

Capaciteitseffecten Level 2

Railmap ERTMS

Van ProRail – VenD VaCo
Auteur Projectteam capaciteitseffecten ERTMS

Kenmerk EDMS# 3468930
Versie V1.0
Datum 17 maart 2014
Bestand

Status Definitief

ProRail

Inhoud

Managementsamenvatting		4
1	Inleiding	7
1.1	Doelstelling	7
1.2	Aanpak	7
1.3	Opbouw rapport	8
2	Rij- en opvolgtijden	9
2.1	Aanpak en gehanteerde uitgangspunten	9
2.2	Resultaten rijtijden	10
2.2.1	Rijtijden Alkmaar – Amsterdam	10
2.2.2	Rijtijden Lelystad – Weesp	11
2.2.3	Rijtijden Utrecht – 's-Hertogenbosch	11
2.2.4	Samenvatting rijtijden alle baanvakken	12
2.2.5	Verklaring resultaten rijtijdefecten	12
2.3	Verhoging baanvaksnelheid naar 160 km/u	13
2.3.1	Scope en methode	13
2.3.2	Resultaten	14
2.3.3	Overige gevolgen 160km/u	14
2.4	Resultaten opvolgtijden	15
2.4.1	Opvolgtijden Alkmaar – Amsterdam	15
2.4.2	Opvolgtijden Lelystad – Weesp	16
2.4.3	Opvolgtijden Utrecht – 's-Hertogenbosch	17
2.4.4	Resultaten opvolgtijden alle baanvakken	17
2.4.5	Verklaring resultaten opvolgtijdefecten	18
3	Reistijden	19
3.1	Van rijtijdwinst naar reistijdwinst - methode	19
3.2	Resultaten reistijdwinst	20
4	Punctualiteit	21
4.1	Simulatiemethode	21
4.2	Toepassing van de methode in deze studie	21
4.3	Resultaten punctualiteit treindienst	23
4.4	Grenzen van de methode	24
5	Effect op geplande investeringen	26
5.1	Effect op investeringspakket PHS	26
6	Alternatieve inzet capaciteitseffecten ERTMS	28
6.1	ERTMS als compensatie voor langere Sprinterhalteertijden	28
6.2	Potentiële reistijdwinsten door kortere aansluitingen	28
7	Mate van blokverdichting	29
7.1	Benodigde capaciteit en blokverdichting	29
7.2	Blokverdichting per baanvakcategorie	31
8	Conclusies	32
Bijlage 1:	Uitgangspunten berekening rij- en opvolgtijden	34

ProRail

Bijlage 2:	Uitgangspunten projectering	35
Bijlage 3:	Gevraagde rijtijden en opvolgsituaties	36
Bijlage 4:	Gebruikte infrastructuur	42
Bijlage 5:	Resultaten rij- en opvolgtijdberekeningen	45
Bijlage 6:	Voorbeelden van incasseerbaarheid netwerksamenhang	46
Bijlage 7:	160km/u: resultaten per traject	48
Bijlage 8:	Gebruikte kansverdelingen simulatie	50
Bijlage 9:	Simulatieresultaten meer detail	51
Bijlage 10:	Simulatieresultaten enkelsporige baanvakken	56
Bijlage 11:	Effect op investeringen	61
Bijlage 12:	ERTMS als compensatie voor langere Sprinterhalteertijden	63
Bijlage 13:	Potentiële reistijdwinsten door kortere aansluitingen	64
Bijlage 14:	Onderbouwing indeling baanvakken	66
Bijlage 15:	Samenvatting externe review door VIA Consulting	68
Bronvermelding		70

Managementsamenvatting

In het kader van de Nota Alternatieven (Railmap ERTMS 3.0) is deze capaciteitsanalyse uitgevoerd. Deze analyse heeft als doel input te genereren voor het afwegingskader en MKBA voor de Nota Alternatieven wat betreft de aspecten die gaan over capaciteit. Deze rapportage beschrijft de resultaten van de studie naar de capaciteitseffecten van ERTMS Level 2. Tevens wordt de aanpak beschreven die gevolgd is om te komen tot de beschreven resultaten. Hieronder volgt een samenvatting van de resultaten.

Uit de analyse van drie baanvakken blijkt dat ERTMS tot capaciteitswinst in termen van rij- en opvolgtijd leidt. Deze winst kan op verschillende manieren worden ingezet, bijvoorbeeld voor het verkorten van de reistijd en het verhogen van de punctualiteit. Hoeveel winst geboekt kan worden varieert sterk per baanvak en per situatie.

Het onderzoek is gebaseerd op een steekproef van 33 opvolg- en overkruistijden en 16 rijtijdberekeningen op 3 baanvakken. Deze 3 baanvakken zijn gekozen omdat deze naar verwachting representatief zijn voor het landelijk beeld. Uit deze steekproef blijkt dat ERTMS tot capaciteitswinst in termen van rij- en opvolgtijd leidt. Deze winst kan op verschillende manieren worden ingezet, bijvoorbeeld voor het verkorten van de reistijd en het verhogen van de punctualiteit. Hoeveel winst geboekt kan worden varieert per baanvak en per situatie. De resultaten zijn gewogen en gemiddeld. Daarna is er een bandbreedte bepaald. Hieronder staan de resultaten weergegeven.

De resultaten van de steekproef laten variatie zien. De verschillen worden voornamelijk veroorzaakt door locatie specifieke kenmerken. De gevonden resultaten worden vertaald naar een verwacht landelijk gemiddelde met bandbreedte. Voor andere baanvakken kunnen de locatiespecifieke winsten buiten de aangegeven bandbreedte vallen.

Rijtijdwinsten ERTMS: gemiddeld en bandbreedte

	laag	middel	hoog
IC	2,0%	2,6%	3,0%
Sprinter	2,3%	3,3%	4,3%

Verhoging baanvaksnelheid naar 160km/u

Bij verhoging van de baanvaksnelheden naar 160km/u kan aanvullende rijtijdwinst geboekt worden. Deze zijn meestal beperkt tot enkele seconden. Op de trajecten Lelystad – Zwolle en Amsterdam Bijlmer – Utrecht is de rijtijdwinst groter dan één minuut.

Reistijden bij behoud huidige maximale baanvaksnelheid

In de volgende tabel zijn de rijtijdwinsten uit bovenstaande tabel vertaald naar reistijdwinsten. Hierbij is uitgegaan van de rijtijdwinsten met huidige maximale baanvaksnelheid. De rijtijdwinsten zijn op meersporige baanvakken vertaald in reistijdwinsten. Hierbij is gecorrigeerd voor afronding naar hele minuten, halteertijd in knooppunten en overstaptijd. Voor enkelsporige baanvakken vertaalt de rijtijdwinst zich niet naar reistijdwinst in verband met wachten op de tegentrein op kruisingsstations. Hier is de rijtijdwinst vertaald naar extra buffer en daarmee naar punctualiteit.

	laag	middel	hoog
IC	1,7%	2,3%	2,6%
Sprinter	2,0%	2,9%	3,7%

Opvolg- en overkruistijdwinsten

De gemiddelde opvolgtijdwinst ligt op basis van de analyses tussen de 15% en 40%, de gemiddelde overkruistijdwinst tussen de 10% en de 20%.

Punctualiteit

De weergegeven resultaten laten zien dat door ERTMS winst in betrouwbaarheid verwacht mag worden als de opvolgtijdwinsten niet gebruikt worden om rijtijdwinsten te incasseren of de treinfrequentie te verhogen. Het verschil tussen het lage, gemiddelde en hoge scenario met ERTMS is daarbij veel kleiner dan het verschil tussen de referentie met NS'54 en het (lage) scenario met ERTMS.

	IC min	punctualiteits- index	Sprinter min	punctualiteits- index	index behaalde reizigers- aansluitingen
NS'54	1,1	100,0	0,6	100,0	100,0
ERTMS laag	0,7	102,5	0,6	100,9	101,7
ERTMS middel	0,6	103,5	0,5	101,1	102,4
ERTMS hoog	0,6	103,9	0,5	101,5	102,7

Voor hoogfrequente dienstregelingen is de inschatting dat het positieve effect van ERTMS groter is dan op de gesimuleerde dienstregeling. Dit effect is niet gekwantificeerd.

Effect op investeringen

Het overgrote deel van de investeringen die in het kader van PHS gepland zijn, is ook met ERTMS noodzakelijk: van het totale investeringsbedrag van € 2097 miljoen is € 1730 miljoen ook met ERTMS nodig. Voor drie projecten met een totaal investeringsbedrag van € 159 miljoen is nader onderzoek nodig om vast te stellen of onderdelen daarvan mogelijk niet meer nodig zijn. Twee projecten (€ 147 mln) worden al onderzocht in het kader van Goederen Oost Nederland, daarover kunnen hier geen uitspraken gedaan worden. Tenslotte hoeven de in PHS opgenomen seinoptimalisaties (€ 61 mln) niet uitgevoerd worden als ERTMS uitgerold wordt.

ERTMS als compensatie voor langere Sprinterhalteertijden

Met langere Sprinterhalteertijden (0,4 naar 0,7 minuut) moeten de IC's in PHS worden uitgebogen om het extra rijtijdverschil op te vangen. Met ERTMS kan eventueel een deel van dit uitbuigen worden voorkomen. Dit betreft 11 baanvakken, waar voor een aantal IC-diensten het uitbuigen met 1 minuut kan worden teruggebracht.

Kortere aansluitingen

Met ERTMS kunnen treinen korter achter elkaar het baanvak op. Hierdoor kunnen aansluitingen, en soms haltingen van doorgaande treinen met aansluitingen, korter worden gepland. In plaats van de opvolgtijdwinst van ERTMS in te zetten voor betrouwbaarheid, kan deze dus ook worden ingezet om reistijden te verkorten. Voor 3 grote knooppunten is onderzocht wat de effecten kunnen zijn.

Onze inschatting is dat door het incasseren van ERTMS opvolgtijdwinsten als compensatie voor langere Sprinterhalteertijden en kortere aansluitingen landelijk nog 10-30% van de in hoofdstuk 4 genoemde punctualiteitswinst over zal blijven.

ProRail

Mate van blokverdichting

Afhankelijk van het verwachte treinverkeer is de maakbaarheid van een dienstregeling en de punctualiteit in meer of mindere mate afhankelijk van korte opvolgtijden. Alle baanvakken op het Nederlandse spoorwegnet zijn in vier categorieën ingedeeld. Voor elke categorie is de benodigde mate van blokverdichting voor een maakbare dienstregeling en een punctuele treindienst ingeschat.

Met de invoering van ERTMS zonder blokverdichting is het mogelijk om een beperkte opvolgtijdwinst te realiseren. Tevens kunnen de hierboven beschreven rijtijdwinsten worden gerealiseerd.

Externe review

in opdracht van het Ministerie van I&M heeft een externe review van voorliggende rapportage plaatsgevonden door VIA Consulting & Development GmbH (rapportage: "Nota Alternativen: Review of capacity benefits", versie 1.01, d.d. 13 februari 2014). De samenvatting uit dit rapport is opgenomen in bijlage 15.

1 Inleiding

In het kader van de Railmap ERTMS 3.0 worden diverse onderzoeken uitgevoerd om het afwegingskader, dat in de Notitie Reikwijdte en Detailniveau staat beschreven, in te vullen. Een aantal van de criteria in het afwegingskader gaan in op de aspecten rondom capaciteit. Deze rapportage beschrijft de resultaten van de studie naar de capaciteitseffecten van ERTMS Level 2. Tevens wordt de aanpak beschreven die gevolgd is om te komen tot de beschreven resultaten.

1.1 Doelstelling

Het doel van de uitgevoerde studie is het beantwoorden van de volgende vragen:

- Wat zijn de effecten van ERTMS Level 2 op de rij- en opvolgtijden ten opzichte van de referentiesituatie met het bestaande seinstelsel 1955 (ook wel NS'54 genoemd) en het bestaande treinbeïnvloedingssysteem Automatische Trein Beïnvloeding Eerste Generatie (ATB-EG)?
- Wat zijn de effecten op de reistijden?
- Wat zijn de effecten van ERTMS Level 2 op de punctualiteit (gevoeligheid voor verstoringen) van de dienstregeling?
- Wat is het effect op geplande investeringen in het kader van PHS?

Daarnaast is onderdeel van deze studie:

- Categorisering baanvakken en knooppunten en effectbepaling ten behoeve van kosten en baten berekeningen.

1.2 Aanpak

Effecten ERTMS

De basis voor de analyses wordt gevormd door gedetailleerde berekeningen van de effecten van ERTMS Level 2 op de technisch minimale rij-, opvolg-, en overkruistijden¹.

De gevonden winsten op rij-, opvolg- en overkruistijdwinsten kunnen op verschillende manieren geïncasseerd worden. Ze kunnen bijvoorbeeld worden ingezet als reistijdwinst, punctualiteitswinst, frequentieverhoging en/of het voorkomen van investeringen in de infrastructuur. In eerste instantie zijn de rijtijdwinsten vertaald in reistijdwinsten en opvolg- en overkruistijdwinsten ingezet voor verhoging van de punctualiteit. In tweede instantie zijn alternatieven onderzocht om de opvolgtijdwinsten niet volledig te gebruiken voor punctualiteitswinst, maar voor het reduceren van geplande PHS-investeringen en/of voor extra reistijdwinst.

Op de enkelsporige baanvakken is rijtijdwinst nauwelijks te incasseren als reistijdwinst, omdat treinen in tegengestelde richtingen elkaar op de kruisingsstations moeten kruisen. Daarom zijn in deze studie de rijtijdwinsten op enkelsporige baanvakken niet vertaald in reistijdwinst, maar wordt de extra speling in de dienstregeling ingezet voor verhoging van de punctualiteit.

¹ Opvolgtijd (overkruistijd): Minimale tijd op een specifieke locatie tussen twee treinbewegingen in dezelfde (tegengestelde) richting die door de combinatie van infrastructuur, beveiliging en treinbewegingen wordt bepaald. De technisch minimale opvolgtijd (overkruistijd) is die opvolgtijd (overkruistijd) waarbij de tweede trein niet gehinderd wordt door zijn voorganger en dus niet geen rijtijdverlies oploopt.

Categorisering van baanvakken en knooppunten

In een aantal ontwerpateliers met experts is voor het gehele Nederlandse spoorwegnet beoordeeld, waar blokverdichting een substantieel effect heeft op de betrouwbaarheid. Hierbij zijn de bekende toekomstige ontwikkelingen als uitgangspunt gehanteerd. De belangrijkste daarvan is PHS.

Het resultaat van deze analyses is een indeling van het spoorwegnet in een aantal categorieën. Vervolgens is per categorie een inschatting gemaakt van de noodzakelijke blokverdichting.

De vertaling van de rij- en opvolgtijdeffecten naar een generiek niveau is gebaseerd op bovenstaande categorieën.

Werkwijze

Naast berekeningen, analyses en simulaties is gebruik gemaakt van expert judgement. De expertise is gebundeld door een aantal ontwerpateliers/workshops te organiseren. Hierin zijn de specialisten uit verschillende kennisgebieden samengebracht om gezamenlijk tot oplossingsrichtingen en uitwerkingen te komen. Vanuit ProRail waren de vakgebieden Railverkeerstechniek, Treinbeveiliging en Vervoersanalyse en Capaciteitsontwikkeling vertegenwoordigd. Daarnaast hebben ook I&M en NS (deels) deelgenomen aan de workshops.

1.3 Opbouw rapport

De resultaten van de rij- en opvolgtijdberekeningen worden beschreven in hoofdstuk 2. Hier wordt ook het effect van rijden met 160 km/u beschreven. De vertaling van de rijtijdeffecten naar effecten op de reistijd wordt beschreven in hoofdstuk 3. De invloed van deze effecten op punctualiteit wordt beschreven in hoofdstuk 4.

In hoofdstuk 5 is het effect op de geplande investeringen in het kader van PHS beschreven. Mogelijkheden om de capaciteitswinsten op een andere manier in te zetten zijn opgenomen in hoofdstuk 6. In hoofdstuk 7 is beoordeeld welke mate van blokverdichting op welk onderdeel van het Nederlandse spoorwegnet nodig is. De conclusies zijn in hoofdstuk 8 te vinden.

2 Rij- en opvolgtijden

2.1 Aanpak en gehanteerde uitgangspunten

Geografische scope

In overleg met experts is de geografische scope van het onderzoek bepaald. In verband met de beschikbare tijd zijn er twee baanvakken gekozen, waarvoor een selectie van maatgevende situaties is doorgerekend. Deze baanvakken zijn:

- Alkmaar – Amsterdam en
- Lelystad – Weesp

De selectie is uitgebreid met resultaten uit de eerdere studie *Capaciteitseffecten ERTMS Level 2* [1] voor het baanvak

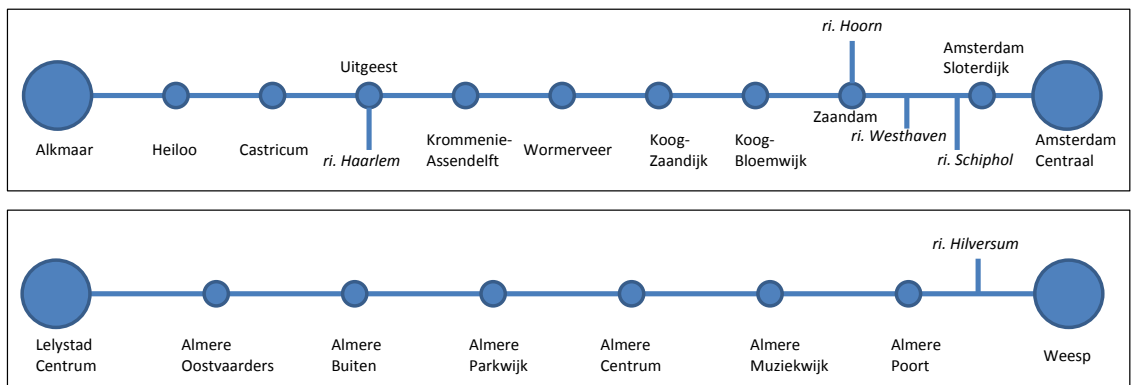
- Utrecht - 's-Hertogenbosch

Bij het bepalen van de steekproef zijn baanvakken geselecteerd die ten aanzien van de huidige infrastructuur representatief zijn voor het Nederlandse spoorwegnet op de volgende criteria:

- Snelheid emplacementen
- Aanwezigheid stopdoorschakelingen op het baanvak
- Mate van blokverdichting
- Leeftijd van de infrastructuur

Op de gekozen baanvakken is ATB-EG aanwezig. De berekeningen zijn uitgevoerd voor één rijrichting. Voor het eerste baanvak is de richting Alkmaar → Amsterdam gekozen, omdat dan de overkruissituaties in Uitgeest meegenomen kunnen worden. Voor het tweede baanvak is de richting Lelystad → Weesp gekozen.

De eindpunten Alkmaar, Amsterdam, Weesp en Lelystad horen bij de scope van de analyse. Hieronder zijn de twee corridors waarvoor in deze studie berekeningen zijn doorgevoerd schematisch weergegeven.



