

## **Technische vergelijking tussen NS'54 ATB-EG en ERTMS Level 2**

Een vergelijking van rij- en opvolgtijden en baanvakbelasting tussen NS'54 ATB EG en ERTMS Level 2 op het baanvak Utrecht- 's-Hertogenbosch en een vertaling hiervan naar landelijk niveau.



Van	ProRail
Auteurs	Sander de Pundert, Bruno van Touw, Maarten Bartholomeus, Michel Duijker en Andrea Verhagen
Projectmanager	Marcel van der Vliet
Kenmerk	EDMS 2472676
Versie	1.0
Datum	26 januari 2010
Status	Definitief

# **ProRail**

## Managementsamenvatting

### Doel van de studie

De studie “Performance Effecten ERTMS” brengt in beeld wat de capaciteitseffecten zouden zijn indien op de bestaande Nederlandse spoorinfrastructuur seinstel NS'54 en ATB EG worden vervangen door alleen ERTMS Level 2 (geen overlay of mixed signalling).

De ervaringen van de reeds in dienst zijnde baanvakken met ERTMS kunnen niet zonder meer worden toegepast voor het berekenen van de capaciteitseffecten als op de bestaande Nederlandse spoorinfra seinstel NS'54 en ATB-EG worden vervangen door alleen ERTMS Level 2, omdat:

- Ten tijde van de ontwikkeling van de Betuweroute en HSL-Zuid nog relatief weinig bekend was over de invloed van de projecteringskeuzes in ERTMS op de capaciteit;
- De wijze van projecteren van ERTMS per project nog verschillend is;
- Er geen berekeningen zijn gedaan voor bestaande railinfra met ERTMS Level 2;
- Er ontwikkelingen hebben plaatsgevonden ten aanzien van het te gebruiken remmodel.

Ook de conclusies van buitenlandse studies die de invloed van ERTMS op de capaciteit beschrijven, gelden niet zonder meer voor de Nederlandse situatie omdat:

- Het Nederlandse seinstelsel, het treinbeïnvloedingssysteem en beveiligingsfilosofie wezenlijk anders zijn dan in de landen waar de studies op gebaseerd zijn.
- De nadruk ligt op de capaciteit van de vrije baan en niet op de bepalende knooppunten.
- Deze gebaseerd zijn op aannames en vereenvoudigingen, waarvan het effect niet bekend is;
- De rijtijdeffekten bij lagere snelheden onderbelicht zijn.

### Aanpak van de studie

De studie legt de nadruk op de infrastructuur. Hoe beïnvloedt de spoorweginfrastructuur, uitgerust met ERTMS Level 2, de capaciteit van de infrastructuur, waar nu nog NS'54 en ATB EG aanwezig is? Berekend zijn de kale rijtijden en de minimaal ongehinderde opvolgtijden. Deze vormen de bouwstenen voor een dienstregeling. De totstandkoming van de dienstregeling is echter ook sterk afhankelijk van andere factoren dan deze bouwstenen: met name de commerciële behoeften van de vervoerders, maar ook planningsnormen en de samenhang met knelpunten op andere locaties in het netwerk. Deze factoren vormen geen onderdeel van het rapport. Kosten maken evenmin onderdeel uit van het rapport.

Om generieke conclusies over de capaciteitseffecten van implementatie van ERTMS Level 2 op het Nederlandse spoor te kunnen trekken, zijn binnen deze studie een aantal stappen doorlopen:

1. Er is een inventarisatie gemaakt van de meest recente inzichten (publicaties en regelgeving) op het gebied van capaciteitseffecten van ERTMS;
2. Ontwikkelen methodiek voor het berekenen van rij- en opvolgtijden bij ERTMS Level 2;
3. Ontwikkelen projecteringsregels voor de elementen van ERTMS Level 2 die van invloed zijn op de capaciteit;
4. Vaststellen van de rij- en opvolgtijden op het baanvak Utrecht - 's-Hertogenbosch met NS'54 en een geoptimaliseerde projectering van NS'54;
5. Vaststellen van de rij- en opvolgtijden op het baanvak Utrecht - 's-Hertogenbosch met ERTMS Level 2 met behulp van de ontwikkelde methodiek en projecteringsregels;
6. Vergelijken van de capaciteitseffecten op het baanvak Utrecht – 's-Hertogenbosch van NS'54, een geoptimaliseerde projectering van NS'54 en ERTMS Level 2;
7. Trekken van een generieke conclusie over de capaciteitseffecten voor het Nederlandse spoorwegnetwerk door de implementatie van ERTMS Level 2.

## *Ontwikkelen methodiek voor het berekenen van rijtijden en opvolgtijden*

Er bleek nog geen document beschikbaar te zijn waarin beschreven wordt hoe de rij- en opvolgtijden in ERTMS Level 2 vastgesteld kunnen worden, maar ook voor NS'54 ATB EG is de methodiek nog niet helder en eenduidig vastgelegd. Daarom is voor zowel NS-54 ATB-EG als ERTMS Level 2 de generieke methodiek vastgelegd voor het berekenen van rij- en opvolgtijden.

## *Ontwikkelen projecteringsregels ERTMS Level 2*

Rij- en opvolgtijden zijn sterk afhankelijk van de gemaakte projecteringskeuzes in het treinbeveiligingssysteem. Voor NS'54 zijn de projecteringsregels beschreven in de spoorwegwet en ProRail voorschriften, maar voor ERTMS Level 2 zijn deze nog nauwelijks vastgelegd. ERTMS Level 2 kenmerkt zich door een grotere projecteringsvrijheid en daardoor ook door een groot aantal te maken keuzes. De gehanteerde projecteringsregels in eerdere ERTMS-projecten bieden hier inzicht maar kunnen om verschillende redenen niet zonder meer worden toegepast voor deze studie.

Daarom zijn binnen deze studie projecteringsregels ontwikkeld, die generiek gelden voor het Nederlandse spoorwegnetwerk, maar het betreft uitsluitend de projecteringsregels die invloed zijn op de rij- en opvolgtijden in normale operationele situaties. Hierbij is steeds gekozen voor de projectering die optimaal is voor de rij- en opvolgtijden, onder voorwaarde van veiligheid in zowel de normale operationele als de storingsituaties.

## *Keuze representatief baanvak*

Om inzichtelijk te maken wat de capaciteitseffecten van ERTMS Level 2 op het Nederlandse net kunnen zijn, dient eigenlijk het hele Nederlandse spoornetwerk doorgerekend te moeten worden. Om praktische redenen is ervoor gekozen om één baanvak te beschouwen en de resultaten daarvan te vertalen naar het totale netwerk. Als representatieve situatie is gekozen voor het baanvak Utrecht (inclusief) – 's-Hertogenbosch (inclusief) met de dienstregeling 2009 met de bijbehorende infrastructuur in 2009 voor de te berekenen rij- en opvolgtijden.

Vastgesteld is dat het gekozen baanvak en dienstregeling voor de inschatting van het capaciteitseffect door invoering van ERTMS Level 2 representatief is, waardoor het mogelijk is generieke conclusies te trekken voor het Nederlandse spoorwegnet.

## *Optimalisering van NS'54 ATB EG*

Om zeker te zijn dat de gevonden capaciteitseffecten toe te schrijven zijn aan ERTMS Level 2 en niet aan het huidige NS'54-ontwerp, is onderzocht of het huidige ontwerp te optimaliseren is. Gebleken is dat een optimalisatie van het onderzochte baanvak, binnen de kaders en regelgeving van NS'54 ATB-EG, slechts beperkt mogelijk is.

## **Conclusies**

### *Vergelijk van NS'54 ATB EG (huidig en geoptimaliseerd) met ERTMS Level 2*

Op basis van de ontwikkelde methodiek voor rij- en opvolgtijden en projecteringsregels zijn de capaciteitseffecten van ERTMS Level 2 vastgesteld. Om deze effecten te kunnen vergelijken met NS'54 ATB EG (huidig en geoptimaliseerd), is het baanvakbelastingcijfer<sup>1</sup> voor alle deze situaties bepaald. Bij het vergelijken van de baanvakbelastingcijfers, is de mogelijkheid tot verhoging van de baanvaksnelheid (tot 160km/h) onder ERTMS buiten beschouwing gelaten, omdat deze een vergelijking van de capaciteitseffecten zou kunnen vertroebelen. Wel is deze verhoging van de snelheid in een gevoeligheidsanalyse bekeken.

Gebleken is dat de invoering van ERTMS Level 2 op het baanvak Utrecht-'s-Hertogenbosch met de dienstregeling 2009 ertoe leidt dat het baanvakbelastingcijfer zal afnemen van 91%

<sup>1</sup> Om dit cijfer te kunnen bepalen worden de treinvolgorde en -aantallen uit een dienstregelingsuur uit dienstregeling 2009 gecompriëerd, waarbij uitsluitend de kale rijtijden en minimaal ongehinderde opvolgtijden worden gebruikt. Hieruit volgt welk deel van het uur in theorie nodig is om één uurcyclus te kunnen rijden. Het deel dat overblijft geeft inzicht in de robuustheid van de dienstregeling bij gelijke treinvolgorde en treinaantallen.

## ProRail

(NS'54 ATB EG huidige situatie) naar 75%. Door het optimaliseren van NS'54 is een reductie tot 88% mogelijk. Een verklaring voor deze winst is dat bij ERTMS Level 2 de rijtijd voor alle voorkomende treinen en de opvolgtijd voor alle maatgevende situaties zullen afnemen. Een verdere reductie van dit cijfer is mogelijk door het verhogen van de baanvaknelheid tot 160 km/h, dit levert extra rijtijdwinsten op voor zowel de stoptrein als de intercity. Overigens zal een snelheidsverhoging niet altijd leiden tot een reductie van dit cijfer, omdat hierdoor grotere snelheidsverschillen ontstaan die van negatieve invloed kunnen zijn op het baanvakbelastingcijfer.

### *Betekenis van de implementatie ERTMS Level 2 voor het Nederlandse netwerk*

Op basis van de gevonden resultaten voor het baanvak Utrecht-'s-Hertogenbosch is het mogelijk een conclusie voor het Nederlandse netwerk te trekken.

**De implementatie van ERTMS Level 2 op het Nederlandse spoorwegnetwerk levert kortere rij- en opvolgtijden op dan NS'54 ATB EG, ook indien NS'54 ATB EG qua capaciteit is geoptimaliseerd. De omvang van de verbetering wisselt per locatie en is alleen door berekening vast te stellen.**

**Bij een gelijkblijvende dienstregeling en infrastructuur leidt de verbetering in ieder geval tot een robuustere dienstuitvoering. Of de verbeterde rij- en opvolgtijden leiden tot een grotere capaciteit, dat wil zeggen een dienstregeling met meer treinen per uur, hangt af van marktwensen, van door vervoerders te maken dienstregelingskeuzes en van de landelijke samenhang in de dienstregeling. De verbetering van rij- en opvolgtijden kunnen ertoe leiden dat beoogde infra-uitbreidingen (deels) uitgespaard kunnen worden.**

### *Betekenis voor de dienstregeling op het Nederlandse netwerk*

Duidelijk dient gesteld te worden dat deze studie zich niet gericht heeft op het genereren van een dienstregeling, maar op de technische mogelijkheden van railinfrastructuur. De conclusie is dat de implementatie van ERTMS Level 2 technisch gezien meer capaciteit oplevert, maar of en hoe deze winsten geïncasseerd kunnen worden bij het genereren van een dienstregeling vraagt om nadere studie.

### **Aanbevelingen**

Deze studie levert de volgende aanbevelingen op:

- A. Bij de introductie van ERTMS is een goede afstemming tussen alle betrokken partijen nodig, zodat er juiste implementatiekeuzes gemaakt worden op deelaspecten.
- B. Bij de introductie van ERTMS dient een groot aantal ontwerpregels opnieuw afgewogen te worden.
- C. Een efficiëntere vertrekprocedure zal door de invoering van ERTMS tot grotere positieve capaciteitseffecten leiden, aangezien de vertrekprocedure bij ERTMS vaak maatgevend is.
- D. Aanbevolen wordt om de methodiek voor rijtijd- en opvolgtijdverbetering voor ProRail als standaardmethode vast te leggen.
- E. Aanbevolen wordt om de projecteringsregels, nader uit te werken in projecteringsrichtlijnen voor het ontwerp van ERTMS Level 2 zonder overlay, waarbij gebruikt wordt gemaakt van de ontwerpervaring die is opgedaan bij lopende projecten.
- F. Aanbevolen wordt te onderzoeken of beveiligde doorschietlengte voor Nederland kan worden toegepast in combinatie met ERTMS Level 2 en onder welke voorwaarden.
- G. Om de te behalen winsten van ERTMS Level 2 optimaal te kunnen benutten is het van belang dat de planningstool(s) om te kunnen gaan met veranderingen in seconden.
- H. Het is interessant om de beschreven theoretisch winsten in de praktijk te toetsen.

