

## **Economisch enkelspoor: pak verspilling aan!**

Vincent Weeda  
ProRail  
vincent.weeda@prorail.nl

Arco Sierts  
Public Transport Analysis Design & Consultancy  
asierts@ptadc.nl

**Bijdrage aan het Colloquium Vervoersplanologisch Speurwerk  
21 en 22 november 2013, Rotterdam**

## **Samenvatting**

### *Economisch enkelspoor: pak verspilling aan!*

Aanbesteding en regionaal opdrachtgeverschap hebben een frisse wind doen waaien door het regionale reizigersvervoer per spoor. Zichtbaar zijn o.a. nieuw materieel en grofweg een frequentieverdubbeling. Door de hoge benutting zijn de veelal enkelsporige lijnen wel gevoeliger geworden voor vertraging ('ongeplande wachttijd'). Als dit probleem wordt opgelost met rijtijdverkorting en extra rijtijdspeling, verschuift het probleem naar 'geplande wachttijd'.

Wachten is een vorm van verspilling en dat is economisch niet optimaal, zeker niet in crisistijd. Eigenlijk is dit besef al een innovatie op zich. De auteurs hebben vanuit hun beroepspraktijk de processen rondom de passeerstations onder de loep genomen en hebben diverse bronnen van tijd- en ook energieverspilling geïdentificeerd. Deze zijn met een aantal procesinnovaties aan te pakken. Dit artikel schetst de reikwijdte van het verbeterpotentieel:

- remenergie opslaan en/of terugleveren;
- niet onnodig vroeg remmen;
- wachten op tegentrein beperken met invoegspoor;
- trein en overweg niet op elkaar laten wachten;
- vertrekprocedure eerder starten.

Deze innovaties zijn de moeite waard om verder uitgewerkt te worden in samenwerking tussen PTADC, ProRail en vervoerders. In dienstregelingstermen zijn de ideeën gericht op het creëren van buffertijd tussen treinen, waardoor de trein zelf minder rijtijdspeling nodig heeft. De winst in punctualiteit, wachttijd(beleving), reistijd, overwegveiligheid en energiekosten leiden tot hogere klantwaarde en lagere exploitatiekosten: kortom een betere systeemeconomie.

## 1. Inleiding

De economische crisis noopt tot aandacht voor het economisch presteren van de trein: klant en land willen meer voor minder. Dit artikel focust zich op de dynamiek van regionaal enkelspoor.

Aanbesteding en regionaal opdrachtgeverschap hebben een frisse wind door de regio doen waaien. Het meest zichtbaar is de introductie van nieuw materieel op vrijwel alle regionale lijnen. Door vlotte uitstraling en hoger comfort is het boemelimago snel aan het verdwijnen. Daarnaast kent het nieuwe materieel doorgaans een hogere acceleratie en topsnelheid, wat bijdraagt aan zowel uitstraling als harde prestaties. In de jaren '90 kenden veel regioliijnen een uurdienst, plaatselijk en/of in de spits wel aangevuld tot een halfuurdienst. Inmiddels is een halfuurbediening vrijwel overal standaard gedurende een groot deel van de dag/week en rijdt op sommige lijndelen zelfs elk kwartier een trein, niet alleen in de spits. Grosso modo zijn de frequenties dus verdubbeld: van een minimale basiskwaliteit naar een redelijk attractief gebleken product.

### *Ongeplande of geplande wachttijd*

De keerzijde van deze productverbetering is dat de grotendeels enkelsporige regioliijnen wel gevoeliger zijn geworden voor vertraging ('ongeplande wachttijd'). Dit probleem wordt soms opgelost met rijtijdverkorting en extra rijtijdspeling, maar dan verschuift het probleem naar 'geplande wachttijd'. In het laatste geval voldoet de dienstregeling weliswaar aan de robuustheidnorm, maar het is de vraag of de oplossing economisch optimaal is. Zo kan een dienstregeling met veel rijtijdspeling nieuwe nadelen met zich meebrengen voor de reiziger (wachten) en voor de vervoerder (kosten). Daarnaast bestaan nog diverse andere vormen van verspilling, zoals wachttijd voor overwegen en energieverspilling. Nadere beschouwing leert dat op de passeerstations veel tijd "gelekt" wordt. Dit besef is de basis om de exploitatie in allerlei opzichten te verbeteren. De auteurs van dit artikel zijn elk op hun eigen manier professioneel betrokken bij prestatieverbetering van (enkel)spoor en nodigen u uit met ons hierover na te denken!

