelijk eenduidig beeld naar voren: een speling van 5% in een circuit is niet goed in staat vertragingen op te vangen en leidt tot een aanzienlijke spreiding in de dienstuitvoering. Als de speling minimaal 8% bedraagt, blijkt de spreiding gering en is sprake van een stabiel circuit. Bij een periode van een halfuur gaat het dan om het verschil tussen 1,5 en 2,5 minuut speling in een kritiek circuit, en die is vaak met relatief kleine maatregelen te winnen.

## **1. Inleiding**

Regionale spoorlijnen staan volop in de belangstelling. Overheden en vervoerders hebben grote ambities en willen met onder andere hogere frequenties en nieuwe stations meer reizigers aantrekken. Zo bezien is de toekomst beter dan ooit! Soms zijn daarvoor infrastructuuruitbreidingen nodig. Om te bepalen welke maatregelen het meest kosteneffectief zijn, is inzicht in de verkeersknelpunten vereist.

Veel regioliijnen zijn enkelsporig en treinen passeren elkaar op dubbelsporige kruisingsstations. Dat brengt een typisch probleem met zich mee: als een trein in de richting A te laat is, moet de tegenligger in de richting B wachten. Deze is op zijn beurt verderop te laat, waarna de volgende trein in de A-richting ook vertraging oploopt. Zodoende bijt het systeem zichzelf in de staart (en bij frequentieverhogingen zal dit fenomeen zich vaker voordoen). In een dergelijk circuit moet voldoende speling aanwezig zijn om kleine vertragingen te laten uitdempen (en door extra haltes neemt die speling in principe af). De cruciale vraag is: hoeveel speling per circuit is voldoende?

Het concept van kritieke circuits is door Rob Goverde in zijn proefschrift beschreven en in een computertool geoperationaliseerd. Vincent Weeda (ook verkeersanalist bij ProRail Verkeersleiding) is bekend met knelpuntanalyses en gedetailleerde uitvoeringsgegevens van de treindienst. Wij zien in het CVS een mooie gelegenheid om de specifieke problematiek van enkelspoor uit te werken tot een publicatie. Als casemateriaal zijn enkele spoorlijnen in het noordoosten des lands gekozen, waarbij de beschikbaarheid van lopend onderzoek de directe aanleiding was. De specifieke lijnen dienen als studieobject en de beleidsmatige context blijft grotendeels buiten beschouwing. De vraag is steeds hoeveel speling nodig is voor een acceptabele uitvoeringskwaliteit. Iedereen die werkt aan het ontwikkelen van regionale lijnen kan hier zijn voordeel mee doen.

## **2. Theorie kritieke circuits**

De kunst bij het ontwerp van dienstregelingen is een goede balans te vinden tussen korte reistijden enerzijds en betrouwbare reistijden anderzijds. Een reiziger heeft liever een iets langere reistijd volgens dienstregeling die in de praktijk ook betrouwbaar is, dan belofde korte reistijden die in de praktijk vaak niet haalbaar blijken met als gevolg onzekere aankomsttijden en aansluitingen. In de dienstregeling van een treinserie zit daarom wat speling in rijtijden en/of halteertijden om variatie in de procestijden op te vangen en opgelopen vertragingen te kunnen inhalen.

Door netwerkafhankelijkheden kunnen stabiliteitsproblemen ontstaan als meerdere strakke procestijden achter elkaar zijn gepland en een kritiek of onstabiel circuit vormen. Met name door infrastructuurafhankelijkheden kunnen circuits ontstaan waarop geen of weinig speling is. Enkelsporige spoorlijnen zijn hiervan een goed voorbeeld: bij bijvoorbeeld een frequentie van twee treinen per uur in beide richtingen moet de gemiddelde rijtijd tussen twee kruisingsstations minder zijn dan vijftien minuten (als de treinen in tegengestelde richting om en om over het enkelspoor rijden). Een trein moet hier wachten tot de tegenligger is gearriveerd voordat het spoor vrij is om te vertrekken. Bij een krappe planning heeft een aankomstvertraging tot gevolg dat de tegenligger niet

op tijd kan vertrekken. Deze (secundaire) vertrekvertraging geeft vervolgens weer problemen bij de tegenligger op het kruisingsstation aan de andere kant, etc. Een vertraging kan in een dergelijk circuit gaan rondzingen waardoor achtereenvolgende treinen steeds meer vertraagd raken met een uitstraling naar de rest van het netwerk.

Een evaluatie van de gemiddelde procestijden over circuits in het netwerk is daarom van essentieel belang voor een stabiele dienstregeling. Voor grote samenhangende netwerken is het aantal mogelijke circuits echter enorm en is het onmogelijk om ze allemaal na te gaan (binnen redelijke rekentijd). Een effectieve wiskundige techniek maakt het echter mogelijk om de circuits met de grootste gemiddelde procestijden snel te vinden (Goverde 2005). Deze kritieke circuits hebben de minste speling en vormen daarom de knelpunten van de dienstregeling. Andersom geredeneerd: alle circuits in het netwerk hebben meer speling dan deze kritieke circuits. Het kritieke circuit bepaalt de minimaal haalbare cyclustijd waarmee de treinen kunnen circuleren: de treinactiviteiten op het kritieke circuit kunnen niet sneller worden afgewerkt dan met een interval gelijk aan de gemiddelde procestijd op dit circuit, de kritieke cyclustijd. Voor een stabiele dienstregeling moet deze kritieke cyclustijd dus kleiner zijn dan de cyclustijd van de dienstregeling (meestal een uur), terwijl het verschil tussen deze twee waarden de gemiddelde speling in het knelpunt weergeeft. Deze methodiek van stabiliteitsanalyse is geïmplementeerd in de software PETER ontwikkeld aan de TU Delft (Goverde 2007).