Maatgevende situaties

Het uitgangspunt voor het vaststellen van de berekende rij- en opvolgtijden wordt gevormd door de huidige (2013) lijnvoering en dienstregeling². Op basis daarvan is beoordeeld waar op emplacementen en baanvakken kritische opvolg- en overkruissituaties aanwezig zijn. Deze zijn typisch voor dienstregelingen op het Nederlandse spoorwegnet en worden ook maatgevend geacht voor toekomstige dienstregelingen, zoals PHS. Hieruit is een selectie gemaakt die opgenomen is in bijlage 3. Tevens zijn hierin de uitgangspunten vastgelegd over gebruik van het type en lengte materieel, stopplaatsen en rijroutes.

² De informatie over de toekomstige infrastructuur is niet op voldoende detailniveau beschikbaar.

Dit heeft geresulteerd in een steekproef van 16 rijtijden en 33 opvolg- en overkruistijden (vergelijking NS'54 ATB-EG en ERTMS Level 2) op de drie beschouwde baanvakken.

Selectie rekentool

De rij- en opvolgtijdeffecten zijn, gezien de beschikbare tijd en de gewenste mate van nauwkeurigheid, berekend met behulp van het model Vache. Dit is een model dat specifiek is opgezet voor berekeningen van rij- en opvolgtijden onder NS'54 ATB-EG en ERTMS Level 2. Het model is eerder gebruikt in de studie *Capaciteitseffecten ERTMS Level 2* ('s-Hertogenbosch – Utrecht) [1] waarnaar in de Nota Kansrijke Scenario's is verwezen.

Modellering rij- en opvolgtijdberekeningen

Aan de hand van de vigerende inzichten zijn uitgangspunten vastgesteld voor het berekenen van rij- en opvolgtijden, zoals het te hanteren remmodel ERTMS, de systeemreactietijden, het volgen van de aangeboden remcurves door de machinist etc. (zie bijlage 1)

Kenmerken infrastructuur

De aanwezige infrastructuur op de geselecteerde baanvakken vormt een basis voor de berekeningen. Deze is voor wat betreft het bestaande NS'54 ATB-EG ontwerp vastgelegd op zogenaamde OS- en OBE bladen (zie bijlage 4) en voor wat betreft horizontaal en verticaal alignement op PVS tekeningen.

Projectering ERTMS Level 2

Voor de regels voor projectering en daaruit volgende mogelijkheden voor blokverdichting is voor ERTMS Level 2 aangesloten bij de uitgangspunten zoals in 2010 gehanteerd in de studie *Capaciteitseffecten ERTMS Level 2* [1] en bij de in ontwikkeling zijnde ontwerpvoorschriften voor ERTMS (zie bijlage 2). De bestaande projectering NS'54 ATB-EG is niet geoptimaliseerd. Hierbij moet opgemerkt worden dat de baanvakken Alkmaar – Amsterdam en Lelystad – Weesp gezien de mogelijkheden van NS'54 ATB-EG al een redelijk optimale blokindeling hebben.

Op basis van deze regels en de tekeningen van de infrastructuur is vervolgens een zogenaamd Statisch Snelheidsprofiel³ ERTMS (SSP) opgesteld. Tevens is daar waar nodig (grote hoogteverschillen bij tunnels en bruggen) een ERTMS hellingsegmentering gemaakt. Er is hierbij voor gekozen om de maximale baanvaksnelheid (130km/u op Alkmaar – Amsterdam en Utrecht – 's-Hertogenbosch en 140km/u op Lelystad – Weesp) onder ERTMS te handhaven, omdat investeringen die een baanvak geschikt maken voor een hogere baanvaksnelheid onder ERTMS en onder NS'54 ongeveer gelijk zijn. Te denken valt hierbij aan het geschikt maken van de bovenbouw, het ongelijkvloers maken van overwegen, aanleg van geluidsschermen, e.d.

Vervolgens is bepaald op welke locaties (ERTMS) blokgrenzen aanwezig moeten zijn voor spoorwegveiligheid. Daarna zijn blokgrenzen toegevoegd voor het realiseren van een optimale capaciteit. Ook hierbij is rekening gehouden met veiligheidsnormen conform OVS.

2.2 Resultaten rijtijden

De resultaten zijn in decimalen van minuten weergegeven.

2.2.1 Rijtijden Alkmaar – Amsterdam

De gevonden winsten onder ERTMS Level 2 (L2) op de technisch minimale rijtijden voor het baanvak Alkmaar – Amsterdam zijn in de volgende tabel weergegeven. De gepresenteerde

³ Het Statisch Snelheidsprofiel geeft voor ieder punt op de route van een trein de civieltechnisch maximaal toegestane snelheid weer.

rijtijden zijn inclusief de halteertijden voor de korte stops maar exclusief het stationnement in Amsterdam Sloterdijk.

treintype	traject	rijtijd NS'54 in min	rijtijd L2 in min	winst	IC	Sprinter
IC (Hlo door)	Amr-Asd	30,93	30,15	2,5%	2,5%	
IC (stop Hlo)	Amr-Asd	33,32	32,47	2,6%	2,6%	
Spr (1' op Ass)	Utg-Asd	25,65	24,52	4,4%		4,4%
Spr (2' op Ass)	Utg-Asd	25,65	24,52	4,4%		4,4%
IC (uit Ekz)	Zd-Asd	9,62	9,35	2,8%	2,8%	
IC (uit Ekz)	Zd-Asd	9,50	9,22	3,0%	3,0%	
IC (uit Hlm)	Amr-Utg	15,32	15,10	1,4%	1,4%	
gemiddeld					2,5%	4,4%

2.2.2 Rijtijden Lelystad – Weesp

De rijtijdwinsten in de volgende tabel voor het baanvak Lelystad – Weesp zijn inclusief halteertijden voor korte stops en exclusief eventuele lange stationnementen in Almere Centrum en Weesp.

treintype	traject	rijtijd NS'54 in min	rijtijd L2 in min	winst	IC	Sprinter
IC	Lls-Wp	20,93	20,32	2,9%	2,9%	
IC	Lls-Wp	20,93	20,25	3,3%	3,3%	
Spr	Lls-Wp	29,65	29,00	2,2%		2,2%
Spr	Almo-Wp	21,82	21,22	2,8%		2,8%
Spr	Almo-Mdba	19,45	18,97	2,5%		2,5%
gemiddeld					3,1%	2,5%

2.2.3 Rijtijden Utrecht – 's-Hertogenbosch

In de eerdere studie *Capaciteitseffecten ERTMS Level 2* [1], is in 2010 het baanvak Utrecht – 's-Hertogenbosch geanalyseerd. Als één van de uitgangspunten voor deze studie is de toenmalige infrastructuur op dit baanvak genomen. Deze infrastructuur is in de tussentijd gewijzigd en zal ook de komende jaren nog veranderen (noordzijde 's-Hertogenbosch, VleuGel, DSSU, vrij leggen Merwede-Lingelijn, etc). De hier overgenomen resultaten uit deze studie gelden voor de infrastructuur uit 2010. De nieuwe infrastructuur wordt, onder NS'54, aangelegd met betere rij- en opvolgtijden dan de oude infra. Hierdoor zullen op dit baanvak de ERTMS-winsten (t.o.v. de dan geldende infrasiuatie) minder zijn dan de in 2010 gevonden winsten. Bovendien zijn de opvolgsituaties anders dan ten tijde van de studie.

De hieronder gegeven winsten zijn dus niet representatief voor de te verwachten winsten op het huidige of toekomstige baanvak Utrecht – 's-Hertogenbosch, maar kunnen wel gezien worden als uitbreiding van de steekproef. Reden is dat er in Nederland andere baanvakken zijn die ten tijde van de uitrol van ERTMS soortgelijke karakteristieken hebben als Utrecht – 's-Hertogenbosch in 2010.

De rijtijden uit de studie Utrecht – 's-Hertogenbosch zijn in onderstaande tabel exclusief de halteertijd te Geldermalsen aangegeven.

treintype	traject	rijtijd NS'54 in min	rijtijd L2 in min	winst	IC	Sprinter
IC	Ut-Ht	26,08	25,48	2,3%	2,3%	
Spr	Ut-Ht	33,87	32,72	3,4%		3,4%
goederen stop	Ut-Ht	42,47	41,32	2,7%		
goederen door	Ut-Ht	37,78	37,42	1,0%		
gemiddeld					2,3%	3,4%

2.2.4 Samenvatting rijtijden alle baanvakken

De gemiddelde winst op de berekende rijtijden op alle drie baanvakken samen, waarbij de resultaten gewogen zijn met de frequentie waarmee de betreffende trein per uur rijdt, is weergegeven in onderstaande tabel⁴. Onze inschatting, op basis van de (beperkte) steekproef is, dat landelijk gezien de gemiddelde rijtijdswinst voor IC's tussen de 2% en 3% zal liggen en voor Sprinters tussen de 2,3% en 4,3%.

	laag	middel	hoog
IC	2,0%	2,6%	3,0%
Sprinter	2,3%	3,3%	4,3%

Uit de steekproef blijkt dat per baanvak en situatie de individuele winsten nogal variëren.

2.2.5 Verklaring resultaten rijtijdeffecten

Voorgaande paragrafen laten zien dat er bij elk van de berekende rijtijden in meer of mindere mate sprake is van winst onder ERTMS Level 2 in vergelijking met de bestaande situatie van NS'54 ATB-EG. Hiervoor zijn de volgende verklaringen:

- In sommige situaties is in het verleden bij het aanleggen van de NS'54-beveiliging de snelheid uit kostenoverwegingen op 40 km/uur gehouden terwijl civieltechnisch een hogere snelheid mogelijk is. Een voorbeeld hiervan is spoor 1 te Uitgeest bij vertrek richting Zaandam. Hier geldt bestaand een snelheid van 40 km/uur terwijl de infrastructuur geschikt is voor 80 km/uur. In de projectering (SSP) van Level 2 is dit geïncasseerd met rijtijdswinst tot gevolg.
- Remopdrachten in verband met snelheidsbeperkingen in wissels of naar het einde van de rijweg ('rood sein' voorbij een perron op een emplacement of voor een overweg voorbij een halte op een baanvak) worden in NS'54 met lichtseinen opgedragen waarbij rekening wordt gehouden met treinen die minimaal beremd zijn. Remmingen in verband met snelheidsbeperkingen in bogen, worden veelal opgedragen door snelheidsverminderingborden. In Level 2 hoeft zo'n remopdracht niet meer bij een blokgrens of snelheidsverminderingbord gegeven te worden maar pas bij de start van de remcurve die rekening houdt met de remeigenschappen van de betreffende trein. Dit betekent dat de remming pas later (tot een aantal honderden meters) hoeft te worden ingezet. Dit levert rijtijdswinst op, met name in het snelheidsbereik (tot 100 km/uur) waarin in NS'54 rekening wordt gehouden met relatief slecht beremde goederentreinen.

⁴ Als de winst wordt berekend als som van alle bovenstaande ERTMS-rijtijden versus de som van alle bovenstaande NS'54-rijtijden blijft het resultaat hetzelfde.

- Het punt waarop een snelheidsvermindering in NS'54 bereikt moet zijn, ligt meestal bij de blokgrens voorafgaand aan de locatie waar de lagere snelheid daadwerkelijk bereikt moet zijn. Het gaat dan bijvoorbeeld om een lichtsein dat 200 meter voor een wissel staat. In ERTMS kan het snelheidsprofiel zo gemaakt worden dat de lagere snelheid pas vlak voor het wissel bereikt hoeft te zijn.
- Het snelheidsprofiel in NS'54 met ATB-EG kent slechts een aantal snelheidsstappen die bewaakt kunnen worden: 40, 60, 80, 130 en 140 km/uur. Dit beperkt de mogelijkheid de snelheden die civieltechnisch mogelijk zijn, nauwkeurig te definiëren. In ERTMS is snelheidsbewaking in stappen van 5 km/uur mogelijk. De meer nauwkeurige beschrijving van het snelheidsprofiel die hierdoor ontstaat, levert rijtijdwinst op.
- In ERTMS kan op een emplacement waar rijwegen met (civieltechnisch) verschillende snelheden voorkomen, de snelheid eenvoudig per rijweg gedefinieerd worden. In NS'54 is vaak gekozen (vanwege eenvoud en kosten) om emplacementen integraal één snelheid toe te kennen, namelijk de snelheid van de rijweg met de laagste snelheid. Een voorbeeld hiervan is Almere. Hier geldt bestaand een integrale snelheid van 80 km/uur, omdat dit de maximale snelheid voor sporen 1 en 4 is. In Level 2 is de snelheid van de sporen 1 en 4 op 80 km/uur gehouden, maar op de sporen 2 en 3 is de snelheid verhoogd naar 140 km/uur resulterend in rijtijdwinst voor de treinen die op deze sporen aankomen en vertrekken.

2.3 Verhoging baanvaknelheid naar 160 km/u

De meeste reizigerstreinen in Nederland kunnen maximaal 160km/u rijden, maar deze snelheid wordt door het huidige ATB-EG-systeem niet beveiligd. Met ERTMS kunnen in stappen van 5km/u alle snelheden tussen 0 en 600km/u worden beveiligd, dus ook 160km/u.

2.3.1 Scope en methode

Voor zeven baanvakken is met behulp van het dienstregelingmodel DONS het effect berekend van een verhoging van de baanvaknelheid naar 160 km/u. Deze baanvakken zijn gekozen omdat de infrastructuur met beperkte aanpassingen geschikt te maken is voor deze baanvaknelheid. Het gaat om de volgende baanvakken:

- Weesp – Almere Centrum
- Almere Centrum – Lelystad
- Lelystad – Zwolle
- Boxtel – Eindhoven
- Den Haag – Leiden
- Leiden – Schiphol
- Amsterdam Bijlmer – Utrecht

Per baanvak wordt de incasseerbare rijtijdwinst in drie stappen bepaald:

- *Theoretische winst*: voor de verschillende baanvakken is een rijtijdberekening gedaan voor zowel de huidige snelheid als voor de situatie met 160km/u. De winst voor IC's is daarbij afhankelijk van de aanzetbeperking (om te grote stroomafname te voorkomen). Daarom is er bij IC's een interval aangegeven.
- *Praktische winst*: bij korte stukjes 160km/u (of bij Sprinters met korte halte-afstand) wordt het aanzetten (bijna) meteen gevolgd door afremmen. Dit heeft twee belangrijke gevolgen:
 - Machinisten gaan niet aanzetten tot maximum
 - Er ontstaat meer spreiding in de uitvoeringHierdoor is de praktische winst minder.

- *Incasseerbaarheid*: afhankelijk van de dienstregelingstructuur op het baanvak is de praktische winst wel, niet of gedeeltelijk incasseerbaar⁵.

2.3.2 Resultaten

De resultaten per baanvak zijn in onderstaande tabel samengevat. In bijlage 7 is per baanvak een korte toelichting te vinden. Randvoorwaarde is dat de luchtdrukproblematiek in de Drontermeertunnel opgelost moet zijn. Indien niet aan deze voorwaarde wordt voldaan, zal de winst voor Lelystad – Zwolle beperkter zijn.

incasseerbare rijtijdwinst door het rijden van 160km/u		
in minuten	IC	Spr
Weesp - Almere Centrum	0	0
Almere Centrum - Lelystad Centrum	0,6	0,6
Lelystad Centrum - Zwolle	2,0 - 2,4	1,7
Boxtel - Eindhoven	0	0
Den Haag - Leiden Centraal	0 - 0,3	0
Leiden Centraal - Schiphol	0	0
Amsterdam Bijlmer - Utrecht C	1,1 - 1,3	0,4

Toelichting rijtijdwinst: de snelheidsparadox

Hoe hoger de originele snelheid, hoe minder effectief een snelheidsverhoging wordt: van 40km/u naar 60km/u win je 30 seconden per kilometer, van 140km/u naar 160km/u win je 3 seconden per kilometer. Zo levert bijvoorbeeld een snelheidsverhoging van 160km/u naar 250km/u op de HSL tussen Rotterdam en Breda 2 minuten op.

RIJTIJDWINST PER KILOMETER IN SECONDEN										
	km/u	verhoogde baanvaknelheid (km/u)								
		60	80	100	120	140	160	180	200	220
oorspronkelijke baanvaknelheid	40	30	45	54	60	64	68	70	72	74
	60		15	24	30	34	38	40	42	44
	80			9	15	19	23	25	27	29
	100				6	10	14	16	18	20
	120					4	8	10	12	14
	140						3	6	8	9
	160							3	5	6
	180								2	4
	200									4
	220									2

2.3.3 Overige gevolgen 160km/u

Doorrijden langs perron

Langs sporen die geschikt zijn voor een passeersnelheid hoger dan 160km/u mogen geen nieuwe perrons worden aangelegd.

Onder voorwaarden mag er met meer dan 140km/u lang perrons worden gereden:

- 80cm brede markering langs de perronrand
- voldoende resterende perronruimte
- visuele aankondiging van elke (snelle) trein
- auditieve aankondiging van elke (snelle) trein

Voor de exacte details omtrent doorrijden langs het perron zie ontwerpvoorschrift OVS00067.

⁵ Hierbij is alleen gekeken naar de dienstregelingstructuur op het betreffende baanvak. Of de winst in een landelijke dienstregeling geïncasseerd zou kunnen worden, hangt mede af van de overige baanvakken. Dit valt buiten de scope van deze studie.

ProRail

Energieverbruik

Bij aanzetten naar 160km/u verbruikt een trein 10% tot ruim 20% meer energie dan bij 140km/u⁶.

Bij extra aanzetten (zoals bijvoorbeeld tunnel Best, Drontermeertunnel) zullen de verschillen groter zijn.

Geluid en trillingen

De geluidsproductie neemt lineair toe met de snelheid: 160km/u is 15% luider dan 140km/u en 20% luider dan 130km/u⁷.

Ook trillingen nemen toe met de snelheid.

2.4 Resultaten opvolgtijden

2.4.1 Opvolgtijden Alkmaar – Amsterdam

De berekende opvolg- en overkruistijden tussen reizigerstreinen op Alkmaar-Amsterdam zijn in onderstaande tabellen weergegeven.

Overkruistijden:

	trein 1	activiteit	trein 2	activiteit	NS'54	L2	winst
Utg	Spr	V	Spr	A	3,48	3,10	11%
Utg	IC	D	IC	A	3,53	3,20	9%
gemiddelde							10%

Opvolgtijden Aankomst-Aankomst:

	trein 1	activiteit	trein 2	activiteit	NS'54	L2	winst
Zd	Spr	A	IC	A	1,80	1,55	14%
Asd	IC	A	IC	A	3,82	3,15	17%
Asd	IC	A	Spr	A	2,52	2,27	10%
Asd	Spr	A	IC	A	2,25	1,70	24%
gemiddelde							19%

Opvolgtijden Vertrek-Vertrek:

	trein 1	activiteit	trein 2	activiteit	NS' 54	L2	winst
Amr	IC	V	IC	V	2,65	1,85	30%

Opvolgtijden Aankomst-Doorkomst:

	trein 1	activiteit	trein 2	activiteit	NS'54	L2	winst
Zd	Spr	A	IC	D	2,00	1,33	33%

Opvolgtijden Doorkomst-Vertrek:

	trein 1	activiteit	trein 2	activiteit	NS'54	L2	winst
Utg	IC	D	Spr	V	1,43	1,22	15%

⁶ Bron: Berekeningen door ProRail Innovatie en Duurzame Ontwikkeling en Movares.