Hoofdstuk 2 introduceert de structuur van een treindienst op enkelspoor. In hoofdstuk 3 worden de verschillende vormen van tijdverspilling geïdentificeerd en met innovaties aangepakt. Tenslotte trekt hoofdstuk 4 conclusies.

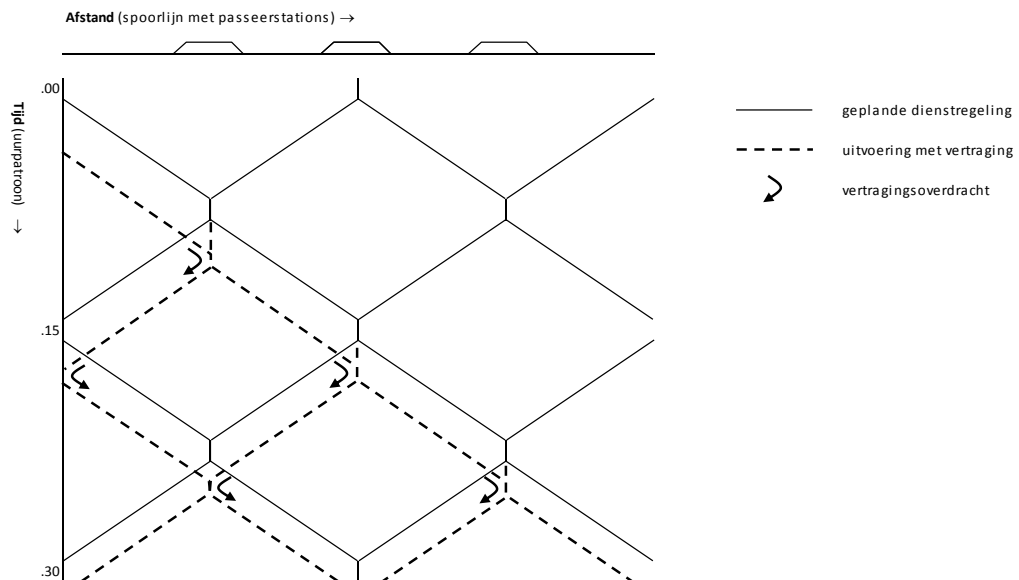
## 2. Analyse enkelspoor

### *2.1 Basisstructuur enkelspoor*

#### *Kernprobleem: (in)stabiliteit*

De infrastructuur van een gemiddelde regioliijn bestaat uit grotendeels enkelspoor met dubbelsporige stations die gelegenheid tot passeren bieden. Bij een kwartierdienst ontmoet een trein elke 7,5 minuten een tegenligger (zie Figuur 1). Door deze hoge benuttingsgraad (veel treinen in weinig spoorruimte) ligt olievlekwerking op de loer: een trein met 5 minuten vertraging besmet op ieder passeerstation een tegenligger (de stippeliijn), die vervolgens weer andere treinen ongepland laat wachten. Een klein probleem kan daarmee een stortvloed aan vertragingminuten tot gevolg hebben. Dit is

typisch het systeemgedrag van een bijna-instabiel systeem; treinreizigers in de Achterhoek kunnen hierover meepraten. Op de weg herkennen we dit 'overspannen systeemgedrag' met name tijdens de spits in de vorm van langzaam rijdend en stilstaand verkeer en de typische harmonicafiles.



Figuur 1: Basisstructuur planning en uitvoering regioliijn in een tijd-wegdiagram

### *Primaire vertraging voorkomen*

De gebrekkige stabiliteit uit zich minder snel als primaire vertragingen voorkomen worden. Een aantal karakteristieken van regionale lijnen dragen hieraan bij, zoals vrijwel losliggende infrastructuur en eenmansbediening. Na een moeizame introductie wordt op Dordrecht-Gorinchem v.v. inmiddels een kwartierdienst uitgevoerd met op storingsvrije dagen bijna 100% punctualiteit, ondanks een krap circuit.