# **ProRail**

## Inhoudsopgave

	<b>Managementsamenvatting</b>	<b>3</b>
<b>1</b>	<b>Inleiding</b>	<b>9</b>
1.1	Aanleiding van het project	9
1.2	Doelstelling van het project	9
1.3	Scope	10
1.4	Opbouw document	10
<b>2</b>	<b>Aanpak voor de het vaststellen van capaciteitseffecten</b>	<b>11</b>
2.1	Literatuuronderzoek	11
2.2	Opstellen rij- en opvolgtijd methodiek en projecteringsregels	11
2.3	Keuze representatief baanvak	11
2.4	Vaststellen capaciteitseffecten baanvak Utrecht- 's- Hertogenbosch	11
2.5	Vaststellen generieke landelijke capaciteitseffecten invoering ERTMS Level 2	12
2.6	Teamsamenstelling	13
2.7	Modellering ten behoeve van rij- en opvolgtijdberekeningen	13
<b>3</b>	<b>Uitgangspunten voor de rij- en opvolgtijdberekeningen</b>	<b>14</b>
3.1	Methode	14
3.2	Studiegebied	14
3.3	Railinfrastructuur	14
3.4	Materieel	14
3.5	Rij- en opvolgtijdberekeningen	15
<b>4</b>	<b>Resultaten capaciteitsberekeningen NS'54 ATB EG (bestaand)</b>	<b>16</b>
4.1	Rijtijden	16
4.2	Opvolgtijden	16
4.3	Baanvakbelastingcijfer	16
4.4	Kanttekeningen	17
<b>5</b>	<b>Resultaten capaciteitsberekeningen NS'54 ATB EG geoptimaliseerd</b>	<b>19</b>
5.1	Knelpuntanalyse	19
5.2	Geoptimaliseerde seinplaatsing voor de gevonden knelpunten	19
5.3	Snelheidsprofiel	21
5.4	Rijtijden	21
5.5	Opvolgtijden	21
5.6	Baanvakbelastingcijfer	22
5.7	Conclusies en constatering	22
<b>6</b>	<b>Resultaten capaciteitsberekeningen ERTMS Level 2</b>	<b>23</b>
6.1	Projectering blokgrenzen ERTMS Level 2	23
6.2	Snelheidsprofiel	25
6.3	Hellingsegmentering	26
6.4	Rijtijden	26
6.5	Opvolgtijden	26
6.6	Baanvakbelastingcijfer	27
6.7	Kanttekeningen	27
<b>7</b>	<b>Vergelijking van de resultaten NS'54 (geoptimaliseerd) en ERTMS</b>	<b>32</b>
7.1	Rijtijden	32

# ProRail

7.2	Opvolgtijden	34
7.3	Baanvakbelastingcijfers	36
<b>8</b>	<b>Generieke vertaling naar het landelijke netwerk</b>	<b>37</b>
8.1	Rijtijden	37
8.2	Opvolgtijden	39
8.3	Baanvakbelastingcijfer	40
8.4	Specifieke situaties	40
<b>9</b>	<b>Vertaling naar de dienstregeling</b>	<b>42</b>
9.1	Incasseerbaarheid van de winsten	42
9.2	Hoe worden de winsten geïncasseerd	42
9.3	Concluderend	43
<b>10</b>	<b>Relatie met andere studies/projecten</b>	<b>44</b>
10.1	Relatie met Betuweroute	44
10.2	Relatie met Europese studies	44
<b>11</b>	<b>Conclusies</b>	<b>46</b>
11.1	Hoofdconclusie	46
11.2	Conclusies voor het baanvak Utrecht - 's-Hertogenbosch	46
11.3	Generieke conclusies voor het Nederlandse spoorwegnetwerk	47
11.4	Conclusies voor het effect op dienstregelingsniveau	47
11.5	Conclusies over de verschillen met eerdere Europese studies	48
<b>12</b>	<b>Aanbevelingen</b>	<b>49</b>

## Bijlagen

Bijlage 1:	Rapport Methodiek rij- en opvolgtijdberekeningen
Bijlage 2:	Rapport Projecteringsregels
Bijlage 3:	Modelleringkeuzes ERTMS Level 2
Bijlage 4:	Gebruikte OBE-bladen, OS-bladen en 1:1000-tekeningen
Bijlage 5:	Dienstregeling 2009 <ul style="list-style-type: none"><li>- BUP 2009</li><li>- BSO 2009 Ut/Gdm/Ht</li></ul>
Bijlage 6:	Berekeningen NS'54 <ul style="list-style-type: none"><li>- Tijd-weg diagram</li><li>- Opvolgtijddiagram</li></ul>
Bijlage 7:	Berekeningen NS'54 geoptimaliseerd <ul style="list-style-type: none"><li>- Tijd-weg diagram</li><li>- Opvolgtijddiagram</li></ul>
Bijlage 8:	Projectering ERTMS Level 2 <ul style="list-style-type: none"><li>- EoA's</li><li>- Snelheidsprofiel</li><li>- Hellingsprofiel</li></ul>
Bijlage 9:	Berekeningen ERTMS Level 2 <ul style="list-style-type: none"><li>- Tijd-weg diagram</li><li>- Opvolgtijddiagram</li></ul>
Bijlage 10:	Berekeningen ERTMS Level 2 rijtijdwinsten bij 130, 140 en 160km/h
Bijlage 11:	Memo remkarakteristieken Lloyds Register Rail
Bijlage 12:	Grafische verklaring rijtijdverschillen tussen beveiligingsystemen



## 1 Inleiding

### 1.1 Aanleiding van het project

Het project "Performance Effecten ERTMS" brengt in beeld wat de capaciteitseffecten zouden zijn indien op de bestaande Nederlandse spoorinfrastructuur seinstelstel NS'54 en ATB EG worden vervangen door alleen ERTMS Level 2.

De reeds indienst zijnde baanvakken met ERTMS geven al een beeld over de invloed van ERTMS op de capaciteit. Bovendien hebben de projecten waarin ERTMS is of nog wordt toegepast uitgebreid gerekend aan de capaciteit onder ERTMS ten behoeve van het kunnen aantonen van de aan de projecten geëiste rij- en opvolgtijden. Deze ervaringen kunnen niet zonder meer worden toegepast voor het berekenen van de capaciteitseffecten indien op de bestaande Nederlandse spoorinfrastructuur seinstelstel NS'54 en ATB-EG worden vervangen door alleen ERTMS Level 2, omdat:

- Ten tijde van de ontwikkeling van de Betuweroute en HSL-Zuid nog relatief weinig bekend was over de invloed van de projecteringskeuzes in ERTMS op de capaciteit. Er zijn veel aannames gedaan waarover nu veel meer kennis is;
- Er nog geen berekeningen zijn gedaan voor bestaande infrastructuur waar met verschillende treinsoorten onder "puur ERTMS Level 2" wordt gereden, dus geen overlay of mixes signalling;
- De wijze van projecteren van ERTMS per project nog verschillend is en er nu langzaam standaardisatie ontstaat.
- Er ontwikkelingen hebben plaatsgevonden ten aanzien van het te gebruiken remmodel in de treinen, resulterend in een remmodel dat is opgenomen in de nieuwe versie 3.0.0 van de Europese SRS subset.026 voor ERTMS.

Ook buitenlandse studies beschrijven de invloed van ERTMS op de capaciteit. De conclusies van deze studies zijn echter niet zonder meer de Nederlandse situatie omdat:

- het Nederlandse seinstelsel, het treinbeïnvloedingssysteem en beveiligingsfilosofie wezenlijk anders zijn dan in de landen waar de studies op gebaseerd zijn. De uitgangssituatie waarmee ERTMS Level 2 wordt vergeleken, is daardoor ongelijk, mede omdat vergeleken wordt met een nog qua capaciteit ongeoptimaliseerde basissituatie.
- In andere studies de nadruk ligt op de capaciteit van de vrije baan en niet op de knooppunten, die veel bepalender is.
- de studies deels zijn gebaseerd op aannames en vereenvoudigingen, waarvan het effect niet bekend is;
- de rijtijdeffecten bij lagere snelheden onderbelicht zijn.

Met deze studie wordt inzichtelijk gemaakt wat de capaciteitseffecten voor de Nederlandse situatie kunnen zijn bij de invoering van ERTMS Level 2, zonder daarbij rekening te houden met overlay of mixed signalling, gebruikmakend van de recente inzichten qua remmodel in de treinen, technische mogelijkheden van het systeem en projecteringskeuzes,

### 1.2 Doelstelling van het project

Hoofddoelstelling van het project is:

- Het trekken van een conclusie, generiek voor Nederland, over de capaciteitseffecten van implementatie van ERTMS Level 2 op het bestaande spoorwegnetwerk.

Daarnaast zijn er een aantal subdoelstellingen, die randvoorwaardelijk zijn voor het bereiken van de hoofddoelstelling:

1. Beeld krijgen van de meest recente inzichten op het gebied van performance effecten van ERTMS, door het inventariseren en verzamelen van publicaties op het gebied van performance effecten gerelateerd aan ERTMS Level 2.

2. Ontwikkelen van een methodiek voor het berekenen van rijtijden en opvolgtijden om hiermee de performance effecten door het gebruik van ERTMS Level 2 te kunnen berekenen;
3. Het ontwikkelen van projecteringsregels voor de elementen van ERTMS Level 2 die van invloed zijn op de capaciteit;
4. Het aan de hand van de vastgestelde methodiek en de ontwikkelde projecteringsregels kunnen berekenen en vaststellen wat de performance effecten op het baanvak Utrecht - 's-Hertogenbosch zijn, als gevolg van de implementatie van ERTMS Level 2 (rijtijdeffect en opvolgtijdeffect);
5. Vergelijken van de Performance effecten op het baanvak Utrecht – 's-Hertogenbosch van NS'54, een geoptimaliseerde variant van NS'54 en ERTMS Level 2.

Dit rapport geeft invulling aan bovenstaande doelstellingen.

### 1.3 Scope

Dit rapport legt de nadruk op de infrastructuur. Hoe beïnvloedt de spoorweginfrastructuur, uitgerust met ERTMS Level 2, de capaciteit van de infrastructuur, waar nu nog NS'54 en ATB EG aanwezig is? Berekend worden de kale rijtijden en de minimaal ongehinderde opvolgtijden. Deze vormen de bouwstenen voor een dienstregeling. De totstandkoming van de dienstregeling is echter ook sterk afhankelijk van andere factoren dan deze bouwstenen: met name de commerciële behoeften van de vervoerders, maar ook planningsnormen en de samenhang met knelpunten op andere locaties in het netwerk. Deze factoren vormen geen onderdeel van het rapport. Kosten maken evenmin onderdeel uit van het rapport.

### 1.4 Opbouw document

In dit rapport zijn de resultaten van de studie 'Capaciteitseffecten ERTMS Level 2' vastgelegd. De aanpak van deze studie wordt in hoofdstuk 2 aangegeven.

In hoofdstuk 3 kunnen de algemene uitgangspunten voor de in deze studie uitgevoerde berekeningen teruggevonden worden.

De specifieke uitgangspunten, enige toelichting, de resultaten en de kanttelingen voor NS'54, NS'54 geoptimaliseerd en ERTMS Level 2 staan in de hoofdstukken 4 (NS'54), 5 (NS'54 geoptimaliseerd) en 6 (ERTMS Level 2).

De vergelijking en verklaring van de resultaten van de drie onderzochte situaties zijn in hoofdstuk 7 weergegeven. De vertaling hiervan voor het landelijke spoornet en de betekenis voor de dienstregeling kan worden teruggevonden in hoofdstuk 8 en hoofdstuk 9.