⁷ Bron: Uitgangspunten voor geluidsberekeningen van ProRail VACO.

Perronopvolgingen⁸:

	trein 1	activiteit	trein 2	activiteit	NS'54	L2	winst
Zd	Spr	V	IC	A	2,72	1,90	30%
Zd	IC	D	IC	A	2,62	2,05	22%
Asd	IC	V	IC	A	2,95	2,90	2%
Asd	IC	V	IC	A	2,63	2,62	1%
Asd	Spr	V	Spr	A	2,05	1,68	18%
gemiddelde							14%

Piektijd⁹:

	trein 1	activiteit	trein 2	activiteit	NS'54	L2
Utg	IC	A	goederen	V	-0,32	-0,37

Opvolgtijden met goederen:

	trein 1	activiteit	trein 2	activiteit	NS'54	L2	winst
Zd	Spr	A	goederen	D	1,68	1,32	22%
Zd	goederen	D	IC	A	2,17	1,97	9%

2.4.2 Opvolgtijden Lelystad – Weesp

Overkruistijden:

	trein 1	activiteit	trein 2	activiteit	NS'54	L2	winst
Almo	Spr	V	Spr	A	3,25	2,58	21%
Almo	Spr	V	Spr	A	3,25	2,58	21%
gemiddelde							21%

Opvolgtijden Vertrek-Vertrek:

	trein 1	activiteit	trein 2	activiteit	NS'54	L2	winst
Lls	IC	V	IC	V	2,15	1,78	17%
Almo	Spr	V	Spr	V	3,50	2,62	25%
Almm	Spr	V	Spr	V	3,40	2,73	20%
gemiddelde							21%

Opvolgtijden Aankomst-Aankomst:

	trein 1	activiteit	trein 2	activiteit	NS'54	L2	winst
Almo	Spr	A	Spr	A	2,25	1,60	29%

⁸ Perronopvolgtijd: Minimale tijd tussen het vertrek van de eerste en de aankomst van de tweede trein op hetzelfde perronspoor.

⁹ Piektijd: Minimale tijd tussen de aankomst van de eerste trein en het vertrek van de tweede in tegengestelde richting op verschillende perronsporen met conflicterende bewegingen.

Opvolgtijden Doorkomst-Vertrek:

	trein 1	activiteit	trein 2	activiteit	NS'54	L2	winst
Almo	IC	D	Spr	V	1,00	0,87	13%

Opvolgtijden Door-Door:

	trein 1	activiteit	trein 2	activiteit	NS'54	L2	winst
Mbga	Spr	D	IC	D	1,48	1,35	9%

Perronopvolgingen:

	trein 1	activiteit	trein 2	activiteit	NS'54	L2	winst
Alm	IC	V	Spr	A	3,17	2,90	8%
Alm	Spr	V	Spr	A	2,67	1,77	34%
Wp	Spr	V	Spr	A	2,65	2,23	16%
gemiddelde							19%

Piektijd:

	trein 1	activiteit	trein 2	activiteit	NS'54	L2
Almo	Spr	A	Spr	V	0,30	0,23

2.4.3 Opvolgtijden Utrecht – 's-Hertogenbosch

In paragraaf 2.2.3 is al verwezen naar de resultaten uit [1]. Ook voor de opvolgtijdwinsten geldt dat ze niet representatief zijn voor de te verwachten winsten op het huidige of toekomstige baanvak Utrecht – 's-Hertogenbosch, maar wel gezien kunnen worden als uitbreiding van de steekproef. Er zijn in Nederland immers andere baanvakken die ten tijde van de uitrol van ERTMS soortgelijke karakteristieken hebben als Utrecht – 's-Hertogenbosch in 2010.

	trein 1	activiteit	trein 2	activiteit	NS'54	L2	winst
Ht	Spr	A	IC	A	2,37	1,47	38%

	trein 1	activiteit	trein 2	activiteit	NS'54	L2	winst
Ut	IC	V	Spr	V	2,68	1,70	37%

	trein 1	activiteit	trein 2	activiteit	NS'54	L2	winst
Gdm	Spr	A	IC	D	1,33	0,8	40%

	trein 1	activiteit	trein 2	activiteit	NS'54	L2	winst
Gdm	IC	D	Spr	V	1,52	0,9	41%

2.4.4 Resultaten opvolgtijden alle baanvakken

De gemiddelde opvolgtijdswinst op de drie baanvakken samen, waarbij de resultaten gewogen zijn met het aantal keren per uur dat de betreffende situatie in het BUP 2013 voorkomt, bedraagt 25%. De op dezelfde manier gewogen en gemiddelde overkruistijdswinst bedraagt 15%.

Onze inschatting op basis van de (beperkte) steekproef is dat de gemiddelde opvolgtijdswinst landelijk gezien tussen de 15% en 40% zal liggen.

Voor overkruistijden is landelijk gezien een bandbreedte tussen de 10% en de 20% gemiddelde winst ingeschat.

De gemiddelde winst op perronopvolgtijden bedraagt 16%.

Uit de steekproef blijkt dat per baanvak en situatie de individuele winsten nogal variëren. De schattingen voor de (landelijke) gemiddelden laten dus geen uitspraak toe over andere individuele baanvakken.

2.4.5 Verklaring resultaten opvolgtijdeffekten

Voorgaande paragrafen laten zien dat er bij elk van de berekende opvolgtijden sprake is van winst onder ERTMS Level 2 in vergelijking met de bestaande situatie onder NS'54 ATB-EG. Hiervoor zijn de volgende verklaringen:

- De eerste verklaring zit in de verbetering van de rijtijden, zoals nader verklaard in paragraaf 2.2.5, treinen houden daardoor een blok korter bezet.
- Bij opvolgtijden geldt dat het verdichten van blokken de opvolgtijd kan verkleinen. In NS'54 geldt dat indien hierdoor blok lengtes korter worden dan nodig om te remmen van de plaatselijke snelheid naar stop, er extra remopdrachten gegeven moeten worden in voorafgaande lichtseinen. Deze remopdrachten, die soms al twee kilometer voorafgaand aan de locatie waar de opdracht behaald moet zijn wordt gegeven, beperken juist weer de opvolgtijden. In ERTMS speelt dit niet, en levert een extra blok altijd winst op. Op locaties waar snelheden gelden waarbij rekening wordt gehouden met goederentreinen, zijn de ERTMS remcurves beduidend korter dan de NS'54 blok lengtes. Daar is de winst relatief groot.
- In NS'54 is de minimale blok lengte die op dit moment toegepast mag worden, 400 meter. In ERTMS kunnen kleinere blokken toegepast worden. In onze analyse zijn we uitgegaan van 200 meter.
- In Level 2 gelden minder beperkingen voor het maken van blokken dan in NS'54. Het is daardoor eenvoudiger een voor de capaciteit optimale blok indeling te maken. In situaties met complexe wisselstraten, zoals bijvoorbeeld direct ten westen en oosten van de perrons van Amsterdam, is het echter ook in ERTMS Level 2 nauwelijks mogelijk een optimale blok indeling te maken en blijft de winst beperkt.

3 Reistijden

In hoofdstuk 2 zijn rijtijdwinsten onderzocht. Voor de reiziger is echter de reistijd van belang. Deze bestaat uit de rijtijd verhoogd met een spelingspercentage en afgerond naar hele minuten, halteertijd in knooppunten en overstaptijd.

Een belangrijk aandachtspunt in deze studie is de verdeling van de gevonden rij- en opvolgtijdwinsten tussen “reistijdwinst” en “betrouwbaarheid”.

In eerste instantie is het uitgangspunt dat rijtijdwinsten zich vertalen naar reistijdwinsten en de opvolgtijdwinsten naar punctualiteit.

Dit hoofdstuk maakt een vertaling van de gevonden rijtijdwinsten naar reistijdwinsten voor de reiziger. Het gaat hierbij om de rijtijdwinsten uit paragraaf 2.2 met de huidige maximale baanvaknelheid. Rijtijdwinsten die mogelijk zijn door 160km/u te rijden, zijn in dit hoofdstuk niet meegenomen.

3.1 Van rijtijdwinst naar reistijdwinst - methode

Enkelspoor en meersporige baanvakken

Op de enkelsporige baanvakken moeten treinen op de aanwezige kruisingsstations hun tegentrein passeren. De aanwezige infrastructuur vormt daarmee voor elke dienstregeling een beperking, waardoor rijtijdwinst moeilijk/niet te incasseren is als reistijdwinst. De rijtijdwinst is in deze studie meegenomen in de punctualiteitswinsten in hoofdstuk 4.

Daarnaast zijn de meeste enkelsporige baanvakken voorzien van ATB-NG. Dit beveiligingssysteem bewaakt de snelheid in stappen van 10km/u en is voorzien van remcurvebewaking. Daarmee zullen de rijtijdwinsten op deze baanvakken kleiner zijn dan in paragraaf 2.2 beschreven.

Voor meersporige baanvakken wordt onderscheid gemaakt tussen reistijd tussen knooppunten, en reistijd over knooppunten heen.

Reistijd tussen knooppunten

Tussen knooppunten is de rijtijdwinst bijna één op één incasseerbaar als reistijdwinst¹⁰. Hierbij is het uitgangspunt dat onder ERTMS nog dezelfde 5% rijtijdspeling worden vereist als onder NS'54. Er is ook geen aanleiding om aan te nemen, dat onder ERTMS met minder rijtijdspeling kan worden volstaan. Ook al wordt onder ERTMS de machinist door remcurves geholpen om een bepaald snelheidsprofiel te volgen, blijkt uit ervaring in het buitenland, dat de variatie in rijtijd eerder toe- dan afneemt, zodra remcurves door het systeem aan de machinist aangeboden worden¹¹.

Onder NS'54 wordt de rijtijd inclusief speling tussen blokpunten afgerond naar hele minuten. Uitgangspunt is dat dit onder ERTMS ook het geval is. Daardoor komt er per blokpunt gemiddeld 0,5 minuut rijtijd bij, waarover geen ERTMS winst geboekt kan worden. Om het aandeel van de afrondingsminuten aan de totale reistijd te kwantificeren, hebben we in het basisuurpatroon (BUP) 2013 het aantal blokpunt passages voor alle treinseries geteld, en de totale rijtijd voor alle treinseries in het BUP door deze gedeeld. Dit levert ca. 19,9 minuten gemiddelde rijtijd tussen twee blokpunten op. Tussen twee blokpunten wordt gemiddeld 0,5 minuut als afronding toegevoegd, dat is een aandeel van ca. 2,5% op de totale rijtijd tussen knooppunten.

Incasseerbaarheid in netwerksamenhang

Over knooppunten heen hangt de incasseerbaarheid van de rijtijdwinst in de dienstregeling af van de netwerksamenhang. Met andere (kortere) rijtijden zal een nieuwe landelijke

¹⁰ Dit geldt alleen zolang de Sprinters minimaal zoveel rijtijd winnen als de IC's, maar dat blijkt ook het geval.

¹¹ Bron: ProRail Verkeersleiding Prestatieanalysebureau

dienstregeling ontworpen moeten worden. Op sommige plaatsen zullen de nieuwe rijtijden beter passen, op andere plaatsen komen de nieuwe rijtijden minder gunstig uit. In het eerste geval kan het zijn dat de reistijdwinst over de knoop heen groter is dan de rijtijdwinsten, in het tweede geval kan de rijtijdwinst niet over de knoop heen worden geïncasseerd.

In een landelijke uitwerking betreft dit zoveel situaties dat de tegenvallers en meevallers tegen elkaar wegvallen en de rijtijdwinst bij reizen over knooppunten heen gemiddeld één keer geïncasseerd kan worden. Dit is gebaseerd op expert judgement. Waar de tegenvallers zitten, en waar de meevallers, is zonder verdere studie niet aan te geven. In bijlage 6 zijn verschillende voorbeelden te vinden van situaties waar rijtijdwinsten al dan niet geïncasseerd kunnen worden over de knopen heen.

Totale reistijd

Voor de totale gemiddelde reis geldt dat 6,4% van de reistijd gevormd wordt door overstaptijd en 4,3% van de reistijd op grote stations gehalteerd wordt¹². Een aandeel van 89,3% van de reistijd is daarmee rijtijd tussen knooppunten. Zoals boven vermeld, is een aandeel van 2,5% van deze tijd afronding naar hele minuten. Rijtijdwinst kan dus alleen over de resterende 97,5% van de 89,3%, d.w.z. over 87,1% van de totale reistijd geboekt worden.

3.2 Resultaten reistijdwinst

Uitgaand van een winst van 2,6% op de technisch minimale rijtijden uit paragraaf 2.2.4 voor IC's is de gemiddelde winst op de totale reistijd $87,1\% \times 2,6\% = 2,3\%$. Voor de onder- en bovenkant van de bandbreedte en de Sprinters is de winst in onderstaande tabel weergegeven.

	laag	middel	hoog
IC	1,7%	2,3%	2,6%
Sprinter	2,0%	2,9%	3,7%

¹² Bron; ProRail Capaciteitsverdeling Prognose, Ontwerp en Verkeer. Deze percentages zijn gemiddelden over alle gemaakte reizen in 2011.

4 Punctualiteit

Door invoering van ERTMS Level 2 zullen de technisch minimale opvolg- en overkruistijden afnemen. Zoals in hoofdstuk 1 beschreven, zijn deze winsten naar extra buffer in de dienstregeling vertaald. De buffers beïnvloeden de interactie tussen treinen in het geval van verstoringen en verminderen het doorgeven van verstoringen tussen treinen. Om het effect van ERTMS op de gevoeligheid voor verstoringen te kwantificeren is een netwerksimulatie met de simulatiesoftware SIMONE uitgevoerd.

De simulatiemethode met SIMONE wordt in paragraaf 4.1 in het algemeen beschreven, de toepassing ervan in deze studie in paragraaf 4.2. De resultaten van de simulatie worden in paragraaf 4.3 gepresenteerd. De grenzen van de gekozen methode en de vertaling van de resultaten naar hoogfrequente dienstregelingen zijn in paragraaf 4.4 beschreven.

4.1 Simulatiemethode

SIMONE is een door ProRail en NSR ontwikkeld model, waarmee het mogelijk is om in korte tijd en met weinig detailinformatie landelijke dienstregelingen te simuleren. SIMONE neemt een dienstregeling uit het dienstregelingmodel DONS over, samen met de door DONS berekende technisch minimale rijtijden. Voor de technisch minimale ongehinderde opvolgtijden worden de landelijk geldende normwaarden uit DONS overgenomen, hierop wordt een bepaald percentage buffer verondersteld. De resulterende technisch minimale opvolgtijden worden in SIMONE voor onverstoorde en verstoorde situaties gebruikt.

In de simulatie wordt rekening gehouden met het feit dat rij- en halteertijden in de praktijk niet vast zijn, maar een variabel karakter hebben: weersomstandigheden, drukte op de perrons, machinistengedrag en dergelijke zorgen voor fluctuaties in de procestijden. Deze fluctuaties noemen we verstoringen, en worden in een simulatie gemodelleerd met lotingen uit kansverdelingen. Voor elke loting rekent het model uit hoe deze verstoringen in de gegeven dienstregeling doorgegeven worden als vertragingen, zowel op de trein die verstoord wordt, als op andere treinen.

De resultaten van de simulaties hangen af van de grootte van de verstoringen: hoe groter de verstoringen hoe lager de punctualiteit. In een eerdere studie [2] heeft ProRail in samenwerking met NSR en het consultancy bureau CQM een landelijke studie gedaan naar de grootte van verstoringen met als resultaat de zogenaamde standaardtoets.

4.2 Toepassing van de methode in deze studie

Gesimuleerde scenario's

Met SIMONE is het basisuurpatroon (BUP) van de dienstregeling 2013 voor vier scenario's gesimuleerd: de referentiesituatie met NS'54, en drie scenario's voor ERTMS met verhoogde buffers: één scenario met lage, één met gemiddelde en één met hoge winst op opvolg- en overkruistijden.

Ongewijzigde dienstregeling

In de simulatie is de dienstregeling voor ERTMS gezien de korte doorlooptijd van de studie ongewijzigd ten opzichte van de referentie. Dit is acceptabel, omdat voor de punctualiteit op de baanvakken niet de absolute rijtijden, maar de rijtijdverschillen tussen IC's en Sprinters bepalend zijn. Gezien de grotere rijtijdwinst voor Sprinters dan voor IC's in paragraaf 2.2 nemende rijtijdverschillen echter iets af. Dat heeft een positief effect op de buffer die in de simulatie niet meegenomen wordt. Daardoor worden de punctualiteitseffecten van ERTMS Level 2 (naar verwachting beperkt) onderschat.

Opvolgtijden op meersporige baanvakken

Voor de drie ERTMS-scenario's wordt ervan uitgegaan dat ERTMS Level 2 landelijk uitgerold is. De buffers op opvolg- en overkruistijden zijn aangepast o.b.v. de resultaten uit de opvolg- en overkruistijdberekeningen (zie paragraaf 2.4.4). Daarbij sluit het gemiddelde scenario aan bij de gevonden gewogen gemiddelden voor de opvolg- en overkruistijdwinsten. Voor het lage en hoge scenario zijn hogere cq. lagere winsten op opvolg- en overkruistijden verondersteld. Het lage scenario is vergelijkbaar met de onderkant van de aangegeven bandbreedte van de berekende opvolg- en overkruistijdwinsten, het hoge scenario met de bovenkant. Winsten op perronopvolgtijden zijn voor alle drie scenario's constant gelaten, omdat het effect hiervan in de eerste simulaties beperkt bleek. De grootte van de winst komt ongeveer overeen met het gevonden gemiddelde uit paragraaf 2.4.4.

Enkelsporige baanvakken

Zoals in hoofdstuk 1 beschreven, wordt de rijtijdwinst op enkelsporige baanvakken niet naar reistijdwinst, maar naar punctualiteitswinst vertaald. De reden hiervoor is dat op enkelsporige baanvakken de reistijd onder ERTMS voor de meeste reizigers niet afneemt, omdat treinen toch bij de kruisingsstations op de tegentrein moeten wachten. Maar de verminderde rijtijd zorgt voor extra buffer en deze vertaalt zich in verbeterde punctualiteit. In de simulatie zijn de technisch minimale rijtijden voor treinen die grotendeels op enkelspoor rijden verlaagd conform de gemiddelde rijtijdwinst voor Sprinters uit paragraaf 2.2.4. De veronderstelde winsten op de verschillende procestijden voor de drie gesimuleerde ERTMS-scenario's zijn in onderstaande tabel samengevat.

veronderstelde winst per scenario	opvolg-tijden	overkruis-tijden	perron-opvolgtijden	rijtijden op enkelspoor
ERTMS laag	15%	9%	15%	3,5%
ERTMS middel	25%	15%	15%	3,5%
ERTMS hoog	35%	21%	15%	3,5%

Aangepaste standaardtoets

Voor de verstoringen zijn de resultaten uit [2] gehanteerd. In deze studie is 30% buffer op de normwaarden voor opvolg- en overkruistijden voor de situatie met NS'54 ATB verondersteld. Huidige inzichten op basis van berekende opvolgtijden voor bestaande situaties met het ROBERTO¹³ blijkt de buffer op de normopvolg- en overkruistijden landelijk gemiddeld ongeveer 20%. Met een verstoringniveau van 90% van de standaardtoets en 20% buffer op normopvolg- en overkruistijden blijkt de resulterende punctualiteit ongeveer gelijk te zijn aan de punctualiteit van de standaardtoets. Daarom is in de referentiesituatie van de voorliggende studie uitgegaan van 20% buffer op de normwaarden voor opvolg- en overkruistijden en 90% van het verstoringniveau van de standaardtoets. Het verstoringniveau wordt uiteraard in alle simulaties voor deze studie constant gehouden. Voor de gebruikte verstoringen, zie bijlage 8.