### *Overstap tussen wal en schip*

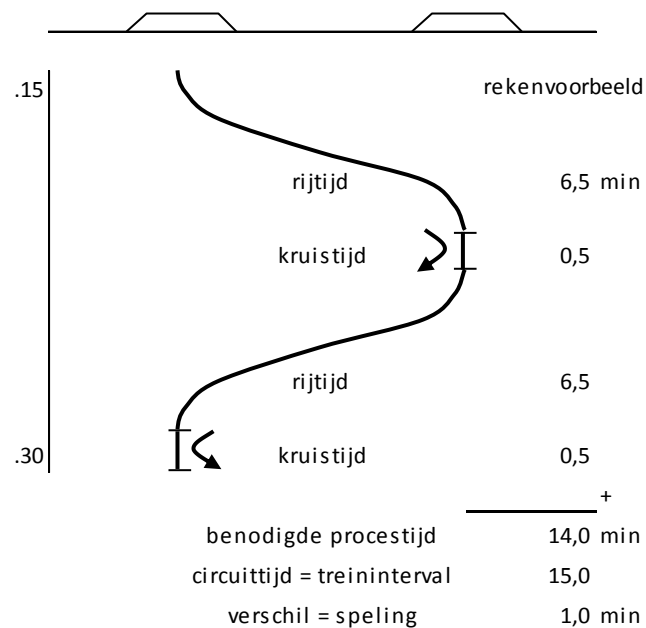
Een keerzijde van de tactiek "vertraging voorkomen" is dat op vertraagde bus- of treinaansluitingen vrijwel niet meer gewacht kan worden, waardoor overstappende reizigers vertraging krijgen. Binnen de kwartierdienst is de schade te overzien, maar lang niet al het OV in de keten rijdt 4x per uur. Overstaptijden zijn niet goed genormeerd: geen enkele partij is eindverantwoordelijk voor de overstap en de systeemcapaciteiten die nodig zijn voor een betrouwbare ketenverplaatsing. Wel willen regionale overheden vaak extra stations openen, waardoor het allemaal nog krappere wordt. Door dit lijn- en netwerkstabiliteitsprobleem komt zowel de aantakking op het landelijke IC-net als het regionale visgraadmodel in de problemen. De kritische reiziger haakt dan al snel af.

## 2.2 Werkwijze tot nu toe

### *Aandacht voor robuustheid: speling per circuit*

Voor een stabiele uitvoering van de treindienst is speling nodig zodat kleine vertragingen uitdempen. Elk enkelsporig gedeelte tussen passeerstations is te beschouwen als een circuit dat zichzelf in de staart bijt (zie Figuur 2). Daarin moeten achtereenvolgens verschillende processen plaatsvinden, waarvan rijden en kruisen de meest voorkomende

zijn. In het rekenvoorbeeld is de rijtijd tussen de passeerstations in elke richting 6,5 minuut en de kruistijd (tussen aankomst en vertrek in de tegenrichting) 0,5 minuut. Het circuit moet voldoende speling bevatten om te voorkomen dat vertragingen "rondzingen" tussen heen- en terugrichting [1]. In de Netverklaring van ProRail is dit genormeerd op minimaal 2 minuten speling per circuit. Veel lijnen voldoen inmiddels aan deze norm en de treinpunctualiteit komt dan uit rond een mooie 95% (binnen 3 minuten). Het rekenvoorbeeld in de figuur is onvoldoende robuust met slechts 1 minuut speling in een kwartier, dus er zal iets moeten gebeuren.



Figuur 2: Berekening procestijd en speling in een enkelsporig circuit

#### *Toepassing van de norm: meer rijtijdspeling*

Als de gewenste dienstregeling op de huidige infrastructuur niet past met voldoende speling, dient tijd gewonnen te worden. De tijdwinst is tot dusver veelal gezocht in de rijtijd (sneller materieel, snellere wissels, hogere baanvaknelheid) waardoor veel rijtijdspeling ontstaat. Laten we zeggen dat de werkelijke rijtijd in Figuur 2 wordt verkort tot 6,0 minuten terwijl de dienstregeling gelijk blijft. Dat betekent dat kleine vertragingen snel ingelopen worden waardoor de treinpunctualiteit in orde is. Het betekent echter ook veel wachttijd op de stations, nu niet alleen in een verstoorde situatie (wachten op vertraagde tegentrein) maar ook bij op tijd rijden (wachten op geplande vertrektijd). Dat draagt weer bij aan het boemelimgo maar ook aan de feitelijke lage verplaatsingsnelheid en dat helpt niet bij het aantrekken van reizigers.