### **3. Uitvoeringsgegevens**

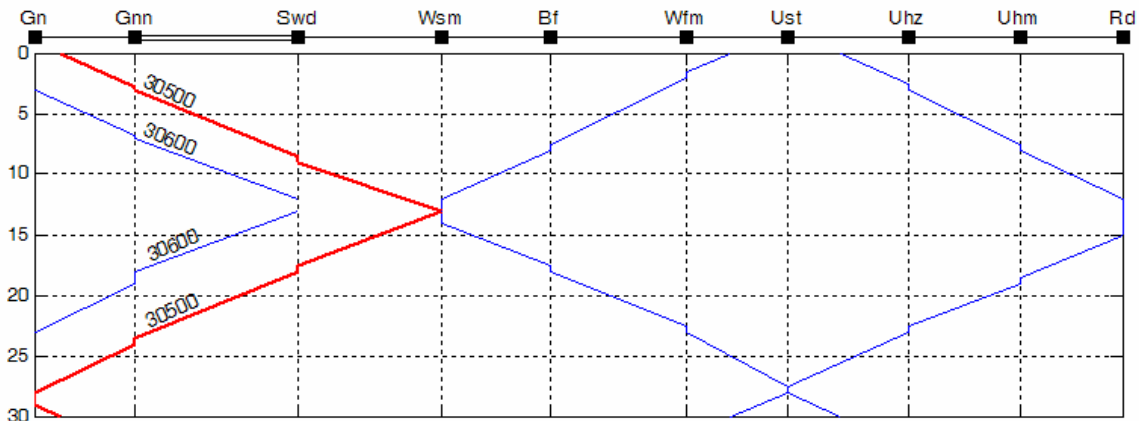
Omdat het resultaat telt, wordt in enkele cases bekeken welke rijtijden en vertragingen in werkelijkheid op enkelspoor optreden. Goederentreinen rijden op de desbetreffende lijnen slechts enkele malen per dag en blijven in dit onderzoek buiten beschouwing. Voor de reizigerstreinen wordt uitgegaan van zogenaamde VTL-files. De meetmethode is beschreven in Stam & Weeda (2007) en Weeda *et al.* (2006) geeft een idee van de mogelijkheden hiermee. Kort gezegd komt het erop neer dat uit treindetectie vanuit de infrastructuur aankomst- en vertrektijden op (bijna) alle stations worden verkregen die een gemiddelde afwijking van slechts  $\pm 5$  seconden vertonen ten opzichte van veldmetingen. Ten behoeve van statistische betrouwbaarheid zijn treinritten verzameld van een maand. Uit deze metingen worden twee soorten gegevens bepaald:

- Rij- en halteertijden, door aftrekken van aankomst- en vertrektijden. Voor ieder baanvak tussen twee opeenvolgende stations worden over alle ritten (enkele honderden) het 10<sup>e</sup>, 50<sup>e</sup> en 90<sup>e</sup> percentiel bepaald. Deze gemeten tijden laten zien hoeveel tijd nodig is voor de processen waaruit de treindienst bestaat, en zijn input voor de stabiliteitsanalyse.
- Vertragingen, door vergelijken van de gerealiseerde met de geplande aankomst/vertrektijd. Deze zijn eveneens samen te vatten in 10<sup>e</sup> t/m 90<sup>e</sup> percentielen en vormen vergelijkingsmateriaal voor de output van de stabiliteitsanalyse.

### **4. Casus 1: Groningen – Roodeschool/Delfzijl**

De stoptreinseries 30500 Groningen (Gn)–Roodeschool (Rd) en 30600 Groningen–Delfzijl (Dz) delen het spoor van Groningen tot Sauwerd. Boven Sauwerd loopt een enkelspoor naar Roodeschool en een enkelspoor naar Delfzijl. Tussen Groningen en Groningen Noord

ligt ook enkelspoor, terwijl Groningen Noord–Sauwerd dubbelsporig is. De trein van/naar Delfzijl rijdt een groot deel van de week elk halfuur. Van/naar Roodeschool rijdt een basisfrequentie van 1x per uur, in de ochtend- en avondspits verdicht tot een halfuurdienst. De wens is elke trein overal te laten stoppen en dat is begin 2008 ook enige tijd gedaan. Inmiddels slaat de trein van/naar Roodeschool weer als voorheen Sauwerd over omdat een stop daar niet goed in de halfuursdienstregeling paste. De krappe situatie *met* stop is bij uitstek geschikt voor het onderzoeken van kritieke circuits en daarom maakt dit artikel voor Groningen-Roodeschool gebruik van meetgegevens in de middagspits (15.00-19.30: halfuurdienst) uit de periode dat in Sauwerd werd gestopt.



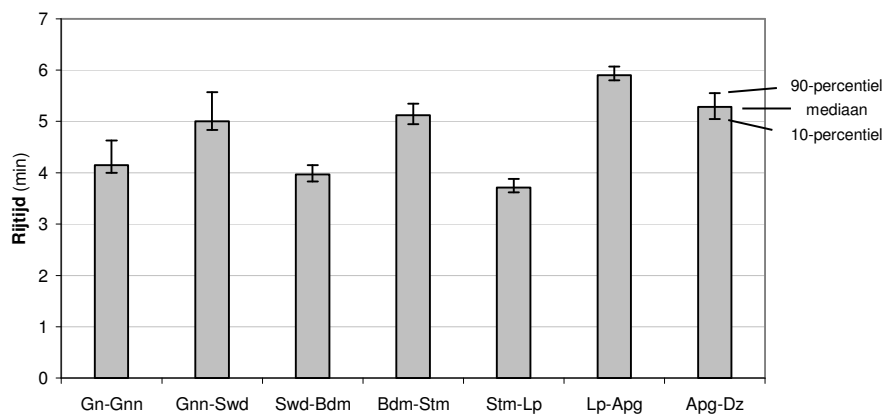
Figuur 1: Tijdwegdiagram basishalfuurpatroon Groningen-Roodeschool (2008)

In de dienstregeling zijn naast de eindstations op beide lijnen twee kruisingsstations waar de heen- en terugrichtingen elkaar kruisen: voor de 30500 zijn dat Winsum (Wsm) en Usquert (Ust) zoals weergegeven in Figuur 1, en voor de 30600 Sauwerd (Swd) en Loppersum (Lp). Merk op dat tussen Sauwerd en Groningen Noord dubbelspoor ligt zodat de trein vanuit Delfzijl naar Groningen niet in Sauwerd op de tegenligger hoeft te wachten, maar de trein richting Delfzijl wel.