Instelwaarden buffer in SIMONE

De opvolg- en overkruistijdwinst onder ERTMS is voor de simulatie vertaald naar verhoogde buffer op de opvolg- en overkruistijden op meersporige baanvakken in SIMONE. In het gemiddelde scenario is de buffer op normwaarden voor opvolgtijden aangepast naar $20\% + (100\% - 20\%) \times 25\% = 40\%$, de buffer op normwaarden voor overkruistijden wordt $20\% + (100\% - 20\%) \times 15\% = 32\%$. Op de enkelsporige baanvakken is de buffer op opvolg- en overkruistijden niet veranderd ten opzichte van de referentiesituatie.

¹³ Rij- en OpvolgtijdBERekeningstool van ProRail

Replicaties

Er zijn per scenario 150 replicaties gedraaid. Eén replicatie bestaat uit 5 opeenvolgende spitsuren. Alle resultaten zijn gemiddelden over alle replicaties en over alle gesimuleerde uren.

Output

Als output worden de gemiddelde 3-minuten aankomst-punctualiteit, i.e. het aandeel treinen dat hoogstens 3 minuten te laat aankomt, en de gemiddelde treinvertraging geleverd voor reizigerstreinen op de drukke stations. Hierin wordt onderscheid gemaakt tussen IC's en Sprinters en tussen treinen die grotendeels op enkelspoor rijden vs. treinen op dubbelsporige baanvakken. Landelijk wordt bovendien het percentage behaalde aansluitingen geleverd. De resultaten van de analyse zijn middels expert judgement vertaald naar de PHS situatie.

4.3 Resultaten punctualiteit treindienst

Meersporige baanvakken

In deze paragraaf zijn de resultaten voor treinen weergegeven die op meersporige baanvakken rijden. In onderstaande tabel is voor NS'54 en voor ERTMS de volgende informatie voor treinen op meersporige baanvakken vergeleken:

- Vertragingminuten IC/Sprinter op drukke stations – gemiddeld over alle aankomsten op zulke stations en gemiddeld over alle runs van de simulatie
- 3-minuten punctualiteit (aandeel treinen met hooguit 3 minuten vertraging) IC/Sprinter op drukke stations – op dezelfde manier gemiddeld en geïndexeerd
- In verband met de bandbreedte van de opvolgtijdwinsten ERTMS is onderscheid gemaakt in drie scenario's: een scenario met lage winst, één met gemiddelde winst en één met hoge winst.
- De resultaten per station zijn in bijlage 8 te vinden.

	IC		Sprinter		index behaalde reizigers-aansluitingen
	min	punctualiteits-index	min	punctualiteits-index	
NS'54	1,1	100,0	0,6	100,0	100,0
ERTMS laag	0,7	102,5	0,6	100,9	101,7
ERTMS middel	0,6	103,5	0,5	101,1	102,4
ERTMS hoog	0,6	103,9	0,5	101,5	102,7

De weergegeven resultaten voor de drie ERTMS-scenario's laten zien dat door ERTMS winst in betrouwbaarheid verwacht mag worden als de opvolgtijdwinsten niet gebruikt worden om rijtijdwinsten te incasseren of de treinfrequentie te verhogen. Het verschil tussen het lage, gemiddelde en hoge scenario is daarbij veel kleiner dan het verschil tussen de referentie met NS'54 en het (lage) scenario met ERTMS. De betrouwbaarheidswinsten voor de IC's zijn ook groter dan die van de Sprinters. De reden hiervoor is dat het opvolgen van treinen de belangrijkste oorzaak voor vertraging is. Met de kortere opvolgtijden onder ERTMS wordt het doorgeven van vertragingen bij treinopvolgingen verminderd. Het effect is voor de IC's groter dan voor de Sprinters, omdat deze vaak achter een vertraagde Sprinter op een knooppunt binnen komen.

Enkelsporige baanvakken

Voor enkelsporige baanvakken zijn de resultaten in onderstaande tabel gepresenteerd. Hierbij geldt een belangrijke disclaimer:

De gepresenteerde punctualiteitswinst is te hoog om twee redenen:

1. De simulatie geeft de huidige punctualiteit op enkelsporige baanvakken te pessimistisch weer. Op de baanvakken waar de processen tussen twee kruisingsstations ("ruitjes") krap

gepland zijn, is een veel te lage punctualiteit in vergelijking met de metingen in de uitvoering te zien. Waarschijnlijk komt dat omdat machinisten zich bewust zijn van de krapte en al iets sneller rijden of al iets uitgesteld remmen (onder ATB-NG) terwijl dat (nog) niet toegestaan is. Ook verkeersleiding heeft bijzondere aandacht voor deze treinen, waardoor ze het in de praktijk beter doen dan in het model.

2. In het model zijn de verstoringen op halteren en vertrekken op enkelspoor lager dan op de overige baanvakken. Uit een lopend onderzoek blijkt echter, dat ze nog lager moeten zijn. Als gevolg daarvan wordt de winst door ERTMS op de enkelsporige baanvakken overschat.

	min	punctualiteits- index
NS'54	1,2	100,0
ERTMS laag	0,5	109,0
ERTMS middel	0,5	109,7
ERTMS hoog	0,5	110,0

Voor meer detail zie bijlage 10.

4.4 Grenzen van de methode

Gehinderde opvolgtijden

De simulatie met SIMONE is een redelijk grove methode die geschikt is voor studies, waarin weinig detailinformatie over de te simuleren situatie bekend is. De interactie tussen treinen in de simulatie is dan ook op basis van alleen de ongehinderde opvolg- en overkruistijden gemodelleerd. In een verstoorde situatie spelen echter de gehinderde tijden een belangrijke rol. De verwachting is dat de treinen onder ERTMS juist in de gehinderde situatie veel dichter op elkaar kunnen rijden dan onder NS'54. In de gekozen aanpak wordt het effect van ERTMS op dit punt onderschat.

Steekproef

De landelijk veronderstelde winsten op opvolg- en overkruistijden en op rijtijden op enkelsporige baanvakken zijn gebaseerd op een steekproef van een beperkt aantal (drie) baanvakken. Om de variatie in resultaten van opvolgtijden te koppelen aan de betrouwbaarheid zijn drie verschillende scenario's doorgerekend. Desalniettemin kan het zijn dat de betrouwbaarheid na realisatie van ERTMS afwijkt van voorliggende studie.

Grote incidenten

In de simulatie worden alleen de kleinere vertragingen gesimuleerd en hoe deze uitdempen in de gesimuleerde dienstregeling. Dit zijn vertragingen waarop de verkeersleiding nog niet hoeft bij te sturen (andere routing, opheffen van treinen, volgordewisselingen etc). Bij grote incidenten zal in de praktijk de verkeersleiding wel ingrijpen en zullen treinen een andere route rijden of zal de dienstregeling bewust aangepast worden. Deze incidenten zijn in de simulaties niet meegenomen. Hierdoor geven de simulatieresultaten slechts een deel van de daadwerkelijke dispunctualiteit weer.

Hoogfrequente dienstregelingen

In verband met de beschikbaarheid van de benodigde informatie en de beschikbare tijd is ervoor gekozen om het BUP 2013 te simuleren om tot een vertaling te komen van opvolgtijdwinsten naar punctualiteitswinsten.

Een hoogfrequente dienstregeling, zoals in PHS beoogd, is gevoeliger voor het doorgeven van vertragingen tussen verschillende treinen, omdat de treinen dichter op elkaar gepland zijn. Omdat er meer kritische opvolgsituaties zijn in een hoogfrequente dienstregeling, hebben grotere buffers op meer locaties en situaties een positieve invloed. Daardoor is naar onze

ProRail

inschatting het punctualiteitseffect van ERTMS op een hoogfrequente dienstregeling groter dan het effect op de huidige dienstregeling. Dit geldt natuurlijk alleen als de positieve opvolgtijdeffecten niet in de dienstregeling geïncasseerd worden. Hoe groot het effect is, kan op basis van de beschikbare informatie niet ingeschat worden.

5 Effect op geplande investeringen

5.1 Effect op investeringspakket PHS

Voor het maatregelenpakket uit PHS is onderzocht of de geplande maatregelen nog nodig zijn als ERTMS wordt ingevoerd. Daarbij is onderzocht of kortere opvolgtijden een oplossing voor de in PHS geconstateerde knelpunten bieden. Dit is gebeurd op basis van expert judgement. Daarbij zijn de knelpunten verdeeld in drie categorieën:

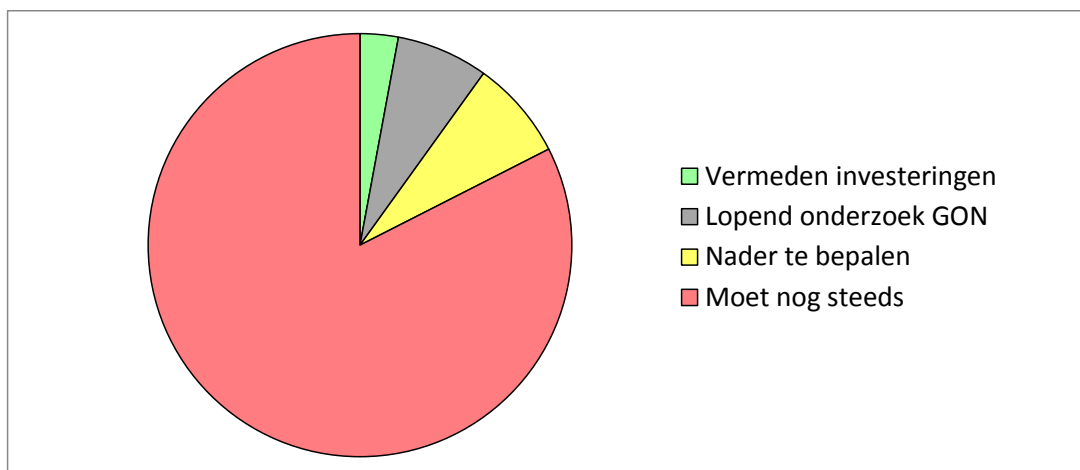
- Knelpunt kan door ERTMS worden opgelost.
- Knelpunt kan niet door ERTMS worden opgelost. (Opvolgtijd speelt geen dominante rol).
- Knelpunt kan mogelijk (deels) door ERTMS worden opgelost. Daarvoor is nader onderzoek nodig.

Uit de analyse blijkt dat de meeste PHS-projecten nog steeds nodig zijn. Twee projecten zijn nog in studie in het kader van Goederen Oost Nederland (Velperbroekaansluiting en Zutphen). Drie andere zijn interessant om verder te analyseren. Om te bepalen of deze maatregelen nog nodig zijn met ERTMS, is een (nieuwe) capaciteitsanalyse o.b.v. exacte ERTMS-opvolgtijden noodzakelijk. Het betreft

- Elst vrije kruising
- Tilburg 4^e perronspoor
- Liempde vrije kruising

Dit resulteert in de volgende indeling van het totale PHS-budget:

• Vermeden investeringen	€ 61 mln
• Lopend onderzoek GON	€ 147 mln
• Nader te bepalen ("interessant")	€ 159 mln
• Moet nog steeds	€ 1730 mln
Totaal	€ 2097 mln



Ook voor de overige maatregelen in PHS, zoals tractie- en energievoorzieningen, transfer, geluid etc., is een kwalitatieve inschatting gemaakt van de gevolgen van ERTMS op de bijbehorende kosten. Met name snelheidsverhoging kan op verschillende punten leiden tot kostenverhoging. Dit dient echter nader onderzocht te worden. In bijlage 11 is een overzicht gegeven van de beoordeling per project.

ProRail

Opmerking: indien de door ERTMS verkorte opvolgtijden worden ingezet om investeringen in infrastructuur te voorkomen, dan kunnen rond dit project geen betrouwbaarheidsbaten worden geïncasseerd.

6 Alternatieve inzet capaciteitseffecten ERTMS

6.1 ERTMS als compensatie voor langere Sprinterhalteertijden

In de uitwerking PHS is oorspronkelijk uitgegaan van 0,4 minuut halteertijd voor SLT-sprinters op kleine stations. Inmiddels wordt uitgegaan van 0,7 minuut¹⁴ halteertijd. Hierdoor moeten de IC's worden uitgebogen¹⁵ om het extra rijtijdverschil ten opzichte van de Sprinters op te vangen. Met ERTMS kan eventueel een deel van dit uitbuigen worden voorkomen. Deze potentiële ERTMS-effecten zijn opgenomen in onderstaand tabel.

Baanvak	voorkomen uitbuigen	voor treinen
Wm-Asd	1'	6/u IC Amr-Ut-Ehv
Asd-Asb	1'	6/u IC Amr-Ut-Ehv + 1/u ICE
Ut-Ht	1'	6/u IC Asd-Ut-Ehv
Hn-Asd	1'	2/u spits en spitsrichting
Hd-Ut	1'	2/u IC Amf-Ut
Gd-Gvc	1'	4/u IC Ut-Gvc
Dv-Hgl	1'	6/dag IC Berlijn
Ut-Ed	1'	6/u IC Shl-Ut-Ah
Dtz-Rlb	1'	2/u IC Asd-Ddr
Bd-Tb	1'	2/u IC Gvc-Ehv + 2/u IC Rsd-Ah-Zl
Rvs-Ah-Zp	1'	4/u IC Nm-Ah-Ut-Shl + 2/u Rsd-Ah-Zl

Opmerking: indien de door ERTMS verkorte opvolgtijden worden ingezet om verlengde Sprinterhalteertijden op te vangen, dan kunnen rond dit traject geen betrouwbaarheidsbaten worden geïncasseerd.

6.2 Potentiële reistijdwinsten door kortere aansluitingen

Met kortere opvolgtijden kunnen treinen korter achter elkaar het baanvak op. Hierdoor kunnen ook aansluitingen, en soms haltingen van doorgaande treinen met aansluitingen, korter worden gepland. In plaats van de opvolgtijdwinst van ERTMS in te zetten voor betrouwbaarheid, kan deze dus ook worden ingezet om reistijden te verkorten.

De belangrijkste locaties met potentieel kortere aansluitingen zijn Utrecht Centraal, Eindhoven en Zwolle. Een beperkte kwantificering is te vinden in bijlage 13.

Als Sprinters worden ingehaald (door IC's) staan ze vaak langer stil dan wenselijk voor de doorgaande Sprinterreizigers. Deze inhalingen kunnen korter gepland worden als opvolgtijden afnemen. Denk hierbij bijvoorbeeld aan Weesp.

Opmerking: indien de door ERTMS verkorte opvolgtijden worden ingezet om reistijdwinsten door kortere aansluitingen te incasseren, dan kunnen rond de betreffende locaties geen betrouwbaarheidsbaten worden geïncasseerd.

Onze inschatting is dat na het incasseren van de in paragraaf 6.1 en 6.2 beschreven reistijdwinsten landelijk nog 10-30% van de in hoofdstuk 4 genoemde punctualiteitswinst overblijft.

¹⁴ Uit praktijkanalyse blijkt dat de SLT-halteertijd gemiddeld 0,7 minuut is.

¹⁵ Het is onduidelijk of uitbuigen past binnen de structuur PHS-dienstregeling.

7 Mate van blokverdichting

Door de invoering van ERTMS-Level 2 op het Nederlandse spoorwegnet nemen de opvolgtijden af. De mate van opvolgtijdwinst hangt onder andere af van de blokverdichting. Ondanks dat opvolgtijdwinst overal in Nederland een positieve bijdrage levert aan het treinproduct, is dit op de ene locatie belangrijker dan op de andere.

In dit hoofdstuk wordt een indeling van het spoorwegnet in categorieën gepresenteerd met bijbehorende kwantificering van de blokverdichting en de effecten op reistijd en punctualiteit.

7.1 Benodigde capaciteit en blokverdichting

Afhankelijk van het verwachte treinverkeer is de maakbaarheid en betrouwbaarheid van de dienstregeling op een baanvak in meer of mindere mate afhankelijk van de opvolgtijden. In een aantal ontwerpdelingen met experts is voor het gehele Nederlandse spoorwegnet per baanvak en knooppunt beoordeeld welke mate van blokverdichting met ERTMS noodzakelijk is. Alle baanvakken op het Nederlandse spoorwegnet zijn in vier categorieën ingedeeld. Hierbij zijn de bekende toekomstige ontwikkelingen als uitgangspunt gehanteerd. De belangrijkste daarvan is PHS.

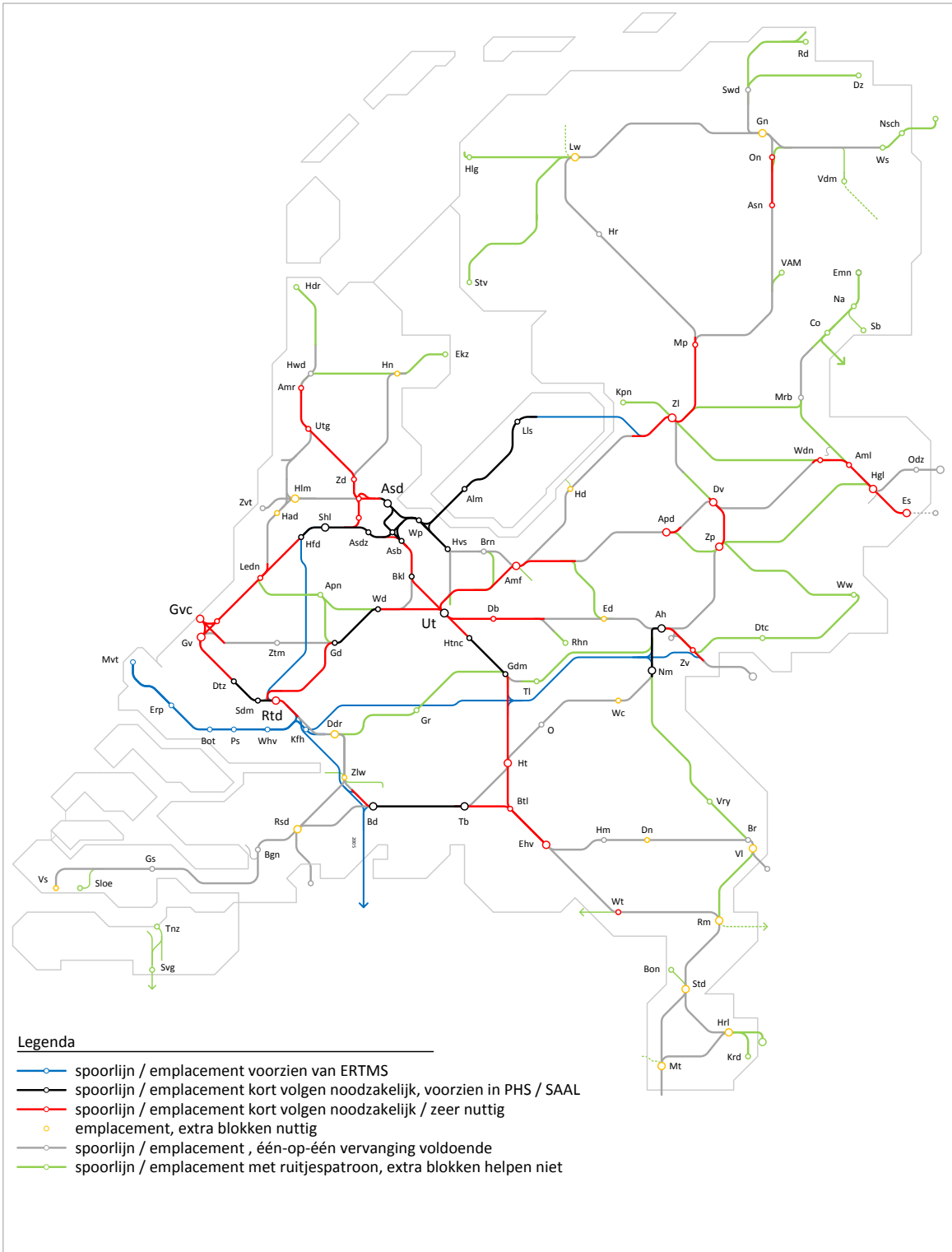
Het resultaat van deze analyses is een indeling van het spoorwegnet in een aantal categorieën. Vervolgens is per categorie op basis van expert judgement een kwantificering gemaakt van de noodzakelijke blokverdichting.