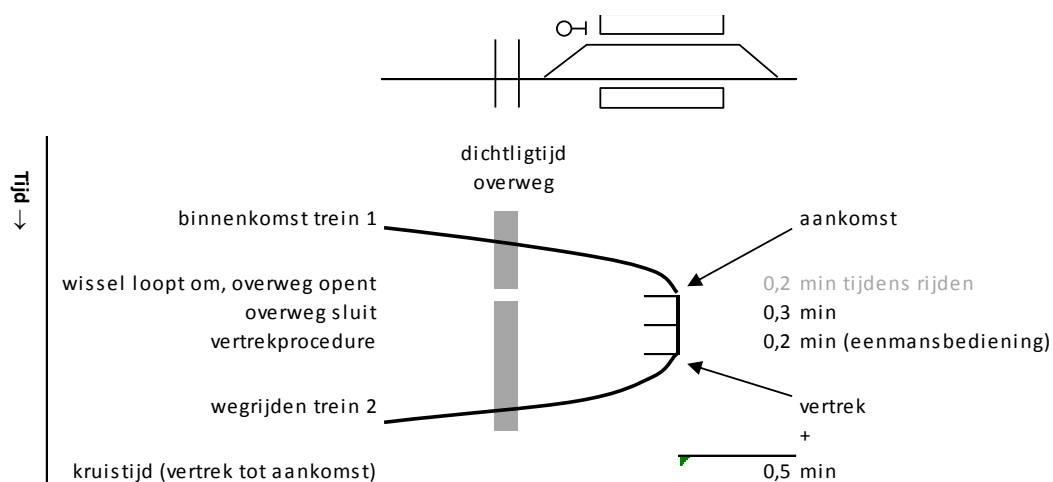
Vergeleken met het hoofdrailnet vertonen regioliijnen een tendens naar relatief veel rijtijdspeling in de treinen en weinig buffertijd op de passeerpunten. Dat is weliswaar robuust, maar economisch niet doelmatig: het is te beschouwen als een verschuiving van ongepland wachten (op vertraagde tegentreinen) naar gepland wachten. Op sommige plekken zijn conventionele versnellingen redelijkerwijs niet mogelijk. Daar is sprake van weinig rijtijdspeling én weinig buffertijd dus daar zijn de problemen uit paragraaf 3.1 nog steeds actueel.

### 3. Innovatie: pak verspilling aan!

In een economische crisis is voor geldverspilling geen plaats. De ultieme railoplossing (volledig dubbelspoor) verhelpt alle wachten op treinen uit de tegenrichting, maar zo iets is erg duur en doorgaans niet maatschappelijk rendabel.

Tijdverspilling is óók energie- en geldverspilling, omdat tijdverspilling noodgedwongen gecompenseerd moet worden met sneller en aanzienlijk minder energiezuinig rijden elders. Dat kost niet alleen 'direct' meer energie door een hoger energieverbruik van de treinen, maar ook indirect vanwege snellere slijtage en aldus eerdere noodzaak tot onderhoud en (component)vervanging – zowel treinen als infrastructuur.

Voor een gezonde exploitatie van enkelspoor is logisch op zoek te gaan waar kostbare tijd "weglekt". Dit sluit helemaal aan bij de door ProRail omarmde LEAN-filosofie, waarin de logistieke keten richting klant van verspilling ontdaan wordt. De processen op het passeerstation springen wat betreft tijd- en energieverpilling in het oog. In dit hoofdstuk wordt de kruistijd ontrafeld aan de hand van binnenrijden en vertrek (zie Figuur 3). Veel wachten is te vermijden door processen niet na elkaar maar gelijktijdig uit te voeren.



Figuur 3: Opbouw kruistijd in conventionele situatie met overweg

#### 3.1 Verspilling remenergie

In het verleden betekende 'afremmen' bijna per definitie het omzetten van bewegingsenergie in warmte. Moderne voertuigen zijn in staat om hun bewegingsenergie om te zetten en hetzij op te slaan (accu, vliegwiel etc), hetzij elektrisch terug te leveren via de bovenleiding. Bij dieseltreinen en enkelsporige elektrische lijnen gebeurt dat nog vrijwel niet, terwijl het technisch wel mogelijk is. Inmiddels lopen er diverse onderzoeken om met behulp van innovatieve oplossingen een einde aan deze grootschalige energieverpilling te maken. Denk hierbij aan partiële bovenleiding rondom de stations (daar valt remenergie terug te winnen en daar vindt bovendien acceleratie plaats), hybride dieselektrische treinen en regiotreinen met een accusysteem aan boord. Hier schuilt een enorm besparingspotentieel. Om bij het CVS-thema te blijven: de officiële oliecrisis lijkt 40 jaar geleden, maar de huidige crisis beperkt zich niet tot alleen de

