

**Infrapaden:
een instrument voor de operationele beheersing van de treindienst**

Alfons Schaafsma
ProRail
Alfons.schaafsma@prorail.nl

**Bijdrage aan het Colloquium Vervoersplanologisch Speurwerk
20 en 21 november 2014, Eindhoven**

Samenvatting

Infrapaden: een instrument voor de operationele beheersing van de treindienst

In het kader van de Lange Termijn Spoor Agenda is een nieuw besturingsmodel voor de treindienst ontwikkeld ("Be- en Bijsturing voor de Toekomst"). Basisgedachte is dat er snel moet worden gehandeld als de noodzaak voor bijsturen zich voordoet. Er mag geen tijd verloren gaan aan het verzamelen van informatie, en aan discussies over belangen en over de aanpak bij verstoringen. De aanpak bij verstoringen en waar mogelijk concrete maatregelen zijn vooraf vastgelegd en worden achteraf geëvalueerd.

De noodzaak om een trein bij te sturen moet altijd expliciet worden getriggerd en bijsturen heeft altijd het expliciet herplannen van de treindienst tot gevolg. Alle actoren (inclusief de reizigers) weten dan snel weer wat er gaat gebeuren. Infrapaden vormen een belangrijk instrument in dit nieuwe bijsturingconcept. (Her)plannen van treinen gebeurt in dit nieuwe concept door het koppelen van een trein aan een vooraf gedefinieerd infrapad. Een infrapad bevat expliciete marges, zodat duidelijk is binnen welke bandbreedte een trein moet blijven om nog "volgens plan" te rijden. Het overschrijden van de bandbreedte initieert expliciet een -zoveel mogelijk voorgedefinieerde- bijstuurinterventie. Welke bijstuurmogelijkheden er bij treinvertragingen beschikbaar zijn wordt direct inzichtelijk door in een vooraf ontworpen raster van infrapaden aan te geven welke paden gevuld zijn en welke leeg en dus beschikbaar zijn. Een infrabeperking -bijvoorbeeld vanwege een stremming of een defecte trein- wordt vertaald in het tijdelijke niet beschikbaar zijn van infrapaden voor treinen. De volgende stap is dan weer dezelfde als bij een treinvertraging: herplannen van de treinen in de resterende infrapaden.

Het kunnen herplannen met behulp van vooraf gedefinieerde infrapaden stelt niet alleen eisen aan ICT ondersteuning maar ook aan het initiële plan. Hierbij moet een -uiteindelijk commerciële- afweging worden gemaakt tussen aantal treinen, differentiatie/heterogeniteit, systeemsnelheid en betrouwbaarheid van het systeem voor de eindgebruikers.

1 Inleiding

In het kader van de Lange Termijn Spoor Agenda is door ProRail en NS, in samenwerking met de andere vervoerders een nieuw besturingsmodel voor de treindienst ontwikkeld: Be- en Bijsturing voor de Toekomst (BBT) [1]. Basisgedachte is dat er snel moet worden gehandeld als de noodzaak voor bijsturen zich voordoet. Er mag geen tijd verloren gaan aan het verzamelen van informatie, en aan discussies over belangen en over de aanpak bij verstoringen. De aanpak en waar mogelijk concrete maatregelen bij verstoringen zijn vooraf vastgelegd en worden achteraf geëvalueerd.

De aanleiding voor BBT was de mindere prestatie van het spoor in een aantal winters met als uitschieter 3 en 4 februari 2012, toen de bijstuurorganisatie door een cumulatie van problemen feitelijk niet meer in control was. Doelstelling van BBT is niet alleen om dergelijke out-of-control situaties te voorkomen maar ook om beter te presteren in reguliere situaties en om voorbereid te zijn op de intensivering van het railverkeer als gevolg van het Programma Hoogfrequent Spoor.

In de nieuwe werkwijze wordt nadrukkelijk onderscheid gemaakt naar (actief) besturen (zorgen dat de treindienst binnen afgesproken kaders plan verloopt) en bijsturen (bij planafwijking elke trein snel voorzien van een nieuw plan). Andere elementen van de BBT-visie zijn:

- Vakmanschap inzetten in de voorbereiding van de afhandeling van incidenten en vertragingen en bij het achteraf evalueren. In $t=0$ bestaat vakmanschap uit het doen wat is afgesproken.
- Voorkómen van suboptimale oplossingen door het inrichten van een Centraal Monitoring en Beslisorgaan

Een aantal vragen die deze visie oproept zijn:

- Hoe weten we dat de trein niet meer volgens plan rijdt, respectievelijk gaat rijden? Wat is de bandbreedte rondom de ideale lijn?
- Welke voorwaarden gelden ten aanzien van maakbaarheid en communiceerbaarheid (aan de reizigers en verladers) van bijstuurinterventies?
- Hoe is snel inzichtelijk welke bijstuurinterventies op welke locaties in het spoorweganet actueel mogelijk zijn?
- Hoe kunnen eenduidige uitgangspunten voor een bijstuurinterventie worden gecreëerd? (hoe kan worden voorkomen dat een oplossing wordt gevonden die niet meer valide is als die wordt doorgevoerd, omdat ondertussen de situatie gewijzigd is?)

In deze paper wordt het concept infrapaden geïntroduceerd, waarmee bij in grote lijnen antwoord op bovenstaande vragen wordt gegeven.