Met de invoering van ERTMS zonder blokverdichting is het mogelijk om een beperkte opvolgtijdwinst te realiseren. Tevens kunnen de hierboven beschreven rijtijdwinsten worden gerealiseerd.

categorie	achtergrond infra en dienstregeling
blauw	ERTMS is al aanwezig
zwart	intensief bereden baanvakken met veel korte opvolgingen, ook
rood	onderweg. Zwart is al voorzien in PHS / SAAL; rood nog niet
geel	minder intensief bereden baanvakken, maar rond de knopen korte opvolgingen
grijs	baanvakken met weinig kritische opvolgingen
groen	enkelspoor met ruitjespatroon; extra blokken helpen niet

Voor alle baanvakken en emplacementen is bepaald in welke categorie deze vallen. De resultaten hiervan zijn terug te vinden in de netwerkkaart op de volgende pagina. Een korte toelichting per baanvak is te vinden in bijlage 14.

Spoorwegkaart Nederland Baanvakindeling blokverdichting ERTMS L2



7.2 Blokverdichting per baanvakcategorie

Op basis van de met Vache geoptimaliseerde opvolg- en overkruistijden (zie hoofdstuk 2) en de daarbij bepaalde blokindeling (projectering) is een inschatting gemaakt van de benodigde mate van blokverdichting per baanvakcategorie. Dit is weergegeven in onderstaande tabel.

categorie	mate van blokverdichting bij invoering ERTMS-L2
blauw	geen aanpassing van blokindeling
zwart	intensief blokverdichten t.o.v. huidig
rood	<ul style="list-style-type: none">• vrije baan: gemiddelde blok lengte ca. 1000m, waarbij naar schatting 20% van de bestaande blok grenzen blijven liggen;• emplacementen: huidige blok grenzen handhaven en twee extra blok grenzen toevoegen per emplacement, per rijrichting en per rechterspoor.
geel	<ul style="list-style-type: none">• emplacementen: huidige blok grenzen handhaven en twee extra blok grenzen toevoegen per emplacement, per richting en per rechterspoor: 70 - 75 extra blok grenzen in totaal• op de vrije baan huidige blok indeling voldoende
grijs	huidige blok indeling voldoende
groen	huidige blok indeling voldoende

Reistijd en Punctualiteit

Naar verwachting kan met bovengenoemde mate van blokverdichting overal waar dat nodig is kort worden gevolgd. Hiermee kunnen die in hoofdstuk 3 en 4 beschreven effecten voor alle categorieën worden bereikt.

8 Conclusies

Uit de analyse van drie baanvakken blijkt dat ERTMS tot capaciteitswinst in termen van rij- en opvolgtijd leidt. Deze winst kan op verschillende manieren worden ingezet, bijvoorbeeld voor het verkorten van de reistijd en het verhogen van de punctualiteit. Hoeveel winst geboekt kan worden varieert sterk per baanvak en per situatie.

Het onderzoek is gebaseerd op een steekproef van 33 opvolg- en overkruistijden en 16 rijtijdberekeningen op 3 baanvakken. Deze 3 baanvakken zijn gekozen omdat deze naar verwachting representatief zijn voor het landelijk beeld. Uit deze steekproef blijkt dat ERTMS tot capaciteitswinst in termen van rij- en opvolgtijd leidt. Deze winst kan op verschillende manieren worden ingezet, bijvoorbeeld voor het verkorten van de reistijd en het verhogen van de punctualiteit. Hoeveel winst geboekt kan worden varieert per baanvak en per situatie. De resultaten zijn gewogen en gemiddeld. Daarna is er een bandbreedte bepaald. Hieronder staan de resultaten weergegeven.

De resultaten van de steekproef laten variatie zien. De verschillen worden voornamelijk veroorzaakt door locatie specifieke kenmerken. De gevonden resultaten worden vertaald naar een verwacht landelijk gemiddelde met bandbreedte. Voor andere baanvakken kunnen de locatiespecifieke winsten buiten de aangegeven bandbreedte vallen.

Rijtijdwinsten ERTMS: gemiddeld en bandbreedte

	laag	middel	hoog
IC	2,0%	2,6%	3,0%
Sprinter	2,3%	3,3%	4,3%

Verhoging baanvaksnelheid naar 160km/u

Bij verhoging van de baanvaksnelheden naar 160km/u kan aanvullende rijtijdwinst geboekt worden. Deze zijn meestal beperkt tot enkele seconden. Op de trajecten Lelystad – Zwolle en Amsterdam Bijlmer – Utrecht is de rijtijdwinst groter dan één minuut.

Reistijden bij behoud huidige maximale baanvaksnelheid

In de volgende tabel zijn de rijtijdwinsten uit bovenstaande tabel vertaald naar reistijdwinsten. Hierbij is uitgegaan van de rijtijdwinsten met huidige maximale baanvaksnelheid. De rijtijdwinsten zijn op meersporige baanvakken vertaald in reistijdwinsten. Hierbij is gecorrigeerd voor afronding naar hele minuten, halteertijd in knooppunten en overstaptijd. Voor enkelsporige baanvakken vertaalt de rijtijdwinst zich niet naar reistijdwinst in verband met wachten op de tegentrein op kruisingsstations. Hier is de rijtijdwinst vertaald naar extra buffer en daarmee naar punctualiteit.

	laag	middel	hoog
IC	1,7%	2,3%	2,6%
Sprinter	2,0%	2,9%	3,7%

Opvolg- en overkruistijdwinsten

De gemiddelde opvolgtijdwinst ligt op basis van de analyses tussen de 15% en 40%, de gemiddelde overkruistijdwinst tussen de 10% en de 20%.

Punctualiteit

De weergegeven resultaten laten zien dat door ERTMS winst in betrouwbaarheid verwacht mag worden als de opvolgtijdwinsten niet gebruikt worden om rijtijdwinsten te incasseren of de treinfrequentie te verhogen. Het verschil tussen het lage, gemiddelde en hoge scenario met

ERTMS is daarbij veel kleiner dan het verschil tussen de referentie met NS'54 en het (lage) scenario met ERTMS.

	IC punctualiteits- min index	Sprinter punctualiteits- min index	index behaalde reizigers- aansluitingen
NS'54	1,1	100,0	100,0
ERTMS laag	0,7	102,5	101,7
ERTMS middel	0,6	103,5	102,4
ERTMS hoog	0,6	103,9	102,7

Voor hoogfrequente dienstregelingen is de inschatting dat het positieve effect van ERTMS groter is dan op de gesimuleerde dienstregeling. Dit effect is niet gekwantificeerd.

Effect op investeringen

Het overgrote deel van de investeringen die in het kader van PHS gepland zijn, is ook met ERTMS noodzakelijk: van het totale investeringsbedrag van € 2097 miljoen is € 1730 miljoen ook met ERTMS nodig. Voor drie projecten met een totaal investeringsbedrag van € 159 miljoen is nader onderzoek nodig om vast te stellen of onderdelen daarvan mogelijk niet meer nodig zijn. Twee projecten (€ 147 mln) worden al onderzocht in het kader van Goederen Oost Nederland, daarover kunnen hier geen uitspraken gedaan worden. Tenslotte hoeven de in PHS opgenomen seinoptimalisaties (€ 61 mln) niet uitgevoerd worden als ERTMS uitgerold wordt.

ERTMS als compensatie voor langere Sprinterhalteertijden

Met langere Sprinterhalteertijden (0,4 naar 0,7 minuut) moeten de IC's in PHS worden uitgebogen om het extra rijtijdverschil op te vangen. Met ERTMS kan eventueel een deel van dit uitbuigen worden voorkomen. Dit betreft 11 baanvakken, waar voor een aantal IC-diensten het uitbuigen met 1 minuut kan worden teruggebracht.

Kortere aansluitingen

Met ERTMS kunnen treinen korter achter elkaar het baanvak op. Hierdoor kunnen aansluitingen, en soms haltingen van doorgaande treinen met aansluitingen, korter worden gepland. In plaats van de opvolgtijdwinst van ERTMS in te zetten voor betrouwbaarheid, kan deze dus ook worden ingezet om reistijden te verkorten. Voor 3 grote knooppunten is onderzocht wat de effecten kunnen zijn.

Onze inschatting is dat door het incasseren van ERTMS opvolgtijdwinsten als compensatie voor langere Sprinterhalteertijden en kortere aansluitingen landelijk nog 10-30% van de in hoofdstuk 4 genoemde punctualiteitswinst over zal blijven.

Mate van blokverdichting

Afhankelijk van het verwachte treinverkeer is de maakbaarheid van een dienstregeling en de punctualiteit in meer of mindere mate afhankelijk van korte opvolgtijden. Alle baanvakken op het Nederlandse spoorwegin zijn in vier categorieën ingedeeld. Voor elke categorie is de benodigde mate van blokverdichting voor een maakbare dienstregeling en een punctuele treindienst ingeschat.

Met de invoering van ERTMS zonder blokverdichting is het mogelijk om een beperkte opvolgtijdwinst te realiseren. Tevens kunnen de hierboven beschreven rijtijdwinsten worden gerealiseerd.

Bijlage 1: Uitgangspunten berekening rij- en opvolgtijden

Zie "Bijlage 1_Uitgangspunten berekeningen rij en opvolgtijden ERTMS capaciteitsanalyse.pdf", P702650.

Bijlage 2: Uitgangspunten projectering

Zie "Bijlage 2_Uitgangspunten Projecteringsregels ERTMS capaciteitsanalyse.pdf", P702652.

Bijlage 3: Gevraagde rijtijden en opvolgsituaties

Bronnen:

- Lijnvoering, stationnementen: BUP spits/ochtendspits eind 2012 (op prorail.nl)
- rijroutes: Infra-Monitor met 20120914_BUP_20121209-BD-009-1e-wbl en INFRA_20121209_BD_20120608, perron en doorrijsporen uit BSO's ochtendspits 1e wbl drgl 2013 per 9-12-12 (op prorail.nl)
- Goederen: info uit BUP en van CV-POV
- reizigersmaterieel: standaard voor alle baanvakken gekozen (hoeft niet overeen te komen met dienstregeling)
- stopplaatsen: midden trein bij trap, of kop/achterkant trein bij einde perron, info van OBE-bladen railmaps, 21-10 2013
- OBE-OS-bladen voor Vache: raildocs, stand 15-12-2013 (= laatste stand voor 2014)

Baanvak Alkmaar-Amsterdam

- Gekozen rijrichting: Alkmaar->Amsterdam; reden: meenemen overkruis treinen ri. Asd met IC Hlm -> Hn in Utg + in Zd lijken beide rijrichtingen even interessant i.v.m. vork.
- Gedetailleerdere rijroutes: zie rijwegen Amr-Asd.docx

Lijnvoering, stationnementen, materieel																		
Treintype	Serie	Freq.	Van	Naar	stops binnen scope (met halteertijd in min; korte stop als niets vermeld)										materieel	halteertijd korte stop in min	lengte mat in meter	
IC	3000	2	Hdr	Nm	Amr (2')		Cas						Zd	Ass (2')	Asd (5')	VIRM10	0.9	270
IC	800	2	Sgn	Mt	Amr (3')	Hlo	Cas						Zd	Ass (2')	Asd (4')	VIRM10	0.9	270
Spr	4700	2	Utg	Rhn					Kma	Wm	Kzd	Kbw	Zd	Ass (1')	Asd (3')	SLT10	0.7	170
Spr	4700	2	Rhn	Utg	...	Kzd	Wm									SLT10	0.7	170
Spr	4000	2	Utg	Rtd					Kma	Wm	Kzd	Kbw	Zd	Ass (2')	Asd (4')	SLT10	0.7	170
IC	1500	2	Enk	Dv									-	Ass (2')	Asd (10')	VIRM10	0.9	270
IC	14500	2	Ekz	Asd									-	Ass (1')	Asd (2')	VIRM10	0.9	270
Spr	3300	2	Hnk	Hfd									Zd	Ass (1')		SLT10	0.7	170
IC	3400	2	Hn	Hlm	Amr (2')	Hlo	Cas	Utg	Bv							VIRM10	0.9	270
IC	3400	2	Hlm	Hn	Bv	Utg	Cas	Hlo	Amr (2')							VIRM10	0.9	270
goederen	BVUA		Utg	Hrpa		Utg (kopmaken)										Class 66, 1200t, 85km/u		255

stopplaatsen/meetpunten				
Station/halte	km lint	km kop IC	km kop Spr	km kop goederen
Amr sp 4 en 5	Hdr-Asd	42035		
Hlo	Hdr-Asd	47233		
Cas	Hdr-Asd	54025		
Utg sp 1b bij vertrek	Hdr-Asd		57941	
Utg sp 4b bij vertrek	Hdr-Asd		57941	
Utg sp 4b bij aankomst uit Zd	Hdr-Asd		57771	
Utg sp 3	Hdr-Asd	57889		
Utg sp 1a ri. Amr/Hn	Hdr-Asd		57525	
Utg sp 7	Hdr-Asd			57926
Kma	Hdr-Asd	62588	62538	

ProRail

Wm	Hdr-Asd	65250	65200	
Kzd	Hdr-Asd	67835	67785	
Kbw	Hdr-Asd	68974	68974	
Zd sp 4 en 5	Hdr-Asd	71288	71288	
Hmta	Zd-Sgra	175256	175256	175256
Ass sp 5/6	Zd-Sgra	178783	178733	
Ass sp 10	Rdwa-Aeg		201385	
Asd spoor 4b	Awhv-Asd		80971	
Asd spoor 5a	Awhv-Asd	80773		
Asd spoor 5b	Awhv-Asd	80981		
Asd spoor 10b	Awhv-Asd	80916		

rijroutes: perron-/doorrij-/VB-sporen per treinserie								
serie	route							
3000	Amr sp 5	Utg sp 3	Wm sp 3	Zd sp 4	hemtunnel TK	hrpa TD	Ass sp 5	Asd sp 5b
800	Amr sp 5	Utg sp 3	Wm sp 3	Zd sp 4	hemtunnel TK	hrpa TD	Ass sp 5	Asd sp 5b
4700 ri. Rhn		Utg sp 1b	Wm sp 3	Zd sp 4	hemtunnel TK	hrpa TD	Ass sp 5	Asd sp 4b
4700 ri. Utg	Wm sp 2	Utg sp 4b						
4000		Utg sp 4b	Wm sp 3	Zd sp 5	hemtunnel TL	hrpa TE	Ass sp 6	Asd sp 4b
1500			Zdk sp 1	Zd sp 5	hemtunnel TL	hrpa TE	Ass sp 6	Asd sp 10b
14500			Zdk sp 1	Zd sp 4	hemtunnel TK	hrpa TD	Ass sp 5	Asd sp 5a
3300			Zdk sp 1	Zd sp 5	hemtunnel TL	hrpa TE	Ass sp 10	
3400 ri. Hlm	Amr sp 4	Utg sp 3	Bv sp 3					
3400 ri. Hn	Bv sp 5	Utg sp 1a	Amr sp 2					
BVUA		Utg sp 7 (kopmaken vanuit Bv)	Wm sp 3	Zd sp 406	hemtunnel TL	hrpa TH-TF		

rijtijdberekening	
blokpunten	Amr, Utg, Zd, Asd
rijtijden voor alle treinen in rijrichting Amr->Asd per etappe en gecumuleerd tussen blokpunten	
hierbij geldt: etappes worden gescheiden door haltes/stations en aansluitingen waarvoor kilometering boven aangegeven	

ProRail

opvolgingen en overkruissituaties					
opvolgtijden en overkruistijden meten bij stopplaatsen van betreffende treinen,					
bij doorkomst: stopplaats van dezelfde treinsoort op doorrijspoor aanhouden					
dienstregelpunt	serie 1	activiteit	serie 2	activiteit	opmerking
Amr	3000	V	3400 ri. Hlm	V	
Utg	3000	D	4700	V	
	4700 ri. Rhn	V (sp 1b)	4700 ri. Utg	A (sp 4b)	overkruis
	3000	D	3400 ri. Hn	A	overkruis
	3400 ri. Hn	A	4700 ri. Utg	A (sp 4b)	overkruis
	3400 ri. Hn	A	BVUA	V	overkruis
	4700 ri. Rhn	V	BVUA	V	
	BVUA	V	800	D	
Zd	4000	A	3000	A	
	3300	A	14500	D	
	4700	V	800	A	perronopvolging
	14500	D	3000	A	perronopvolging
<i>(het middenspoor TK van de hemtunnel wordt in de ochtendspits maar in één richting gebruikt => geen overkruissituaties; wellicht geldt voor avondspits hetzelfde)</i>					
Hrpa	<i>(uittakken goederen al in opvolgingen Utg verwerkt)</i>				
Ass	<i>(in Asd verwerkt)</i>				
Asd	800	A	14500	A	(versch. perronfases)
	14500	A	4000	A	
	4000	A	3000	A	
	14500	V	3000	A	perronopvolging: 14500 wegrangeren via 6b, 7c, en dan naar spoor 74?
	3000	V	800	A	perronopvolging: 3000 vertrekt via sporen 5c, 70, MU
	4000	V	4700	A	perronopvolging: 4000 vertrekt via sporen 5c, 70, MU

Baanvak Lelystad-Weesp, rijrichting Weesp

- Gekozen rijrichting: Lelystad -> Weesp; reden: de richtingen onderscheiden zich niet in overkruissituaties; richting Asdz past iets beter bij de capaciteitsanalyse SAAL.