In hoofdstuk 10 worden verklaringen gegeven waarom deze resultaten niet 1 op 1 te vergelijken zijn met andere Europese studies naar de capaciteit van ERTMS Level 2, of voorbeelden uit de praktijk zoals de Betuweroute.

De rapportage wordt uiteindelijk afgesloten met de conclusies van deze studie (hoofdstuk 11) en aanbevelingen naar aanleiding van deze studie (hoofdstuk 12). Aan deze rapportage zijn nog een groot aantal bijlagen toegevoegd.

## 2 Aanpak voor de het vaststellen van capaciteitseffecten

Om de capaciteitseffecten van ERTMS Level 2 op een zo realistisch mogelijke en betrouwbare wijze te kunnen bepalen is voor de in dit hoofdstuk beschreven aanpak gekozen.

### 2.1 Literatuuronderzoek

In Europa bestaan enkele publicaties over de capaciteitseffecten van ERTMS. Deze zijn in het kader van deze studie bestudeerd, waarbij gekeken is naar de toepasbaarheid van de toegepaste methodes voor de Nederlandse situatie. Daarnaast zijn de in de literatuur beschreven capaciteitseffecten vergeleken met de resultaten, zoals vermeld in dit rapport.

### 2.2 Opstellen rij- en opvolgtijd methodiek en projecteringsregels

Om de capaciteitseffecten van ERTMS Level 2 te kunnen bepalen, zijn in deze studie de methodiek en de conventies voor het berekenen van rij- en opvolgtijden en de projecteringsregels voor ERTMS Level 2 vastgesteld.

- De toe te passen methodiek is vastgelegd in het rapport “Capaciteitseffecten ERTMS, Methodiek voor het berekenen van rij -en opvolgtijden in NS'54 ATB-EG en ERTMS Level 2”. In dit rapport is ook de toe te passen methodiek voor NS'54 ATB-EG beschreven (zie bijlage 1);
- De toe te passen projecteringsregels zijn vastgelegd in het rapport “Capaciteitseffecten ERTMS, Projecteringsregels ERTMS Level 2 ten behoeve van het vaststellen van de capaciteitseffecten” (zie bijlage 2).

Deze beide rapportages zijn bij de projectering van ERTMS Level 2 toegepast op het traject Utrecht – 's-Hertogenbosch om te kunnen vaststellen wat de capaciteitseffecten zijn bij de invoering van ERTMS Level 2 ten opzichte van NS'54 ATB EG (in de huidige en geoptimaliseerde situatie).

### 2.3 Keuze representatief baanvak

Voor het definitief bepalen van de capaciteitseffecten van ERTMS Level 2 op het Nederlandse net, zou eigenlijk het hele Nederlandse spoornetwerk doorgerekend moeten worden. Om praktische redenen is ervoor gekozen om één baanvak te beschouwen en de resultaten daarvan te vertalen naar het totale netwerk. Er is gekozen voor het baanvak Utrecht (inclusief) – 's-Hertogenbosch (inclusief). Voor dit baanvak is gekozen omdat:

- Er intercity's, stoptreinen en goederentreinen rijden;
- Er haltes en stations (emplacements) voorkomen;
- Er inhalingen tussen intercity's en stoptreinen/goederentreinen op plaatsvinden.

Er had ook voor een ander baanvak gekozen kunnen worden, maar op basis van bovenstaande kenmerken is dit baanvak voldoende representatief geacht voor andere baanvakken in Nederland. Het gekozen baanvak dient slechts als hulpmiddel om inzicht te krijgen in de generieke effecten van ERTMS level 2 op basis van de in deze studie opgestelde projecteringsregels en berekeningsmethodieken. De eigenschappen waarop dit baanvak verschilt van andere baanvakken, komen aan de orde bij de vertaling van de resultaten naar de rest van het Nederlandse spoorwegnet (hoofdstuk 8).

### 2.4 Vaststellen capaciteitseffecten baanvak Utrecht- 's- Hertogenbosch

Voor het kunnen vaststellen van de capaciteitseffecten bij een eventuele invoering van ERTMS Level 2 op het baanvak Utrecht- 's-Hertogenbosch, is ervoor gekozen om voor één rijrichting drie situaties uit te werken. Het betreft de volgende situaties:

- NS'54 ATB EG, bestaande projectering;
- NS'54 ATB EG, geoptimaliseerde projectering;
- ERTMS Level 2, geoptimaliseerde projectering.

Dit is gedaan om er zeker van te zijn dat de geconstateerde verschillen daadwerkelijk toe te schrijven zijn aan ERTMS Level 2 en niet aan het huidige NS'54-ontwerp, dat mogelijk qua capaciteit niet optimaal is.

Capaciteit op het spoor is een lastig begrip. Doorgaans wordt het uitgedrukt in een aantal voertuigen dat per tijdseenheid verwerkt kan worden. Aan capaciteit op het spoor zit echter ook een sterk dienstregelingsaspect: de capaciteit is daarmee afhankelijk van het gekozen productiemodel. Daarom is er voor gekozen om alleen bouwstenen voor de dienstregeling te beschouwen: rijtijden van treinen en opvolgtijden tussen treinen.

De dienstregeling 2009 met de bijbehorende infrastructuur in 2009 voor Utrecht – 's-Hertogenbosch zijn als basis gekozen voor de te berekenen rij- en opvolgtijden.

Om daarnaast toch een indicatie te kunnen geven van de invloed van de gewijzigde bouwstenen op de dienstregeling, is voor de drie situaties ook een baanvakbelastingcijfer bepaald. Hierin worden de treinvolgorde en -aantallen uit een dienstregelingsuur uit dienstregeling 2009 gecomprimeerd, waarbij uitsluitend de kale rijtijden en minimaal ongehinderde opvolgtijden worden gebruikt. Hieruit volgt welk deel van het uur in theorie nodig is om één uurcyclus te kunnen rijden. Het deel dat overblijft geeft inzicht in de robuustheid van de dienstregeling bij gelijke treinvolgorde en treinaantallen. Benadrukt moet worden, dan deze indicator niet direct gebruikt kan worden om te voorspellen of er meer treinen kunnen gaan rijden. De capaciteit is immers sterk afhankelijk van de gekozen dienstregeling.

Bij het vergelijken van de baanvakbelastingcijfers, is de mogelijkheid tot verhoging van de baanvaknelheid onder ERTMS buiten beschouwing gelaten. De bestaande baanvaknelheid van 130 km/h is constant gelaten. In principe staat ERTMS een hogere baanvaknelheid toe, maar het vergroten van de snelheidsverschillen die hierdoor ontstaan, vertroebelt het baanvakbelastingcijfer. Daarom is ervoor gekozen om het rijtijdeffect van baanvaknelheidsverhoging tot 140 en 160 km/h als een apart effect te presenteren. Een hogere snelheid dan 160 km/h is op het baanvak Utrecht – 's-Hertogenbosch niet mogelijk zonder aanpassingen van de bovenleidingconstructie, perrons en overwegen. De overige rijtijdeffecten van ERTMS worden uiteraard wel meegenomen (bijvoorbeeld uitgesteld remmen).

In onderstaande tabel wordt aangegeven wat er binnen deze studie is onderzocht.

Varianten	Rijtijden	Opvolgtijden	Baanvakbelastingcijfer
NS'54 ATB EG, bestaande projectering	X	X	X
NS'54 ATB EG, geoptimaliseerde projectering max-v 130km/h	X	X	X
ERTMS level 2 geoptimaliseerde projectering max-v 130km/h	X	X	X
ERTMS level 2 geoptimaliseerde projectering max-v 140km/h	X		
ERTMS level 2 geoptimaliseerde projectering max-v 160km/h	X		

Tabel 2.1: Overzicht van de binnen deze studie uitgevoerde berekeningen.

## 2.5 Vaststellen generieke landelijke capaciteitseffecten invoering ERTMS Level 2

Op basis van de rijtijden, opvolgtijden en baanvakbelastingcijfers, berekend voor het baanvak Utrecht- 's-Hertogenbosch, en ervaringen die bij deze berekeningen zijn opgedaan, zijn conclusies getrokken voor de capaciteitseffecten die generiek voor Nederland gelden indien op de bestaande baanvakken ERTMS Level 2 wordt toegepast in plaats van NS'54 met ATB EG.

## 2.6 Teamsamenstelling

Doel van het project is het realistisch en betrouwbaar in kaart brengen van de capaciteitseffecten van de invoering van ERTMS Level 2. De projectering van het systeem moet hiervoor worden geoptimaliseerd naar capaciteit en rijtijd, maar binnen de grenzen van wat realistisch is. Dit wordt met name bepaald door technische mogelijkheden en vooral door spoorwegveiligheidseisen. Als hieraan niet wordt voldaan, verliezen de conclusies hun draagvlak. Daarom is het projectteam zodanig samengesteld dat aandacht voor alle bovengenoemde aspecten is gewaarborgd. Dit betekent inbreng vanuit ProRail Inframanagement Treinbeveiliging, ProRail SpoorOntwikkeling Core Competence Center en ProRail InfraProjecten Railverkeerstechniek. Daarnaast is er kennis ingebracht op het gebied van spooralignement, capaciteitsberekeningen, treinkarakteristieken en het remmodel voor ERTMS Level 2.

Ten aanzien van het laatste geldt: de inschatting van de rij- en opvolgtijdeffecten is voor een deel afhankelijk van aannames op het gebied van het in ERTMS toegepaste remmodel, de remkarakteristieken van de trein, veiligheidsfactoren en de remstrategie van de machinist. Aannamen op dit gebied zijn ontwikkeld in samenwerking met Lloyds Register Rail en waar mogelijk getoetst aan de ervaring van leveranciers van treinapparatuur.

## 2.7 Modellerings ten behoeve van rij- en opvolgtijdberekeningen

Om de rij- en opvolgtijden voor NS'54 (geoptimaliseerd) en ERTMS Level 2 te kunnen bepalen, is voor deze studie het programma Vache van TrainTrain Nederland geschikt gemaakt om ook rij- en opvolgtijden te kunnen berekenen voor ERTMS Level 2.

De input voor deze berekeningen is conform de rapporten:

- "Capaciteitseffecten ERTMS, Methodiek voor het berekenen van rij- en opvolgtijden in NS'54 ATB-EG en ERTMS Level 2". In bijlage 3 is weergegeven hoe de in dat rapport beschreven methodiek is gemodelleerd in het programma Vache;
- "Capaciteitseffecten ERTMS, Projecteringsregels ERTMS Level 2 ten behoeve van het vaststellen van de capaciteitseffecten".

De uitkomsten van dit programma zijn binnen het projectteam getoetst aan de hand van de snelheidswegdiagrammen en opvolgingsgrafieken. De door het programma gegenereerde remwegen voor ERTMS Level 2 zijn vergeleken met andere programma's die voor ERTMS Level 2 remwegen genereren. Op basis hiervan kan gesteld worden dat het programma Vache betrouwbare uitkomsten geeft.

## 3 Uitgangspunten voor de rij- en opvolgtijdberekeningen

### 3.1 Methode

De rijtijden en opvolgtijden zijn berekend aan de hand van de volgende documenten:

- Capaciteitseffecten ERTMS, Methodiek voor het berekenen van rij- en opvolgtijden in NS'54 ATB EG en ERTMS Level 2 (zie bijlage 1);
- Capaciteitseffecten ERTMS, Projecteringsregels ERTMS Level 2 ten behoeve van de capaciteitseffecten (zie bijlage 2).

### 3.2 Studiegebied

- Het beschouwde traject is Utrecht (inclusief) – 's-Hertogenbosch (inclusief);
- In deze studie wordt alleen de rijrichting Utrecht - 's-Hertogenbosch in de berekeningen meegenomen;
- Aangenomen is dat de railinfra buiten het studiegebied (ten westen van Utrecht en ten zuiden van 's-Hertogenbosch) conflictvrij is;
- Aangenomen is dat er op emplacement Utrecht geen interactie is met de lijnen naar Arnhem (conflictvrij);
- De treinen tussen Utrecht en Tiel zijn tot Geldermalsen in de analyses meegenomen. De treinbeweging tussen de stoplocaties te Geldermalsen naar het spoor van of naar Tiel zijn niet meegenomen;
- De treinbewegingen van en naar de Merwede-Lingelijn vanaf Geldermalsen zijn buiten beschouwing gelaten;
- De treinbewegingen van en naar Nijmegen vanaf 's-Hertogenbosch zijn buiten beschouwing gelaten.

