

PLANNEN MET SPELING, SPELEN MET DE PLANNING

Betrouwbare treindienst door nieuwe planningsnorm

V.A. Weeda, TU Delft Transport & Planning, v.a.weeda@citg.tudelft.nl

P.B.L. Wiggenraad, TU Delft Transport & Planning, p.b.l.wiggenraad@citg.tudelft.nl

A.D. Middelkoop, ProRail Strategie & Innovatie, dick.middelkoop@prorail.nl

Bijdrage aan het 32^e Colloquium Vervoersplanologisch Speurwerk,

24 en 25 november 2005, Antwerpen

Inhoudsopgave

Samenvatting	3
Summary	3
1. Inleiding	4
1.1 Duurzame mobiliteit	4
1.2 Betrouwbaarheid door speling	4
1.3 Onderzoeksopzet	5
2. Rijtijdtoeslag	6
2.1 Ongehinderde treinen	6
2.2 Te laat vertrokken treinen	7
2.3 Voorbeeld: rijtijd intercity Utrecht – Den Bosch	7
3. Buffertijd	8
3.1 Voorbeeld: opvolging in Den Bosch	9
3.2 Volgordewisseling	11
3.3 Verband tussen buffertijd en hindertijd	12
4. Gezamenlijke norm rijtijdtoeslag en buffertijd	14
5. Conclusies	16
Referenties	17

Samenvatting

Plannen met speling, spelen met de planning

Betrouwbare treindienst door nieuwe planningsnorm

Om een rol van betekenis te kunnen spelen in duurzame mobiliteit moet spoorvervoer betrouwbaar zijn. Doordacht gebruik van speling in de dienstregeling draagt daaraan bij. In een casestudy op het baanvak Utrecht – Den Bosch zijn met meetgegevens van de werkelijke treindienst de relaties tussen rijtijdtoeslag, buffertijd (in opvolgtijden) en betrouwbaarheid onderzocht.

De huidige norm voor rijtijdtoeslag blijkt haalbare rijtijden op te leveren voor treinen die onderweg niet gehinderd worden. De bestaande norm voor opvolgtijden leidt echter lokaal tot weinig buffertijd tussen treinbewegingen, waardoor treinen soms op elkaar moeten wachten. Er is een model ontwikkeld dat uit empirische vertragingverdelingen de verwachte hinder bepaalt afhankelijk van de buffertijd. Op basis daarvan wordt een suggestie gedaan voor een planningsnorm die buffertijd en rijtijdtoeslag uitwisselbaar maakt binnen de randvoorwaarde van betrouwbaarheid.

Summary

Planning with margins, playing with the planning

Reliable train service by means of new planning standard

A reliable railway service is important for a sustainable mobility system. Well-considered allocation of margins in the timetable contributes to reliability. In a case study on the Dutch railway line of Utrecht – Den Bosch, the relationships between running time supplements, buffer time and reliability have been investigated using train running data.

The current running time standard appears to generate feasible running times for unperturbed train runs. Under the existing headway time standard, however, buffer times between train movements may locally be too small, causing trains to wait for each other. A model has been developed to determine expected additional delays from empirical delay distributions, depending on the buffer time. On that basis, a planning standard is suggested making buffer times and running time supplements interchangeable within reliability constraints.

1. Inleiding

Aan de TU Delft is in samenwerking met ProRail een afstudeeronderzoek uitgevoerd naar het omgaan met speling in de spoorwegdienstregeling. Daarin is het principe van terugkoppeling uitgewerkt: de dosering en verdeling van speling in de planning dient te worden gebaseerd op meetgegevens van de werkelijke treindienstuitvoering. In dit hoofdstuk wordt allereerst de relevantie van het onderzoek voor het thema van het CVS 2005 aangeduid. Vervolgens worden enkele kernbegrippen geïntroduceerd. Ten slotte wordt de opzet van het onderzoek toegelicht.

1.1 Duurzame mobiliteit

Belangrijke thema's binnen duurzame mobiliteit zijn luchtkwaliteit, energieverbruik, ruimtebeslag en verkeersveiligheid. Op al deze aspecten presteert railvervoer gunstig vergeleken met vervoer over de weg. In het groeiende personen- en goederenvervoer is voor de trein dan ook een belangrijke rol weggelegd in het duurzame vervoersysteem van de toekomst.

Zowel de politiek als de spoorsector ziet in dat betrouwbaarheid een cruciaal kwaliteitskenmerk is van een concurrerend spoorvervoer. Als reizigers en verladers op de trein kunnen rekenen, hoeven zij geen reserves in acht te nemen voor verwachte vertragingen omdat de op papier beloofde reistijden ook waargemaakt worden. Alleen dan vormt de trein een aantrekkelijk vervoermiddel vergeleken met andere vervoerwijzen.

Veel grote vertragingen worden veroorzaakt door storingen aan infrastructuur en materieel. Verminderen hiervan vergt onder andere periodieke controles en preventief onderhoud om tot een hoge beschikbaarheid van de productiemiddelen te komen. Kleine vertragingen daarentegen kunnen worden aangepakt door planning en uitvoering van de treindienst beter op elkaar af te stemmen. Over dat laatste gaat deze bijdrage.