economie. Sterk gestegen brandstofprijzen, het recentelijk vervallen van het fiscale voordeel op de zgn. 'Rode Diesel', verbeterde vermogenselektronica-, vliegwielen- en accutechnieken hebben de business case voor dergelijke oplossingen drastisch verbeterd.

Het valt buiten het bestek van dit artikel om hier technisch-inhoudelijk uitgebreid op in te gaan, maar de te verwachten kostenbesparingen zijn dusdanig dat deze optie hier niet ongenoemd mocht blijven. Een extra reden om deze optie hier te noemen is dat met energieopslag of -teruglevering bij het afremmen de huidige kostennadelen van harder rijden in hoge mate beperkt worden. Dit maakt het veel aantrekkelijker om op enkel-sporige regiolijnen sneller te gaan rijden. Dat kan de economie van het hele systeem significant verbeteren.

### *3.2 Tijdverspilling binnenrijden station*

Het komt voor dat de aankomst langzaam is door fysieke snelheidsbeperkingen. Aanpassing daarvan is in veel gevallen kosteneffectief; deze mogelijkheid wordt al regulier toegepast en hier verder niet behandeld. Alom aanwezig en nog niet opgelost is echter het volgende tijdverlies.

#### *Tijdverspilling door normatief-seintechnisch te vroeg remmen*

Het huidige seingeving- en ATB-systeem eist dat op een wettelijk bepaalde normatieve afstand de remming gestart moet worden. Deze afstand is gebaseerd op de remkarakteristieken van bepaalde goederentreinen. Moderne regiotreinstellen kunnen aanzienlijk krachtiger en dus later remmen, maar de seingeving, de ATB (met name Eerste Generatie) en vigerende wetgeving laten dit slechts in zeer beperkte mate toe. Dit leidt tot een nodeloos trage binnenkomst in stations. Dat kost niet alleen de trein in kwestie nodeloos veel tijd, maar het heeft ook tot gevolg dat de binnenkomende trein het enkelspoor nodeloos lang bezet houdt voor de tegentrein.

De grootste tijdwinst is te behalen bij lagere topsnelheden (lager dan 120 km/h) omdat die remwegen tussen seinen ruim bemeten zijn, rekening houdend met goederentreinen. Later remmen is te faciliteren door invoering van ETCS, door de wettelijke remwegen aan te passen of te differentiëren (in onderzoek bij ProRail) maar het zou wettelijk, procesmatig en systeemtechnisch ook anders kunnen (in onderzoek bij PTADC).

### *3.3 Tijdverspilling vertrek station*

Wachten is op enkelspoor de meest zichtbare tijdverspilling. Vooral de ongeplande variant is berucht onder reizigers en personeel, en heeft het infrastructuurtype 'enkelspoor' in Nederland een ronduit slecht imago bezorgd. Daarin valt nog heel wat winst te behalen. Hiervoor is al geschetst dat de tegentrein best wat sneller zou kunnen binnenrijden, waardoor het enkelspoor sneller vrijkomt en een hoop tijdverspilling opgeruimd kan worden. Er zijn echter nog meer methodes te bedenken die het vertragingssleed fors kunnen beperken.

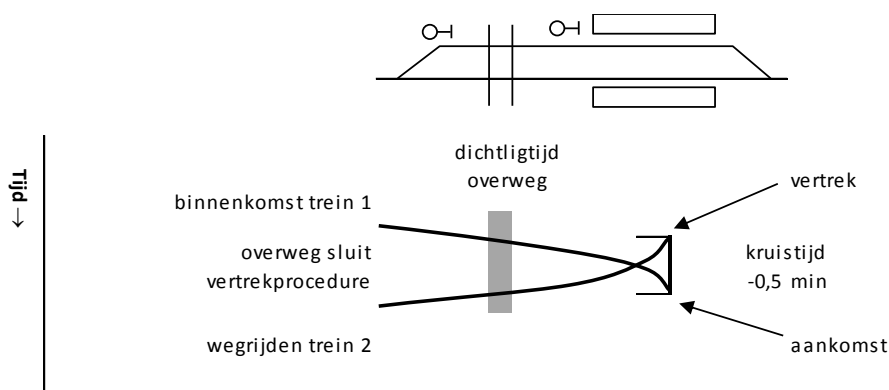
#### *Tijdverspilling door wachten op binnenkomende tegentrein*

