

# **Optimalisering netwerkdienstregeling voor IC- en regionale treinen**

Ingo Arne Hansen  
Technische Universiteit Delft  
[i.a.hansen@tudelft.nl](mailto:i.a.hansen@tudelft.nl)

**Bijdrage aan het Colloquium Vervoersplanologisch Speurwerk  
19 en 20 november 2009, Antwerpen**

## Samenvatting

### *Duurzame integrale treindienstregeling na 2020*

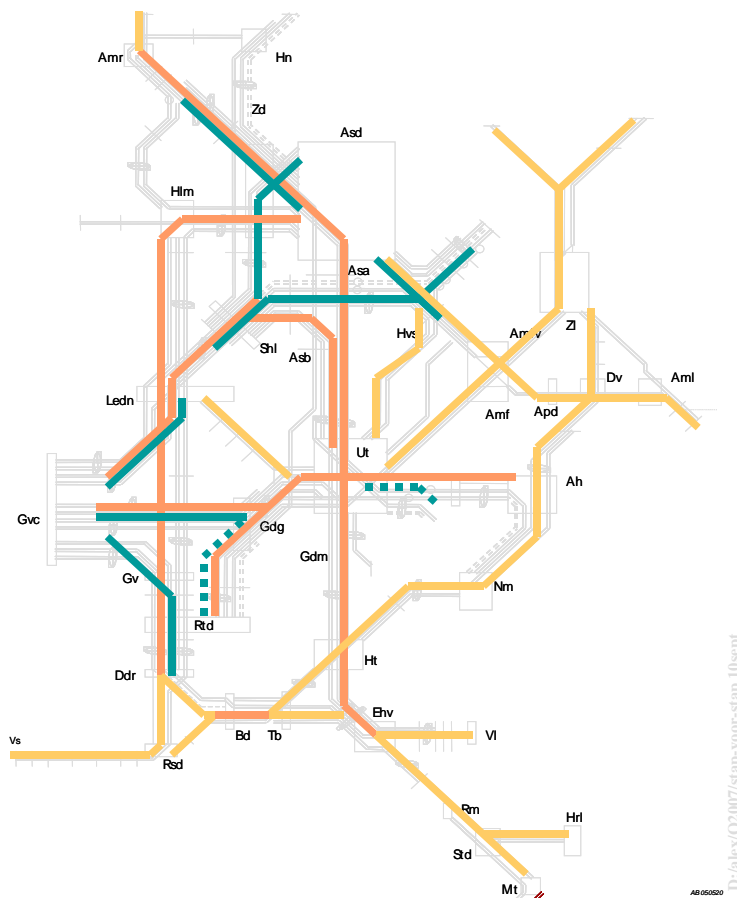
Met de invoering van de dienstregeling 2007 werden in Nederland op het hoofdspoor net de treinfrequenties verhoogd, maar tevens de reistijden op de meeste relaties verlengd en overstaprelaties verbroken. De homogenisering van de rijtijden van IC- en IR-treinen bleek noodzakelijk voor de verhoging van de treinfrequenties naar 4 keer per uur vanwege de bestaande infrastructurele beperkingen. Echter vergt dit meer treinen in omloop en verhoogt de exploitatiekosten aanzienlijk. In de recente Landelijke Markt- en Capaciteitsanalyse Spoor zijn door ProRail de speerpunten voor de infrastructurele uitbreidingen nader bepaald en dienen als basis voor het Programma Hoogfrequent Spoor van het Ministerie van Verkeer en Waterstaat. De plaatselijke infrastructuuruitbreidingen blijven echter stopwerk, indien deze niet worden ingebed in een duurzaam (inter-)nationaal en regionaal spoorvervoerconcept. Een zeer belangrijk onderdeel daarvan is een geïntegreerde periodieke treindienstregeling op netwerk niveau. Deze stelt echter harde eisen aan de rijtijden tussen de netwerkknopen, opvolgtijden en omlooptijden van de treinen ten behoeve van een stabiele dienstregeling, robuuste dienstuitvoering met zo min mogelijk (volg)vertragingen en optimale aansluitingen tussen de lijnen.

De toekomstige ontwikkeling van het Nederlandse hoofdspoor net dient niet langer uit te gaan van de stapsgewijze aanleg van afzonderlijke nieuwe verbindingen (HSL-Zuid, Betuwelijn, Hanzelijn) en vervolgens de aanpassing van de dienstregeling. Het eerst dienen de knopen zelf, de periode, frequentie en reistijden tussen de knopen voor de dienstregeling vastgelegd te worden, zoals in Switzerland in het kader van het programma Bahn 2000 met succes gedemonstreerd.