2 Infrapad als concept

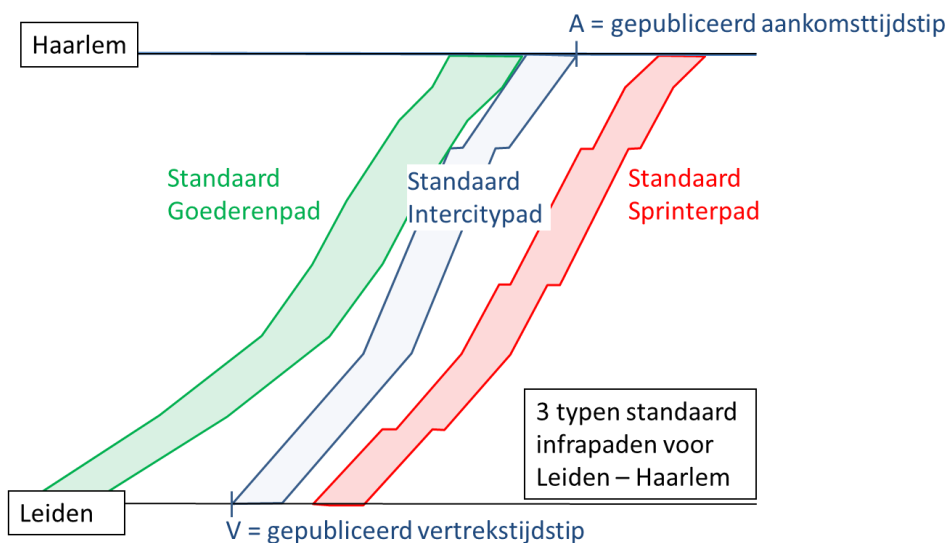
In dit hoofdstuk wordt het infrapad met zijn kenmerken geïntroduceerd als cruciaal instrument binnen het BBT be- en bijstuurconcept.

2.1 Wat is een infrapad?

Een infrapad is een eenheid van infrastructuurcapaciteit die kan worden toegedeeld aan een activiteit, een proces. Die activiteit is in de meeste gevallen een treinbeweging, maar het kan ook gaan om een brugopening of een buitendienststelling ten behoeve van

onderhoud. We gaan hier dieper in op de functie van infrapaden voor het be- en bijsturen van de treindienst.

Een infrapad is een tijd-ruimte slot, gemodelleerd rondom een gestandaardiseerde treinbeweging van A naar B. Om de gedachten te bepalen: in Nederland zal het per traject om drie of vier typen infrapaden op basis van drie of vier standaard treinbewegingen gaan: een Intercity-, een Sprinter- en een Goederenpad (eventueel een langzaam en een snel goederenpad). Een infrapad heeft een begintijd in A (met een vooraf vastgestelde bandbreedte) en een eindtijd in B (eveneens met een zekere bandbreedte). Ook voor wat betreft "plaats" is een zekere bandbreedte denkbaar, zoals "eerste perron" (met ruimte voor nadere invulling: spoor 1 of spoor 2) in plaats van "spoor 5a", dat geen ruimte biedt voor nadere detaillering op een later tijdstip. Het vastleggen van bandbreedte heeft als doel de regelruimte voor onderliggende regellussen te definiëren.



Figuur 1 Voorbeeld van standaardpaden

De reeks combinaties van tijd en plaats vormen een kenmerk van het infrapad. Deze informatie is precies de informatie die nodig is om een dienstregeling (productplan) te ontwerpen die kan worden aangeboden aan de eindgebruikers (de reizigers en verladers). Met andere woorden: een trein -de dienst die aan de reiziger wordt aangeboden- wordt opgebouwd met de kenmerken van een reeks opeenvolgende infrapaden. Bij het herplannen van de trein in een ander infrapad wordt de tijd- en plaatskenmerken van het nieuwe infrapad aan de trein gekoppeld en vertaald in actuele reisinformatie.

2.2 Kenmerken van het infrapad: regeldoel, bandbreedte en snelheid

Het koppelen van een trein aan een infrapad is een voorwaarde voor het kunnen gaan rijden van de trein. Het (regel)doel voor de trein wordt bepaald door het product (realiseren van de belofte aan de reiziger) en de logistiek (infracapaciteit¹ tijdig vrij maken om hem beschikbaar te kunnen stellen aan een andere trein). Zoals we eerder zagen is de belofte dienst aan de reiziger voor wat betreft tijd en plaats een kenmerk

¹ Ook rijdend personeel en materieel zijn resources die tijdig aan een andere trein beschikbaar gesteld moeten kunnen worden. In de praktijk is het infragebruik het meest tijdskritisch en zal de inzet van materieel en personeel niet bepalend zijn voor het regeldoel van een trein. Bijsturing materieel; en personeel blijft daarom buiten het bestek van dit paper.

van het infrapad. Datzelfde geldt uiteraard voor de infracapaciteit, zodat ook het regeldoel kan worden vastgelegd als een kenmerk van het infrapad.

De treindienstleider en de machinist hebben de operationele taak om de trein binnen de kaders van het infrapad naar zijn regeldoel te bewegen. Het is de taak van de treindienstleider om tijdig rijwegen in te stellen. Hij optimaliseert daarbij het gebruik van de beschikbare infrastructuur door de verschillende treinen. Voorbeelden van het gebruik van de regelruimte door de treindienstleider zijn: alternatieve rijwegen van baanvak naar perron, keuze van haltering links of rechts van het perron, volgorde van treinen bij kruisende bewegingen, de keuze van het wachtspoor als een goederentrein moet worden ingehaald .