### 3.3 Railinfrastructuur

- Voor de aanwezige spoorweginfrastructuur op het baanvak Utrecht – 's-Hertogenbosch is de situatie in 2009 als uitgangspunt genomen. Deze situatie is weergegeven op de situatietekeningen 1:1000, OBE-bladen, OS-bladen (NS'54 ATB EG) zoals opgesomd in bijlage 4;
- Aangenomen wordt dat de energievoorziening voldoende is, met andere woorden dat de bovenleiding een nominale spanning van 1500 Volt heeft.

### 3.4 Materieel

- In de berekeningen is rekening gehouden met intercity's, stop- en goederentreinen;
- Voor de intercity is als materieeltype de VIRM (2x 6 bakken) met een lengte van 324 meter aangenomen;
- Voor de stoptrein is als materieeltype SLT met een lengte van 220 meter aangenomen;
- Voor de goederentrein is aangenomen dat de trein 550 meter lang is (afgestemd op de inhaalsporen), 1500 ton weegt en getrokken wordt door een loc van het type Class 66. De remkranen staan in de stand 'P';
- Goederentreinen kennen geen tonnagebepalingen (reageren niet op L/H-seinen);
- Voor de remvertraging is onderscheid gemaakt tussen een vrije remming en een door het beveiligingssysteem opgelegde remming;
- Hoe machinisten zullen omgaan met door het beveiligingssysteem opgelegde remmingen (de remstrategie) is medebepalend voor de capaciteit. De voor NS'54 en voor ERTMS te volgen remstrategie is beschreven in "Capaciteitseffecten ERTMS, Methodiek voor het berekenen van rij- en opvolgtijden in NS'54 ATB EG en ERTMS Level 2 (zie bijlage 1);
- Als remvertraging voor een vrije remming is voor de intercity's  $0,66\text{m/s}^2$ , voor de stoptreinen  $0,8\text{m/s}^2$  en voor de goederentreinen  $0,33\text{m/s}^2$  aangenomen.

## 3.5 Rij- en opvolgtijdberekeningen

- Voor de intercity's, stoptreinen en goederentreinen zijn de rijtijden bepaald uitgaande van een vlakke baan. De invloed van hellingen op de rij karakteristieken is verwaarloosd;
- Als startpunt van de berekeningen zijn voor de intercity's en stoptreinen de halteringsplaatsen in Utrecht en 's-Hertogenbosch aangenomen;
- Dienstregeling 2009 (BUP en BSO, zie bijlage 5) is uitgangspunt voor de rij- en opvolgtijdberekeningen van de intercity's, stop- en goederentreinen. Het perronspoorgebruik te Utrecht, Geldermalsen en 's-Hertogenbosch is hiermee dan ook in overeenstemming;
- Aangenomen wordt dat alle goederentreinen uit de richting Amsterdam komen.
- De berekende rijtijden zijn:
  - Intercity van spoor 15 in Utrecht, via spoor 5 in Geldermalsen, naar spoor 6 in 's-Hertogenbosch;
  - Stoptrein van spoor 19 in Utrecht, via spoor 4b in Geldermalsen, naar spoor 9 in 's-Hertogenbosch;
  - Goederentrein van spoor 16 in Utrecht, stoppend op spoor 6 in Geldermalsen, over spoor 10 in 's-Hertogenbosch;
  - Goederentrein van spoor 16 in Utrecht, via spoor 5 in Geldermalsen, over spoor 10 in 's-Hertogenbosch;
- De berekende opvolgsituaties tussen Utrecht en Geldermalsen zijn:
  - Vertrek intercity – vertrek stoptrein in Utrecht;
  - Binnenkomst stoptrein – doorgaand intercity in Geldermalsen;
  - Vertrek intercity – doorgaand goederentrein in Utrecht;
  - Binnenkomst goederentrein – binnenkomst stoptrein te Geldermalsen;
  - Vertrek intercity – doorgaand goederentrein te Utrecht;
  - Doorgaand goederentrein – binnenkomst stoptrein te Geldermalsen.
- De berekende opvolgsituaties tussen Geldermalsen en 's-Hertogenbosch zijn:
  - Doorgaand intercity – vertrek stoptrein in Geldermalsen;
  - Binnenkomst stoptrein – binnenkomst intercity in 's-Hertogenbosch;
  - Doorgaand intercity – vertrek goederentrein in Geldermalsen;
  - Doorgaand goederentrein – binnenkomst intercity in 's-Hertogenbosch;
  - Vertrek stoptrein – doorgaand goederentrein in Geldermalsen;
  - Doorgaand goederentrein – binnenkomst intercity in 's-Hertogenbosch;

## 4 Resultaten capaciteitsberekeningen NS'54 ATB EG (bestaand)

Als referentie voor de berekeningen van NS'54 ATB EG optimaal en ERTMS Level 2 zijn de bestaande rij- en opvolgtijden van de dienstregeling 2009 voor het baanvak Utrecht – 's- Hertogenbosch doorgerekend. Op basis van de resultaten is het baanvakbelastingcijfer bepaald.

Belangrijk uitgangspunt bij deze berekeningen is dat de railinfrastructuur erbij ligt conform de situatie 2009 en geen enkele situatie geoptimaliseerd wordt. In bijlage 4 zijn de OBE-bladen weergegeven waarop de berekeningen zijn gebaseerd. In bijlage 6 zijn de snelheidsweg- en opvolgingdiagrammen opgenomen, waarvan in dit hoofdstuk de resultaten samengevat zijn.

### 4.1 Rijtijden

De kale rijtijden inclusief halteringstijden van de bestaande situatie zijn in de onderstaande tabel weergegeven. Voor details van deze berekeningen wordt verwezen naar bijlage 6.

Rijtijden	Ut-Gdm	Gdm-Ht	Totaal
Intercity	13'56"	12'09"	26'05"
Stoptrein	19'14"	14'38"	33'52"
Goederentrein met stop	22'14"	20'14"	42'28"
Goederentrein door	20'41"	17'06"	37'47"

Tabel 4.1: Rijtijden van de treinen op het baanvak Utrecht - 's-Hertogenbosch huidige situatie (NS'54 met ATB EG). De scheiding van de rijtijden te Geldermalsen is getrokken bij kilometer 26.008.

### 4.2 Opvolgtijden

In de onderstaande tabellen zijn de minimaal ongehinderde opvolgtijden opgesomd, waarbij de voor de bepaling van het baanvakbelastingcijfer maatgevende waardes gearceerd zijn. Het betreft opvolgtijden voor: vertrek Utrecht, binnenkomst en vertrek Geldermalsen en binnenkomst 's-Hertogenbosch.

Opvolgtijden Ut - Gdm	Vertrek Ut	Binnenkomst Gdm
IC - Stop	2'41"	7'59"
Stop - IC	6'35"	1'20"
IC - Gt met stop	3'02"	11'33"
Gt met stop - Stop	5'13"	2'13"
Stop - Gt door	3'02"	10'00"
Gt door - Stop	4'36"	3'07"

Tabel 4.2: Opvolgtijden op het baanvak Utrecht - Geldermalsen huidige situatie (NS'54 met ATB EG).

Opvolgtijden Gdm - Ht	Vertrek Gdm	Binnenkomst Ht
IC - Stop	1'31"	4'01"
Stop - IC	4'48"	2'22"
IC - Gt met stop	1'30"	9'37"
Gt met stop - IC	11'02"	2'57"
Stop - Gt door	3'12"	5'39"
Gt door - IC	7'53"	2'57"

Tabel 4.3: Opvolgtijden op het baanvak Geldermalsen - 's-Hertogenbosch huidige situatie (NS'54 met ATB EG).

### 4.3 Baanvakbelastingcijfer

De verhouding tussen de benodigde tijd om een reeks trein- en rangeerbewegingen uit te voeren en de beschikbare tijd (in dit geval een uur) voor dit proces, wordt het baanvakbelastingcijfer genoemd. De benodigde tijd bestaat voor een baanvak uit opvolgtijden en rijtijdverschillen. Op basis van de berekende kale rijtijden (inclusief halteertijden) en de

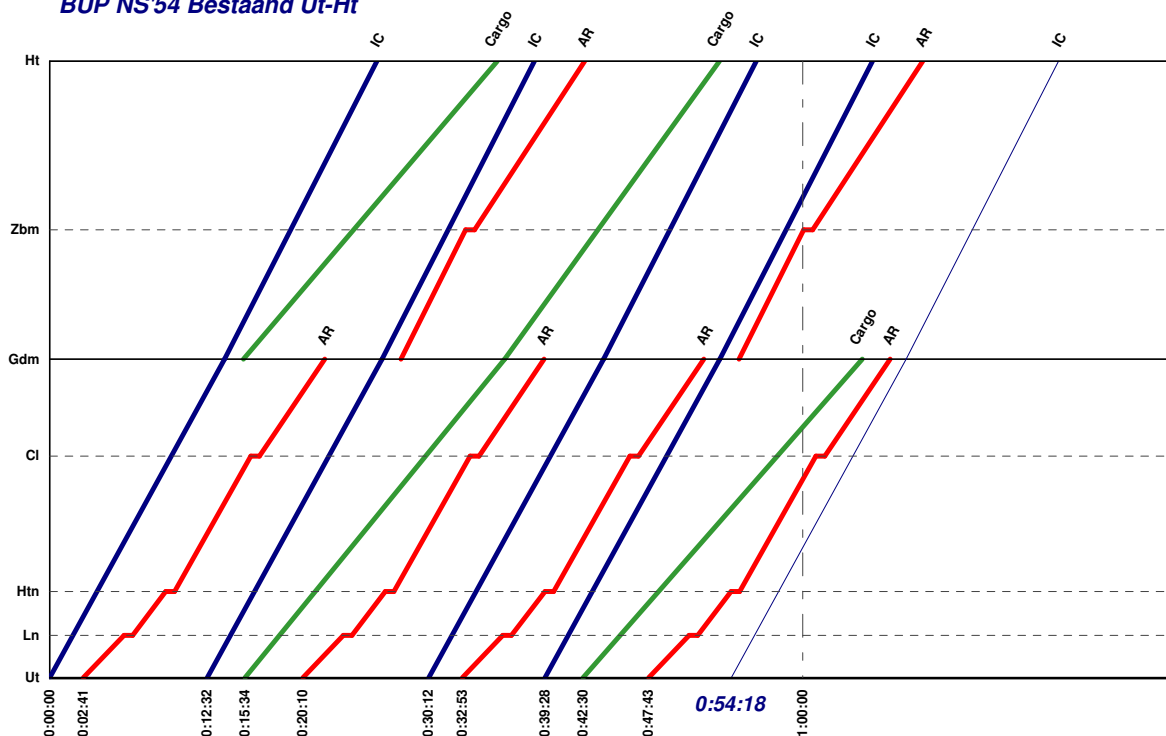


minimaal ongehinderde opvolgtijden is het baanvakbelastingscijfer voor het baanvak Utrecht – 's-Hertogenbosch bepaald.

Baanvakbelastingscijfer	NS'54
Vertrek 1 <sup>e</sup> trein Ut	0
Vertrek eerste trein volgende uurcyclus Ut	54'18"
Baanvakbelastingscijfer	91%

Tabel 4.4: Baanvakbelastingscijfer huidige situatie (NS'54 met ATB EG).

### BUP NS'54 Bestand Ut-Ht



Grafiek 4.1: Grafische weergave baanvakbelastingen huidige situatie (NS'54 met ATB EG).

## 4.4 Kanttekeningen

### 4.4.1 Seinsturing Geldermalsen

Bij het vaststellen van de rij- en opvolgtijden is geconstateerd dat te Geldermalsen de bestaande seinbeelden bij een rijweg naar spoor 4, via de wissels 91A/B niet conform de vigerende regelgeving zijn. Bij binnenkomst van een stoptrein toont het sein 42 in de huidige situatie Geel8, conform vigerende regelgeving zou dit beeld Geel6 moeten zijn. Correctie van dit seinbeeld levert een verlies van ongeveer 18 seconden op. Er is voor gekozen deze correctie niet door te voeren bij het doorrekenen van de referentiesituatie. In de NS-'54-optimalisatieslag wordt deze situatie wel aangepast.