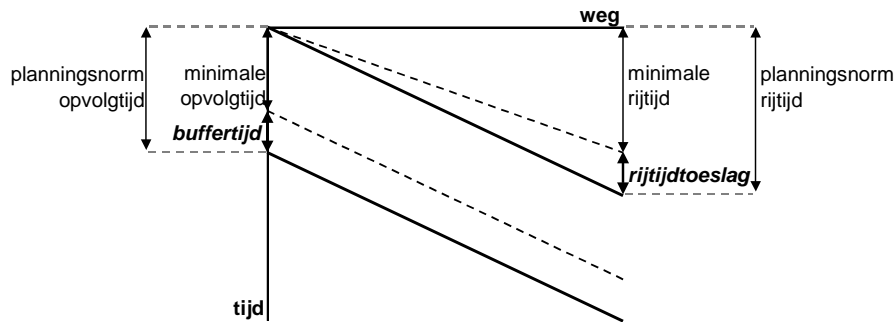
1.2 Betrouwbaarheid door speling

Voor het realiseren van een hoge betrouwbaarheid moet niet alleen de dienstregeling zo goed mogelijk uitgevoerd worden, maar moet ook een uitvoerbare dienstregeling ontworpen worden [1], rekening houdend met de variaties in de dagelijkse praktijk. Om iets over de uitvoerbaarheid van de dienstregeling te kunnen zeggen, wordt de treindienst geanalyseerd op het niveau van individuele processen. Deze bijdrage richt zich op twee soorten processen:

- rijden (een trein rijdt van station naar station);
- opvolgen (twee treinen maken na elkaar gebruik van dezelfde infrastructuur).

Andere processen (zoals halteren: stoppen op stations) blijven hier buiten beschouwing.

Afhankelijk van lokale situatie en eigenschappen van het rollend materieel heeft een proces een technisch minimale tijd nodig. Om te voorkomen dat vertraging in het ene proces doorwerkt op volgende processen, wordt gepland met speling: toeslag op de minimale rijtijd en buffertijd tussen twee treinpassages op hetzelfde spoor (zie figuur 1; de continue lijnen geven geplande treinritten weer). De optelsom van technisch minimale tijd en speling is de *planningsnorm*. Deze geeft aan hoeveel tijd voor een bepaald proces moet worden gereserveerd.



Figuur 1: Rijtijdtoeslag en buffertijd in een tijdweg-diagram

Speling verhoogt de betrouwbaarheid maar heeft ook nadelen: lange reistijden zijn onaantrekkelijk en bij meer buffertijd zijn minder treinen per uur over een spoor mogelijk. Speling moet dan ook weloverwogen worden toegepast. Daarvoor is inzicht nodig in enkele relaties:

- Wat is kwantitatief het verband tussen speling en betrouwbaarheid?
- Omdat rijtijdtoeslag en buffertijd allebei een gunstig effect hebben op betrouwbaarheid, zijn ze in principe uitwisselbaar; volgens welke relatie?

1.3 Onderzoeksopzet

De behoefte aan de genoemde inzichten vormde de aanleiding voor een afstudeeronderzoek aan de Technische Universiteit Delft (Mastervariant Transport & Planning) in samenwerking met de Nederlandse spoorbeheerder ProRail (Afdeling Strategie & Innovatie). Een manier om meer over de relaties tussen rijtijdtoeslag, buffertijd en betrouwbaarheid te weten te komen, is vergelijken van planning en uitvoering. De mogelijkheden en het effect daarvan zijn verkend in een casestudy op het baanvak Utrecht – Den Bosch. Dit baanvak is gekozen omdat daar veel treinen rijden op slechts twee sporen met veel gelijkvloerse kruisingen. Daardoor is veel hinder tussen treinen te verwachten. Er zijn gegevens geanalyseerd van maart 2004, omdat deze maand ruisarme gegevens oplevert: het is een maand geweest zonder vakanties of feestdagen, zonder extreme weersomstandigheden en zonder werkzaamheden in het studiegebied.

Van het case-baanvak zijn TNV-gegevens geanalyseerd: dat zijn meldingen van de status van de infrastructuurelementen (seinstanden, wisselstanden, spoorbezettingen) uit het TreinNummerVolgsysteem. Met de door de TU Delft ontwikkelde software TNV-Prepare zijn uit de ruwe logfiles tabellen samengesteld met passagetijden van elke treinserie [2]. Door bewerking en analyse hiervan is gedetailleerde informatie verkregen over het railverkeerproces. Aan de hand daarvan is de haalbaarheid van de dienstregeling geëvalueerd.

De rijtijd van een trein wordt enerzijds bepaald door de ongehinderde rijtijd (“free flow”) en anderzijds door het wachten op andere treinen bij opvolging op hetzelfde spoor. Deze twee componenten zijn afzonderlijk onderzocht. In deze bijdrage komen als eerste de ongehinderde rijtijden aan de orde. Vervolgens wordt hinder bij treinopvolgingen besproken. Ten slotte worden alle inzichten gecombineerd in een integrale benadering voor speling in de planning.

2. Rijtijdtoeslag

In de huidige planningspraktijk worden rijtijden gepland met 7% toeslag boven op de technisch minimale rijtijden. Het zou interessant zijn uit betrouwbaarheidsintervallen van gerealiseerde ritten een verband af te leiden tussen de rijtijdtoeslag en de kans dat een trein op tijd aankomt. Helaas werkt dat niet, omdat de geplande rijtijd zelf weer het rijgedrag van machinisten en daarmee de gerealiseerde rijtijd beïnvloedt. Daarom is volstaan het met evalueren van de haalbaarheid van de rijtijden in de dienstregeling 2004. Dat is gedaan aan de hand van treinen die te laat vertrokken zijn en onderweg niet gehinderd werden. In dit hoofdstuk wordt beschreven waarom juist deze verzameling treinen gebruikt wordt en wat daaraan te zien is.