#### 4.1 Stabiliteitsanalyse Groningen – Roodeschool/Delfzijl

Voor de rij- en halteertijden kunnen de empirische medianen worden genomen. De mediaan is een robuuste maat voor de procestijden, ongevoelig voor incidentele outliers en meetfouten. De rijtijden tussen de haltes hebben een kleine spreiding, zie Figuur 2, zodat de mediaan een goede schatting van de rijtijd is. Om de hoeveelheid speling op een circuit te bepalen wordt het 10<sup>e</sup> percentiel gebruikt als maat voor de technisch minimale rijtijd. Merk op dat conflicterende rijwegen grotendeels zijn beperkt tot de kruisingsstations waar een trein wacht op de tegentrein, terwijl tussen opeenvolgende treinen veel buffertijd ligt. De kans op hinder op een baanvak is daardoor nihil, met als uitzondering een korte opvolging van 4 minuten van de 30600 na de 30500 van Groningen tot Sauwerd (zie ook de grotere spreiding tussen mediaan en 90<sup>e</sup> percentiel op Gn-Gnn en Gnn-Swd in Figuur 2, die verklaard kan worden door opvolghinder). De halteertijden op de kruisingsstations kunnen wel oplopen doordat gewacht moet worden op de tegenligger. De mediaan is ook hier een goede maat voor de halteertijd mits minimaal de helft van de treinen niet hoeft te wachten op de tegenligger. Overigens is voor de halteertijdstatistieken *geen* gebruik gemaakt van treinen die te vroeg aankwamen en daardoor extra tijd hebben gewacht tot de geplande vertrektijd was

aangebrouwen. De minimum keertijden zijn in Roodeschool en Delfzijl 4 minuten, terwijl voor de minimum keertijden in Groningen met meer drukte op het perron 5 minuten is genomen. De kruistijden tussen aankomst van en vertrek naar een enkelsporig baanvak is 0 seconden. Hierbij is ervan uitgegaan dat de rijtijd van de binnenkomende trein vanaf het afrijden van het (laatste) wissel tot de stoplocatie op het perronspoor van dezelfde orde is als de rijweginstellingstijd en het vertrekproces van de trein in de tegenrichting. Als minimale opvolgtijd tussen achter elkaar rijdende treinen is 2 minuten aangehouden. De gerealiseerde kruisings- en opvolgtijden kunnen ook op een seconde nauwkeurig worden verkregen uit de VTL-files (Goverde *et al.* 2008) maar voor dit onderzoek zijn de bovengenoemde kenwaarden voldoende.



Figuur 2: Spreiding in rijtijden op Groningen–Delfzijl, maart 2008

De kritieke cyclustijd is 28:37 overeenkomend met het kritieke circuit dat ligt tussen Groningen en Winsum met kruising van de 30500 heen en retour in zowel Groningen als Winsum. In Figuur 1 is dit kritieke circuit weergegeven met vette rode lijnen. De kritieke cyclustijd bestaat uit de rijtijd van de 30500 van Groningen naar Winsum (14:29) plus de rijtijd in de terugrichting van Winsum naar Groningen (14:08), inclusief de halteertijden in de tussenstations Groningen Noord en Sauwerd. Er is dus gezamenlijk slechts 83 seconden speling voor de rijtijden en kruising van de tegentreinen in Sauwerd en Groningen, oftewel 4,6% in een half uur. Als een trein op dit traject (meer dan) anderhalve minuut vertraging heeft dan zullen ook de volgende treinen uit Sauwerd en uit Groningen een vertrekvertraging oplopen. Merk op dat een vertraagde trein uit Roodeschool wel genoeg keerbuffertijd heeft in Groningen omdat deze keert op de trein van een half uur later, maar de eerste trein die vlak na de aankomst uit Groningen moet vertrekken kan wel worden gehinderd. Gerekend met de medianen van de rijtijden is de cyclustijd 29:30, zodat ruim de helft van de treinen genoeg speling heeft op dit circuit.

Om een indruk te krijgen van de speling in de rest van het netwerk bekijken we de cyclusstijden over alle circuits tussen de kruisingsstations, zie Tabel 1. Bij de trajecten over de eindstations met een kering op de eerste tegentrein is de keertijd onderdeel van de cyclustijd (i.p.v. de kruistijd). Het op een na grootste circuit met cyclustijd 28:34 betreft ook trein 30500 tussen Usquert en Roodeschool. Hier is ook slechts 86 seconden speling vanaf het moment dat de trein vanuit Usquert naar Roodeschool vertrekt en weer terug is in Usquert, oftewel 4,8% in een half uur. Het grootste circuit van trein 30600 loopt van Loppersum naar Delfzijl en terug. Hier is de cyclustijd 27:26 zodat de speling 2:34 of 8,6% bedraagt.

Tabel 1: Cyclustijden netwerk Groningen – Roodeschool/Delfzijl in halfuurpatroon

Trein serie	Traject	Periodes [30 min]	Cyclustijd mediaan [mm:ss]	Cyclustijd 10 <sup>e</sup> pct [mm:ss]	Speling 10 <sup>e</sup> pct [mm:ss]	Speling 10 <sup>e</sup> pct [%]
30500	Gn-Wsm-Gn	1	29:30	28:37	1:23	4,6
30500	Ust-Rd'-Ust	1	29:23	28:34	1:26	4,8
30600	Lp-Dz'-Lp	1	28:12	27:26	2:34	8,6
30600	Swd-Lp-Swd	1	27:40	26:41	3:19	11,1
30500	Wsm-Ust-Wsm	1	25:56	25:11	4:49	16,1
30500	Gn-Wsm-Ust-Wsm-Gn	2	28:45	27:56	2:04	6,9
30600	Swd-Lp-Dz'-Lp-Swd	2	28:30	27:37	2:23	7,9
30500	Wsm-Ust-Rd'-Ust-Wsm	2	28:07	27:20	2:40	8,9
30600	Gn'-Swd-Lp-Swd-Gn'	2	26:37	25:49	4:11	13,9
30600	Omloop Gn'-Dz'-Gn'	3	27:31	26:43	3:17	10,9
30500	Omloop Gn'-Rd'-Gn'	4	23:12	22:35	7:25	24,7