Lijnvoering, stationnementen, materieel																	
Treintype	Serie	Freq.	Van	Naar	stops binnen scope (met halteertijd in min; korte stop als niets vermeld)									materieel	halteertijd korte stop in min	lengte mat in meter	
IC	700	2	Gn/Lw	Gvc	Lls (1')				Alm (1')					Dvd (1')	VIRM10	0.9	270
IC	2600	2	Lls	Vs (via Asd)	Lls (2')				Alm (2')					Asd (op rood)	VIRM10	0.9	270
Spr	4600	2	Zl	Asd	Lls (1')	Almo	Almb	Almp	Alm (1')	Almm	Ampo	Wp (2')			SLT10	0.7	170
Spr	4300	2	Almo	Ledn			Almb	Almp	Alm	Almm	Ampo	Wp (4')			SLT10	0.7	170
Spr	4900	2	Almo	Ut			Almb	Almp	Alm (1')	Almm	Ampo	Ndb			SLT10	0.7	170
Spr	4300	2	Ledn	Almo	Almp	Almb									SLT10	0.7	170
Spr	4900	2	Ut	Almo	Almp	Almb									SLT10	0.7	170

stopplaatsen/meetpunten			
Station/halte	km lint	km kop IC	km kop Spr
Lls	Wp-Llso	39819	39869
Almo vertrek ri. Wp	Wp-Llso	21761	21811
Almo aankomst uit ri. Wp	Wp-Llso		21981
Almb	Wp-Llso	19907	19931
Almp	Wp-Llso	16854	16899
Alm sp 1 en 2	Wp-Llso	15012	15112
Almm	Wp-Llso	12940	12982
Ampo	Wp-Llso	9015	9065
Mbga	Wp-Llso	2203	2203
Wp	Asd-Zp	12855	12955

rijroutes: perron-/doorrij-/VB-sporen per treinserie					
serie	route				
700	Lls sp 1	Almo sp 1	Alm sp 1	Mbga: FO-FN	Wp sp 6
2600	Lls sp2	Almo sp 1	Alm sp 2	Mbga: FO-FN	Wp sp 6

ProRail

4600	Lls sp1	Almo sp 1	Alm sp 2	Mbga: FO-FN	Wp sp 6
4300 ri. Ledn		Almo sp 2	Alm sp 1	Mbga: FO-FN	Wp sp 6
4900 ri. Ut		Almo sp 3	Alm sp 2	Mbga: FO-893-892-GF	Ndb sp 3
4300 ri. Almo	Almb sp 2	Almo sp 3			
4900 ri. Almo	Almb sp 2	Almo sp 2			

rijtijdberekening	
blokpunten:	Lls, Wp
rijtijden voor alle treinen in rijrichting Lls->Wp per etappe en gecumuleerd tussen blokpunten	
hierbij geldt: etappes worden gescheiden door haltes/stations en aansluitingen waarvoor kilometrering boven aangegeven	

opvolgingen en overkruissituaties					
opvolgtijden en overkruistijden meten bij stopplaatsen van betreffende treinen, bij doorkomst stopplaats van dezelfde treinsoort op doorrijspoor aanhouden					
dienstregelpunt	serie 1	activiteit	serie 2	activiteit	opmerking
Lls	700	V	2600	V	
Almo	2600	D	4300 ri. Ledn	V	
	4300 ri. Ledn	V	4900 ri. Ut	V	traject Almo-Alm
	4900 ri. Ut	V	4600	V	
	4300 ri. Ledn	V	4900 ri. Almo	A	overkruis
	4900 ri. Ut	V	4300 ri. Almo	A	overkruis
	4900 ri. Almo	A	4900 ri. Ut	V	piek
	4900 ri. Almo	A	4300 ri. Almo	A	
Alm	2600	V	4900 ri. Ut	A	perronopvolging
	4300 ri. Ledn	V	4900 ri. Ut	V	traject Alm-Mbga
Wp	4600	V	700	D	perronopvolging: 4600 vertrekt naar spoor FM
	4300	V	4600	A	perronopvolging: 4300 vertrekt naar spoor FM
Mbga	4900	D	700	D	

Bijlage 4: Gebruikte infrastructuur

De volgende OBE- en OS-bladen zijn gebruikt in de berekening van de rij- en opvolgtijden. De tekeningen zijn te vinden in "Bijlage 4_Gebruikte infrastructuur.zip", P702626.

Amsterdam – Alkmaar: OBE-bladen

Traject	OBE-blad nummer	Versie
Alkmaar	1	AI006
Alkmaar - Uitgeest	1	R
Alkmaar - Uitgeest	2	J
Alkmaar - Uitgeest	3	N
Alkmaar - Uitgeest	4	Z
Uitgeest - Wormerveer	1	U
Uitgeest - Wormerveer	2	P
Wormerveer	3	S
Wormerveer - Zaandam	4	U
Zaandam	5	R
Beverwijk - Uitgeest	6	E
Zaandam - Amsterdam Sloterdijk Noord	6	P
Amsterdam Sloterdijk Noord Hornweg	7	AD
Amsterdam Singelgracht Overbrakerpolder	9	H
Amsterdam Centraal	1A	AG
Amsterdam Singelgracht Westhaven	11B	S
Amsterdam Centraal	1B	V
Amsterdam Sloterdijk Noord	8	O
Amsterdam Sloterdijk Noord	9	L
Radarweg Aansluiting	11	G
Amsterdam Singelgracht - Erasmus Aansl	4	H
Amsterdam Houtrakpolder	5	O
Amsterdam Houtrakpolder	6	F
Amsterdam Singelgracht	10	D

Amsterdam – Alkmaar: OS-bladen

Traject	OS-blad nummer	Versie
Uitgeest	0298	H
Uitgeest	0297	G
Zaandam	0043	G
Zaandam	0042	G
Alkmaar	0002	F001
Alkmaar	0001	E001
Uitgeest - Wormerveer	0045	J
Uitgeest - Wormerveer	0044	I
Beverwijk	0065	F
Beverwijk	0064	E
Alkmaar - Uitgeest	0845	F
Alkmaar - Uitgeest	0846	E

ProRail

Beverwijk - Uitgeest	1295	A
Beverwijk - Uitgeest	1296	A
Amsterdam - Centraal	0014	I
Amsterdam - Centraal	0013	J
Amsterdam Singelgracht	0015	D
Amsterdam Singelgracht	0016	D
Amsterdam Sloterdijk Noord (Radarweg Aansluiting)	0017	J
Amsterdam Sloterdijk Noord (Radarweg Aansluiting)	0018	I
Amsterdam Singelgracht Overbrakerpolder	0524	E
Amsterdam Singelgracht Overbrakerpolder	0525	D
Amsterdam Sloterdijk Noord	0530	L
Amsterdam Sloterdijk Noord	0531	K
Amsterdam Centraal	0210	L
Amsterdam Centraal	0209	K
Amsterdam Singelgracht - Erasmus Aansl	0635	B
Amsterdam Singelgracht - Erasmus Aansl	0636	B
Erasmusgracht Aansl	0639	D
Erasmusgracht Aansl	0640	D

Lelystad – Weesp: OBE-bladen

Traject	OBE-blad nummer	Versie
Weesp - Almere Muziekwijk	1B	Q
Weesp - Almere Muziekwijk	2	O
Almere Muziekwijk	3	J
Almere Centrum	4	Q
Almere Centrum - Almere Oostvaarders	5	R
Almere Oostvaarders	6	M
Almere Oostvaarders - Lelystad Centrum	7	K
Almere Oostvaarders - Lelystad Centrum	8	N
Almere Oostvaarders - Lelystad Centrum	9	M
Almere Oostvaarders - Lelystad Centrum	10	P
Lelystad Centrum	11	S
Weesp - Almere Muziekwijk	2A	S004
Muiderberg Aansluiting	1A	C

Lelystad – Weesp: OS-bladen

Traject	OS-blad nummer	Versie
Muiderberg Aansluiting	0600	I
Muiderberg Aansluiting	0601	I
Weesp - Almere Muziekwijk	0048	D001
Weesp - Almere Muziekwijk	0049	E002
Almere Oostvaarders - Lelystad Zuid	0050	E
Almere Oostvaarders - Lelystad Zuid	0051	E
Almere Muziekwijk	1034	C
Almere Muziekwijk	1033	C

ProRail

Almere Centrum	1036	E
Almere Centrum	1035	E
Lelystad Zuid	1040	F
Lelystad Zuid	1039	E
Lelystad Centrum	1042	H
Lelystad Centrum	1041	G
Almere Centrum - Almere Oostvaarders	1393	A
Almere Centrum - Almere Oostvaarders	1394	A
Almere Oostvaarders	1395	B
Almere Oostvaarders	1396	B
Almere Oostvaarders - Lelystad Centrum	1407	A
Almere Oostvaarders - Lelystad Centrum	1408	A
Weesp	0598	E
Weesp	0599	F002

Bijlage 5: Resultaten rij- en opvolgtijdberekeningen

Zie "Bijlage 5 Alkmaar_Amsterdam.zip", P702166 en "Bijlage 5 Lelystad_Weesp.zip", P702167.

Bijlage 6: Voorbeelden van incasseerbaarheid netwerksamenhang

In hoofdstuk 3 wordt een vertaling gemaakt van rijtijden naar reistijden. Onder het kopje *incasseerbaarheid over knooppunten heen* wordt als uitgangspunt genomen dat de rijtijdwinst bij reizen over knooppunten heen gemiddeld één keer geïncasseerd kan worden. Om dit te onderbouwen worden in deze bijlage enkele voorbeelden gegeven waar dit meevalt en enkele voorbeelden waar dit tegenvalt. Op basis hiervan is onze conclusie dat rijtijdwinst gemiddeld één keer geïncasseerd kan worden.

SAAL MLT optimalisatie kwartierdiensten

160 km/u Hanzelijn

In de SAAL MLT-studie zijn zes hoofdvarianten uitgewerkt met en zonder ERTMS. Afgezien van de opvolgtijdwinsten is hier ook gekeken naar de gevolgen van de rijtijdwinst van 160km/u tussen Almere Oostvaarders, Lelystad en Zwolle. De technische rijtijdwinst op dit traject is vastgesteld op 3,2 minuten voor IC's. In alle varianten hebben de reizigers die reizen over het traject Almere – Zwolle een reistijdverkorting van 3,2 minuten. Bovendien hebben de verschillende varianten in netwerksamenhang aanvullende effecten. Deze zijn weergegeven in de volgende tabel.

variant	netwerkgevolgen kortere rijtijd IC Almere Oostvaarders - Zwolle
alleen KT-maatregelen	IC Gvc-Alm-Gn staat 1,3 minuut langer in Alm IC Asd-Dv staat 1,6 minuut langer in Amf IC Shl-Es staat 1,6 minuut langer in Amf
4 sporen Almm-Alm en Almo-Almb	IC Gvc-Alm-Gn staat 1,8 minuut korter in Lls
inhaling Weesp	IC Asd-Dv staat 2,2 minuut korter in Amf IC Shl-Es staat 3,2 minuut korter in Amf
4 sporen t/m Dvd	IC Gvc-Alm-Gn staat 0,7 minuut langer in Alm IC Asd-Dv staat 1,6 minuut langer in Amf IC Shl-Es staat 1,6 minuut langer in Amf
IC knoop Wp	IC Asd-Dv staat 2,2 minuut korter in Amf IC Shl-Es staat 2,2 minuut korter in Amf
hybride	IC Asd-Dv staat 1,6 minuut korter in Amf IC Shl-Es staat 1,6 minuut korter in Amf

In vier varianten hebben verschillende groepen reizigers nog aanvullende reistijdwinst. In twee varianten zijn er naast de reistijdwinsten op de Hanzelijn ook groepen reizigers, die reistijdverlenging ondervinden.

Versnelling Naarden-Bussum (Robuust Spoor project)

In SAAL MLT is het robuust spoor project Naarden-Bussum als uitgangspunt gehanteerd. Dit levert rond Naarden-Bussum een rijtijdwinst van 1 minuut op voor doorgaande treinen en 0,6 minuut voor stoppende treinen. Net als de rijtijdwinst op de Hanzelijn, heeft dit ook betekenis voor de netwerksamenhang. Naast de directe gevolgen hebben zes van de twaalf varianten extra bijkomende winsten (voor reizigers over de Hanzelijn). In de zes andere varianten zijn er bijkomende negatieve effecten, die de oorspronkelijke winst verminderen (langer stilstaan in Amersfoort).

variant	netwerkgevolgen kortere rijtijden Naarden-Bussum
alleen KT-maatregelen 4 sporen Almm-Alm en Almo-Almb 4 sporen Almm-Alm en Almo-Almb, ERTMS 4 sporen t/m Dvd IC knoop Wp, ERTMS hybide, ERTMS	lange afstand IC-reizigers over de Hanzelijn winnen 0,6 - 1 minuut
alleen KT-maatregelen, met ERTMS inhaling Weesp inhaling Weesp, ERTMS 4 sporen t/m Dvd, ERTMS IC knoop Wp hybide	IC Asd-Dv staat 1 minuut langer in Amf IC Shl-Es staat 1 minuut langer in Amf

Versnelling IJssellijn

In een vooronderzoek voor dienstregeling 2015 is onder andere ingezoomd op de dienstregeling tussen Arnhem en Nijmegen. Idee was om de IC Zwolle – Arnhem – Nijmegen – Roosendaal niet meer te laten stoppen in Arnhem Zuid, Elst en Nijmegen Lent en daarvoor in de plaats extra Sprinters te laten rijden. Ondanks de extra treinen is het mogelijk gebleken positieve netwerkeffecten te incasseren. Met het overslaan van drie haltes is de technische rijtijdwinst voor de IC Zwolle – Roosendaal ongeveer zeven minuten. In de ontwikkelde dienstregeling is reistijd Zwolle – Roosendaal met deze IC vijftien minuten korter geworden.

Versnelling IC Rotterdam – Gouda – Utrecht

Als de IC's Rotterdam – Utrecht 1 of 2 minuten (per richting) sneller worden, dan kan dit in de dienstregeling niet worden verzilverd. De aankomst van de IC uit Utrecht is in Rotterdam 5 minuten na het vertrek van de IC naar Utrecht gepland¹⁶. Als de IC's 1 of 2 minuten sneller worden, dan wordt deze kruisende beweging 3 of 1 minuut. Dat is niet voldoende, waardoor de geplande rijtijd van Rotterdam naar Utrecht en vice versa niet verkort kan worden.

¹⁶ Dit wordt grotendeels bepaald door de knoop Zwolle en rijtijd Zwolle – Rotterdam.

Bijlage 7: 160km/u: resultaten per traject*Weesp – Almere Centrum*

Tussen Weesp en Almere Centrum kan over een lengte van ongeveer 10km 160km/u worden gereden. De halteafstanden zijn voor de Sprinters echter zo kort dat deze geen rijtijd gaan winnen. De baanvakbelasting tussen Weesp en Almere Oostvaarders / Lelystad Centrum is zo hoog, dat de IC's niet meer kunnen winnen dan de Sprinters.

Weesp - Almere Centrum		
in minuten	IC	Spr
theoretische winst	0,2 - 0,4	0,2
praktische winst	0 - 0,4	0
incasseerbare winst	0	0

Almere Centrum – Lelystad Centrum

Tussen Almere Centrum en Lelystad kan over een lengte van ongeveer 23km 160km/u worden gereden. De halteafstanden in Almere zijn voor de Sprinters echter zo kort dat deze geen rijtijd gaan winnen ten westen van Oostvaarders. De baanvakbelasting tussen Weesp en Almere Oostvaarders / Lelystad Centrum is zo hoog, dat de IC's niet meer kunnen winnen dan de Sprinters.

Almere Centrum - Lelystad Centrum		
in minuten	IC	Spr
theoretische winst	0,8 - 1,0	0,6
praktische winst	0,8 - 1,0	0,6
incasseerbare winst	0,6	0,6

De incasseerbare winst ligt ten oosten van Almere Oostvaarders

Het eventueel openen van station Lelystad Zuid (voor Sprinters) verkleint de winst voor Sprinters tot enkele tienden. De rijtijdverschillen tussen IC's en Sprinters nemen dan ook verder, waardoor incasseerbaarheid voor IC's verder onder druk komt te staan.

Lelystad Centrum – Zwolle

Aanname van de berekening is dat tussen Lelystad en Zwolle over een lengte van ruim 40km 160km/u gereden kan worden. Dit is echter zeer de vraag: rond de Drontermeertunnel (halverwege het traject) laten machinisten vanwege druk op de oren de snelheid nu al flink zakken (tot ongeveer 80 à 110km/u i.p.v. de toegestane 140km/u). Bij 140km/u door de tunnel (i.p.v. 160km/u), neemt de winst af met 0,4 minuut.

Lelystad Centrum - Zwolle		
in minuten	IC	Spr
theoretische winst	2,0 - 2,4	1,7
praktische winst	2,0 - 2,4	1,7
incasseerbare winst	2,0 - 2,4	1,7

Deze winst is berekend met 160km/u door de Drontermeertunnel.

ProRail

Boxtel – Eindhoven

Doordat de tunnel Best slechts geschikt is voor 140km/u, wordt het 160km/u-gebied opgedeeld in een stuk van 7km en een stuk van 5km. Hierdoor bereiken de treinen de 160km/u niet of nauwelijks.

Boxtel - Eindhoven		
in minuten	IC	Spr
theoretische winst	0,1 - 0,5	0,3
praktische winst	0	0
incasseerbare winst	0	0

Den Haag – Leiden

Het deel waarop 160km/u gereden kan worden is slechts 8km. Hierdoor wordt de 160km/u nauwelijks gehaald en is de winst zeer beperkt.

Den Haag - Leiden Centraal		
in minuten	IC	Spr
theoretische winst	0,1 - 0,3	0,1
praktische winst	0 - 0,3	0
incasseerbare winst	0 - 0,3	0

Leiden – Schiphol

Tussen Leiden en Hoofddorp kan over een lengte van ruim 18km 160km/u worden gereden. De Sprinterhaltes liggen echter op een zodanige afstand van elkaar dat de Sprinters eigenlijk geen winst behalen. Bij tienminutendiensten is het rijtijdsverschil tussen IC's en Sprinters zodanig dat de incasseerbaarheid voor IC's nooit groter kan zijn dan voor de Sprinters.

Leiden Centraal - Schiphol		
in minuten	IC	Spr
theoretische winst	0,6 - 0,8	0,4
praktische winst	0,6 - 0,8	0
incasseerbare winst	0	0

Amsterdam Bijlmer – Utrecht

Tussen Amsterdam Bijlmer en Utrecht Centraal kan over een lengte van ongeveer 26km 160km/u worden gereden. Afhankelijk van wel of niet stoppen te Amsterdam Bijlmer kunnen de IC's hiermee 1,1 tot 1,3 minuut winnen. De Sprinter winst alleen iets tussen Abcoude en Breukelen.

Amsterdam Bijlmer - Utrecht Centraal			
in minuten	IC	IC	Spr
	stop Asb	door Asb	
theoretische winst	1,1	1,3	0,5
praktische winst	1,1	1,3	0,4
incasseerbare winst	1,1	1,3	0,4

Bijlage 8: Gebruikte kansverdelingen simulatie

De volgende kansverdelingen zijn gebruikt voor verstoringen in de simulaties:

Rijtijdverstoring reizigers: normale verdeling met gemiddelde 0, en spreiding 17% van de rijtijd.

Rijtijdverstoring goederen: normale verdeling met gemiddelde 4 minuut, en spreiding 26% van de rijtijd.

Vertrekverstoring alle vertrekken: met 60% kans een verstoring met negatief exponentiële verdeling met gemiddelde 0,25 minuut op vertrekproces.