2.1 Ongehinderde treinen

De rijtijd van een trein over een baanvak hangt in de eerste plaats af van de plaatselijk toegestane snelheid en de maximale acceleratie en snelheid van het ingezette materieel. Variaties in rijgedrag van de machinist, bovenleidingspanning en weersomstandigheden zorgen voor spreiding in de gerealiseerde rijtijden.

De rijtijden worden bovendien beïnvloed door het overige verkeer op het spoor. Soms moet een trein even inhouden, in andere gevallen zelfs minutenlang wachten. Dit kan meermalen gebeuren. Door deze gehinderde gevallen afzonderlijk te analyseren, ontstaat inzicht in het verkeersproces en kan speling gericht worden gepland. Uit TNV-gegevens is met een redelij-

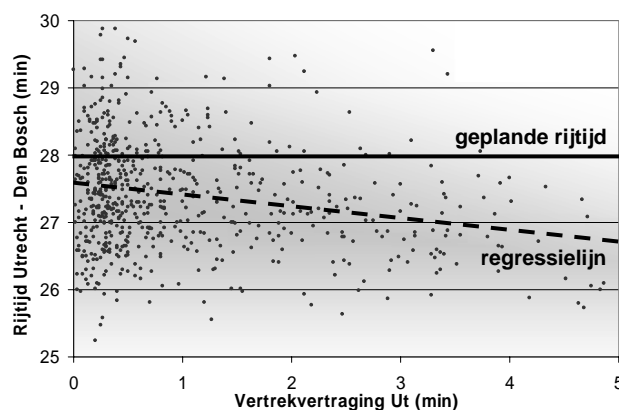
ke zekerheid vast te stellen of een trein gehinderd werd; de gefilterde populatie bevat nog een onbekende, kleine hoeveelheid gehinderde gevallen.

2.2 Te laat vertrokken treinen

De gerealiseerde rijtijd hangt ook af van de vertrekvertraging. Deze is uit de TNV-gegevens te bepalen. Een op tijd rijdende trein gebruikt de rijtijdtoeslag om comfortabel en energiezuinig te rijden: machinisten proberen rond het geplande aankomstmoment aan te komen; soms wordt het wat eerder, soms wat later. Met een te laat vertrokken trein rijden machinisten echter zo hard als de systemen toelaten om vertraging in te lopen. Naarmate de vertraging groter is, speelt dit effect sterker; bij een zekere vertraging bereikt de rijtijd haar minimum. Een ongehinderde te laat vertrokken trein moet de geplande rijtijd kunnen halen (behoudens incidentele verstoringen zoals materieeldefecten), anders is de planning al instabiel zonder hinder tussen treinen.

2.3 Voorbeeld: rijtijd intercity Utrecht – Den Bosch

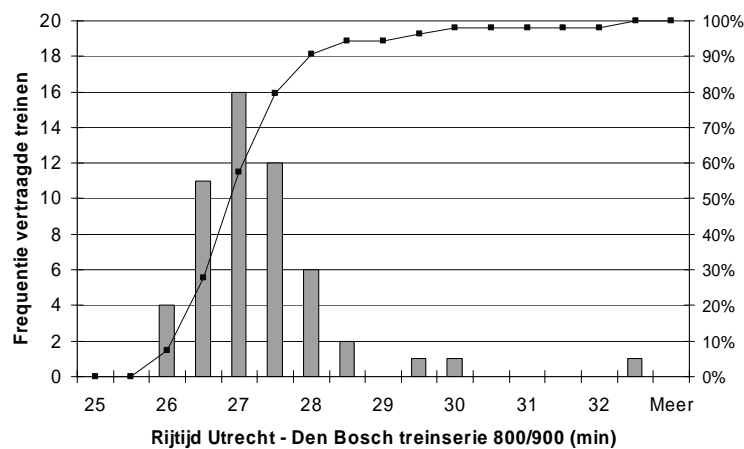
Als voorbeeld dient intercity-treinserie 800/900 tussen Utrecht en Den Bosch. In figuur 2 staat op de horizontale as de vertraging bij vertrek uit Utrecht, terwijl verticaal de rijtijd tot aankomst in Den Bosch is uitgezet (gepland is 28 minuten, inclusief 7% rijtijdtoeslag). Bekeken zijn alle ongehinderde treinen met een vertraging tot 5 minuten. Het effect van vertraging op rijtijden is duidelijk zichtbaar. Een regressieanalyse heeft uitgewezen dat de gerealiseerde rijtijd in dit geval afneemt met 10 seconden per minuut vertrekvertraging (zie figuur 2, de stippellijn: $y = 27,6 - 0,17x$). Het verband is significant (met meer dan 99% kans) en de vertrekvertraging verklaart 5% van de optredende spreiding ($R^2 = 5\%$).



Figuur 2: Invloed van vertrekvertraging op rijtijd

De deelpopulatie met een vertrekvertraging tussen 3 en 5 minuten is uitgezet in een histogram (figuur 3). Als de uitschieters genegeerd worden, blijft een dataset over die op een normale verdeling lijkt. Slechts twee van deze 50 gevallen overschrijden 28 minuten, oftewel de geplande rijtijd wordt door 96% van de vertraagde, ongehinderde treinen gehaald. Een rijtijdtoeslag van 7% geeft in dit geval dus een uitvoerbare rijtijd.

Analyse van andere intercityseries onderschrijft deze conclusie, maar vertraagde, ongehinderde stoptreinen halen hun geplande rijtijd vaak niet. De oorzaak hiervan wordt gezocht in te korte halteertijden op stations onderweg. Nader onderzoek op dit punt is de moeite waard.