### 4.4.2 Remvertraging goederentreinen onder NS'54

Voor ERTMS zijn de gemiddelde remkarakteristieken voor goederentreinen vastgesteld. (Zie ook paragraaf 6.7.4). Op basis hiervan kan worden geconcludeerd dat de in de NS'54-modellering gebruikte waarde van  $0,33 \text{ m/s}^2$  voor goederentreinen te optimistisch is. Van oudsher wordt zelfs gerekend met  $0,44 \text{ m/s}^2$ , hetgeen echter onrealistisch is. Bovendien wordt voor NS'54-berekeningen doorgaans geen onderscheid gemaakt tussen de aangenomen remvertragingen van goederentreinen met remstand P of G. Ook dit is niet realistisch. Het effect van deze aanname op de rij- en opvolgtijdberekeningen onder NS'54 (en dus op de performancevergelijking tussen NS54 en Level 2) is wisselend. Bij ruime blokken, die langer

## **ProRail**

zijn dan de benodigde remweg die er in moet worden uitgevoerd, leidt een slechtere remvertraging tot rijtijdwinst. Er wordt immers minder hard geremd, de snelheid blijft langer hoog, dus de rijtijd neemt af. In krappe blokken treedt echter een tegengesteld effect op. In de gebruikte modellering voltooit de trein de remming altijd binnen het blok. In werkelijkheid zal een machinist met een slechtere remvertraging de remming eerder inzetten, al op zichtafstand van het sein en waar nodig zelfs al eerder zijn snelheid beperken. In die gevallen leidt een slechtere remvertraging dus juist tot rijtijdverlies.

Ervan uitgaand dat bij een optimalisatie van NS'54 de bloklengtes in het algemeen dichter bij hun minimumlengtes worden gemaakt, dus krapper, kan worden gesteld dat de optimistische aanname over het remvermogen onder NS'54 leidt tot een kleine overschatting van de rijtijdwinst. In de performancevergelijking tussen NS-'54 geoptimaliseerd met ERTMS, wordt de capaciteit van NS-'54 dus iets overschat.

Een kwantitatieve indicatie hiervan op netwerkniveau is niet mogelijk.

## 5 Resultaten capaciteitsberekeningen NS'54 ATB EG geoptimaliseerd

Om te kunnen vaststellen of de eventuele capaciteitswinst daadwerkelijk toe te rekenen is aan ERTMS Level 2, is besloten ook te onderzoeken of het bestaande seinontwerp binnen de kaders en regelgeving voor het beveiligingsysteem NS'54 met ATB EG geoptimaliseerd kan worden. Bij deze optimalisering zijn, binnen deze studie, de volgende uitgangspunten gekozen:

- De huidige railinfra wordt, met uitzondering van de seinplaatsing, niet aangepast;
- De baanvaksnelheid van 130km/h is gehandhaafd;
- Het snelheidsprofiel is niet aangepast, tenzij dit eenvoudig mogelijk is door het verplaatsen van lichtseinen en/of borden.

### 5.1 Knelpuntanalyse

Op basis van de resultaten van de rij- en opvolgtijdberekeningen van de bestaande situatie is vastgesteld waar de knelpunten liggen bij het genereren van een dienstregeling. Met behulp van de opvolgdiagrammen van deze berekeningen zijn de locaties vast te stellen, het betreft de punten waarbij de opvolgende trein tegen een geel seinbeeld aanloopt. Uit de analyse zijn de volgende situaties naar voren gekomen waar optimalisatie van de seinplaatsing zinvol kan zijn:

- Vertrek Utrecht;
- Binnenkomst Geldermalsen;
- Vertrek Geldermalsen;
- Binnenkomst 's-Hertogenbosch.

### 5.2 Geoptimaliseerde seinplaatsing voor de gevonden knelpunten

Voor de gevonden knelpunten is onderzocht of een optimalisering van de seinplaatsing mogelijk is. Voor de genoemde situaties wordt nu aangegeven of er een optimalisatie mogelijk is, en indien dit het geval is welke rij- en/of opvolgtijdwinst dit dan zal geven. In de bijlage 7 kunnen de resultaten van deze berekeningen teruggevonden worden.

#### 5.2.1 Vertrek Utrecht

Het vertrek in Utrecht is bepalend voor de opvolgingen IC - stoptrein en IC - goederentrein. Een optimalisatie van deze opvolging kan worden gerealiseerd door:

- het verplaatsen van sein 609 van km 5.850 naar km 5.550;
- het verplaatsen van sein 603 van km 4.180 naar km 3.980;
- het verplaatsen van sein 268 van km 1.820 naar km 1.700.

Voor de opvolgingen heeft dit een verbetering van 6 (IC-Stop) en 5 (IC-Gt) seconden in de opvolgtijd tot gevolg en de rijtijden worden er niet door beïnvloed. Aandachtspunt bij deze optimalisatie is de waarneembaarheid van sein 268, en het tegensein van sein 268, op de nieuwe locatie voor sein 268 in verband met de aanwezige bogen.

#### 5.2.2 Seinverdichting rond de halte Culemborg

In de opvolging goederentrein doorgaand - stoptrein ligt het bepalende punt voor de halte Culemborg. Verbetering is mogelijk door het bij- en verplaatsen van seinen rond deze halte.

- verplaatsen van sein 16 van km 17.482 naar km 17.173,
- verplaatsen van sein 655 van km 19.188 naar km 18.395;
- het plaatsen van een nieuw sein op km 19.551.

In de bestaande situatie is het geel in sein 16 voor de stoptrein niet hinderend omdat de remming voor halte Culemborg al is ingezet. Door het verplaatsen van dit sein komt het voor de plek waar de remming moet worden ingezet en is Geel in dit sein dus wel hinderend. Deze aanpassingen leveren een verbetering in de opvolging van 15 seconden op.

## 5.2.3 Binnenkomst Geldermalsen

In de opvolgingen stoptrein-IC en goederentrein met stop op Gdm- stoptrein is de aankomst op Geldermalsen maatgevend. Er zijn voor deze opvolgingen verbeteringen denkbaar, namelijk:

- verplaatsen van sein 42 richting wissel 45;
- de afstand tussen de seinen 56 en 42 op remafstand 130-0 brengen.

Voor beide aanpassingen geldt echter dat deze niet alleen maar een positief effect hebben. Het verplaatsen van sein 42 doet de rijtijd van de stoptrein afnemen, maar heeft negatieve consequenties voor de opvolgtijd van de intercity. Echter heeft het vergroten van de seinafstand tussen de seinen 56 en 42 precies het tegenovergestelde effect. Beide maatregelen leveren bovendien maar weinig winst op en zijn daarom niet verder uitgewerkt.

Een tweede aanpassing bij binnenkomst Geldermalsen is de aanpassing van het volgens de vigerende regels niet correcte seinbeeld Geel8 van sein 42 indien sein 128 Rood toont. Door het terugschuiven van sein 94 met enkele meters, wordt de seinafstand tussen de seinen 94 en 128 net 400m, waarmee de Geel-Geel schakeling wordt voorkomen als sein 128 Rood toont. In de nieuwe situatie toont sein 94 Geel en sein 56 Geel4 (was Geel), waardoor sein 42 Geel8 mag tonen conform bestaande situatie, waarmee het in paragraaf 4.4 genoemde rijtijdverlies van 18 seconden komt te vervallen.

## 5.2.4 Vertrek Geldermalsen

Voor de opvolgingen IC - stoptrein, IC - goederentrein met start op Geldermalsen en stoptrein - goederentrein doorgaand, is de situatie bij vertrek bepalend. Door korte blokken bij vertrek in Geldermalsen toe te passen, kan de opvolgtijd worden verbeterd. Dit kan gedaan worden door:

- het plaatsen van een nieuw sein op km 26.450. Onderzocht dient te worden of dit sein voldoende waarneembaar is voor de machinist gezien de plaatsing in een boog;
- het verplaatsen van sein 436 van km 28.705 naar km 28.295;
- het plaatsen van een nieuw sein op km 29.495;
- het plaatsen van een nieuw sein op km 30.780.

Deze optimalisatie kan voor de stoptrein en goederentrein verder verbeterd worden door het bord aanzetten naar 130 km/h direct na wissel 145 bij het nieuwe sein op 26.450 te plaatsen. Deze verschuiving zal een rijtijdwinst voor de stoptrein en voor de goederentrein opleveren. Indien het bord in de huidige situatie verschoven zou worden en dus los van een lichtsein zou worden geplaatst, heeft dit tot gevolg dat vertrekkende goederentreinen uit Geldermalsen (spoor 506, 507 of 508) richting de Betuweroute op Geel moeten vertrekken. Lage seinen kunnen namelijk geen Geel varianten tonen en het vertrekken op Groenknipper kan betekenen dat de wissels die toegang geven tot de Betuweroute met een te hoge snelheid worden bereden omdat het snelheidsbord '13' na een groenvariant opgevolgd mag worden.. De gekozen oplossing voor de huidige situatie bij vertrek in Geldermalsen is typerend voor NS'54en kan bij handhaving van de bestaande blokindeling alleen verbeterd worden indien de lage seinen 132, 134 en 136 vervangen worden door een seinportaal met cijferbakken.

Het toepassen van korte blokken en het verplaatsen van het snelheidsbord 130 km/h op kilometer 26.425 levert de volgende verbeteringen op:

- 44 seconden voor de opvolging IC-goederentrein met start op Gdm;
- 11 seconden voor de opvolging stoptrein-goederentrein doorgaand;
- 12 seconden rijtijdwinst stoptreinen;
- 28 seconden rijtijdwinst goederentreinen die vanuit stop uit Geldermalsen vertrekken.

Daartegenover staat een opvolgtijdverslechtering van 3 seconden voor de opvolging IC – stoptrein. Door de snellere aanzet van de stoptrein bereikt deze eerder het beperkende seinbeeld Geel8 in het sein op km. 32.004.

## 5.2.5 Binnenkomst 's-Hertogenbosch.

Voor de opvolgingen stoptrein - IC en goederentrein - IC is de aankomst op 's-Hertogenbosch maatgevend. Deze opvolgingen kunnen verbeterd worden door:

- het verplaatsen van sein 747 van km 45.365 naar km 45.504;
- het mee verplaatsen van bord SR313 '6' van km 45.365 naar km 45.479.

Dit geeft voor beide opvolgingen een opvolgtijdswinst van 5 seconden en een rijtijdswinst van 1 seconde voor intercity's en stoptreinen en 2 seconden voor goederentrein.

## 5.3 Snelheidsprofiel

Het snelheidsprofiel voor de variant NS'54 met ATB EG geoptimaliseerd is op slechts twee locaties gewijzigd ten opzichte van het snelheidsprofiel toegepast bij de doorrekening van de variant met NS'54 met ATB EG huidige situatie. Het betreft hierbij de in de vorige paragraaf beschreven aanpassingen bij vertrek in Geldermalsen en binnenkomst van 's-Hertogenbosch. In Geldermalsen kan het snelheidsbord 13 verplaatst worden naar km 26.425, waardoor stop- en goederentreinen sneller kunnen aanzetten. In 's-Hertogenbosch kan sein 747 en het snelheidsbord 6 verplaatst worden waardoor treinen 115 meter langer 130km/h in plaats van 60 km/h kunnen rijden.

## 5.4 Rijtijden

De kale rijtijden inclusief halteringstijden van de geoptimaliseerde situatie zijn in onderstaande tabel weergegeven. Voor details van deze berekeningen wordt verwezen naar bijlage 7.

Rijtijden	Ut-Gdm	Gdm-Ht	Totaal
Intercity	13'56"	12'08"	26'04"
Stoptrein	19'13"	14'25"	33'38"
Goederentrein met stop	22'14"	19'44"	41'58"
Goederentrein door	20'41"	17'04"	37'45"

Tabel 5.1: Rijtijden van de treinen op het baanvak Utrecht - 's-Hertogenbosch geoptimaliseerd (NS'54 met ATB EG). De scheiding van de rijtijden te Geldermalsen is getrokken bij kilometer 26.008.