Zo is het mogelijk om het binnenkomende en uitgaande spoor al eerder van elkaar te scheiden. Oplossing: leg de overgang tussen enkelspoor en dubbelspoor verder bij het

station vandaan. De inkomende trein remt dan niet grotendeels af op het tijdskritieke enkelspoor – aldus het vertrek van de tegentrein nodeloos blokkerend – maar voor een veel groter deel af op z'n eigen 'uitvoegspoor'. De vertrekkende trein kan bovendien eerder vertrekken via z'n eigen 'invoegspoor' (zie Figuur 4). Dit maakt het enkelspoor-systeem aanzienlijk robuuster, omdat er dan naast rijtijdspeling ook ineens buffertijd in het systeem aanwezig is. Hierdoor verbeteren de prestaties en de totale economie van het spoorstelsel aanzienlijk. Vertragingen worden immers niet direct doorgegeven, en wel ontstane vertragingen dempen aanzienlijk sneller uit, zonder dat hiervoor in de planning kostbare rijtijdspeling weggeven hoeft te worden.

Praktisch gezien betekent dit dat het passeerspoor langer wordt dan strikt genomen noodzakelijk voor de lengte van de twee elkaar passerende treinen, en dat de treinen elkaar rijdend i.p.v. stilstaand kunnen passeren. Dat laatste heeft overigens ook voordelen voor de problematiek van spoorwegovergangen nabij stations; zie de volgende paragraaf. Op kleine schaal is extra dubbelspoor voor rijdend kruisen al toegepast (Zoeterwoude, Anna Paulowna, het recentelijk verdiepte spoor door Nijverdal en de geplande capaciteitsverbetering bij Wehl). Momenteel is de lengte van een dergelijk invoegspoor nog gebonden aan de minimale seinafstand van 400 meter, maar korter is ook denkbaar. Op sommige plekken ligt al een bruikbaar invoegspoor (Boxmeer, Dalflen, Sliedrecht) dat binnen de huidige regels alleen nog niet ten volle benut kan worden.

Het vertrekken naar het invoegspoor moet uiteraard beveiligd gebeuren omdat het enkelspoor in eerste instantie niet vrij is; een deelrijweg naar een gevaarpunt is onder ATB Eerste Generatie niet zonder meer veilig. Uiteraard is invoegen in een vloeiende beweging het best om tijd- en energievervalsing te voorkomen. Daarom moet het vertrek van de trein zo getimed worden dat het sein voor het wissel bij nadering groen wordt. Dat vraagt om dynamische seinaansturing die niet alleen rekening houdt met de vertraging van de trein waarvoor het sein bedoeld is (zoals gebruikelijk) maar ook met de vertraging van de aankomende trein.



Figuur 4: Sterk gereduceerde kruistijd en dichtligtijd door procesinnovaties

#### *Tijdverspilling door wachten op openen en weer sluiten spoorwegovergang*

In de buurt van passeerstations ligt vaak een overweg. Regionale stations liggen immers vaak in bebouwde omgeving op maaiveld. Ook de perrons zijn veelal ontsloten via een gelijkvloers overpad. Na binnenkomst van de ene trein gaat in de meeste gevallen de overweg weer open. Voordat de tweede trein mag vertrekken, moet de overweg weer



gesloten worden. Dit proces geeft niet alleen wachttijd voor de trein, maar ook voor het kruisend verkeer. Deze barrièrewerking leidt tot tijdverspilling voor wegverkeer en/of in/uitstappers, maar ook ongeduld en vervolgens risicogedrag.

Een kort extra stuk dubbelspoor lost dit probleem bijna automatisch op: de treinen gaan elkaar ongeveer op de overweg passeren, dus de twee korte overwegsluitingen gaan samenvallen (Figuur 4). Een eventueel kort openen van de overweg tussendoor vervalt daarmee ook. Door dit alles wordt de overweg minder hinderlijk en dus veiliger.