Figuur 3: Empirische verdeling rijtijden vertraagde treinen

3. Buffertijd

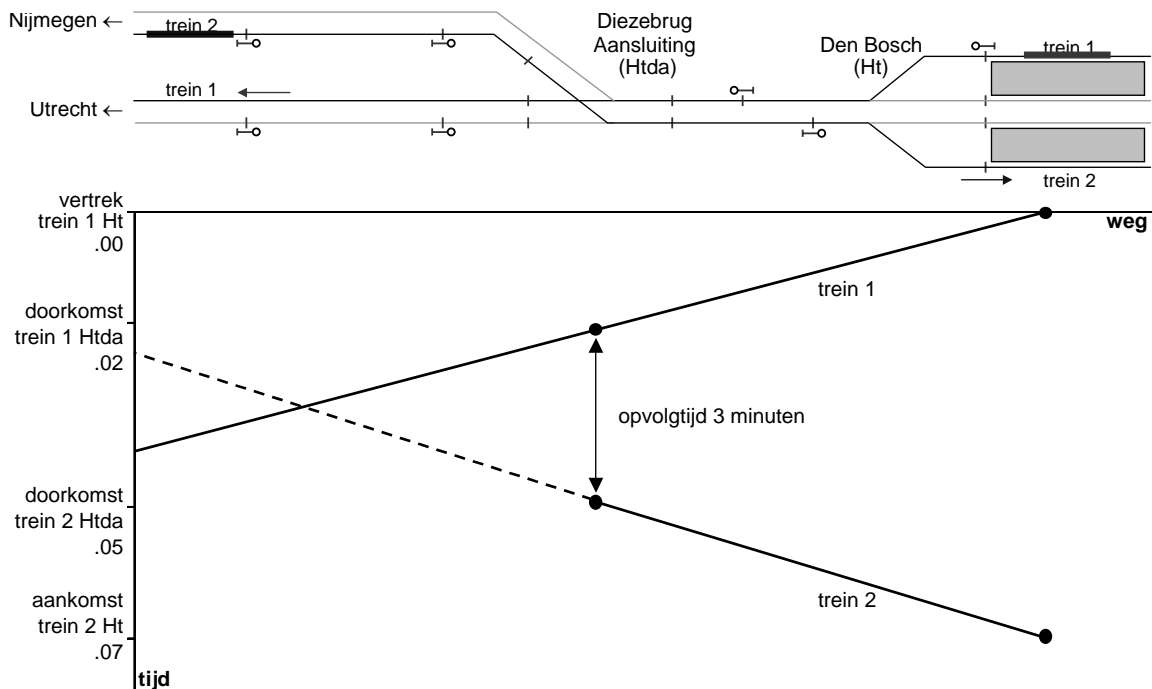
De planningsnorm voor opvolging schrijft in de meeste gevallen een minimaal tijdsinterval van 3 minuten voor tussen twee treinpassages op hetzelfde spoor; het verschil tussen deze norm en de technisch minimale opvolgtijd is beschikbaar als buffertijd. De berekening van de minimale opvolgtijd is uiteengezet in [3] en geschiedt aan de hand van seinplaatsing, seinbeelden, treinlengtes en treinsnelheden. Voor zover minimale opvolgtijden in lokale situaties bekend zijn, blijkt toepassing van de planningsnorm tot een buffertijd van $\frac{1}{2}$ tot 1 minuut te leiden.

Buffertijd zorgt ervoor dat de eerste trein enige vertraging kan hebben zonder een op tijd rijdende tweede trein te hinderen. Heeft de eerste trein een vertraging groter dan de buffertijd, dan moet de tweede trein erop wachten. Hinder bij geplande korte opvolgingen wordt toegelicht aan de hand van een voorbeeld uit de casestudy Utrecht – Den Bosch.

3.1 Voorbeeld: opvolging in Den Bosch

Een kilometer ten noorden van station Den Bosch splitsen zich de spoorlijnen naar Utrecht en Nijmegen; dit punt heet Diezebrug Aansluiting (figuur 4). Beide spoorlijnen en het korte stuk tussen de aansluiting en het station zijn dubbelsporig en de aansluiting zelf is gelijkvloers.

Uit Den Bosch vertrekt de intercity naar Utrecht (serie 800/900, hierna te noemen “trein 1”) volgens dienstregeling elk uur om .00 en .30. 2 minuten later passeert de trein Diezebrug Aansluiting. Weer 3 minuten later komt de sneltrein uit Nijmegen (serie 3600, “trein 2”) over dezelfde kruising, om in Den Bosch aan te komen om .07 en .37. De buffertijd tussen beide treinen te Diezebrug Aansluiting bedraagt 44 seconden.