' Inclusief keertijd op eindstation, pct staat voor percentiel

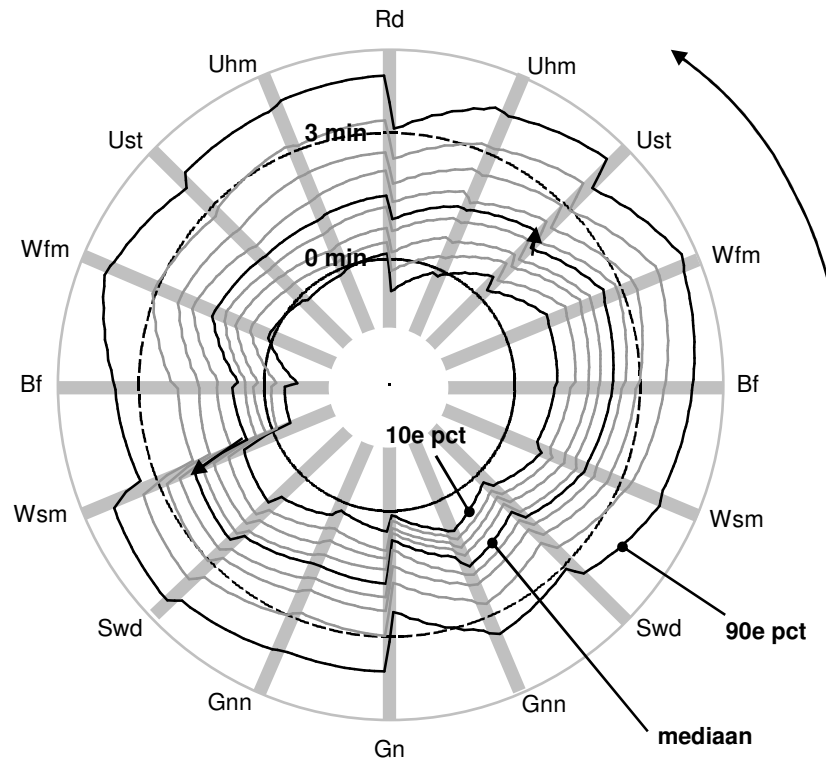
In Tabel 1 staan ook de circuits die zich uitstrekken over drie kruisingsstations. De cyclustijd loopt dan over twee periodes van een half uur, waarbij de gemiddelde cyclustijd groter is dan het gemiddelde van de afzonderlijke cyclustijden op de twee onderliggende circuits vanwege de halteertijd in het middelste kruisingsstation. Bijvoorbeeld, het circuit Gn-Wsm-Ust heeft gemiddelde cyclustijd  $55:52/2 = 27:56$ , wat groter is dan het gemiddelde over de circuits Gn-Wsm en Wsm-Ust,  $(28:37 + 25:11)/2 = 26:54$ . In dit geval is het circuit Gn-Wsm kritieker vanwege de grote speling op Wsm-Ust. Bij Swd-Lp-Dz is de gemiddelde cyclustijd echter (27:37) groter dan die van de onderliggende circuits Swd-Lp (26:41) en Lp-Dz (27:26). De totale speling op Sauwerd-Delfzijl en terug (met kruising van de tegenrichtingen bij Sauwerd) is dus bepalend voor de minimaal haalbare cyclustijd van de treinserie 30600 (los van de 30500).

Tabel 1 toont ook de gemiddelde omlooptijden van de treinseries 30500 Gn-Rd en 30600 Gn-Dz (die over drie c.q. vier periodes van een half uur lopen). Door de grote keerbuffertijd in Groningen lijkt de 30500 veel speling te hebben: gemiddeld 7:25 minuten per half uur (24,7% van de omlooptijd). Uit de analyse hierboven blijkt echter dat de enkelsporige infrastructuur de speling beperkt tot 83 seconden doordat de heen- en terugrichtingen in Groningen en Winsum op elkaar moeten wachten. Bovendien is er een volgend knelpunt met slechts iets meer speling van 86 seconden (de keertijd in Roodeschool lijkt met een mediaan van 4 minuten niet meer te verbeteren). De dienstregeling van de treinserie 30600 is robuuster met gemiddeld minimaal 7,9% speling per half uur.

#### 4.2 Uitvoeringskwaliteit Groningen – Roodeschool/Delfzijl

Vaak worden treindiensten beoordeeld op punctualiteit in de vorm van één getal: percentage aankomsten op het eindpunt met minder vertraging dan 3 minuten. Voor een meer gedetailleerde analyse van de uitvoeringskwaliteit wordt in dit onderzoek naar de spreiding gekeken, zie de Figuren 3 en 4. Rondom staan aankomst en vertrek op de stations aan de spoorlijnen naar Roodeschool en Delfzijl. Groningen ligt onderin ('zuid') en de treinen rijden tegen de klok in overeenkomend met rechtsrijden. Van Uithuizen en

Delfzijl West zijn geen gegevens beschikbaar. Op de radiale as staat de vertraging, de gestippelde cirkels staan voor 0 en 3 minuten. Percentielijnen geven de empirische bandbreedte van de treinen weer; het 10<sup>e</sup> percentiel staat voor vroege treinen. In Roodeschool raakt de 90<sup>e</sup> percentielijn de 3-minutencirkel dus komt 90% van de treinen aan met een vertraging van minder dan 3 minuten.