#### *Tijdverspilling door veiligheidsfunctie huidige vertrekprocedure*

Voordat een trein kan vertrekken, moet het treinpersoneel zorgen dat de deuren veilig gesloten zijn. Deze zogenaamde vertrekprocedure mag bij de meeste vervoerders pas plaatsvinden nadat het sein op groen komt om te voorkomen dat door rood vertrokken wordt; daarmee is dit proces ook veiligheidskritisch. Nadeel: nadat het sein de rijtoestemming aan de trein geeft, duurt het nog enige tijd voordat het gereserveerde spoor ook door de trein benut wordt. Dit betekent niet alleen wachttijd voor de trein (kruistijd) maar opnieuw ook voor een eventuele overweg.

Door de vertrekprocedure eerder te starten, kan de trein in principe meteen rijden zodra het sein groen wordt. Net als bij het eerder genoemde timen van het vertrek zelf is hier de bedoeling dat de vertrekprocedure precies op het goede moment start. Figuur 5 toont enkele voorbeelden hiervan uit de wegverkeerskunde. Een interessante ontwikkeling in dit verband is de zogenaamde "Afteller" die ProRail en NS voor het Hoofdrailnet ontwikkelen. Helemaal nieuw is het idee niet, want in het verleden is op Amsterdam Centraal al eens gewerkt met een knipperend vertreklicht. Begin 2014 vindt een pilot met de afteller plaats in Hilversum, waar zowel de dichtligtijd van de overweg als tijdverlies voor de trein problematisch. Een display op het perron gaat aan de conducteur tonen dat het sein veilig komt over 15 seconden (14, 13, ...).

Voor regionaal enkelspoor is een andere uitwerking nodig: daar staat geen conducteur op het perron maar voert de machinist de vertrekprocedure uit. Signalering aan de machinist kan via sein en/of cabinesignalering. Daarmee kan dan meteen de korte rijweg naar het invoegspoor geautoriseerd en bewaakt worden! Bovendien kan het vertrek door rood sein in de techniek afgedekt worden; die functionaliteit is ook voor het Hoofdrailnet interessant.

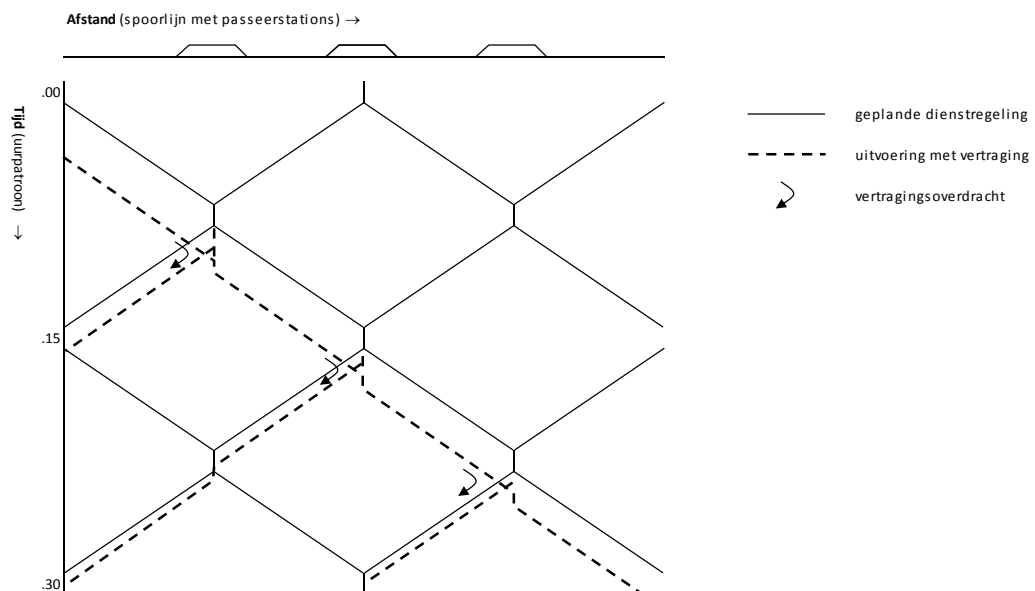


Figuur 5: Voorbeelden van voorrijlende signalering in de wegverkeerskunde

### 3.4 Opgeteld effect van innovaties

De genoemde bronnen van verspilling lenen zich uitstekend om in samenhang opgelost te worden (al zijn sommige elementen ook los toepasbaar). Het exacte effect hangt van af de lokale situatie en detailuitwerking, maar Figuur 3 en 4 maken aannemelijk dat de innovaties gezamenlijk een daling van de kruistijd van +0,5 minuut naar -0,5 minuut teweegbrengen. In het rekenvoorbeeld van Figuur 2 betekent dit dat de robuustheidnorm van 2 minuten speling in het circuit reeds te halen is door een van beide passeerstations aan te pakken. (Hoewel verbeteren van beide stations normatief niet noodzakelijk is, kan dit economisch wellicht toch interessant zijn.)