Vertrekverstoring goederen: negatief exponentiële verdeling met gemiddelde 3 minuten op vertrekproces.

Halteertijdverstoring hoofdrailnet, grote stations:
Driehoeksverdeling met gemiddelde 0,44 minuut, minimum 0,12, maximum 0,88 op het halteerproces.

Halteertijdverstoring hoofdrailnet, kleine stations:
Driehoeksverdeling met gemiddelde 0,21 minuut, minimum 0,06, maximum 0,37 op het halteerproces.

Halteertijdverstoring regionale lijnen, grote en kleine stations:
Driehoeksverdeling met gemiddelde 0,09 minuut, minimum 0, maximum 0,18 op het halteerproces.

Vertrek Thalys: met 82% kans een verstoring met negatief exponentiële verdeling met gemiddelde 8 minuut.

Vertrek Benelux: met 82% kans een verstoring met negatief exponentiële verdeling met gemiddelde 8 minuut.

Vertrek ICE: met 78% kans een verstoring met negatief exponentiële verdeling met gemiddelde 7,4 minuut.

Bijlage 9: Simulatieresultaten meer detail

In onderstaande tabel is de gemiddelde aankomstpunctualiteit cq. het gemiddelde aantal vertragingminuten op de drukke stations (meetpunten) voor IC's en Sprinters weergegeven voor de referentiesituatie met NS'54 en voor de drie scenario's met ERTMS. De resultaten zijn voor treinen op meersporige baanvakken weergegeven, voor de enkelsporige baanvakken wordt verwezen naar de volgende bijlage. Het gemiddelde over alle drukke stations (gewogen met het aantal aankomsten per station in het basisuurpatroon) is in de laatste regel te vinden. De punctualiteit is eerst gewogen en gemiddeld en dan geïndexeerd.

1. Resultaten NS'54

	meerdere sporen					
	IC			Sprinter		
	aantal	min	Punctualiteits-index	aantal	min	Punctualiteits-index
Ah	12	0,4	100,0	6	0,8	100,0
Alm	8	1,2	100,0	12	0,7	100,0
Amf	16	0,6	100,0	8	0,5	100,0
Aml	4	0,2	100,0	6	1,1	100,0
Amr	12	1,0	100,0	0		
Apd	8	0,5	100,0	2	0,5	100,0
Asd	22	1,4	100,0	18	0,6	100,0
Asdz	16	0,7	100,0	8	0,3	100,0
Bd	8	0,5	100,0	4	0,7	100,0
Ddr	10	0,8	100,0	8	0,4	100,0
Dv	10	0,6	100,0	6	0,5	100,0
Ehv	12	2,0	100,0	8	0,3	100,0
Gd	16	0,3	100,0	16	0,4	100,0
Gn	2	8,6	100,0	3	2,6	100,0
Gv	12	1,3	100,0	8	0,3	100,0
Gvc	10	1,1	100,0	12	0,8	100,0
Hgl	4	0,2	100,0	7	1,0	100,0
Hlm	10	0,4	100,0	10	0,5	100,0
Hn	8	0,8	100,0	4	0,4	100,0
Hrl	4	1,5	100,0	6	1,1	100,0
Ht	12	1,2	100,0	8	0,4	100,0
Ledn	18	0,7	100,0	10	0,8	100,0
Lw	2	0,7	100,0	1	0,1	100,0
Mt	4	4,7	100,0	9	0,9	100,0
Nm	8	0,6	100,0	4	0,7	100,0
Rm	8	3,2	100,0	2	0,2	100,0
Rsd	6	0,8	100,0	3	1,2	100,0
Rtd	16	0,8	100,0	20	0,6	100,0
Std	8	3,3	100,0	6	1,1	100,0
Tb	8	0,3	100,0	8	0,2	100,0
Ut	30	0,8	100,0	22	0,4	100,0
VI	2	0,8	100,0	0		
Vs	2	1,3	100,0	0		
ZI	10	1,7	100,0	8	0,8	100,0
Zp	4	0,3	100,0	2	0,6	100,0
gewogen gemiddeld		1,1	100,0		0,6	100,0

2. Resultaten ERTMS Level 2 - scenario met lage winst

	meerdere sporen					
	IC			Sprinter		
	aantal	min	Punctualiteits-index	aantal	min	Punctualiteits-index
Ah	12	0,2	100,6	6	0,6	102,3
Alm	8	0,7	102,8	12	0,6	100,5
Amf	16	0,4	102,0	8	0,5	100,2
Aml	4	0,1	100,6	6	1,0	102,1
Amr	12	0,8	102,1	0		
Apd	8	0,3	101,7	2	0,4	101,9
Asd	22	1,1	102,6	18	0,5	100,9
Asdz	16	0,4	102,9	8	0,3	100,3
Bd	8	0,4	100,9	4	0,6	101,3
Ddr	10	0,6	102,4	8	0,3	100,9
Dv	10	0,4	101,3	6	0,5	100,1
Ehv	12	1,3	105,3	8	0,3	100,1
Gd	16	0,2	100,4	16	0,4	100,2
Gn	2	6,6	110,1	3	2,3	104,8
Gv	12	0,9	104,6	8	0,3	100,1
Gvc	10	0,6	104,0	12	0,7	101,0
Hgl	4	0,1	100,3	7	0,9	103,8
Hlm	10	0,3	100,4	10	0,5	100,3
Hn	8	0,8	99,7	4	0,3	101,5
Hrl	4	0,8	104,0	6	1,1	100,4
Ht	12	0,7	103,4	8	0,4	99,4
Ledn	18	0,5	102,2	10	0,7	102,4
Lw	2	0,5	100,6	1	0,1	100,1
Mt	4	3,4	108,7	9	0,8	102,2
Nm	8	0,4	107,5	4	0,6	102,4
Rm	8	2,3	107,7	2	0,2	100,0
Rsd	6	0,8	100,5	3	0,9	103,6
Rtd	16	0,5	103,0	20	0,6	100,2
Std	8	2,2	108,0	6	0,9	103,0
Tb	8	0,3	100,5	8	0,2	100,1
Ut	30	0,7	101,5	22	0,4	100,5
VI	2	0,6	102,1	0		
Vs	2	1,1	101,2	0		
ZI	10	1,1	103,3	8	0,7	100,7
Zp	4	0,2	100,4	2	0,5	101,0
gewogen gemiddeld		0,7	102,5		0,6	100,9

3. Resultaten ERTMS Level 2 - scenario met gemiddelde winst

	meerdere sporen					
	IC			Sprinter		
	aantal	min	Punctualiteits-index	aantal	min	Punctualiteits-index
Ah	12	0,2	100,7	6	0,6	101,3
Alm	8	0,6	103,8	12	0,6	100,7
Amf	16	0,4	102,6	8	0,5	100,7
Aml	4	0,1	100,4	6	1,0	102,2
Amr	12	0,7	103,3	0		
Apd	8	0,3	102,1	2	0,4	100,7
Asd	22	1,0	102,8	18	0,5	101,0
Asdz	16	0,3	103,4	8	0,2	100,5
Bd	8	0,3	101,0	4	0,6	101,3
Ddr	10	0,5	102,9	8	0,3	100,6
Dv	10	0,4	102,0	6	0,5	100,5
Ehv	12	1,0	108,5	8	0,3	100,2
Gd	16	0,2	100,4	16	0,4	99,9
Gn	2	6,2	113,8	3	2,3	104,9
Gv	12	0,7	106,1	8	0,3	100,2
Gvc	10	0,4	105,0	12	0,7	102,2
Hgl	4	0,1	100,3	7	0,9	105,3
Hlm	10	0,2	100,9	10	0,5	100,6
Hn	8	0,8	99,9	4	0,3	101,2
Hrl	4	0,5	105,6	6	1,1	100,2
Ht	12	0,5	105,3	8	0,4	99,2
Ledn	18	0,4	102,6	10	0,7	102,6
Lw	2	0,5	100,8	1	0,1	100,4
Mt	4	2,7	112,8	9	0,8	102,6
Nm	8	0,3	110,0	4	0,6	103,2
Rm	8	1,8	112,0	2	0,2	100,1
Rsd	6	0,7	101,2	3	0,8	105,1
Rtd	16	0,4	103,5	20	0,6	100,2
Std	8	1,7	112,2	6	0,9	104,6
Tb	8	0,2	100,8	8	0,2	100,1
Ut	30	0,6	101,8	22	0,4	100,6
VI	2	0,5	104,2	0		
Vs	2	1,2	98,3	0		
ZI	10	1,0	106,7	8	0,7	101,3
Zp	4	0,2	100,4	2	0,5	100,9
gewogen gemiddeld		0,6	103,5		0,5	101,1

4. Resultaten ERTMS Level 2 - scenario met hoge winst

	meerdere sporen					
	IC			Sprinter		
	aantal	min	Punctualiteits-index	aantal	min	Punctualiteits-index
Ah	12	0,2	100,7	6	0,6	101,2
Alm	8	0,5	104,8	12	0,6	100,7
Amf	16	0,3	103,6	8	0,5	101,0
Aml	4	0,1	100,8	6	0,9	103,1
Amr	12	0,6	104,9	0		
Apd	8	0,3	102,3	2	0,3	102,5
Asd	22	1,0	103,4	18	0,5	101,2
Asdz	16	0,3	103,9	8	0,2	100,7
Bd	8	0,3	101,0	4	0,5	102,6
Ddr	10	0,4	102,9	8	0,3	100,6
Dv	10	0,4	101,9	6	0,4	101,5
Ehv	12	0,9	109,1	8	0,3	100,1
Gd	16	0,2	100,4	16	0,4	99,8
Gn	2	5,0	123,4	3	2,2	106,3
Gv	12	0,7	106,3	8	0,3	100,1
Gvc	10	0,3	105,5	12	0,7	105,7
Hgl	4	0,1	100,6	7	0,9	106,7
Hlm	10	0,2	101,1	10	0,4	100,8
Hn	8	0,8	100,4	4	0,3	101,8
Hrl	4	0,5	105,9	6	1,1	100,6
Ht	12	0,5	105,8	8	0,3	100,2
Ledn	18	0,4	102,6	10	0,6	103,4
Lw	2	0,5	101,5	1	0,1	100,1
Mt	4	2,6	114,0	9	0,8	102,5
Nm	8	0,3	111,0	4	0,5	103,7
Rm	8	1,6	112,6	2	0,2	100,1
Rsd	6	0,7	100,8	3	0,8	106,4
Rtd	16	0,4	104,2	20	0,6	100,3
Std	8	1,6	113,1	6	0,9	104,4
Tb	8	0,2	100,7	8	0,2	100,2
Ut	30	0,5	102,1	22	0,3	100,9
VI	2	0,5	103,7	0		
Vs	2	1,1	100,8	0		
ZI	10	0,8	107,4	8	0,7	100,4
Zp	4	0,2	100,3	2	0,4	102,1
gewogen gemiddeld		0,6	103,9		0,5	101,5

Bijlage 10: Simulatieresultaten enkelsporige baanvakken

De gepresenteerde resultaten laten een enorme punctualiteitswinst op enkelspoor zien. ERTMS zal ook zeker tot punctualiteitswinst op enkelsporige baanvakken leiden en gaat vooral helpen op baanvakken waar de processen tussen twee kruisingsstations (“ruitjes”) krap gepland zijn. Echter zijn de hieronder genoemde winsten te hoog. Twee belangrijke redenen hiervoor zijn:

1. De simulatie geeft de huidige punctualiteit op enkelsporige baanvakken te pessimistisch weer. Op de baanvakken waar de processen tussen twee kruisingsstations (“ruitjes”) krap gepland zijn, is een veel te lage punctualiteit in vergelijking met de metingen in de uitvoering te zien. Waarschijnlijk komt dat omdat machinisten zich bewust zijn van de krapte en al iets sneller rijden of al iets uitgesteld remmen (onder ATB-NG) terwijl dat (nog) niet toegestaan is. Ook verkeersleiding heeft bijzondere aandacht voor deze treinen, waardoor ze het in de praktijk beter doen dan in het model.
2. In het model zijn de verstoringen op halteren en vertrekken op enkelspoor lager dan op de overige baanvakken. Uit een lopend onderzoek blijkt echter, dat ze nog lager moeten zijn. Als gevolg daarvan wordt de winst door ERTMS op de enkelsporige baanvakken overschat.

In onderstaande tabel is voor NS'54 en voor ERTMS de volgende informatie op enkelsporige baanvakken vergeleken:

- Vertragingminuten van Stoptreinen op drukke stations – gemiddeld over alle aankomsten op zulke stations en gemiddeld over alle runs van de simulatie
- 3-minuten punctualiteit (aandeel treinen met hooguit 3 minuten vertraging) van stoptreinen op drukke stations – op dezelfde manier gemiddeld en geïndexeerd
- In verband met de bandbreedte van de opvolgtijdwinsten ERTMS is onderscheid gemaakt in drie scenario's: een scenario met lage winst, één met gemiddelde winst en één met hoge winst. In de eerste tabel zijn de geaggregeerde resultaten te zien, de resultaten per station volgen eronder voor de verschillende scenario's.

	min	punctualiteits-index
NS'54	1,2	100,0
ERTMS laag	0,5	109,0
ERTMS middel	0,5	109,7
ERTMS hoog	0,5	110,0

1. Resultaten NS'54

	enkelspoor		
	Stoptrein		Punctualiteits- index
	aantal	min	
Ah	6	1,9	169,0
Alm	0		
Amf	4	0,0	100,0
Aml	6	0,8	114,8
Amr	0		
Apd	2	0,1	101,0
Asd	0		
Asdz	0		
Bd	0		
Ddr	4	0,3	106,0
Dv	0		
Ehv	0		
Gd	2	0,3	100,9
Gn	10	0,5	110,4
Gv	0		
Gvc	0		
Hgl	8	0,5	112,9
Hlm	0		
Hn	0		
Hrl	1	0,2	100,5
Ht	0		
Ledn	2	0,6	101,6
Lw	7	0,6	103,7
Mt	0		
Nm	4	0,1	101,4
Rm	2	0,3	101,2
Rsd	0		
Rtd	0		
Std	0		
Tb	0		
Ut	0		
VI	5	0,2	101,6
Vs	0		
ZI	7	0,3	107,1
Zp	6	0,5	109,0
gem.		0,5	109,0

2. Resultaten ERTMS Level 2 - scenario met lage winst

	enkelspoor		
	Stoptrein		Punctualiteits- index
	aantal	min	
Ah	6	1,9	169,0
Alm	0		
Amf	4	0,0	100,0
Aml	6	0,8	114,8
Amr	0		
Apd	2	0,1	101,0
Asd	0		
Asdz	0		
Bd	0		
Ddr	4	0,3	106,0
Dv	0		
Ehv	0		
Gd	2	0,3	100,9
Gn	10	0,5	110,4
Gv	0		
Gvc	0		
Hgl	8	0,5	112,9
Hlm	0		
Hn	0		
Hrl	1	0,2	100,5
Ht	0		
Ledn	2	0,6	101,6
Lw	7	0,6	103,7
Mt	0		
Nm	4	0,1	101,4
Rm	2	0,3	101,2
Rsd	0		
Rtd	0		
Std	0		
Tb	0		
Ut	0		
VI	5	0,2	101,6
Vs	0		
ZI	7	0,3	107,1
Zp	6	0,5	109,0
gem.		0,5	109,0

3. Resultaten ERTMS Level 2 - scenario met gemiddelde winst

	enkelspoor		
	Stoptrein		Punctualiteits- index
	aantal	min	
Ah	6	1,8	170,6
Alm	0		
Amf	4	0,0	100,0
Aml	6	0,8	117,2
Amr	0		
Apd	2	0,1	100,8
Asd	0		
Asdz	0		
Bd	0		
Ddr	4	0,3	105,6
Dv	0		
Ehv	0		
Gd	2	0,3	101,1
Gn	10	0,4	111,0
Gv	0		
Gvc	0		
Hgl	8	0,4	116,6
Hlm	0		
Hn	0		
Hrl	1	0,2	100,4
Ht	0		
Ledn	2	0,5	101,6
Lw	7	0,6	104,0
Mt	0		
Nm	4	0,1	101,5
Rm	2	0,3	101,5
Rsd	0		
Rtd	0		
Std	0		
Tb	0		
Ut	0		
VI	5	0,2	101,4
Vs	0		
ZI	7	0,3	107,1
Zp	6	0,5	108,7
gem.		0,5	109,7

4. Resultaten ERTMS Level 2 - scenario met hoge winst

	enkelspoor		
	Stoptrein		Punctualiteits- index
	aantal	min	
Ah	6	1,8	170,0
Alm	0		
Amf	4	0,0	100,0
Aml	6	0,7	119,1
Amr	0		
Apd	2	0,1	101,0
Asd	0		
Asdz	0		
Bd	0		
Ddr	4	0,3	105,9
Dv	0		
Ehv	0		
Gd	2	0,3	101,1
Gn	10	0,4	110,8
Gv	0		
Gvc	0		
Hgl	8	0,4	118,6
Hlm	0		
Hn	0		
Hrl	1	0,2	100,4
Ht	0		
Ledn	2	0,4	101,6
Lw	7	0,6	104,1
Mt	0		
Nm	4	0,1	101,4
Rm	2	0,3	101,4
Rsd	0		
Rtd	0		
Std	0		
Tb	0		
Ut	0		
VI	5	0,2	101,7
Vs	0		
ZI	7	0,3	107,3
Zp	6	0,5	108,3
gem.		0,5	110,0

Bijlage 11: Effect op investeringen

De bedragen in de volgende tabellen zijn conform voorkeursbesluit PHS en SAAL.