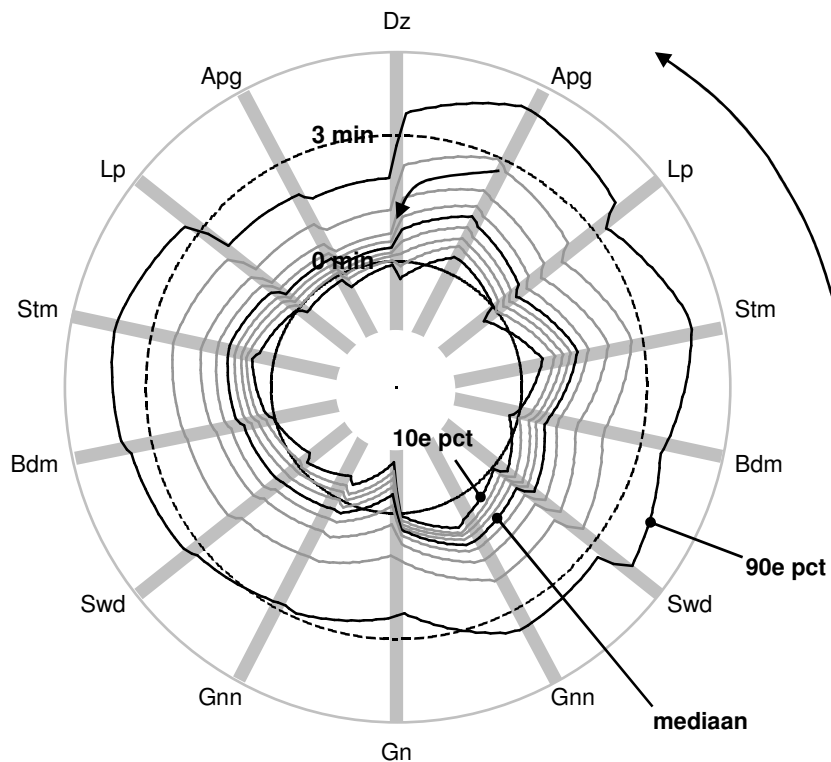


Figuur 3: Spreiding aankomsten en vertrekken serie 30500 Groningen–Roodeschool v.v., ma-vr 15.00-19.30 maart 2008

Voor een aantrekkelijke en beheersbare treindienst is een kleine spreiding belangrijk. Daarin is een duidelijk verschil te zien tussen de Figuren 3 en 4. In de dienst op Delfzijl is met name het gedeelte Delfzijl–Loppersum zeer punctueel en komt ruim 60% van de treinen voor plantijd in Groningen aan. Op de lijn naar Roodeschool daarentegen liggen de percentielijnen verder uit elkaar en is de mediaan structureel hoger dan 1 minuut. Dit verschil is goed te verklaren vanuit de stabiliteitsanalyse. De meest kritieke circuits zijn Groningen-Winsum en Usquert-Roodeschool met een speling van ongeveer 4,7%. Rechtsonder in Figuur 3 is te zien dat alle percentielijnen tussen Groningen en Winsum met ongeveer 1 minuut oplopen. Dit komt doordat de planning eigenlijk te krap is voor de stop in Sauwerd. In Winsum wordt de vertraging overgedragen op de ter plekke redelijk punctuele tegenrichting (pijl links), waarvan de 10<sup>e</sup> t/m 80<sup>e</sup> percentielijnen ineens anderhalve minuut stijgen. Verderop in noordelijke richting daalt de vertraging licht door speling tot Usquert, maar daar ontstaat nieuwe vertraging (pijl rechtsboven) door wachten op de trein Roodeschool-Groningen. De treinen arriveren met aanzienlijke spreiding in Roodeschool, hoewel enige speling maakt dat de punctualiteit bijna 90% bedraagt. De noodgedwongen geplande kering van 3 minuten is echter niet haalbaar want bij vertrek komt de vertraging van alle treinen weer op het oude niveau. Beide



kritieke circuits bepalen de stiptheid op de hele lijn zoals die zich voordeed in de spits met stop in Sauwerd: de normaal optredende spreiding door rijgedrag, extra instappers e.d. is met 4,7% totale speling niet goed op te vangen.



Figuur 4: Spreiding serie 30600 Groningen–Delfzijl v.v., ma-za 8.00-20.00 maart 2008

Op de lijn naar Delfzijl hebben de kritieke circuits rond 8% speling. In Figuur 4 komt het 90<sup>e</sup> percentiel over enige afstand boven de 3 minuten uit en in de kruisingsstations Sauwerd (richting Delfzijl) en Loppersum (beide richtingen) neemt de vertraging iets toe. Hier en daar optredende vertraging wordt echter ook weer ingelopen (zie pijl): na vertrek van Appingedam naar Delfzijl neemt de vertraging van zowel vroege als late treinen met bijna 1 minuut af (door rijtijdspeling). In Delfzijl vermindert de vertraging van late treinen met nogmaals 1 minuut (voor de kering is 5 minuten gepland maar 4 minuten volstaat in de praktijk) terwijl de 10<sup>e</sup> percentiellijn juist iets oploopt: vroeg aankomen kan, maar te vroeg vertrekken is niet toegestaan. De 10<sup>e</sup> t/m 70<sup>e</sup> percentiellijnen liggen overal dicht tegen elkaar en dicht bij de gestippelde 0-lijn (de planning). Kennelijk is 8% speling per circuit in staat kleine vertragingen in voldoende mate op te vangen.

## 5. Casus 2: Groningen - Nieuweschans

De lijn Groningen-Nieuweschans is met een groot dubbelsporig gedeelte tamelijk ruim bemeten, maar kent een complexe materieelomloop. Het is interessant om te zien welke circuits dan kritiek zijn. De treinserie 30400 rijdt op werkdagen overdag drie keer per uur in beide richtingen. In een tweeuurpatroon wordt tweemaal gekeerd in Zuidbroek (Zb), eenmaal in Winschoten (Ws), tweemaal in Nieuweschans (Nsch), en om het uur wordt doorgereden naar Leer (Duitsland). Van Groningen tot na Groningen Europark (Gerp) ligt enkelspoor, waarna dubbelspoor ligt tot Zuidbroek, terwijl de spoorlijn na Zuidbroek tot

aan Leer weer enkelsporig is, zie Figuur 5. De stations Zuidbroek, Winschoten en Nieuweschans dienen als kruisingsstations. In Groningen en Gerp is slechts één perron beschikbaar voor de treinen van en naar Nieuweschans, zodat op het traject tussen Gerp en Groningen inclusief kering maar één trein tegelijk kan zijn. Tussen Nieuweschans en Leer rijdt één keer per twee uur een trein. De geplande rijtijden tussen Nieuweschans en Leer zijn 21 minuten en de keertijd in Leer is 54 minuten zodat daar een ruime buffertijd voor handen is. Er zijn geen realisatiegegevens tussen Nieuweschans en Leer beschikbaar zodat dit deeltraject buiten beschouwing blijft. Gezien de grote keerbuffertijd zal dit echter niet kritiek zijn.



Figuur 5: Spoorlijn Groningen - Nieuweschans

### 5.1 Stabiliteitsanalyse Groningen – Nieuweschans

De modellering van de rijtijden, halteertijden, kruistijden en opvolgtijden is analoog aan casus 1. De minimum keertijden in Groningen en Leer zijn 5 minuten en op de andere keerstations 4 minuten. De rit van Nieuweschans naar Leer en terug is gemodelleerd als een 'kering' in Nieuweschans met minimum keertijd 47 minuten (= 21 + 5 + 21, de som van de rijtijd Nsch-Leer, de minimum keertijd in Leer en de rijtijd Leer-Nsch). Bij Gerp is vanwege het enkele perronspoor een minimale kruistijd aangehouden van 2 minuten tussen de vertrekkende treinen richting Nieuweschans en de arriverende treinen uit die richting.