## 5.5 Opvolgtijden

In de onderstaande tabellen zijn de maatgevende opvolgtijden (blauw gearceerd) opgesomd. Het betreft de opvolgtijden voor: vertrek Utrecht, binnenkomst en vertrek Geldermalsen en binnenkomst 's-Hertogenbosch.

Opvolgtijden Ut - Gdm	Vertrek Ut	Binnenkomst Gdm
IC - Stop	2'35"	7'52"
Stop - IC	6'35"	1'20"
IC - Gt met stop	2'57"	11'28"
Gt met stop - Stop	5'13"	2'13"
Stop - Gt door	2'57"	9'56"
Gt door - Stop	4'21"	2'52"

Tabel 5.2: Opvolgtijden op het baanvak Utrecht - Geldermalsen geoptimaliseerd (NS'54 met ATB EG).

Opvolgtijden Gdm - Ht	Vertrek Gdm	Binnenkomst Ht
IC - Stop	1'34"	3'52"
Stop - IC	4'32"	2'17"
IC - Gt met stop	0'46"	8'20"
Gt met stop - IC	10'25"	2'51"
Stop - Gt door	3'01"	5'38"
Gt door - IC	7'46"	2'54"

Tabel 5.3: Opvolgtijden op het baanvak Geldermalsen - 's-Hertogenbosch geoptimaliseerd (NS'54 met ATB EG).



## 6 Resultaten capaciteitsberekeningen ERTMS Level 2

Voordat de rij- en opvolgtijden tussen Utrecht en 's-Hertogenbosch onder ERTMS Level 2 bepaald kunnen worden, dient eerst een projectering van ERTMS Level 2 te worden gemaakt. Deze bestaat uit:

- Blokgrenzen;
- Snelheidsprofiel;
- Hellingsegmentering;
- Baliseprojectering.

De projectering is gemaakt conform de binnen dit project opgestelde projecteringsregels (zie bijlage 2). Daarnaast zijn de volgende uitgangspunten gehanteerd:

- De bestaande railinfrastructuur is, met uitzondering van de beveiliging, niet aangepast.
- De maximale snelheid is 130km/h;
- Een snelheidsverhoging naar 140 of 160km/h die lokaal mogelijk is zonder infra-aanpassing, is in niet de capaciteitsberekeningen meegenomen. Wel is voor de stoptrein en intercity berekend welke rijtijdwinst er mogelijk is als de baanvaknelheid wordt opgeschroefd naar deze snelheid, maar hier zijn in verband met de vergelijkbaarheid met NS'54 ATB EG verder geen capaciteitsberekeningen op toegepast. Zie paragraaf 2.4 voor toelichting;
- Het huidige snelheidsprofiel is aangepast, waarbij ten opzichte van NS'54 veranderingen van het profiel kunnen ontstaan doordat:
  - in ERTMS snelheidstappen van 5km/h kunnen worden gedefinieerd, waarbij elke snelheid tussen 0 en 130km/h kan worden bewaakt;
  - in ERTMS snelheden eenvoudiger routeafhankelijk bepaald kunnen worden, waardoor het minder vaak nodig is voor een emplacement één maximale snelheid toe te passen;
  - snelheidsdefinities niet gekoppeld zijn aan seinlocaties of plaatsingseisen van borden;
- Gebaseerd op de normwaarde van het Ontwerpvoorschrift Aligement (OVS00056) is elke snelheidsverhoging die mogelijk is meegenomen. Lokaal is rijtijdwinst mogelijk door de uitzonderingswaarde uit het OVS toe te passen. Omdat hiervoor geen normen beschikbaar zijn, is dit in deze studie verder niet meegenomen;
- Indien in de bestaande situatie sneller gereden wordt dan de vigerende versie van de OVS toelaat, is aangenomen dat de bestaande snelheid gehandhaafd blijft;
- De bestaande snelheden die voor de kromme stand van verschillende type wissels gelden, zijn niet aangepast;
- Korte snelheidsverhogingen over kleine delen van de infra (bijvoorbeeld tussen wissels) zijn meegenomen, tenzij hier geen rijtijdwinst door ontstaat.

### 6.1 Projectering blokgrenzen ERTMS Level 2

#### 6.1.1 Projectering blokgrenzen op basis van projecteringsregels

In de rapportage in bijlage 2 is aangegeven aan welke regels de projectering van de blokgrenzen moet voldoen. Bij de projectering voor het baanvak Utrecht- 's-Hertogenbosch zijn de volgende regels van toepassing:

- De minimale blok lengte is 100 meter, er is geen maximale blok lengte;
- Bijzondere gevaarpunten worden afgedekt door een blok grens. Hierbij wordt conform AV een gevaarpuntsafstand ("doorschietlengte") toegepast van 200 meter. De EoA en SvL komen hierbij beide op 200 meter van het gevaarpunt, ondanks dat dit enkele seconden opvolgtijd kost en uit veiligheidsoogpunt onnodig is.

- Er mag geen blok grens worden toegepast binnen 425 meter na een open spaninrichting van de bovenleiding;
- Er mag geen blok grens worden toegepast binnen 425 meter na een overweg;
- Streven is een blok grens maximaal 300 meter voor het eerste wissel in een wisselstraat aan te brengen;
- Bij een stationnement op een emplacement of halte dient na het einde van het perron, bij voorkeur tussen de 75 en 150 meter vanaf de stoplocatie, een blok grens aangebracht te worden;

Op basis van deze regels zijn de minimaal benodigde blok grenzen bepaald; deze zijn weergegeven in bijlage 8a. Bij het afdekken van wissels is er voor gekozen de blok grenzen zo dicht mogelijk tegen de wissels aan te leggen, maar ook binnen ERTMS kunnen blok grenzen niet op alle locaties geprojecteerd worden en is hier soms van afgeweken. Bij het optimaliseren van de capaciteit is onderzocht of deze locaties niet tot ongewenste capaciteitseffecten leiden en of een kleine verschuiving van een blok grens wellicht capaciteitswinst oplevert.

### 6.1.2 Projectering blok grenzen op basis van optimalisatie capaciteit

#### *Algemeen*

In de projecteringsregels is ten aanzien van de capaciteit de volgende regel opgenomen:

- De blok indeling moet resulteren in opvolgtijden die de gespecificeerde lijnvoering, met daarin alle voorkomende treinopvolgingen, kan faciliteren.

Als toelichting op deze regel is aangegeven dat de onderlinge afstand tussen blok grenzen zo gekozen dient te worden dat de capaciteit van de railinfrastructuur geoptimaliseerd wordt op alle mogelijk realistische treinopvolgingen. Om deze optimalisatie te kunnen maken, is eerst vastgesteld wat de theoretisch minimale opvolgtijd is. Er zijn enkele bepalende punten binnen railinfra, waarvoor los van het toegepaste beveiligingsstelsel, al een minimale opvolgtijd geldt. Het betreft:

1. Opvolging op de vrije baan;
2. Opvolging bij een gelijkvloerse kruising van stromen;
3. Opvolging bij een intakking;
4. Opvolging bij een uittakking;
5. Opvolging bij een halte.

Bij deze punten is sprake van een minimaal fysiek mogelijke opvolging. Treinen dienen namelijk altijd minimaal op remwegafstand (met daar aan toegevoegd toeslagen voor reactietijden van het stelsel en de machinist) van elkaar verwijderd te zijn (situatie 1 en 2). Aangevuld met systeemtijden voor het omlopen van een wissel (situatie 3 en 4) of halteringstijden (situatie 5). Deze opvolgingen kunnen door het toe te passen beveiligingsstelsel niet verbeterd worden, maar wel verslechteren. Streven is natuurlijk deze verslechtering door het beveiligingsstelsel tot een minimum (bij voorkeur geen verlies) te beperken. In de rapportage in bijlage 2 is bij de projecteringsregels de strategie aangegeven om deze bepalende punten optimaal in te richten.

#### *Baanvak Utrecht-'s-Hertogenbosch*

Eerder is al aangegeven dat de dienstregeling 2009 uitgangspunt is voor de berekeningen op het baanvak Utrecht-'s-Hertogenbosch. In deze dienstregeling komen de aangegeven situaties 1, 2 en 5 niet als maatgevende situaties voor, dit in tegenstelling tot de situaties 3 en 4 die wel als maatgevende situaties terug te vinden zijn op dit baanvak, namelijk bij:

- Vertrek Utrecht;
- Binnenkomst en vertrek Geldermalsen;
- Binnenkomst 's-Hertogenbosch.



Bij de projectering voor het baanvak Utrecht – 's-Hertogenbosch kan in veel standaard situaties de theoretisch minimale opvolgtijd gerealiseerd worden. In de desbetreffende opvolgtijdgrafieken is het bepalende punt voor de opvolging ook gerelateerd aan de blokgrens bij de uit- of intakking, tenzij de opvolgtijd op meerdere locaties in gelijke mate wordt beperkt. In een aantal situaties kan het theoretisch minimum niet worden bereikt. Dit is in het algemeen het gevolg van een dwangpunt dat de projecteringsvrijheid voor blokgrenzen beperkt. De beperkingen voor de projectering van blokgrenzen die er ook binnen ERTMS Level 2 zijn, leveren voor het baanvak Utrecht- 's-Hertogenbosch beperkt capaciteitsverlies op.

Beperkingen ten opzichte van het optimum komen op de volgende locaties voor:

- Vertrekopvolgingen Utrecht tot Lunetten. De opvolgtijden worden hier bepaald door een serie blokjes van rond de 400 meter. De langste hiervan is bepalend. Van één hiervan wordt de minimumlengte bepaald door een open spaninrichting (een bovenleidingvoorziening waar een trein niet tot stilstand mag komen).
- Bij binnenkomst op Geldermalsen. Hier wordt de blokindeling beperkt door de aanwezigheid van een overweg.
- Binnenkomstopvolgingen bij 's-Hertogenbosch. Deze worden beperkt door twee factoren. De gevaarpuntsafstand van 200 meter tot de aansluiting vanuit Nijmegen hindert hier de blokindeling. (Beveiligde doorschietlengte zou hier enkele seconden opvolgtijdwinst opleveren). In hetzelfde gebied wordt de blokindeling beperkt door een open spaninrichting op het spoor vanuit Nijmegen.

In het algemeen geldt dat het nadeel van dwangpunten beperkter is dan in de vergelijkbare situatie met NS'54, omdat de blokgrenzen bij ERTMS Level 2 geen verplichte onderlinge afstanden vereisen. Het niet-optimaal kunnen plaatsen van één blokgrens werkt niet door tot in de omliggende blokken.

Concluderend kan gesteld worden dat de projectering voor het bestudeerde baanvak voor de treinbewegingen conform de dienstregeling 2009 een bijna-optimale situatie oplevert. De projectering van ERTMS Level 2 levert namelijk bijna geen extra verlies van opvolgtijden op ten opzichte van de theoretisch minimale opvolgtijden die mogelijk zijn.

### 6.1.3 Projectering blokgrenzen ten behoeve van verstoorde dienstregeling

De projectering die volgt op basis van de in deze studie beschouwde opvolgsituaties heeft tot gevolg dat de blokgrenzen niet evenwichtig over het baanvak verdeeld zijn. Op locaties waar treinen dicht bij elkaar rijden volgens de dienstregeling 2009 zijn meer blokgrenzen aangebracht, dan op de locaties waar treinen, gezien de snelheidsverschillen en verschillende stoppatronen, verder uit elkaar rijden. Er is gekozen om minimaal elke 900 meter (aangenomen bloklengte) een blokgrens te projecteren, om ook in verstoorde situaties (vertraging) voldoende capaciteit te hebben ofwel: een robuuste dienstregeling. Een optimalisering (bijvoorbeeld om de kosten te beperken) hiervan is zeker mogelijk, maar binnen deze studie niet gedaan.

Bovendien is bij het projecteren van deze blokgrenzen niet gekeken of deze grenzen voldoen aan de gehanteerde projecteringsregels. Hiervoor is gekozen omdat deze aangebrachte blokgrenzen geen invloed hebben op de uitkomst van deze capaciteitsstudie en het bovendien zeer eenvoudig is om, indien nodig, een alternatieve projectering te vinden.

### 6.1.4 Resultaat projectering blokgrenzen baanvak Utrecht-'s-Hertogenbosch

De uiteindelijk gebruikte projectering van blokgrenzen voor ERTMS Level 2 voor het baanvak Utrecht-'s-Hertogenbosch op basis van projecteringsregels, capaciteit en robuustheid is opgenomen in bijlage 8a.