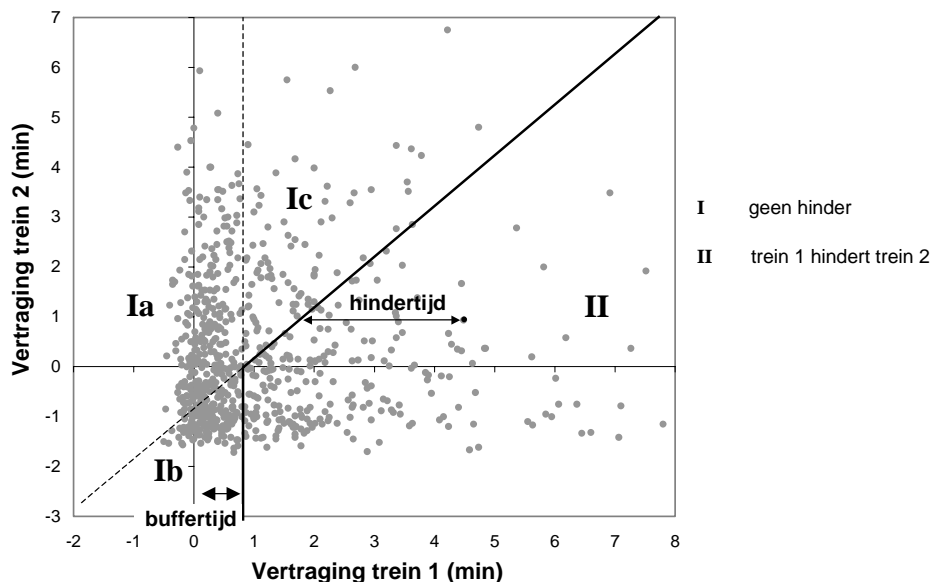


Figuur 4: Situatie Den Bosch Diezebrug Aansluiting

Voordat beide treinen bij elkaar in de buurt komen, hebben ze een zekere afwijking van de geplande passeertijd (positief, nul of negatief). In figuur 5 is voor ongeveer 700 realisaties de vertraging van beide treinseries tegen elkaar uitgezet; elke stip is een combinatie van trein 1 en trein 2. Te zien is dat trein 1 soms te vroeg is, maar meestal te laat. Bij trein 2 komen zowel vroege als late doorkomsttijden veel voor. Voor elke opgetreden combinatie is vastgesteld of er sprake was van hinder. De voorwaarden waarmee het al dan niet optreden van hinder bepaald wordt, zijn in figuur 5 grafisch weergegeven als lijnen die de meetpunten in

categorieën verdelen (tussen haakjes is vermeld hoe vaak de situatie zich voordeed):

- Ia Trein 1 is op tijd of heeft een vertraging kleiner dan de buffertijd. Trein 2 is op tijd of te laat en wordt niet gehinderd. (40%)
- Ib Trein 2 is te vroeg en wordt gehinderd (onder de diagonale stippellijn). Dat is niet erg; de ontstane hinder maakt trein 2 weer op tijd of hooguit iets vertraagd. (16%)
- Ic Trein 1 is te laat, maar trein 2 is nog later en wordt niet gehinderd. Hoewel het niet de bedoeling is dat trein 2 vertraging heeft, is er voor de opvolging geen probleem. (12%)
- II Trein 1 is te laat en hindert trein 2, dat wil zeggen trein 2 is al bij de kruising voordat deze door trein 1 is vrijgemaakt. (23%)



Figuur 5: Bepaling hindertijd uit vertragingen trein 1 en trein 2 voor de kruising

Uit figuur 5 is niet alleen de kans op hinder te bepalen, maar is ook een schatting te geven van de tijd die de gehinderde trein langer onderweg is dan wanneer deze niet gehinderd zou zijn. De *hindertijd* van een gehinderde trein 2 wordt gedefinieerd als de horizontale afstand van een punt in categorie II tot de diagonale lijn:

$$h_2 = v_1 - v_2 - b \quad (1)$$

waarin:

- h_i = hindertijd die trein i ondervindt
- v_i = oorspronkelijke vertraging van trein i
- b = buffertijd tussen trein 1 en 2

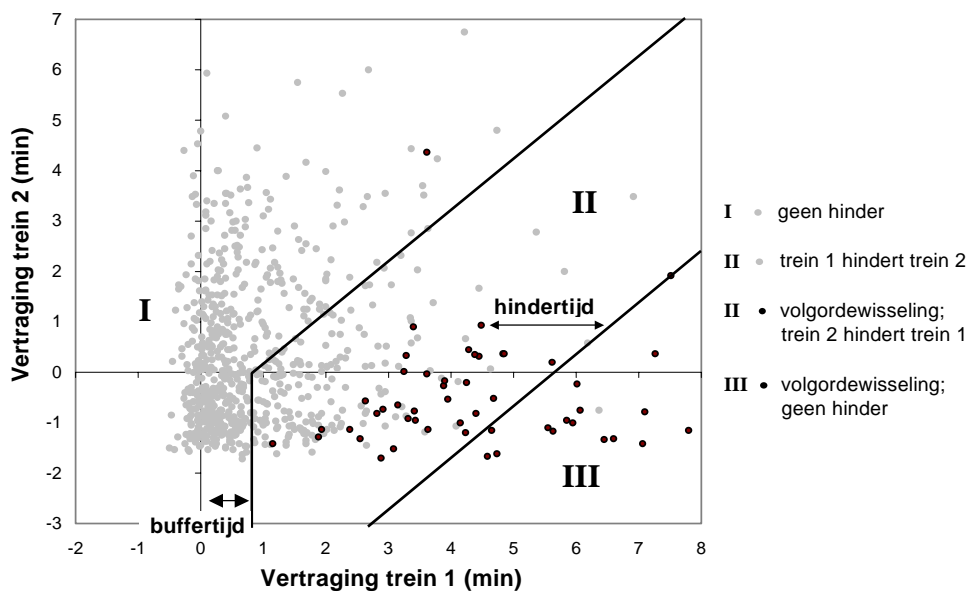
Bij wijze van voorbeeld is één realisatie in figuur 5 zwart weergegeven; het is de opvolging op 24 maart 2004 om 11.30 uur. De vertragingen van trein 1 en 2 zijn resp. 4'29" (4 minuten en 29 seconden) en 0'56". De buffertijd is 0'44". Volgens (1) volgt daaruit een hindertijd van $4'29" - 0'56" - 0'44" = 2'49"$. Trein 2 ondervindt dus een vertraging van bijna 3 minuten.