Dit vergt een zorgvuldige keuze van de ligging van (en afstand tussen) de knopen op basis van het maatschappelijke en economische belang, de vervoervraag en capaciteit, alsmede het bepalen van de wenselijke lijnsnelheid overeenkomstig de vereiste maximale rij- en halteertijden tussen de knopen. Uitgaande van een standaard periode van de dienstregeling van vooralsnog 60 minuten dienen de rij- en halteertijden tussen de knopen in principe niet langer mogen zijn dan 30 minuten. De IC-reistijden tussen een aantal zeer belangrijke knopen, zoals Den Haag C-Utrecht C, Rotterdam C-Utrecht C, Amsterdam C-Almere, Utrecht-Arnhem en Utrecht-Eindhoven zouden derhalve op de lange termijn teruggebracht moeten worden tot 30 minuten. Dit betekent voor sommige trajecten een verhoging van de baanvaksnelheid naar 160 km/uur of zelfs 200 km/uur, en invoering van cabinesignalering (ETCS Level 2). Daarnaast is integrale viersporigheid van de baanvakken in de brede Randstad vereist voor hoogfrequente IC- en regionale treindiensten (elk 6 keer per uur). Daartoe wordt een geoptimaliseerd dienstregelingconcept in hoofdlijnen voorgesteld.

## 1. Inleiding

De huidige dienstregeling op het Nederlandse hoofdspoornet wordt gekenmerkt door frequenties van 4 keer/uur van de IC-lijnen in de Randstad en 4 keer/uur stoptreinen op enkele verbindingen rond Amsterdam en Den Haag, alsmede 2 keer/uur buiten de Randstad (Fig. 1). Verder zijn door ontkoppeling van enkele lijnen en verlenging van de rijttijden van sommige IC-treinen de reistijden op een aantal relaties t.o.v. eerdere jaren iets toegenomen [Veenman, 2006]. Weliswaar bestaat nog steeds het basisuurpatroon, toch zijn de aankomst- en vertrektijden van verschillende lijnen op een aantal knopen nog steeds ver van optimaal zodat vrij lange overstapwachtijden ontstaan.



Figuur 1: Bestaande treindienstregeling hoofdspoornet 2009 (bron: ProRail)

De oorzaken voor de onvoldoende coördinatie van enkele lijndienstregelingen op netwerkniveau liggen niet alleen in bestaande capaciteitsknelpunten van de spoorinfrastructuur, maar ook in rijttijden tussen de knopen, die niet goed passen bij een geïntegreerd netwerk van regelmatige IC- en stoptreindiensten. Daardoor bezetten ook treinstellen de perronsporen vrij lang tijdens het keren op een aantal eindstations en worden meer treinen voor de omloop benodigd.

De plannen voor het Programma Hoogfrequent Spoorvervoer [Min VenW, 2009] op basis van de Landelijke Markt- en Capaciteitsanalyse (LMCA) Spoor [Min VenW, 2007] bevatten een aantal hoogfrequente IC-lijnen in de Randstad tot en met de corridors Amsterdam-Lelystad, Utrecht-Arnhem en Utrecht-Eindhoven (Fig. 2). Daarboven komen

de internationale en binnenlandse HSL-treindiensten tussen Amsterdam/(Den Haag C)-Rotterdam-Breda/België-Parijs. De hoogfrequente Sprinterlijnen (minimale opvolgtijd 15 min) zijn vooralsnog beperkt tot de grote agglomeraties in de brede Randstad plus de verbindingen Boxtel-Eindhoven en Arnhem-Nijmegen. RandstadRail en de Hoekse Lijn ontbreken in dit plaatje, omdat het beheer van deze lijnen niet meer bij ProRail hoort. Het blijft echter onduidelijk, hoe 'samenhangende regionale OV-systemen' (speerpunt 2) eruit zullen zien en gekoppeld gaan worden aan de IC-knooppunten.