De machinist heeft de taak om de trein binnen de bandbreedte van het infrapad naar zijn doel te bewegen. Bij het optimaliseren van duur van de halteringen gebeurt dat in samenwerking conducteur. Met het oog op het regeldoel optimaliseert de machinist de snelheid van de trein, waarbij energiezuinig rijden een neven doel kan zijn. De regelruimte van de machinist bestaat uit de tijds kaders (bandbreedte) van het infrapad. Als hij het regeldoel niet binnen de bandbreedte gaat halen moet hij tijdig een nieuw pad aanvragen. Hij heeft daartoe hulpmiddelen tot zijn beschikking, zodat hij altijd weet waar de trein zich bevindt ten opzichte van de bandbreedte van het infrapad. Een alternatief is dat het overschrijden van de bandbreedte door de bijstuurorganisatie automatisch gesignaleerd wordt en leidt tot een bijstuurinterventie.

Uiteraard is het van groot belang dat zoveel mogelijk treinen in staat zijn om binnen de bandbreedte van het infrapad te rijden. Immers, dan wordt geleverd wat is beloofd, het proces is stabiel en er hoeft geen beroep te worden gedaan op reservecapaciteit van de productiemiddelen infrastructuur, materieel en personeel. Of dat lukt wordt niet alleen bepaald door het actieve sturen door de machinist en treindienstleider binnen de kaders van het infrapad. Ook de karakteristiek waarmee het infrapad ontworpen is, is van belang:

- Het infrapad moet niet te "snel" zijn; met andere woorden: het infrapad moet ten opzichte de technisch minimale procestijden (rij- en halteertijden) voldoende supplement bevatten
- Het infrapad moet voldoende bandbreedte hebben

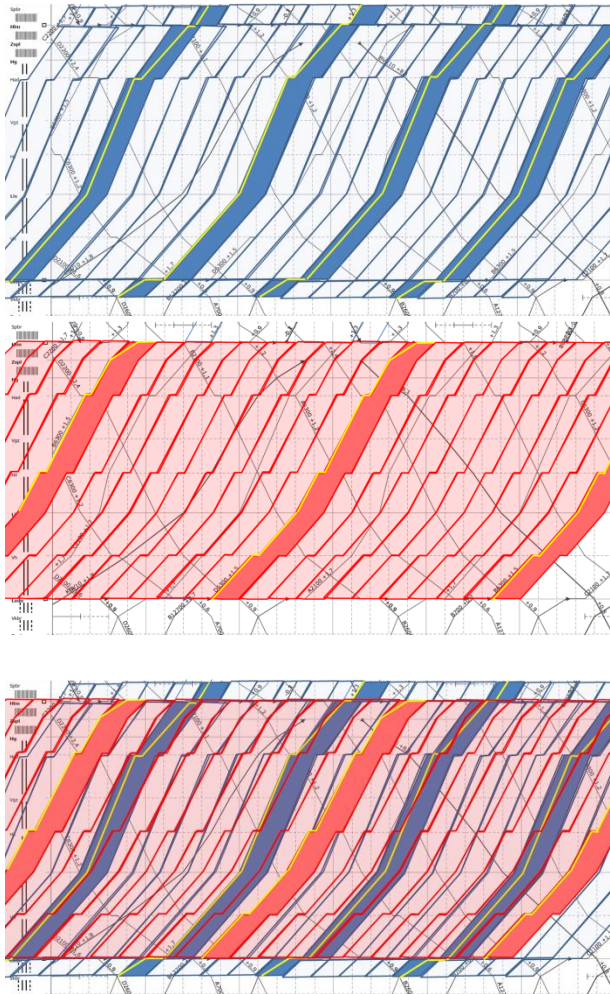
Als aan deze voorwaarden wordt voldaan, kan ook een trein met minder snel materieel binnen de bandbreedte blijven, kan een machinist een uitgelopen haltering compenseren door in het vervolgtraject wat sneller te rijden en kan een treindienstleider kiezen voor rijweg die wat meer rijtijd vergt.

2.3 Een raster van infrapaden

Het is voor de beheersing van de treindienst cruciaal dat aan een bij te sturen trein snel een nieuw infrapad wordt toegewezen. Dan weten alle actoren weer waar ze aan toe zijn en is er een nieuwe referentie voor een volgende bijstuurinterventie. Om snel te kunnen bijsturen wordt in de planfase niet alleen –zoals nu- een dienstregeling voor de treinen ontworpen maar ook een daarbij behorend "infrapadenplan".

Voor elk traject en emplacement worden een raster van infrapaden ontwikkeld dat als onderlegger dient bij het bijsturen (herplannen) van treinen. Voor elke rijkarakteristiek

("padsnelheid"), waarbij de snelheid ook wordt bepaald door de geplande stops, is er een infrapadenraster beschikbaar. Daarbij is het van belang om het versnijdingsverlies te minimaliseren door het aantal verschillende padsnelheden zoveel mogelijk te beperken. Hier is een *trade-off* met commerciële wensen die in de uitwerking van een dienstregeling soms leiden tot een specifieke karakteristiek voor elke trein. Voor de hand liggend is een onderscheid naar paden voor Intercity-paden, Sprinterpaden en Goederenpaden (met voor drukke goederenroutes wellicht een verdere differentiatie naar langzame goederenpaden en snelle goederenpaden).



De eerste figuur toont een versimpeld raster van IC-paden tussen Leiden en Haarlem. In het initiële plan zijn 4 van de 20 paden per uur gevuld met een trein.

De tweede figuur toont het SPR-paden raster. Twee paden zijn in het initiële plan gevuld.