Maatregel	onderbouwing	categorie	kosten
			in mln
Alkmaar - Amsterdam			
Uitgeest	Bij een 6/6-dienstregeling blijft perroncapaciteit nodig	moet nog steeds	75,0
Haarlem - Aziëhaven	opvolgtijden hebben geen invloed op dit knelpunt; gaat om fysieke verbinding	moet nog steeds	4,0
Amsterdam - Eindhoven			
emplacement Amsterdam Centraal	Beperkingen/knelpunten zitten in de layout	moet nog steeds	60,0
Seinoptimalisatie A'dam C - Amsterdam Bijlmer	Gewenste opvolgtijden m.b.v. ERTMS	ERTMS	35,0
Seinoptimalisatie Breukelen	Gewenste opvolgtijden m.b.v. ERTMS	ERTMS	2,0
Seinoptimalisatie Houten Castellum	Gewenste opvolgtijden m.b.v. ERTMS	ERTMS	3,5
Seinoptimalisatie Geldermalsen	Gewenste opvolgtijden m.b.v. ERTMS	ERTMS	3,5
's-Hertogenbosch - Vught 4 sporen en vrije kruising	Combinatie van 12 reizigerstreinen en 5 goederentreinen per uur per richting maken capaciteitsuitbreiding noodzakelijk	moet nog steeds	121,0
Geldermalsen inhaalspoor	inhaalspoor fysiek nodig	moet nog steeds	65,0
Schiphol - Nijmegen			
DSSU (Utrecht Centraal)	Hoofdoelstelling is ontvlechting; winsten opvolgtijden (ook met ERTMS) alleen mogelijk met nieuwe layout	moet nog steeds	271,0
Keerspoor Driebergen-Zeist	Keerspoor fysiek nodig	moet nog steeds	12,0
Extra zijperron Ede-Wageningen	Zijperron fysiek nodig	moet nog steeds	29,0
Elst vrije kruising	Korte opvolgtijden vergemakkelijken overstek en vergroten schuifmogelijkheden op Ah-Nm. Niet duidelijk of dit afdoende is.	n.t.b.	36,0
Seinoptimalisatie Arnhem-Nijmegen	Gewenste opvolgtijden m.b.v. ERTMS	ERTMS	6,0
Den Haag - Eindhoven			
Rijswijk - Delft Zuid viersporig	Treinaantallen en frequentieverschillen maken viersporigheid noodzakelijk.	moet nog steeds	177,0
Seinoptimalisatie Delft Zuid	Gewenste opvolgtijden m.b.v. ERTMS	ERTMS	3,5
Seinoptimalisatie Breda-Tilburg	Gewenste opvolgtijden m.b.v. ERTMS	ERTMS	4,0
Tilburg 4e perronspoor	Goede opvolgtijden verminderen knelpunt; niet duidelijk of dit afdoende is	n.t.b.	30,0
Liempde vrije kruising	Goede opvolgtijden verminderen knelpunt; niet duidelijk of dit afdoende is	n.t.b.	93,0
OV SAAL MLT			
MLT: ERTMS	zit al als zodanig in budget	moet nog steeds	
MLT: Weesp	inhaling is fysiek noodzakelijk	moet nog steeds	497,0
Goederen Zuid			
emplacement Roosendaal	fysieke aanpassing noodzakelijk	moet nog steeds	
emplacement Eindhoven	fysieke aanpassing noodzakelijk	moet nog steeds	56,0
emplacement Nijmegen	fysieke aanpassing noodzakelijk	moet nog steeds	
Zuidwestboog Meteren	boog fysiek noodzakelijk	moet nog steeds	150,0
Goederen Oost			
Tweesporige korte boog Deventer	boog fysiek noodzakelijk	moet nog steeds	183,0
Uitbreiding ATBv.v.	bestaat niet meer bij ERTMS, maar wordt toch uitgevoerd i.v.m. veiligheid	moet nog steeds	24,0
Velperbroekaansluiting vrije kruising	lopend onderzoek PHS	n.v.t.	49,0
Vierde perronspoor Zutphen	lopend onderzoek PHS	n.v.t.	98,0
Bedieningstijden IJsselbrug Zutphen	geen/nauwelijks invloed ERTMS	moet nog steeds	6,0
Seinoptimalisatie Gouda-Woerden	Gewenste opvolgtijden m.b.v. ERTMS	ERTMS	3,5
Totaal			2097,0

ProRail

Overige maatregelen	onderbouwing	categorie	kosten
Overwegen (veiligheid)	snellheid↓ dan impact↑	kostentoe name?	5
	dichtlijgtijden↓ dan risico↓	n.t.b.	
Overwegen (bereikbaarheid)	dichtlijgtijden↓ dan bereikbaarheid↑	n.t.b.	100
Geluid	snellheid↑ dan bereikbaarheid↑	kostentoe name?	56
Externe veiligheid	snellheid↑ dan impact↑	kostentoe name?	20
Extra onderhoud tot 2020	snellheid↑ dan onderhoud↑?	kostentoe name?	130
Onderhoud meer infra	geen invloed (verwaarloosbaar)	moet nog steeds	56
Extra onderhoud VL-systemen	geen invloed	moet nog steeds	72
Be- en Bijsturing	geen invloed	moet nog steeds	148
Tractie - Energievoorziening	maximumsnellheid↑ dan energieverbruik↑	kostentoe name?	173
Opstellen en rangeren reizigers en goederen	geen invloed	moet nog steeds	315
Transfer	geen invloed	moet nog steeds	204
Fietsenstallingen	geen invloed	moet nog steeds	96
Trillingen	maximumsnellheid↑ dan trillingen↑	kostentoe name?	50
Totaal			1425,0

Bijlage 12: ERTMS als compensatie voor langere Sprinterhalteertijden

Inventarisatie van kritische opvolgingen in PHS. Door invoering van ERTMS kan (een deel van) de uitbuigingen als gevolg van het verlengen van de halteertijden naar 0,7 minuut worden voorkomen.

0,3 minuut extra halteertijd op Sprinterhaltes.

Uitgangspunt: de opvolgtijdwinst is aan beide zijden van het baanvak circa 0,5 minuut.

Baanvakken waar ERTMS ingezet kan worden voor kortere opvolgtijden om uitbuigen van IC's te beperken:

Baanvak	voorkomen uitbuigen	voor treinen
Wm-Asd	1'	6/u IC Amr-Ut-Ehv
Asd-Asb	1'	6/u IC Amr-Ut-Ehv + 1/u ICE
Ut-Ht	1'	6/u IC Asd-Ut-Ehv
Hn-Asd	1'	2/u spits en spitsrichting
Hd-Ut	1'	2/u IC Amf-Ut
Gd-Gvc	1'	4/u IC Ut-Gvc
Dv-Hgl	1'	6/dag IC Berlijn
Ut-Ed	1'	6/u IC Shl-Ut-Ah
Dtz-Rlb	1'	2/u IC Asd-Ddr
Bd-Tb	1'	2/u IC Gvc-Ehv + 2/u IC Rsd-Ah-ZI
Wc-Ah-Zp	1'	4/u IC Nm-Ah-Ut-Shl + 2/u Rsd-Ah-ZI

SAAL kwartieren (variant 4/5)

Geen

SAAL 6/6 (variant F1)

Onmogelijk zonder ERTMS: geen 10'-diensten

Bijlage 13: Potentiële reistijdwinsten door kortere aansluitingen

Met kortere opvolgtijden kunnen treinen korter achter elkaar aan het baanvak op. Hierdoor kunnen ook aansluitingen, en soms halteringen van doorgaande treinen met aansluitingen, korter worden gepland. In plaats van de opvolgtijdwinst van ERTMS in te zetten voor betrouwbaarheid, kan deze dus ook worden ingezet om reistijden te verkorten.

De belangrijkste locaties met potentieel kortere aansluitingen zijn hieronder beschreven. Hierbij is uitgegaan van een halve minuut opvolgtijdwinst voor alle vertrek-vertrek- en aankomst-aankomstopvolgingen. Reizigersaantallen op basis van LTSA etmaal 2030 GE-M.

Utrecht Centraal

Den Haag / Rotterdam – Utrecht Centraal – Amersfoort en verder

De IC's Den Haag – Utrecht en Rotterdam – Utrecht rijden vlak achter elkaar aan tussen Gouda en Utrecht. Als dit korter op elkaar kan, wordt de aansluiting van Den Haag naar Amersfoort en verder een halve minuut korter. Dit betreft 2855 reizigers per dag.

Amsterdam / Schiphol – Utrecht Centraal – Arnhem / Eindhoven

In PHS rijden de IC's Amsterdam Centraal – Eindhoven en Schiphol – Arnhem om-en-om door Utrecht (iedere 5 minuten een IC). Hierdoor is de overstaptijd 5 minuten + halteertijd IC's. In de PHS-dienstregeling valt hierdoor met kort volgen niets te halen. Inmiddels is echter duidelijk dat de voorkeur van uitgaat van verknoping van deze twee corridors in Utrecht. Dit betekent dat óf de IC's van/naar Amsterdam of de IC's van/naar Schiphol lang moeten staan in Utrecht. Ervan uitgaande dat dit de IC's Schiphol – Arnhem zijn, betekent dit dat alle reizigers van Schiphol / Amsterdam Bijlmer naar Arnhem / Eindhoven tijd kunnen winnen (ofwel in de overstap, ofwel in het stationnement te Utrecht Centraal). Het betreft 14.087 reizigers per dag die een halve minuut winnen.

Eindhoven

Den Haag / Den Helder – Eindhoven – Maastricht / Venlo

De belangrijkste overstapstroom in Eindhoven is de verknoping tussen de IC's Den Haag – Venlo en Den Helder – Maastricht. Met kortere opvolgtijden tussen Boxtel en Eindhoven staan de reizigers Den Haag – Eindhoven – Venlo een halve minuut korter stil in Eindhoven en hebben de reizigers vanuit Den Helder richting Venlo een halve minuut minder overstaptijd. Het betreft in totaal 5.920 reizigers per dag.

Zwolle

Volledige aansluitknoop

In Zwolle geven bijna alle treinen aansluiting op bijna alle andere treinen. Met kortere opvolgtijden kunnen de treinen van en naar de richtingen Hattemberbroek (Amersfoort en Lelystad) en Meppel (Groningen en Leeuwarden) korter op elkaar vertrekken.

De IC's van/naar Lelystad – Den Haag en Groningen staan kort in Zwolle en verbeteren niet door kortere opvolgtijden. De IC's van/naar Amersfoort en Leeuwarden winnen beide 30", de Sprinters van/naar Amersfoort en Groningen winnen beide één minuut. De Sprinter richting Lelystad – Hoofddorp kan theoretisch anderhalve minuut winnen, maar de ligging van deze trein is meer afhankelijk van de dienstregelingstructuur op de SAAL-corridor.

Voor doorgaande reizigers kunnen de winsten aan de noord- en zuidzijde van Zwolle worden opgeteld, maar reizigers met herkomst of bestemming Zwolle hebben geen winst.

Van/naar IC Leeuwarden: 10.228 reizigers winnen 'n halve minuut;

Van/naar Sprinter Groningen: 3.257 reizigers winnen één minuut;

ProRail

Van/naar IC Rotterdam: 16.952 reizigers winnen 'n halve minuut
Van/naar Sprinter Utrecht: 1.906 reizigers winnen één minuut

Overige

Kortere aansluitingen

Ook op andere plaatsen kunnen potentieel aansluitingen korter gepland worden. Het betreft meestal IC – Sprinteraansluitingen die 'n halve minuut korter kunnen. Hiervan zijn er meer, maar waarschijnlijk gaat het om een relatief klein aantal overstappers. Enkele voorbeelden:

Breda: IC/HS uit Den Haag op Spr naar Tilburg v.v.

Roermond: IC uit Den Helder op Spr richting Maastricht v.v.

Sittard: IC uit Den Helder op Spr richting Heerlen v.v.

Kortere inhalingen

Als Sprinters worden ingehaald (door IC's) staan ze vaak langer stil dan wenselijk voor de doorgaande Sprinterreizigers. Eigenlijk is dit ook een soort knoop, maar dan zonder stop van de inhalende trein. Deze inhalingen kunnen korter gepland worden als opvolgtijden afnemen. Denk hierbij bijvoorbeeld aan Weesp.

Bijlage 14: Onderbouwing indeling baanvakken

baanvak/emplacement	categorie	reden
Asd-Asb	zwart	vanuit PHS is seinoptimalisatie nodig
Bkl	zwart	vanuit PHS is seinoptimalisatie nodig
Ut	zwart	DSSU: voldoet nog niet aan geëiste opvolgtijden
Htnc-Gdm	zwart	vanuit PHS is seinoptimalisatie nodig
Ah-Nm	zwart	vanuit PHS is seinoptimalisatie nodig
Dtz-Rtd	zwart	vanuit PHS is seinoptimalisatie nodig
Bd-Tb	zwart	vanuit PHS is seinoptimalisatie nodig
Gd-Wd	zwart	vanuit PHS is seinoptimalisatie nodig
Hfd-Asdz-Wp-Lls	zwart	SAAL
Asd-Wp-Hvs	zwart	SAAL
Mbga-Kv (Gooiboog)	zwart	SAAL
Asb-Vspa	zwart	SAAL
Htba-Zl	rood	knoop Zl
Zl-Hea-Mpa	rood	knoop Zl
Asd-Utg	rood	tweesporig met hoge frequentie
Amr-Utg	rood	korte opvolgingen
Bkp-Amf	rood	IC, Sprinter en goederen; veel reizigers op baanvak
Ut-Bkp	rood	veel korte opvolgingen, keerproces Ut
Ut-Har	rood	tweesporig en hoge frequentie
Dvaw-Asb-Ut-Htnc	rood	hoge frequentie
Wd-Ut	rood	grote blokken, korte opvolgingen Hmla-Wd
Wdn-Es	rood	samenloop, mix van IC, Sprinter, goederen
Dv-Zp	rood	samenloop
Ah-Zv	rood	samenloop Va, combinatie stoptrein, ICE, RB35, ...
Apd-Apda	rood	samenloop
Amf-Bnva	rood	samenloop
Gdm-Ehv	rood	grote blokken, hoge frequentie, veel intakkingen
Ehv-Tgra	rood	opvolgingen en overkruis
Wt	rood	korte opvolgingen IC-Sprinter
Tb-Btl	rood	opvolging goederen-IC vanuit Bd
Rtd-Rlb	rood	tunnelregime, IC-HSL-goederen, hoge frequentie
Gvc-Gv	rood	korte opvolgingen IC-Sprinter
Gvc-Laa	rood	korte opvolgingen IC-Sprinter
Gvc-Vb	rood	korte opvolgingen IC-Sprinter
Ledn-Dtz	rood	IC's rijden gebundeld
Ledn-Hfd	rood	hoge frequentie
Asra-Asd	rood	mix IC, HSL, Sprinter
Rtd-Gd	rood	mix goederen, IC, Sprinter
Asn-On	rood	Asn: opvolgingen IC-Sprinter, Onz: intakking goederen
Bd-Zha	rood	mix HSL, goederen Spr, ICDirect, ICBrussel
Hdr-Sgn	groen	
Hwd-Hn	groen	
Hnk-Ekz	groen	
Kpn-Zl	groen	
Lw-Stv	groen	

ProRail

Lw-Hlgh	groen	
Swd-Rd	groen	
Swd-Dz	groen	
Zb-Vdm	groen	
Wha-On	groen	
Hea-Mrb, Gbg-Emn	groen	
Mrb-Aml	groen	
Zl-Wdn	groen	
Apd-Zp	groen	
Zp-Hgl	groen	
Zp-Ww	groen	
Ww-Zv	groen	
TI-Est	groen	
TI-Wnn	groen	
Vndc-Rhn	groen	
Bnva-Ed	groen	
Ddr-Gdm	groen	
Brn-Dld	groen	
Ledn-Wd	groen	
Apn-Gd	groen	
Sloe-Lwa	groen	
Nm-VI	groen	
VI-Rm	groen	
Dv-Ost	groen	
Hrl-Hz	groen	
Lg-Krd	groen	
Hgl-Odz	grijs	grote blokken liggen aan Duitse kant
Amf-Htba	grijs	opvolgingen kritisch op Bkp en Zl
Ddr-Zlw	grijs	IC via HSL: minder treinen
Tb-Vga	grijs	15/15-ligging
Gn-Zh	grijs	korte opvolgingen (pendel Zh), nu grote blokken, seinverdichting al in gang
Lw-Lwc	grijs	korte opvolgingen, nu grote blokken, seinverdichting al in gang
andere grijze	grijs	
Sdm-Hlds	weggehaald	metro
Zoetermeerlijn	weggehaald	Randstadrail
Hofpleinlijn	weggehaald	Randstadrail
Havenspoorlijn	blauw	ERTMS aanwezig
Betuweroute	blauw	ERTMS aanwezig
HSL	blauw	ERTMS aanwezig
Hanzelijn	blauw	ERTMS aanwezig

Gele emplacementen: weinig blokverdichting nodig t.o.v. huidig, maar twee extra blokgrenzen per emplacement, per richting, per rechterspoor = 71 extra blokgrenzen in totaal: Ddr 8, Dn 2, Ed 4, Gn 2, Hd 2, Hlm 8, Hn 4, Hrl 2, Lw 2, Mt 4, Rm 2, Std 6, Rsd 6, Had 4, VI 3, Vs 2, Wc 2, Zlw 8. Vrije baan als huidig.

Bijlage 15: Samenvatting externe review door VIA Consulting

Summary

The document "Railmap ERTMS, Capaciteitseffecten Level 2" was reviewed by VIA Consulting & Development GmbH with emphasis on the reliability of the applied methodology and the taken assumptions. The reviewers come to the following conclusion:

The elaboration of potential reductions of minimum headway times and of travel times allow, as well as the general setup, is reasonable to determine network-wide benefits of an ETCS implementation. The underlying sample set size is comparatively small but allows deducting lower and upper bounds of the effects.

The major conclusions of the review are as follows:

- The overall setup of the study, in particular the strict separation between the incorporation of minimum headway time effects and travel time reductions, is of high reasonability.
- The elaboration of running time gains and minimum headway reductions per individual scenario seems precise and purposeful. The translation of running-time effects to traveltime effects is performed properly (with the restriction, that a dedicated timetable study would have been more reasonable).
- The underlying set of three infrastructures for the network-wide extrapolation is very small. It is only judged by experts, that they are representative for the network population. The size of the sample has to be seen with caution. Nonetheless, lower and upper bounds of the overall cost-benefit indicator can be deducted. For an average cost-benefit ratio of 0.92, they are as shown below:

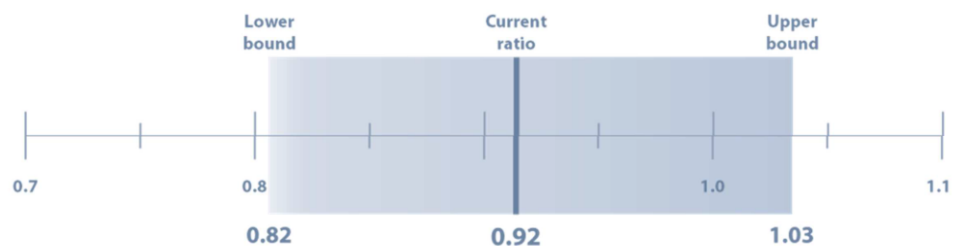


Figure 1 Lower and upper bound of cost-benefit ratio

- Assuming, that there is no considerable error due to the chosen simplifications given above, the benefits of ETCS are tendentially underestimated.
- The simplified handling of single-tracked regional lines does not reasonably falsify the overall indicators. (In specific local situations, an ETCS-related running-time reduction may indeed be one of various impacting summands, whose sum allows a modification of the operational concept. Nonetheless, such situations require specific analysis).
- The magnitude of the elaborated impacts on capacity is within the range of former international studies and seems reasonable for the given purpose. For the magnitude of

ProRail

achieved running-time gains, there are only few references; anyway, they seem in a reasonable interval, too.

If an increase of the reliability is intended, this might be achieved by spending additional efforts on the application of the same methodology to further infrastructures (corridors) and on the elaboration of a dedicated timetable (at least for a subnetwork).

ProRail

Bronvermelding

[1] *Capaciteitseffecten ERTMS Level 2*. ProRail EDMS #2105849-v2

[2] *Herijking standaardtoets Simone*. ProRail, januari 2010. EDMS #2489000

Colofon
Titel Capaciteitseffecten Level 2, Railmap ERTMS
Documentnummer EDMS # 3468930-v1.0
Versie/Datum Zie voorblad
Status Definitief

Van ProRail VenD VaCo
Auteur Kees van Gent, Birgit Heydenreich, Sander de Pundert, Michiel Vromans
Projectleider Kees van Gent
Distributie
Document

Autorisatie

Programmanager: G. van Gent.....
..... 17-3-2014

Manager VaCo: E. Kleinhout.....
..... 18-03-2014

Procesmanager Railmap ProRail: S. Groot....
..... 17-3-2014