Figuur 2: Hoogfrequent spoorvervoernet  
(Bron: LMCA, 2007)

Voor een betrouwbare exploitatie van hoogfrequente IC- en regionale treinen (SLT) op het hoofdrailnet is integrale viersporigheid een vereiste. Deze bestaat al op de trajecten Rijswijk-Den Haag-Leiden, Amsterdam-Utrecht, Rotterdam-Dordrecht en Boxtel-Eindhoven en zal in 2010 tussen Woerden en Utrecht (RandstadSpoor) voltooid zijn. Desondanks betekenen de tweesporige trajecten van Den Haag C en van Rotterdam C naar Gouda, alsmede tussen Gouda Goverwelle en Woerden een serieuze infrastructurele barrière voor de invoering van hoogfrequente Sprintertreinen.

Onduidelijk is nog steeds, wanneer integrale viersporigheid tussen Den Haag en Rotterdam beschikbaar komt, omdat de viersporige tunnelbak in Delft vooralsnog alleen twee sporen zal bevatten en de uitbreiding van de tweesporige flessenhalzen tussen Rijswijk en Delft en Delft-Schiedam (Rotterdam C) tot nu toe niet in het Meerjareninfrastructuurprogramma (MIRT) is opgenomen.

De plannen voor capaciteitsuitbreiding van het traject Schiphol-Amsterdam-Zuid-Almere-Lelystad (SAAL) zijn ook nog onvoldoende uitgekristalliseerd. Onontkoombaar is de uitbreiding naar vier sporen op de Hollandse brug naar Flevoland tot en met Almere. Door de opening van de Hanzelijn zal vanaf 2013 capaciteit vrijkomen voor de verhoging van de frequentie van IC- en stoptreinen tussen Amersfoort en Zwolle.

Ten oosten van Utrecht eindigt de viersporigheid op dit moment bij de splitsing/samenvoeging van de spoorlijnen naar/van 's Hertogenbosch-Eindhoven en Arnhem. Voor de exploitatie van hoogfrequente en betrouwbare regionale RandstadSpoor-treinen tot Veendam, de verhoging van de IC-treinfrequentie naar/van Arnhem en de toename van de snelheid en frequentie van de internationale ICE-treinen naar Duitsland is een viersporig traject van Utrecht C t/m De Haar Aansluiting noodzakelijk. Deze uitbreiding zou tevens de eerste stap voor de aanleg van de HSL-Oost moeten zijn.

De bovengenoemde plaatselijke infrastructuuruitbreidingen blijven op termijn echter stopwerk, indien deze niet worden ingebed in een duurzaam (inter)nationaal en regionaal vervoerconcept. Traditioneel werden spoorwegnetwerken stapsgewijs via toevoeging van nieuwe infrastructurele verbindingen (stations en baanvakken) of nieuwe technologieën (elektrificatie, beveiligingssystemen) ontwikkeld.

Sinds de brede (inter)nationale invoering van periodieke dienstregelingen [Avelino et al., 2006] is echter een paradigma-omslag te constateren: spoorweginfrastructuurnetwerken dienen vooral met inachtneming van de basiseisen aan de geplande geïntegreerde treindienstregeling op netwerkniveau te worden ontwikkeld [Avelino et al., 2006]. Deze nieuwe aanpak is de afgelopen twintig jaar met succes toegepast in het kader van het programma Bahn 2000 van de Zwitserse Spoorwegen [SBB, 1987; Ullius, 2005].

In de volgende bijdrage worden eerst de principiële eisen aan geïntegreerde periodieke dienstregelingen en de implicaties voor de aanpassing van de reistijden op enkele trajecten in het kort beschreven. Daarna wordt een nieuw concept voor de lijnvoering en opzet van hoogfrequente dienstregelingen voorgesteld. Verder worden de hoofdelementen van een geavanceerd systeem van dynamisch verkeersmanagement toegelicht, die nodig zijn voor de verbetering van de kwaliteit van de dienstuitvoering. Ten slotte worden de conclusies voor de ontwikkeling van een samenhangend netwerk van hoogfrequente langeafstand- en regionale treindiensten in Nederland samengevat.