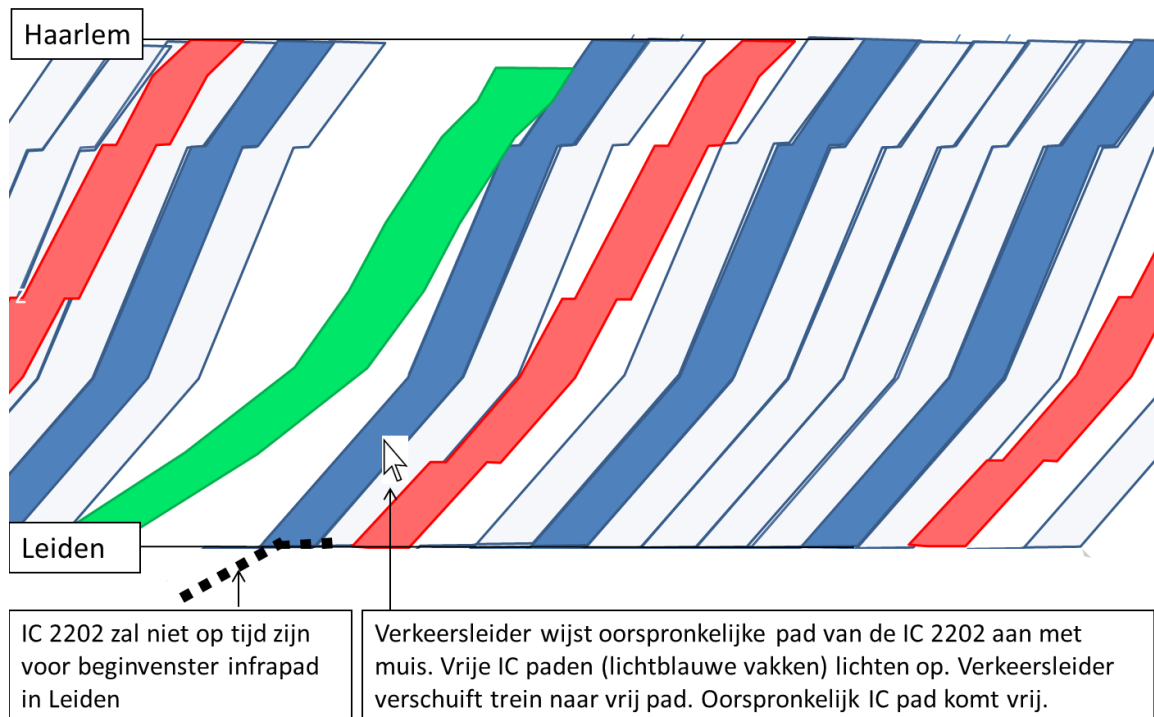
In de derde figuur zijn de raster over elkaar gelegd. Overlappende paden kunnen niet tegelijkertijd worden gevuld met een trein en sluiten elkaar dus uit.

Als een IC zijn regeldoel niet kan halen en moet worden bijgestuurd staan de vrije IC paden ter beschikking die niet worden uitgesloten door een gevuld SPR-pad. Als er geen vrij pad beschikbaar is, kan worden besloten een SPR te herplannen om daarmee een IC-pad vrij te maken

Figuur 2 Infrapadenraster tussen Leiden en Haarlem

Infrapaden kunnen elkaar uitsluiten. Als een IC-pad aan een trein wordt toegewezen, zijn vanaf dat moment een aantal Sprinterpaden en Goederenpaden niet langer beschikbaar. Een uitsluitingsmatrix is daarom een belangrijk onderdeel van het vooraf ontwikkelde infrapadenplan. Deze uitsluitingsmatrix is statisch, in de zin dat hij niet verandert als treinen aan de infrapaden worden gekoppeld. De uitsluitingsmatrix hangt uitsluitend af van de gekozen padkarakteristieken (snelheid, breedte) en de gebruiksmogelijkheden van de infrastructuur. In zijn toepassing is de uitsluitingsmatrix uiteraard dynamisch: de actuele vulling van de infrapaden bepaalt de actuele uitsluiting van andere paden en daarmee de beschikbaarheid van lege paden voor bijsturing. Bij het herplannen van bijvoorbeeld een IC is dus direct duidelijk in welk IC-pad deze trein verlegd kan worden.

Het oorspronkelijke infrapad dat de herplande trein niet langer nodig heeft komt direct de beschikbaar voor andere treinen (Figuur 3).



Figuur 3 Een IC trein raakt buiten zijn pad en wordt bijgestuurd in een vrij infrapad (beeld)

Het ontwikkelen van een uitsluitingsmatrix op emplacementen is complexer dan op baanvakken, omdat de infrastructuur lay-out vaak veel verschillende rijmogelijkheden biedt. Anderzijds zullen op emplacementen de rijkarakteristieken van de verschillende treinsoorten over het algemeen niet veel verschillen, zodat differentiatie van infrapaden niet altijd nodig is.

2.4 Bijstuurmogelijkheden bij infrabeperkingen

Snel kunnen bijsturen is belangrijk als een trein zijn regeldoel niet gaat halen, maar ook als er een verandering in de beschikbaarheid van infrapaden ontstaat, bijvoorbeeld door een infrastoring. Omdat alle infracapaciteit wordt uitgedrukt in infrapaden kan een infrabeperking worden uitgedrukt in het niet beschikbaar zijn van infrapaden. Zogenaemde verminderde beschikbaarheid (bijvoorbeeld vanwege een tijdelijke snelheidsbeperking) kan worden verwerkt door de padsnelheid van het standaardpad aan te passen. Een aantal sets infrarasters-met-aangepaste-padsnelheid die goed aansluiten op de paden in het niet-verstoorde gebied worden vooraf ontwikkeld. De bijstuurder vertaalt het incident (bijvoorbeeld een overwegstoring) in een infrabeperking (minder paden en/of minder snelle paden). Het bijbehorende infraraster toont de actuele bijstuurmogelijkheden.