De kritieke cyclustijd over het tweeuurpatroon is 108:33 overeenkomende met het volgende kritieke circuit: de trein van Groningen naar Nieuweschans en terug inclusief kering in Nieuweschans, gevolgd door een kering op de volgende trein uit Groningen naar Groningen Europark (Gerp), waar deze kruist met de tegenrichting die in Groningen weer keert op de trein aan het begin van het circuit. Kortom het circuit Gn-Nsch-Gn-Gerp-Gn met kruising in Gerp en keringen in Gn en Nsch. Over dit circuit is 11:27 speling per twee uur, oftewel 9,5% speling. De kruising in Gerp is vrij strak gepland dus de speling komt vooral door de keerbuffertijden.

Tabel 2 geeft een overzicht van een aantal circuits op de corridor Groningen-Nieuweschans/Leer. Het enkelspoor met kruisingsstations Zb en Ws genereert een circuit van vier heen- en terugtreinen die elkaar kruisen in Zb en Ws. De cyclustijd is 86:02, corresponderend met een speling van 33:58 per twee uur (28,3%). Het enkelspoor tussen Ws en Nsch genereert een circuit van drie heen- en terugtreinen met kruisingen in Ws en twee kruisingen en een kering in Nsch; de cyclustijd is 56:42 (52,8% speling). Het enkelspoor over Gerp en Groningen genereert een circuit met zes heen- en terugtreinen met kruisingen achter Gerp en keringen in Gn. De cyclustijd hiervan is 75:12 dus hier is 37,3% speling. Het overkoepelende circuit over Zb-Ws-Nsch bestaat uit twee heen- en terugtreinen met twee kruisingen in Zb en een kruising en kering in Nsch, waarvan de cyclustijd 85:42 is (28,6% speling). De infrastructuur is bij deze dienstregelingstructuur niet problematisch.

Tabel 2: Cyclustijden treinserie 30400 Groningen – Nieuweschans in tweeuurpatroon

Traject	Periodes [120 min]	Cyclustijd mediaan [mm:ss]	Cyclustijd 10 <sup>e</sup> pct [mm:ss]	Speling 10 <sup>e</sup> pct [mm:ss]	Speling 10 <sup>e</sup> pct [%]
Gn'-Nsch'-Gn'-Gerp-Gn'	1	111:44	108:33	11:27	9,5
Gn'-Ws-Zb-Ws-Gn'-Gerp-Gn'	1	109:58	107:26	12:34	10,5
Zb-Ws-Zb (4x)	1	88:40	86:02	33:58	28,3
Gn'-Gerp-Gn' (6x)	1	76:24	75:12	44:48	37,3
Ws-Nsch'-Ws-Nsch-Ws-Nsch-Ws	1	58:39	56:42	63:18	52,8
Zb-Nsch'-Zb-Nsch-Zb	1	88:12	85:42	34:18	28,6
Omloop Gn'-Ws'-Gn'	1	79:40	77:30	42:30	35,4
Omloop Gn'-Zb'-Gn'-Leer'-Gn'- Nsch'-Gn'-Zb'-Gn'-Nsch'-Gn'	5	91:08	88:37	31:23	26,2

' Inclusief keertijd op eindstation, pct staat voor percentiel

De treinserie 30400 heeft twee afzonderlijke omlopen. Een korte omloop Gn-Ws-Gn met minimale omlooptijd 77:30. De zeer ruime speling van 35,4% zit voornamelijk in de keerbuffertijden in Winschoten en Groningen. Daarnaast is er een grote omloop Gn-Zb-Gn-Leer-Gn-Nsch-Gn-Zb-Gn-Nsch-Gn met omlooptijd 443:05 (7 uur, 33 min, 05 sec) verdeeld over vijf periodes van twee uur. De gemiddelde cyclustijd is dus  $443:05/5 = 88:37$ . Ook hier is een ruime speling van 26,2% afkomstig uit de keerbuffertijden, en met name in Leer.

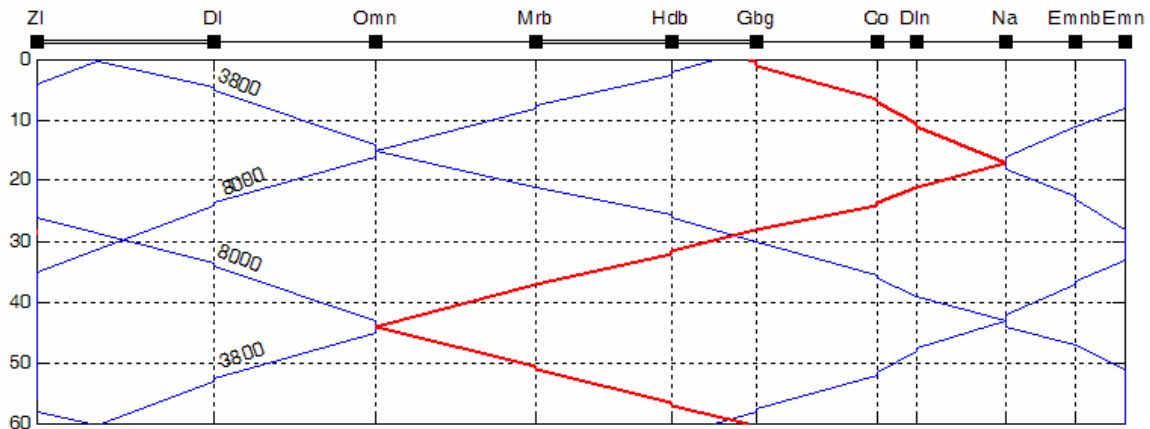
Resumerend blijkt uit deze analyse dat de treinen op de corridor Groningen-Leer weinig stabiliteitsproblemen hoeven te hebben. De enkelsporige trajecten hebben ruime speling en dat geldt ook voor de omlopen en alle andere mogelijke circuits: het meest kritieke circuit heeft nog een speling van 9,5% over een tweeuurpatroon.