## **2. Basiseisen aan geïntegreerde netwerkdienstregeling**

De rijtijden tussen de netwerkknoppen, opvolgtijden en omlooptijden van de met elkaar verbonden lijnen in het toekomstige Nederlandse spoorwegnet moeten derhalve (ondanks de voorgenomen ontkoppeling van de hoofdlijnen in het kader van 'spoorboekloos rijden') gesynchroniseerd blijven, ten einde een stabiele dienstregeling, robuuste dienstuitvoering en optimale aansluitingen tussen de IC/HSL-lijnen en van/naar het ROV te kunnen bieden! Onontkoombare wiskundige basiseisen die moeten worden gesteld aan geïntegreerde periodieke netwerk-dienstregelingen zijn:

- (1) de rijtijden inclusief halte- of keertijden tussen de netwerkknoppen dienen gelijk en de helft van de cyclustijd te zijn,

- (2) de opvolgtijden moeten een geheeltallig deler (veelvoud) van de cyclustijd zijn en  
(3) de omlooptijden dienen een geheeltallig veelvoud van de rij- halteertijden tussen de eindknopen en daarmee ook van de cyclustijd en opvolgtijden te zijn.

Uitgaande van een standaard-cyclustijd (periode voor herhaling van de dienstregeling) van vooralsnog 60 minuten zouden de rij- en halteertijden tussen de knopen dus niet langer mogen zijn dan 30 minuten, terwijl de geplande opvolgtijden per lijn kunnen variëren tussen de 3 en 60 minuten. Dit vergt allereerst een zorgvuldige keuze van (a) de ligging van (en afstand tussen) de netwerkknopen op basis van het maatschappelijke en economische belang, de vervoervraag en capaciteit, alsmede (b) het bepalen van de wenselijke lijnsnelheid overeenkomstig de vereiste maximale rij- en halteertijden (30 minuten) tussen de knopen.

De geplande rijtijden tussen en halteertijden op een aantal stations zouden in dit opzicht op termijn aangepast moeten worden:

- De IC-reistijden tussen de zeer belangrijke knopen Den Haag C-Utrecht C en Rotterdam C-Utrecht C moeten op termijn teruggebracht worden van nu 40 tot 30 minuten. De baanvakken tussen Den Haag respectievelijk Rotterdam en Gouda dienen naar vier sporen uitgebreid te worden voor de invoering van hoogfrequente regionale treinen [Weits, et al., 2008]. Deze reistijdverkorting is in principe haalbaar door verhoging van de snelheid naar 160 km/uur en stroomlijning van het alignement in het kader van de aanleg van het 3<sup>e</sup> en 4<sup>e</sup> spoor [Vaatstra et al., 2002].
- De invoering van het Europese standaard beveiligingssysteem ETCS Level 2 op de Oude Lijn en de Utrechtse lijn maakt in verband met de inzet van het nieuwe Sprintermaterieel een significante vermindering van de reistijden en capaciteitsverhoging mogelijk [Hansen, 2003].
- De IC-reistijd van Haarlem via Amsterdam C, alsmede van Schiphol via Amsterdam Zuid naar Almere dient in het kader van het OV SAAL-project [Min VenW, 2006] naar 30 minuten gereduceerd te worden.
- De IC-reistijd van Utrecht C naar Arnhem moet in het kader van de aanleg van de HSL-Oost verminderd worden naar 30 minuten en het traject Utrecht C-aansluiting De Haar moet viersporig uitgebreid worden t.b.v. hoogfrequente IC- en regionale treindiensten.
- De IC-reistijden tussen Eindhoven en Utrecht C respectievelijk Breda zouden op den duur gereduceerd moeten worden naar 30 minuten. Tevens dienen de baanvakken Utrecht-'s-Hertogenbosch (Boxtel) en Breda-Tilburg integraal naar vier sporen uitgebreid te worden om voldoende capaciteit voor het ROV ten zuiden van Utrecht en tussen de Brabantse steden te scheppen.