Voor de bijsturing is vooral van belang wat *nog wel* kan, ook bij combinaties van beperkingen. Met behulp van het infrapadenraster is dit snel inzichtelijk te maken. De capaciteit wordt conform vooraf gemaakte afspraken herverdeeld over de vervoerders, die vervolgens kiezen voor welke treinen ze de infrapaden gebruiken. (Dat dit laatste in

de BBT-aanpak volgens met een zoveel mogelijk vooraf gedefinieerd afwegingskader gebeurt valt buiten het bestek van dit paper).

We kunnen vaststellen dat zowel bij de bijsturing van vertraagde treinen als bij het aanpassen van de treindienst bij versperringen of andere infrabeperkingen hetzelfde concept gebruikt kan worden: een vooraf gedefinieerd infrapadenraster. Een stap verder (maar ook buiten het bestek van dit paper) is dat bij het ontwikkelen van een dienstregeling voor jaar X eerst een infrapadenplan wordt ontwikkeld gegeven de hoofdlijn van de commerciële wensen (zoals gewenste productdifferentiatie), kenmerken van de in dat jaar beschikbare infrastructuur- en materieelcapaciteit en de afstemming met de buurlanden. Vervolgens vormt het infrapadenraster "het witte vel" bij het ontwikkelen van dienstregeling (het plan voor de treindienst). Dit laatste komt overigens sterk overeen met de werkwijze bij het ontwikkelen van een dienstregeling voor goederentreinen: eerst capaciteit reserveren in de vorm van goederenpaden en deze pas in een later stadium toewijzen aan goederentreinen.

2.5 Infrapaden op emplacementen en opstelreinen

Het infrapadenconcept is hiervoor beschreven met de reizigers- en goederentreindienst in het achterhoofd. Echter, het concept heeft ook een toegevoegde waarde bij het plannen van trein- en rangeerbewegingen van, naar en op opstelreinen. In de loop van de avond en nacht moet de materieelbalans (welk materieel moet waar worden opgesteld) worden hersteld zodat de volgende ochtend de treinen in de juiste samenstelling kunnen starten. In de praktijk is pas aan het einde van de dag de impact van alle verstoringen in de materieelomloop die in de loop van de dag zijn opgetreden duidelijk. Opstel- en rangeerplannen zijn dan ook vaak pas in de avond stabiel. Om herwerk te voorkomen bij het plannen van de processen op en om opstelreinen is het daarom niet zinvol om alle trein- en rangeerbewegingen ver van tevoren te plannen. Het is wel zinvol om hiervoor infracapaciteit te reserveren.

De maakbaarheid van een nieuwe order of bijstuurinterventie moet snel kunnen worden getoetst, ook op emplacementen. Het moet dus altijd duidelijk zijn wat er actueel mogelijk is. Er moet op emplacementen bijvoorbeeld voldoende infracapaciteit gereserveerd zijn om materieel te kunnen afrangeren en voor te brengen. In het infrapadenconcept gebeurt dit door vooraf in te schatten hoeveel infrapaden op emplacementen voor de bijstuurprocessen moeten worden gereserveerd. Als vervolgens blijkt dat deze capaciteit in de actuele situatie niet volledig beschikbaar is, beperkt dat de bijstuurmogelijkheden op die locatie. Het eenduidig beschrijven van de relatie tussen beschikbare infrapaden en bijstuurmogelijkheden vraagt nog veel onderzoek en ontwikkeling.

Ook de processen op de opstelreinen zelf (zoals wassen, reinigen, klein onderhoud, veranderen van samenstelling, of alleen maar het veranderen van rijrichting of tijdelijk parkeren van treinstellen) moeten om allerlei redenen steeds meer planmatig worden uitgevoerd. Ook hier geldt: de inframogelijkheden zijn te beschrijven in de vorm van infrapaden en uitsluitingsmatrices. Door de capaciteitsbehoefte van standaard processen te beschrijven in de vorm van benodigde infrapaden, kunnen vraag en aanbod snel met elkaar worden geconfronteerd.

3 Innovatie en ontwikkeling

Het bijsturen met behulp van infrapaden betekent niet alleen een grote verandering van de werkwijze van de bijstuurorganisatie. Innovatie en ontwikkeling zijn ook nodig in andere domeinen, zoals de logistieke planning (dienstregelingsplanning) en de ICT-ondersteuning. De benodigde veranderingen worden hieronder in hoofdlijnen besproken.

3.1 Logistieke planning (dienstregelingsplanning)

Het plannen van een reizigerstrein begint met een wit vel waarop twee assen zijn getekend: tijd en plaats. Alle infrastructuur wordt beschikbaar verondersteld en elke trein wordt zo goed mogelijk volgens de commerciële specificaties ingetekend. De daarbij gehanteerde plannormen hebben betrekking op de benodigde tijd voor rij- en halteprocessen van een trein en op de aan te houden buffer tussen twee treinen. De benodigde toeslag in rij- en halteertijden tussen zogenoemde blokpunten, meestal de grotere stations, wordt zo daarbij verdeeld dat deze ook in het laatste deel van het traject nog kan worden gebruikt.

In het infrapadenconcept wordt deze werkwijze verder aangescherpt, waarbij gebruik wordt gemaakt van het logistiek concept van flessenhalzen en buffers². In de flessenhalzen is bijsturen niet mogelijk, de treinen worden gestuurd op maximale doorstroming. Het besturen van een trein binnen zijn infrapad is gericht op tijdigheid bij de toegangen tot de flessenhalzen in het netwerk. Immers, daar zijn de marges (de bandbreedtes van het infrapad) smal en moeten treinen op tijd zijn om geen vertraging van andere treinen te veroorzaken.