3.2 Volgordewisseling

Is trein 1 veel later dan trein 2, dan is het zinvol om de geplande volgorde los te laten en trein 2 voor te laten gaan zodat deze niet op de sterk vertraagde trein 1 hoeft te wachten. Hierover beslist de verkeersleiding. Op Diezebrug Aansluiting is dat inderdaad regelmatig gebeurd; in figuur 6 zijn volgordewisselingen weergegeven als zwarte stippen. In geval van volgordewisseling heeft trein 2 geen last van de vertraagde trein 1.

De oorspronkelijk als eerste geplande trein kan in dat geval echter wel hinder ondervinden van de voorgelaten trein 2. Of dit inderdaad gebeurt en hoeveel de vertraging van trein 1 dan wel toeneemt, is te bepalen met behulp van de rechter diagonale lijn in figuur 6. Deze lijn komt overeen met de situaties waarin trein 2 de kruising vrijmaakt net voordat trein 1 nadert. Rechts van deze lijn vindt in geval van volgordewisseling überhaupt geen hinder plaats; links van de lijn wordt trein 1 gehinderd. Dat completeert het overzicht van categorieën tot:

- I Geplande volgorde; geen hinder. (68%)
- II Trein 1 of trein 2 wordt gehinderd. (23%)
- III Volgordewisseling; geen hinder. (9%)



Figuur 6: Bepaling hindertijd in geval van volgordewisseling

De punten in categorie II zijn treinen die de kruising ongeveer op hetzelfde moment genaderd hebben. Een zekere mate van hinder voor één van beide treinen is dan onvermijdelijk. De te verwachten vertraging voor trein 2 bij de geplande volgorde volgt uit (1). In het geval van volgordewisseling is de vertraging die trein 1 oploopt, te schatten met de horizontale afstand van het betreffende punt tot de rechter diagonale lijn, ofwel:

$$h_1 = v_2 - v_1 + b + 2 \cdot ot_{min} \quad (2)$$

waarin:

$$ot_{min} = \textit{technisch minimale opvolgtijd}$$

Ter illustratie wordt nogmaals het voorbeeld aangehaald waarin trein 1 en 2 respectievelijk 4'29" en 0'56" vertraagd zijn. Eerder is aangegeven dat trein 2 een vertraging van 2'49" zou hebben opgelopen als de geplande volgorde hier gehandhaafd was. In werkelijkheid werd trein 2 voorgelaten. Invullen van (2) met $2 \times ot_{min} = 4'51"$ leert dat trein 1 daardoor slechts 2'02" minuten vertraging kreeg. De volgordewisseling was dus een verstandig besluit, gesteld dat een minuut vertraging bij beide treinen even zwaar weegt.

Deze benadering kan niet alleen de kwaliteit van het verkeersmanagement achteraf in beeld brengen, maar zou ook on-line ingezet kunnen worden als beslissingondersteunende tool voor de verkeersleiding. Deze wordt daardoor beter in staat gesteld de optimale volgorde te kiezen en trein 1 op het juiste moment uit Den Bosch te laten vertrekken. Een dergelijke tool past ook in het besturingsconcept Dynamisch VerkeersManagement, waarin treinen onder bepaalde voorwaarden op hetzelfde moment gepland kunnen worden en de volgorde pas tijdens de dienstuitvoering bepaald wordt. DVM blijft hier verder buiten beschouwing.

3.3 Verband tussen buffertijd en hindertijd

De berekeningen tot hier toe zijn in feite observaties van hinder bij de huidige buffertijd. Wat bij de rijtijden niet mogelijk was, wordt nu voor opvolgingen met een paar vereenvoudigingen wel gedaan: een verband leggen tussen speling en verwachte vertraging. Dat het hier wel kan, komt doordat het technisch minimum bij opvolgtijden (anders dan bij rijtijden) niet beïnvloed wordt door de planning.

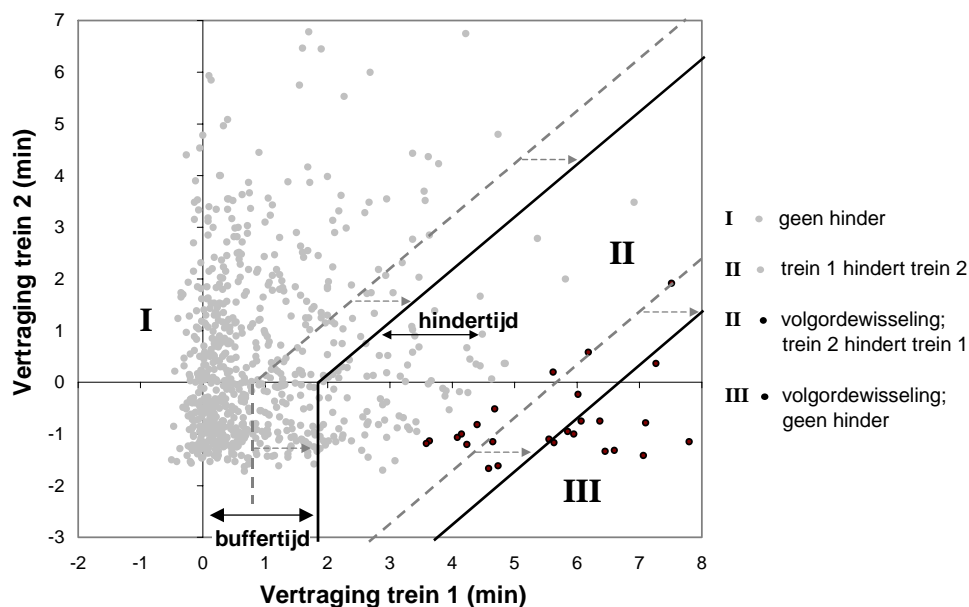
De opvolging te Diezebrug Aansluiting (figuur 4-6) wordt nogmaals beschouwd. Stel dat het vertrek van trein 1 uit Den Bosch een minuut eerder gepland wordt. Dit vroegere vertrek