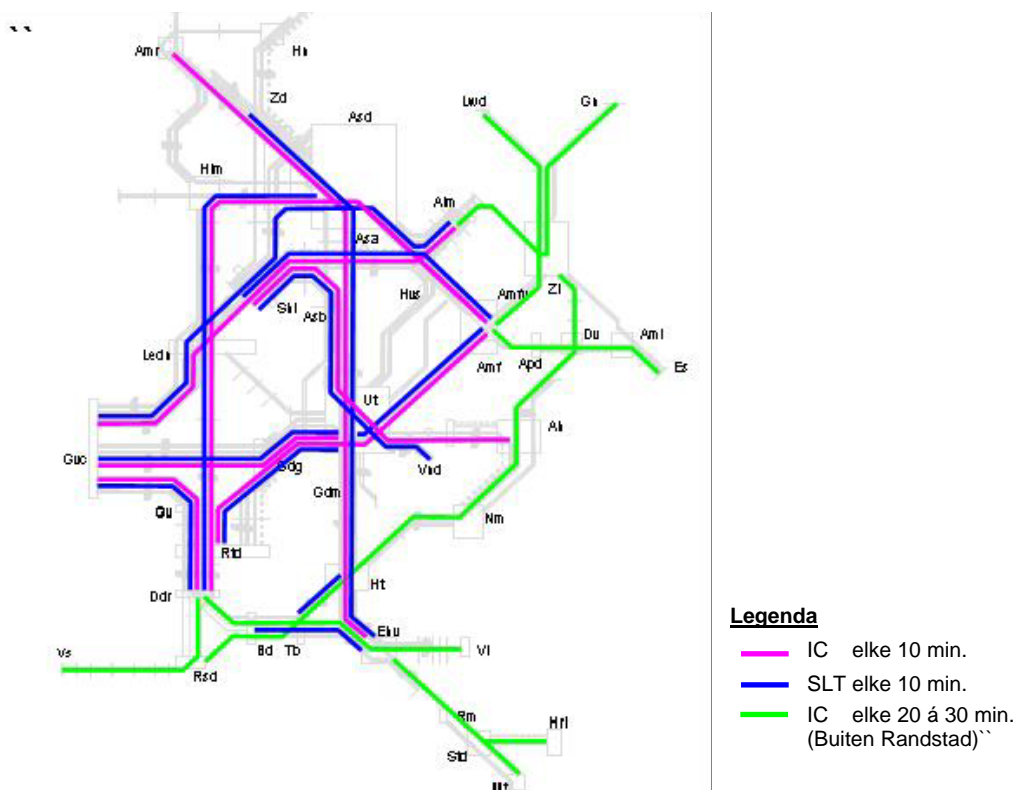
### **3. Duurzaam hoogfrequent IC-lijnnet**

Door de bovengenoemde maatregelen kan op termijn een samenhangend IC-treindienstennetwerk langs zes corridors met reistijden van 15 en 30 minuten respectievelijk tussen de belangrijkste Nederlandse steden in de brede Randstad worden geschapen (Fig. 3).



Figuur 3: Duurzaam hoogfrequent IC-lijnnennet

Het toekomstig hoofdspornet dient gevoed te worden door een stelsel van hoogfrequente regionale spoorlijnen [Van den Heuvel & Schoemaker, 1989; Van den Heuvel, 1997, Muller et al., 2008], waarvan de aankomst- en vertrektijden bij de overstapstations zijn gesynchroniseerd met de IC- (en HSL)-lijnen. De brede Randstad en Brabant zouden na 2020 door een stelsel van tien lijnen door Sprinter Light Train (SLT)-materieel met een standaardfrequentie van zes keer per uur bediend moeten worden (Fig. 4).



Figuur 4: Hoogfrequente IC- en regionale spoorlijnen na 2020



De integratie van het ROV op de knoop- en overstappunten van/naar het hoger (inter-) nationaal en lager stedelijk/lokaal niveau vraagt nader onderzoek t.a.v. de te verwachten vervoersvraag, de benodigde infrastructurele capaciteit (aantal sporen en perrons), ruimtelijke inpassing, alsmede de stabiliteit en robuustheid van de verkeersafwikkeling. Cruciaal zijn daarbij zo kort mogelijke halte- en keertijden van de IC- en SLT-treinstellen in de stations. Het samenvoegen en splitsen van treinstellen belemmert de vlotte doorstroming tijdens drukke perioden te veel en het reguliere keren van doorgekoppelde treinen te Utrecht C dient verder versneld te worden door extra machinisten.

#### **4. Dynamisch Verkeersmanagement**

Uitbreiding van de infrastructuur en geoptimaliseerde hoogfrequente dienstregelingen voor het ROV leiden niet automatisch tot een meer betrouwbaar en efficiënter trein- en busverkeer. De kwaliteit van de dienstuitvoering, de robuustheid tegen technische en externe verstoringen en de effectiviteit van bijsturing in geval van afwijkingen van de dienstregelingen zijn mede bepalend voor de vervoerwijzekeuze, de grootte van het vervoervolume en de rentabiliteit van de lijnen. De actuele plaats en tijd van elke trein en vele bussen worden continu gedetecteerd door het treinbeveiligingssysteem, respectievelijk GPS, zodat de verkeersleiders en de netwerkbesturing van NS snel op de hoogte worden gesteld van verstoringen en maatregelen voor de bijsturing kunnen treffen.