Naast de leveringsafspraken met de klanten ("trein komt op tijd aan") bepaalt dit logistieke doel het regeldoel voor de machinist. Het regeldoel is een kenmerk van een infrapad, de toegang voor de flessenhals is het nieuwe "blokpunt" voor de spelingsverdeling.

Het kunnen halen van het regeldoel "met tolerantie X op tijd zijn aan het begin van de flessenhals" betekent dat de trein op de locatie vóór die flessenhals voldoende speling moet hebben. Omgekeerd moet deze bufferlocatie voldoende infracapaciteit hebben om vroege treinen "tijd op te laten eten" door langzamer te rijden of te wachten zonder andere treinen te hinderen.³ Dit leidt tot

BBT Specificatie 1: Het regeldoel voor een trein bepaalt de grootte en verdeling van supplementen ("speling" in rij- en halteertijd)

Om het dienstregelingsontwerp passend te krijgen, wordt in de huidige praktijk soms wat rijtijd toegevoegd ("uitbuigen") of op een andere manier afgeweken van de specificaties (geen nette kwartierverdeling maar een 13 – 17 ligging bijvoorbeeld). Ook komt het voor dat een IC om commerciële of politieke reden soms een extra haltering heeft, of dat de rijtijden van de ene IC serie met langzamer materieel zijn berekend dan een andere IC serie op het hetzelfde traject. Dit maatwerk bemoeilijkt de bijsturing.

² Het concept van flessenhalzen en buffers (of "condensation zones" en "compensation zones" [2]) is beschreven in [3].

³ De beste manier om tijd op te eten is een trein te laten uitrollen zonder andere treinen in de weg te zitten. Hoe ook energiezuinig rijden eisen stelt aan de optimale verdeling van rij- en halteertijdtoeslag valt buiten het bestek van dit paper.

Bijsturen door herplannen in infrapaden vereist dat de onderliggende paden een zekere cadans hebben (bijvoorbeeld een IC-pad om de drie minuten) en gestandaardiseerd zijn voor wat betreft de padsnelheid. Binnen de contouren van het infrapad blijft maatwerk voor de treinen nog steeds mogelijk. Echter, de langzaamste trein van een bepaald standaardtype is bepalend voor de karakteristiek van het infrapad. Omgekeerd: als een snel Sprinter-infrapad is gedefinieerd, dat alleen met SLT-materieel haalbaar is, is hiermee een voorwaarde voor de materieelinzet ontstaan. Kortom: er ontstaat een expliciete *trade-off* tussen systeemsnelheid en flexibiliteit. Dus:

BBT Specificatie 2: Treinen zijn per type in uitwisselbare standaardpaden gepland

Als het plan voldoet aan de plannormen, is het uitvoerbaar en leidt tot een goede kwaliteit voor de reizigers. Tenminste, dat is de premisse. Omdat dit in de praktijk niet altijd blijkt te kloppen, is er de laatste jaren een terugkoppelproces ingericht om de dienstregeling te verbeteren op basis van gemeten uitvoeringsgegevens. Daarbij gaat het met name om de bestaande plannormen te baseren op in de praktijk gemeten specifieke waarden in plaats van vaste getallen voor alle situaties en treinsoorten. Hiermee zal het aantal treinen dat volgens plan rijdt en dus niet hoeft te worden bijgestuurd toenemen.

Bijsturen kost capaciteit: tijdens het wachten op een nieuw infrapad gebruikt een trein infracapaciteit, het opheffen van een trein betekent dat het lege materieel op een perronspoor moet wachten tot het weer kan worden ingezet of moet worden afgerangeerd. Als alle capaciteit in het initiële dienstregelingsplan is volgepland, is er geen schuifruimte en is het herplannen van een trein bij vertraging niet mogelijk. Het is de vraag hoeveel capaciteit op welke locaties in welke vorm moet worden vrijgehouden voor bijsturing. In het terugkoppelproces van uitvoering naar planning is het nog niet gelukt om eenduidige eisen aan het plan te formuleren om te garanderen dat bijstuurinterventies tot een vastgesteld niveau mogelijk zijn. Dit vergt nog veel onderzoek. Enkele noties kunnen al wel worden vermeld:

- Locaties juist vóór de toegang tot een flessenhals zijn geschikte bijstuurlocaties, omdat er op die plaatsen ook al extra capaciteit voor inwachten van treinen ("tijd opeten") nodig is.
- Als er minder externe storingen zijn, er minder storingen in de beschikbaarheid van de productiemiddelen zijn en er minder treinen buiten hun pad raken, is er minder capaciteit voor bijsturen nodig⁴.
- Het zoveel mogelijk capaciteit benutten ten behoeve van commerciële wensen versus het reserveren van bijstuurcapaciteit ten behoeve van een gedefinieerde uitvoeringskwaliteit is in essentie een commerciële afweging, met dien verstande dat een ondergrens in bijstuurcapaciteit vereist is om niet "out-of-control" te geraken.