## 6.2 Snelheidsprofiel

Voor de berekeningen met ERTMS Level 2 is aan de hand van de genoemde uitgangspunten een nieuw snelheidsprofiel vastgesteld voor het onderzochte baanvak. Dit snelheidsprofiel is opgenomen in bijlage 8b.

Het nieuw gevonden snelheidsprofiel voor ERTMS Level 2 kent maar weinig optimalisaties ten opzichte van het snelheidsprofiel van NS'54. Belangrijkste reden hiervoor is dat de gereden snelheden in de bestaande situatie op een aantal locaties volgens de vigerende versie van de OVS niet zijn toegestaan. Voor het baanvak Utrecht- 's-Hertogenbosch had daarom in op een aantal locaties een lagere snelheid moeten worden toegepast. In het kader van deze studie is besloten in dergelijke gevallen de bestaande snelheid te handhaven, aangezien anders een eerlijk vergelijk tussen NS'54 ATB EG en ERTMS Level 2 niet mogelijk is. Overigens leidt de constatering dat in de bestaande situatie op een aantal locaties de snelheid niet aan de vigerende versie van het OVS voldoet niet tot onveiligheid maar wel tot meer onderhoud.

## 6.3 Hellingsegmentering

Voor het bepalen van de remcurves van de verschillende treinen onder ERTMS Level 2 is het ook van belang een hellingsegmentering vast te stellen. Deze kan bij een ongunstige projectering nadelige gevolgen hebben voor de rijtijden. In bijlage 8c is de hellingsegmentering voor het baanvak Utrecht- 's-Hertogenbosch vermeld.

## 6.4 Rijtijden

In paragraaf 2.4 is aan de orde gekomen dat de maximale snelheid van 130km/h niet verhoogd zal worden om de vergelijking van baanvakbelastingcijfers niet te vertroebelen.

Om toch vast te kunnen stellen wat de mogelijke rijtijdwinsten zijn bij verhoging van de maximale snelheid voor de intercity en stoptrein tot 140 dan wel 160km/h, zijn ook deze rijtijden vastgesteld. Voor de goederentrein is deze ophoging niet van belang, aangezien de maximale (materieel)snelheid voor deze treinen 85km/h is.

In onderstaande tabel kunnen de rijtijden voor de verschillende treinsoorten teruggevonden worden waarbij het nieuwe snelheidsprofiel is toegepast en de maximale snelheid 130, 140 dan wel 160km/h bedraagt (zie bijlagen 9 en 10 voor nadere details).

Rijtijden ERTMS (130, 140 en 160 km/h)	Ut-Gdm			Gdm-Ht			Totale rijtijd		
	130	140	160	130	140	160	130	140	160
Intercity	13'52"	13'25"	13'18"	11'37"	11'11"	10'58"	25'29"	24'36"	24'16"
Stoptrein	18'46"	18'26"	18'17"	13'57"	13'35"	13'22"	32'43"	32'01"	31'39"
G'trein met stop	22'07"	Nvt	Nvt	19'12"	Nvt	Nvt	41'19"	Nvt	Nvt
G'trein door	20'42"	Nvt	Nvt	16'43"	Nvt	Nvt	37'25"	Nvt	Nvt

Tabel 6.1: Rijtijden van intercity's, stop- en goederentreinen bij een ophoging van de snelheid op baanvak Utrecht - 's-Hertogenbosch bij ERTMS Level 2. De scheiding van de rijtijden te Geldermalsen is getrokken bij kilometer 26.008.

## 6.5 Opvolgtijden

In de onderstaande tabellen zijn de minimaal ongehinderde opvolgtijden opgesomd, waarbij de voor de bepaling van het baanvakbelastingcijfer maatgevende waardes gearceerd zijn. Het betreft opvolgtijden voor: vertrek Utrecht, binnenkomst en vertrek Geldermalsen en binnenkomst 's-Hertogenbosch (zie bijlage 9 voor nadere details).

Opvolgtijden Ut - Gdm	Vertrek Ut	Binnenkomst Gdm
IC - Stop	1'42"	6'34"
Stop - IC	5'40"	0'48"
IC - Gt met stop	1'27"	9'53"
Gt met stop - Stop	4'50"	1'29"
IC - Gt door	1'27"	8'29"
Gt door - Stop	3'55"	1'58"

Tabel 6.2: Opvolgtijden op het baanvak Utrecht - Geldermalsen bij ERTMS Level 2.

Opvolgtijden Gdm - Ht	Vertrek Gdm	Binnenkomst Ht
IC - Stop	0'54"	3'14"
Stop - IC	3'48"	1'28"
IC - Gt met stop	0'38"	8'14"
Gt met stop - IC	9'38"	2'03"
Stop - Gt door	1'53"	4'39"
Gt door - IC	7'11"	2'03"

Tabel 6.3: Opvolgtijden op het baanvak Geldermalsen - 's-Hertogenbosch bij ERTMS Level 2..

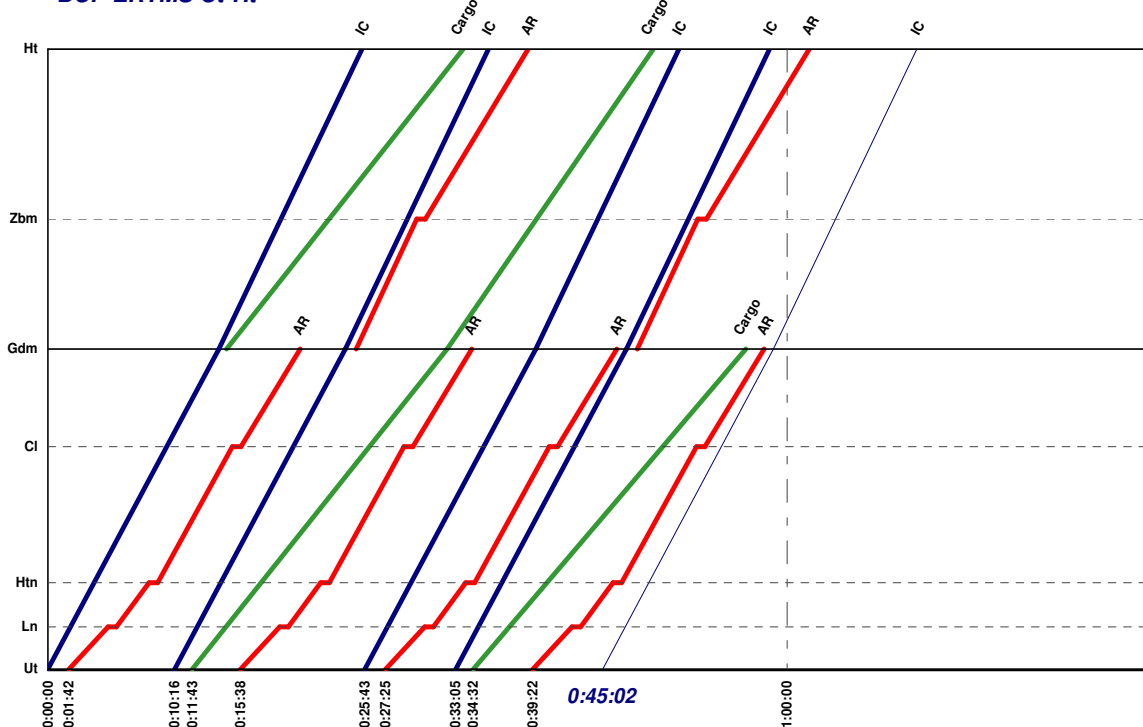
## 6.6 Baanvakbelastingcijfer

Op basis van de berekende rij- en opvolgtijden is de baanvakbelasting voor het baanvak Utrecht – 's-Hertogenbosch bepaald. De onderstaande tabel en grafiek tonen het resultaat.

Baanvakbelastingcijfer	ERTMS Level 2
Vertrek 1 <sup>e</sup> trein Ut	0
Vertrek 1e trein volgende cyclus	45'02"
Baanvakbelastingcijfer	75%

Tabel 6.4: Baanvakbelastingcijfer bij ERTMS Level 2.

### BUP ERTMS Ut-Ht



Grafiek 6.1: Grafische weergave baanvakbelastingen ERTMS Level 2.

## 6.7 Kanttekeningen

Bij een aantal uitgangspunten of aannamen, die tot de gevonden resultaten hebben geleid, dient een kanttekening geplaatst te worden.

### 6.7.1 Remmodel 3.0.0 met bijbehorende parameters

Subset 026 in versie 3.0.0 ('Baseline 3') schrijft het model voor waarin remcurves aan boord van de trein moeten worden berekend. De performance van dit remmodel is beter dan de

bestaande toegepaste ERTMS remmodellen, omdat onnodige marges in dit remmodel worden vermeden. Deze marges beperken de performance zonder dat de veiligheid hierdoor wezenlijk verbetert.

De toepassing van veiligheidsfactoren in Baseline 3 is nog in ontwikkeling. Het wordt aangepast zodat de toegepaste veiligheidsfactoren expliciet gekoppeld zijn aan een vereist zekerheidsniveau, welke vanuit de baanzijde aan de trein kan worden opgelegd. Welk niveau voor Nederland moet worden gekozen is nog niet in te schatten, mede omdat dit een recente ontwikkeling betreft. Het is voor de capaciteit van belang dat bij de vaststelling van deze parameters zorgvuldig wordt vermeden onnodige, verborgen marges toe te passen. Ondanks dat deze waarden inmiddels als achterhaald beschouwd moeten worden, zijn ze in het kader van deze studie niet opnieuw vastgesteld. Deze gebruikte waarden zijn  $K_v \cdot K_r = 0,76$  voor goederentreinen en  $0,92$  voor reizigerstreinen. De waarden voor  $K_t = 1,1$ . Het effect van deze keuze op het vastgestelde performanceeffect is afhankelijk van het aantal en het soort remmingen, maar is beperkt, (ordegrootte secondes). Als voor goederentreinen zou worden gerekend met een  $K_v \cdot K_r$  van  $0,86$  (ipv  $0,76$ ) scheelt dit voor Utrecht – Geldermalsen  $3$  seconden rijtijd. Als voor stoptreinen alle correctiefactoren op  $1$  worden gesteld (geen correctie), scheelt dit  $2$  seconden rijtijd.

Op dit moment is er nog geen boordapparatuur beschikbaar dat is ontwikkeld op basis van remmodel van Baseline 3. Het is echter aannemelijk dat dit beschikbaar komt. Leveranciers van treinapparatuur hebben aangegeven het remmodel te kunnen implementeren.

### 6.7.2 Geparametriseerde reizigerstreinen

De parameters voor de reizigerstreinen die in deze studie zijn meegenomen, zijn aangeleverd door Lloyds Register Rail. Er is enige onzekerheid of deze remkarakteristieken zonder enige veiligheidsmarge zijn vastgesteld, zoals UIC-fiche 544-1 dat voorschrijft. Als er marges zijn toegepast, kunnen de toegepaste standaard correctiefactoren te conservatief zijn. Nader onderzoek op het gebied van de remparameters en bijbehorende correctiefactoren is gewenst, maar dit past niet binnen deze studie.

### 6.7.3 Inzet getrokken materieel

Er is niet gerekend met getrokken materieel (loc met rytuigen) in plaats van stroomlijnmaterieel (vaste treinstellen). Veelal is getrokken materieel alleen pneumatisch beremd. Dit geeft ongunstiger remeigenschappen dan treinstellen, die veelal elektro-pneumatisch beremd zijn. Daarnaast geldt bij ERTMS, dat de remkarakteristieken van treinstellen precies bekend en ingeprogrammeerd zijn. Bij getrokken materieel wisselt de samenstelling. De remparameters moeten voor iedere rit apart worden bepaald. Omdat dit vlot maar veilig moet gebeuren, worden er veiligheidsmarges toegepast. Daardoor heeft getrokken materieel ongunstiger remkarakteristieken dan vaste treinsamenstellingen.

### 6.7.4 Vaststellen rempercentage van de goederentrein

De ERTMS-remkarakteristieken voor het gebruikte materieeltypes zijn vastgesteld in samenwerking met Lloyds (zie bijlage 11). Als basisaanname geldt de vaststelling dat in Nederland de gemiddelde goederentrein met remstand P en  $500$  meter een rempercentage heeft van  $94\%$ . Dit betreft een rempercentage dat is vastgesteld conform versie 3 van UIC-fiche 544-1.