Toch is de dekkinggraad en nauwkeurigheid van de verkeersinformatie onvoldoende om de reizigers vooraf en tijdens de ritten goed te informeren, de trein- en busbestuurders effectief aan te sturen en de verkeersleiders te ondersteunen t.a.v. de analyse van de plek, duur en zwaarte van de verstoring, alsmede de schatting en beoordeling van de effecten van bijsturingmaatregelen. De huidige stand van de ICT-technologie maakt het mogelijk de precieze afwijking t.o.v. de dienstregeling real-time voor elke trein, tram en bus op een display in de voertuigen zelf en in de verkeersleidingen continu te verzamelen, te tonen en te analyseren zodat conflicten tussen de treinpaden en busroutes automatisch van tevoren kunnen worden vastgesteld en noodzakelijke aanpassingen van de actuele dienstregeling kunnen worden gesimuleerd.

Terwijl vertragingen van bussen en trams sinds ruim twintig jaar in het buitenland met een nauwkeurigheid van één minuut via een display aan de wachtende reizigers op de haltes, aan de bestuurders en verkeersleiders worden getoond, is deze informatie nog steeds beperkt tot de belangrijkste tram- en bushalteaanwijzers, enkele nieuwe (snel)trams, bussen en hun verkeersleidingpost. De treinmachinisten worden nog steeds niet automatisch op de hoogte gebracht van de actuele vertraging en aan de verkeersleiders van ProRail worden alleen de vertragingssprongen ( $\geq 3$  min) bij het passeren van dienstregelingpunten gemeld.

Alleen nieuwe treinen zijn met GPS uitgerust, zodat hun actuele positie en afwijking door de netwerkbestuurders van NS kunnen worden bepaald, maar deze informatie wordt niet automatisch aan de verkeersleiders van ProRail doorgegeven. Sinds kort wordt het door ProRail ontwikkelde systeem voor de automatische monitoring van de bezet- en

vrijgavemeldingen voor spoorsecties en rijwegen, genoemd RouteLint [Albrecht et al., 2007] op een klein aantal treinen beproefd. Dit zou op alle treinen ook achteraf kunnen worden ingebouwd en voorziet de machinist van 'elektronisch' zicht, waardoor hij de snelheid van zijn trein op tijd kan aanpassen, niet meer onnodig tot stilstand hoeft te komen en de treinvertraging kan verminderen.

Het door de TU Delft in de afgelopen jaren in het kader van het TRANSUMO-project 'Betrouwbare transportketen' ontwikkelde softwareprogramma TNV-Conflict kan routeconflicten tussen treinen onderling in geval van vertragingen vooraf automatisch door verwerking van standaard-data van het treinummersvolgsysteem (TNV) identificeren en de plaats, mate en veroorzakende trein van volgvertragingen met een nauwkeurigheid van seconden real-time bepalen [Daamen et al., 2009]. Door de geregistreerde afwijkingen van de passeermomenten van treinen bij stations en samenvoegingen van lijnen met de geplande tijden te vergelijken kunnen zo de initiële en volgvertragingen objectief, zonder input van verkeersleiders met zeer hoge nauwkeurigheid online worden gedetecteerd en offline verder geanalyseerd. Een netwerkbrede toepassing van TNV-Conflict zou de verkeersleiders routinewerk kunnen besparen en tegelijkertijd input leveren voor een beslissingsondersteunend systeem voor de real-time simulatie van de effecten van verschillende bijsturingsscenario's en de keuze van de meest effectieve maatregel in geval van incidenten.

## **5. Conclusies**

De toekomstige Nederlandse HSL-, IC- en SLT-lijnen moeten tot een geïntegreerd periodiek dienstennetwerk worden ontwikkeld. De aankomst- en vertrektijden van de treinen bij de overstapknoep tussen de netwerken van verschillende schaalniveaus moeten ook in geval van hoogfrequente lijndiensten nog steeds gesynchroniseerd worden, teneinde een samenhangend en regelmatig vervoerpatroon en korte overstapwachtijden in elk deelnetwerk, met name in de daluren te kunnen realiseren.

De netwerksamenhang binnen en tussen de schaalniveaus vereist een consequente structuur van de netwerkdienstregelingen met reistijden inclusief de halteertijden tussen de knopen van juist de helft of een kwart van de cyclustijden. Dit betekent voor een aantal corridors, met name tussen Utrecht en Den Haag, Rotterdam en Arnhem op termijn de noodzaak tot verhoging van de treinsnelheid naar minimaal 160 km/uur, integrale viersporigheid en invoering van ETCS Level 2-treinbeveiliging.