BBT Specificatie 3: Er is voldoende capaciteit beschikbaar in bufferlocaties om te kunnen bijsturen

Als de structuur van het initiële plan is vastgesteld en "verkocht" aan de buitenwereld (reizigers, maar bijvoorbeeld ook spooraanneemers), is het ongewenst om deze kort voor

⁴ Hier geldt het Japanse model als het extreme voorbeeld: door te investeren in preventie storen infrastructuur en materieel vrijwel nooit; treinen rijden altijd volgens plan; reservecapaciteit is onnodig.

uitvoering te wijzigen. Echter, een aantal gebruikers van infracapaciteit kunnen pas in een laat stadium hun plan definitief maken. Hierbij kan worden gedacht aan goederenvervoerders die soms te maken hebben met last-minute orders en de beheerders van het materieelpark die na een verstoring in de avond en nacht het materieel moeten herverdelen over verschillende locaties. In het plan moet al vanaf het eerste ontwerp capaciteit worden gereserveerd om later trein- en rangeerbewegingen te kunnen toevoegen onder handhaving van de structuur van het initiële ontwerp. Voor het goederenvervoer is dit deels al praktisch door middel van het reserveren van een vooraf bepaald aantal goederenpaden, die tot een laat stadium in de planning gereserveerd blijven. Ook voor wat betreft kritisch rangeerbewegingen over de emplacementen zijn er ontwikkelingen in deze richting gaande.

BBT Specificatie 4: Er is voldoende capaciteit gereserveerd voor laatste plantoevoegingen

3.2 Ondersteunende ICT-systemen

In het huidige systeemlandschap voor planning, be- en bijsturing spelen de systemen Donna, VOS en Procesleiding de hoofdrol. Donna is het integrale plansysteem voor de dienstregeling tot op rijwegniveau, VOS wordt door de Verkeersleiders gebruikt om treinen indien nodig te herplannen (respectievelijk in te leggen of op te heffen), en met Procesleiding worden de rijwegen voor de treinbewegingen op de bediende stations gepland en ingesteld. Er is een ontwikkeling gestart om VOS en Procesleiding te integreren, zodat bij het herplannen van een trein direct getoetst kan worden op de maakbaarheid op rijwegniveau. Tenslotte wordt geëxperimenteerd met het sturen van *real time* besturingsinformatie naar de machinisten (de projecten Routelint en Trein Op Lijn)

Vanuit het infrapadenconcept kunnen specificaties voor de ondersteunende ICT-systemen worden geformuleerd. Hieronder worden ze in hoofdlijnen aangegeven.

Als een trein buiten zijn pad raakt moet een interventie plaats vinden. De trigger kan komen van de machinist die signaleert dat hij zijn regeldoel niet gaat halen of van een meetsysteem dat de trein ten opzichte van zijn pad monitort. Vooraf is van elk type bijstuurinterventie doorlooptijd (waaronder begrepen het tijdig kunnen informeren van de reiziger) bepaald is. Dit bepaalt het laatste moment van het triggeren van die bijstuurinterventie. De trigger is gekoppeld aan een "logistiek workflow systeem" dat een "to do lijst" voor de verschillende bijstuurlocaties bevat. Ondertussen wordt het treinpersoneel voorzien van een actueel regeldoel in afwachting van de bijsturing.

BBT Specificatie 5: Monitoren trein en signaleren als trein buiten pad komt

Als een trein moet worden herpland, moeten de mogelijkheden snel inzichtelijk zijn. Met behulp van het (statische) infrapadenraster en zijn (actuele) vulling met treinen plus de daarmee (actuele) uitsluitingen op basis van de (statische) uitsluitingsmatrix wordt aan de operationele medewerker getoond welke infrapaden voor de bij te sturen trein beschikbaar zijn. Ook kan worden geacht aan ondersteuning om van de verschillende maakbare bijstuuropties de hoeveelheid klanthinder te becijferen.

BBT Specificatie 6: Actuele infrabeschikbaarheid voor te herplannen treinen tonen met infrapadenraster en uitsluitingsmatrix als onderlegger

Een belangrijk aspect van het infraconcept is het ontkoppelen van pad en trein en beide apart zichtbaar maken. Een pad moet zichtbaar zijn als er nog geen trein in gepland en ook als het gevuld is met een trein. Anderzijds moet het pad weer zichtbaar worden als het, bijvoorbeeld bij vertraging van een trein, beschikbaar komt voor een andere trein. In Donna wordt er in principe geen onderscheid gemaakt tussen infrapad en trein, zij het dat het wel mogelijk is om goederenpaden als capaciteitsreservering in de "witte ruimte" zichtbaar te maken. Ook de opbouw van goederenpaden door het aaneenschakelen van zogenoemde bouwstenen heeft kenmerken van het infrapadenconcept. Voor de signalering van conflicten in het plan wordt een goederenpad beschouwd als een trein. Het plannen van elkaar uitsluitende paden is daarmee in principe niet mogelijk, tenzij de conflicten worden geaccepteerd. Ook komt het pad niet beschikbaar voor hergebruik als een trein wordt herpland.

BBT Specificatie 7: Koppelen van trein aan pad bij plannen en ontkoppelen van trein van pad bij herplannen

De planwijziging moet snel kunnen worden doorgevoerd. Als de trein niet in een keer voor zijn gehele route kan worden herpland, kan het verstandig zijn om de trein wel voor het eerste deel te herplannen. Daarmee wordt tijd gekocht om later het verdere deel van het traject van de trein te herplannen. Voorwaarde is dat er de nog niet uitgevoerde deel als uitvoerbaar wordt ingeschat en dat de resterende herplanopgave wordt geregistreerd. Het herplannen zelf dient maximaal te worden ondersteund door technische systemen:

- eenvoudig herplannen trein naar een ander infrapad met bijbehorend regeldoel voor zover vrij beschikbaar
- vastlegging van nog niet direct uitvoerbare deel van de herplanopgave via een logistiek workflow systeem