vergroot de kans dat trein 1 de kruising heeft verlaten op het moment dat trein 2 in aantocht is. Nu worden twee aannamen gedaan:

- De twee vertragsingsverdelingen zijn onafhankelijk. Dat werkt alleen als de betrokken treinen van verschillende sporen komen; als ze achter elkaar hebben gereden, bestaat namelijk de kans dat trein 1 trein 2 al langer ophield.
- De twee vertragsingsverdelingen blijven gelijk. Dat is denkbaar als de aankomst- en vertrektijden van trein 1 op het baanvak voorafgaand aan Den Bosch ook één minuut vervroegd worden. In dat geval vertrekken alle “treinen 1” een minuut eerder uit Den Bosch dan in de dienstregeling 2004.

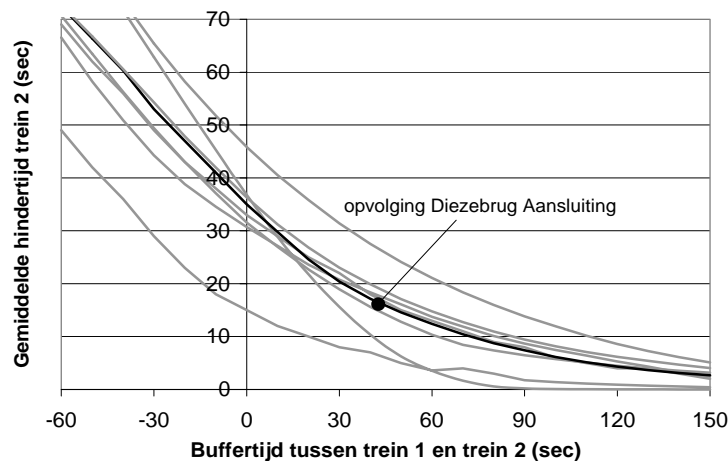
Treinen in de tijd één minuut verder uit elkaar plannen komt overeen met één minuut buffertijd toevoegen. De huidige buffertijd is terug te vinden in figuur 6. Door deze afstand te vergroten (zie figuur 7: de diagonale dikke lijnen verschuiven horizontaal), is het effect van meer buffertijd te bepalen:

- Categorie I neemt in omvang toe, dat wil zeggen dat een groter aantal treinen niet wordt gehinderd.
- De hindertijd van een gehinderde trein (in categorie II) neemt af.
- Het aantal volgordewisselingen neemt af; in sommige gevallen in categorie II *ontstaat* dan hinder voor trein 2.



Figuur 7: Bepaling hindertijd bij veranderende buffertijd

Op basis van de nieuwe aantallen waarnemingen per categorie en de individuele hindertijden kan de gemiddelde hindertijd van alle “treinen 2” berekend worden. Dat is gedaan voor elke waarde van de buffertijd. Zo ontstaat een verband tussen buffertijd en hindertijd (de zwarte kromme in figuur 8). In de bestaande planning op Utrecht – Den Bosch komen acht opvolgingen tussen treinseries voor die aan de eis van onafhankelijkheid voldoen. Voor elk van deze opvolgingen is bij verschillende buffertijden de gemiddelde hindertijd van trein 2 bepaald. Elke kromme in figuur 8 stelt het verband van een specifieke opvolging voor. De krommen vertonen alle eenzelfde beeld: meer buffertijd geeft een lagere hindertijd, maar het effect wordt geleidelijk geringer bij toenemende buffertijd.



Figuur 8: Berekende relatie tussen buffertijd en hindertijd

4. Gezamenlijke norm rijtijdtoeslag en buffertijd

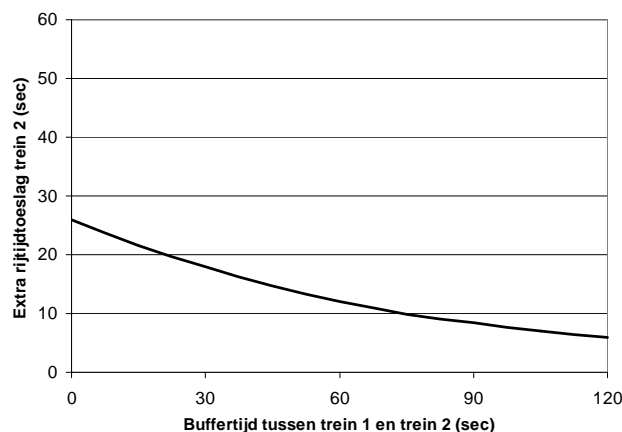
De bouwstenen van de realisatie zijn nu bekend: ongehinderde rijtijden en onderlinge beïnvloeding van treinen. Als volgende stap is het mogelijk buffertijd en rijtijdtoeslag in onderlinge samenhang in de dienstregeling op te nemen. De essentie is het volgende. Door buffertijd tussen treinen wordt onderlinge hinder beperkt; de hinder die wel plaatsvindt, wordt als toeslag aan de rijtijd toegevoegd. Dit zal nader uitgelegd worden.