## 5.2 Uitvoeringskwaliteit Groningen – Nieuweschans

Punctualiteitmetingen blijven hier buiten beschouwing omdat er geen duidelijk kritiek circuit te analyseren is. Dat neemt niet weg dat lokaal vertragingen kunnen optreden, zoals in maart 2008 ook gemeten is, maar deze kunnen altijd uitdempen. Door allerlei oorzaken kunnen rij- of keertijden plaatselijk krap zijn, ook bewust vanwege bijvoorbeeld overstaprelaties met andere treinen of bussen. Zolang er geen kritieke circuits zijn, is de uitvoeringskwaliteit in principe te verbeteren door schuiven met de dienstregeling. Bij de voorgenomen frequentieverhoging zal de stabiliteitsanalyse er overigens anders uitzien.

## 6. Casus 3: Zwolle - Emmen

Op de spoorlijn Zwolle (Zl)-Emmen (Emn) rijdt een groot deel van de week ieder uur de stoptreinserie 8000 en sneltreinserie 3800 die samen een semi-halfuursdienstregeling op de sneltreinstations bieden. De spoorlijn heeft dubbelspoor tussen Zwolle en Dalfsen (DI) en tussen Mariënberg (Mrb) en Gramsbergen (Gbg), terwijl de rest enkelsporig is, zie Figuur 6. Ommen (Omn) en Nieuw Amsterdam (Na) zijn kruisingsstations, terwijl de heen- en terugrichtingen elkaar ook kruisen op het dubbelspoor ten zuiden van Gramsbergen.



Figuur 6: Tijdwegdiagram basisuurpatroon Zwolle – Emmen (2008)

### 6.1 Stabiliteitsanalyse Zwolle – Emmen

De modellering van de rijtijden, halteertijden, kruistijden en opvolgtijden is analoog aan casus 1, behalve de kruistijden bij een aantal kruisingsstations waar vlak naast een overweg ligt, zoals aan de oostzijde van Ommen en de zuidzijde van Nieuw Amsterdam. De kruistijden zijn hier minimaal 30 seconden omdat de aankomende trein eerst de overweg vrijrijdt (waarna de overweg open gaat) en daarna het wissel, waarna de rijweg kan worden ingesteld met een vaste vertraging om zeker te zijn dat de overweg weer dicht is. De treinseries keren in Emmen op de tegenrichting en in Zwolle op elkaar. De minimum keertijden zijn gesteld op 5 minuten in Zwolle en 4 minuten in Emmen.

Tabel 3: Cyclustijden corridor Zwolle – Emmen in uurpatroon

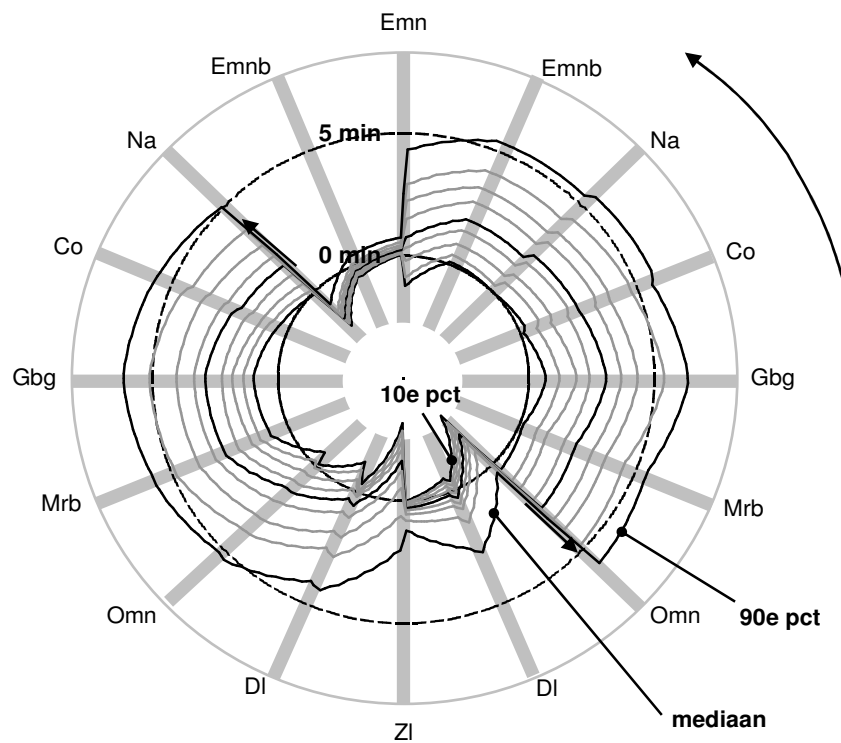
Treinserie/ Taject	Periodes [60 min]	Cyclustijd	Cyclustijd	Speling	Speling
		mediaan [mm:ss]	10 <sup>e</sup> pct [mm:ss]	10 <sup>e</sup> pct [mm:ss]	10 <sup>e</sup> pct [%]
8000 Omn-Na, 3800 Na-Omn	1	59:26	56:59	3:01	5,0
3800 Omn-Na, 8000 Na-Omn	1	59:22	56:51	3:09	5,3
3800 Na-Gbg-Na, 8000 Na-Gbg-Na	1	53:58	51:32	8:28	14,1
3800 Na-Emn'-Na, 8000 Na-Emn'-Na	1	35:06	33:57	26:03	43,4
Omloop 3800 ZI'-Emn'-ZI', 8000 ZI'- Emn'-ZI'	5	46:01	44:02	15:58	26,6

' Inclusief keertijd op eindstation, pct staat voor percentiel

Het kritieke circuit ligt tussen Ommen en Nieuw Amsterdam met cyclustijd 56:59 en 5% speling (3 minuten per uur) op basis van gemeten benodigde tijden. Dit wordt gevormd door de 8000 van Ommen naar Nieuw Amsterdam en de 3800 in de tegenrichting met kruisingen in Ommen en Nieuw Amsterdam, zie Figuur 6. De helft van de treinen heeft in totaal meer dan 59:26 minuten nodig op dit circuit. De 3800 heen en 8000 terug vormen ook een circuit met kruisingen in Ommen en Nieuw Amsterdam, met een bijna even grote cyclustijd van 56:51 (5,3% speling) en mediaan 59:22. Tabel 3 toont ook enkele andere circuits die veel meer speling bevatten. De omlooptijd heeft 26,6% speling. Het traject Ommen-Nieuw Amsterdam is dus bepalend voor de minimaal haalbare cyclustijd en is met 5% speling vergelijkbaar met de twee meest kritieke circuits op de corridor Groningen-Roodeschool van casus 1.