BBT Specificatie 8: Faciliteren snel actualiseren plan

Als een trein is herpland moeten de verschillende actoren uiteraard direct (en geautomatiseerd op de hoogte worden gebracht van het nieuwe plan. De machinisten ontvangen een nieuw plan met een actueel regeldoel, bijvoorbeeld via de in het project Trein op Lijn te ontwikkelen systemen, of via de Europese standaard voor Automatic Train Operation. Machinisten van goederentreinen verdienen bijzondere aandacht, omdat de kans op te vroeg rijden door het ontbreken van vaste vertrektijden onderweg groter is dan bij reizigerstreinen. Op basis van het nieuwe actuele plan kan ook de reisinformatie worden ververs (inclusief een nieuw patroon van aansluitende treinen en ander openbaar vervoer in de reisketen)

BBT Specificatie 9: Nieuw actueel plan delen met alle actoren

Discussiepunt betreft de situatie vanaf het moment dat de trein buiten pad is geraakt tot aan het moment dat de trein daadwerkelijk is herpland. Welke informatie wordt dan verstrekt aan de actoren? Voor de hand liggend is dat een trein automatisch doorschuift naar het eerstvolgende pad. Als dat gevuld blijkt te zijn, schuift de betreffende trein ook automatisch door.

BBT Specificatie 10: Discussiepunt: automatisch herplannen (doorschuiven) treinen in volgend pad indien nog geen herplanning heeft plaatsgevonden?

4 Alternatief: real time optimaliseren?

In het bijsturingconcept van BBT is belangrijk dat de bijsturing expliciet wordt getriggerd en dat snel bijsturen altijd leidt tot herplannen. Een alternatief voor het hiervoor beschreven concept bijsturen met behulp van infrapaden zou kunnen zijn: real time herplannen van een trein na het signaleren van een conflict met andere trein. In deze benadering wordt van alle treinen de uitvoering continu gemonitord en worden eventuele conflicten met andere treinen voorspeld. Ook de eventueel verminderde beschikbaarheid van de productiemiddelen infra, materieel en personeel is bekend. Vervolgens wordt het best mogelijke alternatieve plan berekend en doorgevoerd. Ervan uitgaande dat informatievoorziening (inclusief het omgaan met onzekerheden in de gegevens) en rekenkracht een oplosbaar probleem vormen, roept deze benadering de volgende fundamentele vragen op:

- Hoe kan het regelprobleem worden afgebakend in scope, tijd, plaats? (Moet bij een vertraging van 10 minuten in Den Haag Centraal het plan in Groningen worden aangepast ondanks dat de trein daar pas over 2½ uur zal zijn?)
- Hoe kan een stabiele oplossing worden gevonden als de kaders niet stabiel zijn? (Tijdens het uitrekenen van het optimale plan zijn de treinen in beweging en bestaat de kans dat de bijstuuroplossing niet langer valide is op het moment dat hij moet worden doorgevoerd).
- Hoe wordt de actuele afweging van belangen of inschatting van bijvoorbeeld prognoses van functieherstel geautomatiseerd?
- In hoeverre is een "black box" waarin "alles" zit en die in een bewerking "de optimale oplossing" berekent acceptabel zijn voor de verantwoordelijke operator (die feitelijk niet anders kan doen dan blind vertrouwen op de uitkomsten)?

5 Conclusies

In de visie van NS en ProRail wordt bijsturen altijd expliciet getriggerd en heeft bijsturen altijd het expliciet herplannen van de treindienst tot gevolg. Alle actoren (inclusief de reizigers) weten dan snel weer wat er gaat gebeuren. Om dit mogelijk te maken wordt een nieuw instrument geïntroduceerd: infrapaden. (Her)plannen van treinen bestaat daarbij uit het koppelen van een trein aan een vooraf gedefinieerd infrapad. Een infrapad bevat expliciete marges, zodat duidelijk is binnen welke bandbreedte een trein moet blijven om "volgens plan" te rijden. Het overschrijden van de bandbreedte initieert een – zoveel mogelijk voorgedefinieerde- bijstuurinterventie. Welke bijstuurmogelijkheden er bij treinvertragingen beschikbaar zijn wordt direct inzichtelijk door in een vooraf ontworpen raster van infrapaden aan te geven welke paden gevuld zijn en welke leeg en dus beschikbaar zijn. Een infrabeperking –bijvoorbeeld vanwege een stremming of een defecte trein- wordt vertaald in het tijdelijk niet beschikbaar zijn van infrapaden voor treinen. De volgende stap is dan weer dezelfde als bij een treinvertraging: herplannen van de treinen in de resterende infrapaden.

Het kunnen herplannen met behulp van vooraf gedefinieerde infrapaden betekent niet alleen een nieuwe werkwijze voor de be- en bijstuurorganisatie, het stelt ook eisen aan ICT ondersteuning en het initiële (dienstregelings)plan en daarmee aan de werkwijze van de planningsorganisatie.

Referenties

[1] Ministerie van Infrastructuur en Milieu, Lange Termijn Spooragenda deel 2 plus Bijlage 1e en 1f <http://www.rijksoverheid.nl/ministeries/ienm/documenten-en->

publicaties/kamerstukken/2014/03/28/lange-termijn-spooragenda-deel-2.html Den Haag, 2014

[2] Lüthi Marco, Improving the Efficiency of Heavily used Railway Networks through Integrated Real-Time Rescheduling, dissertatie, ETH Zürich, 2009

[3] Schaafsma, Alfons A.M. en Weeda, Vincent A. Operation-driven Scheduling Approach for Fast, Frequent and Reliable Railway Services, paper voor ISROR Zürich, 2009