De geplande rijtijden zijn voor ongehinderde treinen uitvoerbaar gebleken. Dat houdt in dat de gangbare berekeningsmethode inclusief 7% toeslag tot haalbare rijtijden leidt. Deze 7% toeslag is in beginsel bedoeld om variaties in de ongehinderde rijtijd op te vangen; niet meer en niet minder. Hinder wordt impliciet geacht niet aanwezig te zijn. Het is dan ook geen wonder dat de betrouwbaarheid op druk bezet spoor te wensen overlaat.

Buffertijd is een effectief middel om onderlinge hinder te beperken, hoewel boven één minuut langzamerhand minder reductie wordt bereikt. In figuur 8 vermeldt de verticale as de hindertijd die trein 2 gemiddeld ondervindt, als een bepaalde buffertijd wordt toegepast. Deze vertraging dient te worden gecompenseerd door middel van extra rijtijdtoeslag per conflictpunt bovenop de bestaande 7%. Als dit consequent doorgevoerd wordt bij alle treinopvolgingen in het netwerk, ontstaat een betrouwbare dienstregeling. Een gangbaar criterium daarvoor is namelijk dat de gemiddelde vertraging in de loop van een baanvak niet mag toenemen [4] en dat is op deze manier bereikt. Gegeven de omstandigheden in de casestudy kan deze benadering vertaald worden in de volgende planningsnorm:

- 1,0 minuut buffertijd tussen twee opeenvolgende treinen op hetzelfde spoor;
- 0,2 minuut toeslag op de rijtijd van de tweede trein van een opvolging.
- Afwijking van deze norm om de dienstregeling passend te krijgen, is mogelijk zonder concessies aan de betrouwbaarheid. Minder rijtijdtoeslag kan gecompenseerd worden door meer buffertijd en omgekeerd volgens figuur 9. Dit is in feite het gemiddelde van de krommen in figuur 8, waarbij *hindertijd* is vervangen door *extra rijtijdtoeslag*.

De kracht van deze benadering ligt in het inzichtelijk maken van de uitwisselbaarheid van verschillende vormen van speling bij constante betrouwbaarheid. Dit maakt “spelen met de planning” mogelijk. Waar een korte reistijd uit commercieel oogpunt gewenst is, is na treinen die aan de betreffende trein voorafgaan, voldoende buffertijd nodig (bijvoorbeeld 2 minuten). Zoals gezegd beperkt dat wel het aantal treinen per uur over een spoor. Daarom kan het ter plaatse van infrastructurele bottlenecks verstandig zijn extra rijtijd (bijvoorbeeld ½ minuut) te accepteren om juist met weinig buffertijd te kunnen volstaan.



Figuur 9: Uitwisselbaarheid buffertijd en rijtijdtoeslag

5. Conclusies

Voor het beheersen van kleine treinvertragingen is speling in de planning nodig. Aan de hand van uitvoeringsgegevens van het baanvak Utrecht – Den Bosch is onderzocht hoeveel rijtijdtoeslag en buffertijd nodig zijn voor het gewenste kwaliteitsniveau. Het blijkt dat in de normering onvoldoende rekening wordt gehouden met het optreden van hinder tussen treinen. Daarom is een planningsnorm voorgesteld die combinaties mogelijk maakt van:

- hinder voorkómen met buffertijd, en
- hinder genezen met rijtijdtoeslag.

Door gericht te “plannen met speling” ontstaat een betrouwbare treindienst. De uitwisselbaarheid van buffertijd en rijtijdtoeslag zorgt bovendien voor meer planningsmogelijkheden, zodat dienstregelingontwerpers speling daar kunnen plannen waar het goed uitkomt (“spelen met de planning”). De winst in betrouwbaarheid die betere normering met zich meebrengt, draagt bij aan een kwalitatief hoogwaardig spoorvervoer als ruggengraat van een duurzaam mobiliteitsstelsel.

Enkele aspecten verdienen nadere uitwerking:

- De gebruikte benadering werkt alleen voor opvolgingen waar de betrokken treinen van verschillende sporen komen, zodat de locatie van de hinder min of meer bekend is. Ontwikkel een model voor situaties waarin treinen elkaar op hetzelfde spoor (ergens) tegenkomen door snelheidsverschil.
- Voor het hanteren van deze normering moeten de lokale minimale opvolgtijden bekend zijn; dat is nu niet overal het geval. Ontwikkel een methode om deze tijden in de praktijk eenvoudig nauwkeurig te bepalen.
- Gesuggereerd is het model voor vertragingverwachtingen afhankelijk van treinvolgorde te gebruiken in een beslissingsondersteunend systeem voor de verkeersleiding. Onderzoek de meerwaarde en de haalbaarheid van deze toepassing.

Referenties

- [1] Fénix, J., “User centred design applied to increase timetable stability”. Geaccepteerd voor de 36. Tagung Moderne Schienenfahrzeuge, Graz, September 2005

- [2] Goverde, R.M.P. en I.A. Hansen, “TNV-Prepare: Analysis of Dutch railway operations based on train detection data”. In: J. Allen e.a., Computers in Railways VII, WIT Press, Southampton, 2000, pp. 779-788

- [3] Pachl, J., Railway Operation and Control. VTD Rail Publishing, 2002

- [4] Union International des Chemins de fer, Capman Working Group, Capacity Management (Capman Phase 3). Summary report, December 2004