## 6.2 Uitvoeringskwaliteit Zwolle – Emmen

De uitvoeringskwaliteit is op een vergelijkbare manier weergegeven als in casus 1, maar de schaal is aangepast omdat de spreiding hier vrij groot is. De lopende dienstregeling is volgens de planningsnormen dan ook niet mogelijk, maar enkele jaren geleden is de uitdaging toch opgepakt omdat op deze manier korte reistijden en goede aansluitingen mogelijk zijn zonder stations te sluiten. Figuur 7 geeft meetgegevens van de sneltrein op werkdagen; de stoptrein ziet er ongeveer hetzelfde uit. Van Hardenberg en Dalen zijn geen metingen. De figuur laat een duidelijk beeld zien. Uit Zwolle en vooral Emmen wordt zeer punctueel vertrokken met een bandbreedte van nauwelijks 1 minuut en alle treinen arriveren voor plantijd bij het kritieke stuk Ommen-Nieuw Amsterdam. Ze wachten daar op de tegentrein en krijgen in beide richtingen een vertraging mee oplopend tot 5 minuten. Aan de uiteinden van de lijn wordt de opgelopen vertraging gecompenseerd met speling. Met name in Zwolle ontstaat zo toch een hoge punctualiteit: 95% op werkdagen. De aanzienlijke bandbreedte in het kritieke circuit wijst er echter op dat het circuit zelf met 5% speling niet goed in staat is vertragingen op te vangen.



Figuur 7: Spreiding sneltrein 3800 Zwolle-Emmen v.v., ma-vr juni 2008

## 7. Conclusies

Op enkelsporige lijnen kunnen vertragingen rondzingen tussen kruisings- en/of keerstations. De opeenvolgende processen in de dienstregeling (rijden, halteren, kruisen, keren) vormen dan een circuit. Dat wordt kritiek als de totaal benodigde tijd bijna gelijk is aan de periode, die bij een in Nederland gebruikelijke patroondienstregeling vaak 30 of 60 minuten bedraagt. Een circuit kan er ook anders uitzien dan de heen- en terugrit tussen twee kruisings- of keerstations. Zo komen op de lijn Groningen-Nieuweschans-Leer door de complexe materieelomloop diverse ingewikkelde circuits voor. De langste strekt zich uit over vijf periodes van twee uur.

Voor een acceptabele uitvoeringskwaliteit is voldoende speling nodig, maar het stellen van een punctualiteitsdoel is tamelijk arbitrair. Toch is er wel iets over te zeggen om de gedachten te bepalen:

- Minder dan 3 minuten vertraging voor 90% van de treinen blijkt goed haalbaar op zowel regionale lijn als het hoofdrailnet. Een substantieel lagere punctualiteit wijst vaak op een knelpunt.
- Het zou naar reizigers toe mooi zijn als minstens de helft van de treinen vertrekt dan wel aankomt in de geplande minuut (dus minder dan 1 minuut vertraging).

Op de lijnen Groningen-Roodeschool (met stop in Sauwerd) en Zwolle-Emmen bevinden zich diverse circuits met slechts 5% speling. In die circuits ligt de mediaan ruim boven 1 minuut en het 90<sup>e</sup> percentiel structureel boven 3 minuten. Tussen Groningen en Delfzijl hebben de meest kritieke circuits 8% speling en is de spreiding duidelijk kleiner: de mediaan ligt meestal onder 1 minuut en het 90<sup>e</sup> percentiel schommelt rond 3 minuten. Natuurlijk zijn dit slechts enkele cases, maar het stabiliteitsverschil tussen 5% en 8% speling is aanzienlijk dus er lijkt een vrij scherpe kwaliteitsgrens aan te geven. In een circuit van een halfuur gaat het om het verschil tussen 1,5 en 2,5 minuut speling. Overigens kan 5% speling een goed uitvoerbare dienstregeling opleveren zolang er geen processen in een circuit aan elkaar hangen; eventuele vertraging kan dan bijvoorbeeld uitdempen tijdens een enkele minuten durende stop op een knooppuntstation.

Dit alles betekent ook dat spoorlijnen zich niet laten bouwen als autosnelwegen, waar iedere minuut rijtijdwinst een minuut reistijdwinst is. Op (enkel)spoorlijnen kan met een soms beperkte versnelling een sterke reductie in vertragingen bereikt worden. Meer tijdwinst hoeft niet altijd iets op te leveren, omdat treinen bijvoorbeeld op elkaar moeten wachten. Overigens is een minuut winst in rij- of kruistijden vaak met relatief kleine maatregelen te realiseren; in de behandelde cases zijn daar ook plannen voor.

## Literatuur

Goverde, R.M.P. (2005). *Punctuality of Railway Operations and Timetable Stability Analysis*. Dissertatie TU Delft, TRAIL Thesis Series no. T2005/10, Delft.

Goverde, R.M.P. (2007). *PETER gebruikershandleiding: Stabiliteitsanalyse van dienstregelingen*. TU Delft, Afdeling Transport & Planning, Delft.

Goverde, R.M.P., W. Daamen & I.A. Hansen (2008). "Automatic Identification of Route Conflict Occurrences and Their Consequences". In: J. Allan *et al.*, *Computers in Railways XI*, pp. 473-482, WIT Press, Southampton.

Stam-Van den Berg, B.W.V. & V.A. Weeda (2007). "VTL-Tool: Detailed Analysis of Dutch Railway Traffic". *Proceedings 2nd International Seminar on Railway Operations Research* (RailHannover 2007), Hannover.

Weeda, V.A. & P.B.L. Wiggeraad & K.S. Hofstra (2006). "Een treinvertraging zit in een klein hoekje. Resultaten punctualiteitanalyse casestudy Rotterdam-Dordrecht." In: *Bijdragen Colloquium Vervoersplanologisch Speurwerk*, pp. 445-456, Rotterdam.