Daarnaast vraagt de duurzame ontwikkeling van de grotere steden en van het regionaal openbaar vervoer in de brede Randstad een dekkend stelsel van hoogfrequente IC- en SLT-lijnen tot en met Almere, Amersfoort, Dordrecht, 's-Hertogenbosch, Breda, Tilburg, Eindhoven en Zaandam. In geval van aanleg van de HSL-Oost is tevens een aanzienlijke groei van de mobiliteit in de regio Arnhem te verwachten, waardoor ook voor Arnhem, Ede-Wageningen en Nijmegen hoogfrequente SLT-diensten noodzakelijk kunnen worden.

Uiteindelijk dient de dienstuitvoering van het (inter-)nationale en regionale spoorvervoer veel betrouwbaarder en robuuster tegen incidentele verstoringen te worden. Daarvoor is een stevige impuls tot ontwikkeling en applicatie van geavanceerde systemen voor de monitoring en real-time beheersing van het verkeer en vervoer noodzakelijk. De via ICT-

apparatuur in de voertuigen, op de haltes en stations geleverde actuele specifieke informatie aan reizigers, machinisten en verkeersleiders heeft een sterke invloed op de (on)tevredenheid van klanten en het personeel met de dienstverlening, met name in storingsituaties.

In complexe, hoogbelaste spoornetwerken hebben de verkeersleiders effectieve en krachtige beslissingsondersteunende systemen nodig, ten einde de effecten van verstoringen en bijsturingmaatregelen te kunnen simuleren, beoordelen en de meest geschikte, incidentele dienstregeling voor de regeling van het verstoorde verkeer vast te stellen.

## Literatuur

Avelino, F., Brömmelstroet, M. te, Hulster, G. (2006), The Politics of Timetable Planning: Comparing the Dutch and the Swiss, *CVS*, deel 2, 457-477

Egeter, B., Verroen, E.J., van Goeverden, C.D., Smits, C.A., Schoemaker, Th.J.H. (1994), Functie-optimalisatie openbaar vervoer, TNO/TU Delft, VK5101.306

Bakker, P., Zwaneveld. P. (2009), Het belang van openbaar vervoer, KIM/CPB

Daamen, W., Goverde, R.M.P., Hansen, I.A. (2009), Non-Discriminatory Automatic Registration of Knock-On Train Delays, *Networks and Spatial Economics*, 9 (1), 47-61

Hansen, I.A. (2003), Snelheids- en frequentieverhoging door metroachtig stoptreinmaterieel, *Verkeerskunde*, 8, 30-36

Heuvel, M.G. van den., Schoemaker, Th.J.H. (1989), Visie Systeemopbouw Openbaar Vervoer Randstad, TU Delft

Heuvel, M.G. van den (1997), Openbaar Vervoer in de Randstad een systematische aanpak, proefschrift, TU Delft

Vaatstra, I., Veerman, H.J., Berkers, J., Middelkoop, D., Hectors, A., Spinosa, M. (2002), 3CS. Een Concurrerende Spoorverbinding tussen Rotterdam CS en Utrecht CS, Delft-Toptech, Projectrapport Rail Systems Engineering

Ministerie van Verkeer en Waterstaat (2009a), Programma Hoogfrequent Spoor

Ministerie van Verkeer en Waterstaat (2009b), Mobiliteitsbalans 2009

Ministerie van Verkeer en Waterstaat (2006), Planstudie Openbaar Vervoer Schiphol-Amsterdam-Almere-Lelystad (OV SAAL)

Schweizerische Bundesbahn (SBB), Infrastruktur-Grossprojekt Bahn 2000, <http://www.bahn2000.ch/ids/default.asp?TopicID=104>

Ullius, M. (2005), Delay Analysis of Rail 2000 1st Phase Using OpenTimeTable, 1st International Seminar on Railway Operations Modelling and Analysis, 8-10 June, TU Delft

Veenman, A.W. (2006), Dienstregeling 2007, brief aan de minister van Verkeer en Waterstaat, 12 september 2006

Weits, E., Ten Hagen, R., Lambers, F. (2008), Variantenontwikkeling voor capaciteitsuitbreiding baanvak Rotterdam-Utrecht, Delft-Toptech, Projectrapport Master in Rail Systems