Bij gelijkblijvende dienstregeling ontstaat door bovengenoemde kortere kruistijd een hele minuut extra buffertijd, ofwel vermogen om vertraging te absorberen. Door consequent kruistijden te minimaliseren, wordt de olieplekwerking aangepakt en verandert Figuur 1 in Figuur 6. Dit vermindert het ongepland wachten en, omdat de speling minder in rijtijdspeling gezocht hoeft te worden, ook het gepland wachten!



Figuur 6: Planning en uitvoering regioliijn met buffertijd op passeerstations

## 4. Conclusies

In de regionale lijnen zit beweging: met nieuw materieel worden hoge frequenties aangeboden. Door de hoge benutting zijn de grotendeels enkelsporige lijnen wel kwetsbaar geworden voor vertragingen. Dit stabiliteitsprobleem heeft inmiddels aandacht en is in een norm gevat die voldoende speling eist. Door toepassing van deze norm ontstaat behoefte aan tijdwinst. Deze wordt vaak gezocht in rijtijdwinst door sneller materieel, snellere wissels en hogere baanvaknelheid.

Als met deze (conventionele) versnellingsmaatregelen de benodigde tijdwinst te behalen is, is het gevolg veel speling in de dienstregeling van de trein zelf. De gewonnen snelheid wordt dan ingezet ten behoeve van de stabiliteit, maar wordt niet geïncasseerd als

hogere verplaatsingssnelheid. Het ongepland wachten op tegenliggers neemt daarmee sterk af, maar de reiziger krijgt er wachten op geplande vertrektijd voor terug. Anders gezegd is de balans tussen buffertijd in de infrastructuur en speling in de rijtijd scheef gegroeid. Meer buffertijd tussen de treinen zou het economisch evenwicht gunstig beïnvloeden.

Op de passeerstations wordt bij nadere beschouwing tijd en energie verspild, dus in het kruisen zit veel verbeterpotentieel. Verbetering is niet alleen nodig voor een goede exploitatie; soms is de benodigde procestijdverkorting met rijtijdwinst alleen niet te realiseren. De verschillende vormen van verspilling zijn aan te pakken met samenhangende innovaties op een aantal processen:

- remenergie opslaan en/of terugleveren;
- niet onnodig vroeg remmen;
- wachten op tegentrein beperken met invoegspoor;
- trein en overweg niet op elkaar laten wachten;
- vertrekprocedure eerder starten.

Door de kortere kruistijd ontstaat buffertijd in de infrastructuur en is minder rijtijdspeling in de trein nodig. Het resultaat is win-win: punctualiteit, minder wachttijd(beleving), kortere reistijd (feitelijk), overwegveiligheid, lagere energiekosten. Met dit alles wordt de trein aantrekkelijker en dalen de exploitatielasten, kortom er ontstaat een betere systeemeconomie. Diverse innovaties zijn breder toepasbaar dan enkelsporige regiolijnen. De modellering en de technische innovaties zijn de moeite waard om de komende tijd verder uitgewerkt te worden in samenwerking tussen PTADC, ProRail en vervoerders. Ze kunnen in sterke mate bijdragen aan een gezonde spoorexploitatie, crisis of geen crisis.

## **Literatuur**

1. Goverde, Rob & Vincent Weeda, "Kritieke circuits: treinpunctualiteit op enkelsporige lijnen". In: Bundeling van bijdragen aan het Colloquium Vervoersplanologisch Speurwerk gehouden te Santpoort, pp. 1-10, 2008.
2. Sierts, Arco, Het spoor van Dalen naar succes fase II – economie van klantwaarde op nummer 1, finale-inzending ProRail Prijsvraag 2006-2007, gecorrigeerde versie dd 8 mei 2007.