Recent is van dit fiche een update verschenen (versie 4), waarin de vaststellingswijze van een rempercentage is gewijzigd. De remparameters van een goederentrein worden aan boord gegenereerd op basis van een ingevoerd rempercentage, dat moet zijn vastgesteld op basis van Versie 4 van het Fiche. Om die reden is de  $94\%$ -waarde van 'Versie 3' omgerekend naar de waarde conform 'Versie 4'. Dit komt uit op  $84\%$ .

De resulterende basis-remvertragingen zijn beduidend conservatiever dan die Lloyds indicatief bij de 94%-trein vermeldde, terwijl min of meer gelijkblijvende waarden werden verwacht. Dit kan niet geheel worden verklaard, maar is als gegeven geaccepteerd.

Deze basis-remkarakteristieken worden gecorrigeerd met de veiligheidsfactoren (0,76 voor de remvertraging en 1,1 voor de remopbouwtijd).

Vermoed wordt dus dat de aannames over het remvermogen van goederentreinen onder ERTMS pessimistisch is. Eerder is in paragraaf 4.4.2 aangegeven dat voor NS-'54 juist een optimistische aannames is gedaan over de remmingen van goederentreinen. Een kwantificering hiervan is, zeker op netwerkniveau niet mogelijk.

## 6.7.5 Hellingsegmentering

Het hellingverloop van de baan wordt in ERTMS in vereenvoudigde vorm, in segmenten gepresenteerd aan de treinen. De trein corrigeert de remcurves aan de hand van deze hellinginformatie.

Vastgesteld is dat per segment de gemiddelde helling genomen mag worden, zolang wordt voorkomen dat de trein zijn remweg kan onderschatten op locaties waar hij tot stilstand moet komen: bij blokgrenzen. Het bepalen van de hellingsegmentering is daardoor een iteratief proces.

Vastgesteld is dat hellingsegmentering een beperkte invloed heeft op de capaciteit (ordegrootte: < 1 sec) Meestal zijn de negatieve effecten van de segmentering te compenseren door het iets verkorten van de blokken. Daarom is binnen dit project het aantal iteraties beperkt tot twee slagen en is verder geen gedetailleerde uitwerking gemaakt van de hellingsegmentering. Het heeft verder geen invloed op de uitkomsten van de berekeningen.

## 6.7.6 Optimalisering van het aantal EoA's

Bij de projectering is er voor gekozen om de blokgrenzen in drie stappen te bepalen:

1. Blokgrenzen op basis van de projecteringsregels;
2. Blokgrenzen ten behoeve van de capaciteit;
3. Blokgrenzen ten behoeve van verstoorde situaties.

Voor de eerste twee stappen is een reductie van het aantal blokgrenzen niet mogelijk, voor de derde stap wel. Binnen deze studie is ervoor gekozen om minimaal elke 900 meter een blok grens te projecteren, zodat de treinen in verstoorde situaties de voorgaande trein op een korte afstand kunnen naderen. Bovendien is de projectering hiermee minder dienstregeling afhankelijk door de constante afstand tussen de blokgrenzen.

Bij deze invulling is niet stil gestaan bij de kosten die hiermee gepaard gaan. Door het aantal blokgrenzen terug te brengen is een kostenreductie mogelijk. Hiermee wordt de projectering naar alle waarschijnlijkheid wel dienstregeling afhankelijk (er wordt geoptimaliseerd naar een dienstregeling) en biedt het projectering minder functionaliteit in verstoorde situaties.

## 6.7.7 Controle inpasbaarheid blokgrenzen (EoA's)

Alleen de in de berekening maatgevende blokgrenzen (EoA's) zijn gecontroleerd op inpasbaarheid, de overige EoA's zijn hierop niet gecontroleerd. Indien mocht blijken dat de plaats voor een van deze EoA's niet mogelijk is, kunnen de negatieve effecten eenvoudig gecompenseerd worden door het toepassen van kortere blokken.

## 6.7.8 EoA en SvL niet op dezelfde locatie

Uitgangspunt voor deze studie is dat End of Authority (EoA) en Supervised Location (SvL) op dezelfde locatie liggen. Hiervoor is gekozen om de huidige ERTMS-toepassingsregels van ProRail (signaling principles van de interlocking) het uit elkaar trekken van deze punten niet toelaat. Omdat voor bijna alle punten de SvL ook bijna gelijk valt met de EoA (las en sein) heeft dit voor deze studie geen consequenties.. Alleen bij de een beperkt aantal locaties onder andere bij aansluitingen waar een doorschietlengte van 200m is toegepast, is een optimalisatie mogelijk. De winst hiervoor is beperkt tot een aantal seconden. De veiligheidsaspecten, kosten

en baten van het toepassen van een overlap wordt verder onderzocht. De projectering in deze studie is zo gekozen dat een aanpassing van dit uitgangspunt alleen maar een positief effect zal hebben op de capaciteit.

### 6.7.9 Aannamen remgedrag machinisten (getrainde machinisten)

Voor het remgedrag van de machinist is het uitgangspunt dat het een getrainde machinist met wegbekendheid betreft. Voor deze machinisten is de aangenomen remstrategie een realistische maar ook optimistische remstrategie. De gehanteerde remstrategie is opgenomen in de Rapport Methodiek rij- en opvolgtijdberekeningen (zie bijlage 1). De gevoeligheid van deze aanname op het eindresultaat is waar mogelijk daarin besproken.

### 6.7.10 L/H-seinen

Op het bestudeerde baanvak komen L/H-seinen voor, echter niet in maatgevende situaties. Daarom is er in deze studie verder geen aandacht aanbesteed. L/H-seinen zijn aanvullende seinen die machinisten van zware goederentreinen informatie geven over de stand van volgende seinen, dicht bij steile hellingen. Ze worden doorgaans geplaatst naast de gewone lichtseinen. Een zware goederentrein wordt hiermee op grotere afstand gehouden van zijn voorganger. Dit heeft in voorkomende gevallen een negatief effect op de capaciteit. Een trein wordt niet direct op de locatie tot stilstand gebracht waar hij de helling nog kan halen, maar altijd al eerder, namelijk bij het lichtsein voorafgaand aan dat punt.

Omdat de blokdeling bij ERTMS een veel grotere vrijheid kent, mag worden verondersteld dat L/H-seinen onder ERTMS op gunstiger locaties kunnen worden geplaatst dan bij NS-'54. In situaties waar L/H-seinen medebepalend zijn voor de baanvakcapaciteit, is een combinatie met ERTMS gunstiger dan nu met NS-'54.

Overigens kent ERTMS geen equivalent voor L/H-seinen. Voornamelijk wordt ervan uitgegaan dat deze buitenseinen toegepast zullen blijven, ook als de overige buitenseinen grotendeels verdwijnen.

### 6.7.11 Toepassen snelheid 140/160km/h

Er is bewust voor gekozen om de opwaardering van de baanvaksnelheid niet te beschouwen bij de bepaling van het baanvakbelastingcijfer. Hiervoor is gekozen omdat dat de rijtijdverschillen tussen de intercity enerzijds en stoptrein en goederentrein anderzijds daardoor toenemen en dit bij een gelijkblijvende treinvolgorde leidt tot een toename van de baanvakbelasting.

Om een goede capaciteitsvergelijking tussen ERTMS Level 2 en NS'54 te kunnen maken is daarom besloten een snelheidsverhoging niet mee te nemen in deze vergelijking, maar wel te onderzoeken welke rijtijdwinsten mogelijk zijn voor de intercity en stoptrein als deze verhoging doorgevoerd zou worden.

Uit de rijtijdberekeningen waarbij de baanvaksnelheid verhoogd is naar 140 en 160 km/h is gebleken dat de rijtijdwinsten voor de intercity (53/73 sec.) en stoptrein (42/64 sec.) niet veel verschillen, waardoor de toename van het rijtijdverschil tussen beide treinen zeer beperkt is. De toename is zo klein dat voor dit baanvak een doorvoering van de snelheid naar 160km/h interessant kan zijn. Echter het rijtijdverschil met de goederentrein (maximaal 80km/h) neemt wel toe en daarmee zal ook de baanvakbelasting toenemen.

Concluderend kan gesteld worden dat per baanvak beschouwd moet worden wat het doorvoeren van een snelheidsverhoging betekent voor de capaciteit op dat baanvak.

### 6.7.12 Toepassen ERTMS Level 2 op grote emplacements

ERTMS is in Level 1 of 2 nog niet toegepast op grote emplacements. Hierin worden echter geen onoverkomelijke problemen voorzien. Er zijn geen aanwijzingen om te veronderstellen dat dit niet mogelijk zou zijn.

## 6.7.13 Mogelijke optimaliseringen snelheidsprofiel

Voor het onderzoeksgebied is onderzocht welke snelheden kunnen worden toegestaan op de verschillende trajectdelen. Hierbij is onderscheid gemaakt tussen de snelheden volgens normwaarde en de uitzonderingswaarde en dat voor zowel NS-54 als voor ERTMS Level 2. Normwaarde en uitzonderingswaarde hebben betrekking op het effectieve verkantingstekort dat optreedt als een boog met de toegestane snelheid wordt bereden. Het verkantingstekort resulteert in dwarskracht op de spoorstaaf. Als dit hoger is dan de normwaarde, uit dit zich in discomfort voor reizigers en slijtage aan het spoor en pas bij veel hogere overschrijding in ontsporingsgevaar.

Tijdens het ontwerp wordt voor NS'54 vastgesteld of snelheden mogen worden toegestaan gebaseerd op de uitzonderingswaarde en wanneer niet. In eenvoudige bewoordingen komt dat neer op het volgende:

De snelheid volgens uitzonderingswaarde mag worden toegepast in situaties waarin redelijkerwijs zeker is, dat treinen deze snelheid niet zullen benutten en binnen de normwaarde blijven. Dit klinkt tegenstrijdig: een snelheid is toegestaan als je hem maar niet benut. Van belang is echter de vraag hoe en hoe strikt een snelheidsbeperking moet worden bewaakt door het seinstelsel. Op dit aspect verschilt ERTMS van NS'54:

ERTMS bewaakt iedere snelheidsbeperking met hetzelfde hoge veiligheidsniveau ('SIL-4'). Dit betekent dat ook snelheidsbeperkingen vanuit slijtage en comfort worden bewaakt alsof het veiligheidsgerelateerde snelheidsbeperkingen betreft.

Effectief heeft de trein een snelheidsbeperking altijd al bereikt, ruim voordat hij echt ingaat. Bij een stapsgewijze verlaging van het snelheidsprofiel wordt iedere tussensnelheid voortijdig bereikt. Dit gegeven biedt mogelijkheden om, gebaseerd op verwachte rijkaracteristieken, voorwaarden te formuleren waaronder de uitzonderingswaarde toegestaan is, net zoals dit nu bij NS'54 gebeurt.

Voor ERTMS is het beleid omtrent verkantingstekorten nog niet geformuleerd. Het is ook een te veelomvattend onderwerp gebleken om binnen het kader van dit project op te pakken. Daarom is steeds conservatief gerekend. De uitzonderingswaarde is nergens toegepast.

Ditzelfde geldt voor materieelafhankelijke snelheidsprofielen. ERTMS biedt de mogelijkheid om te differentiëren, hetgeen tot rijtijdwinst kan leiden of tot winst op het gebied van de onderhoudsinspanning. Ook deze mogelijkheden zijn niet verdisconteerd in de capaciteitsstudie. Verdere studie is hierop nog noodzakelijk.

## 6.7.14 Communicatietijden

Onderdeel van alle opvolgtijdberekeningen onder ERTMS, vormt de communicatietijd van RBC naar de trein. Op basis van informatie van systeemleveranciers is deze aangenomen op 5 seconden. (Real case aanname over het gemiddelde, geen worst-case). Het effect van deze aanname op het gevonden resultaat is eenvoudig aan te geven. De factor werkt meestal 100% door in de berekening. Als in een basisuurpatroon 10 maatgevende opvolgingen voorkomen, leidt een toename of afname van de gemiddelde communicatietijd van 1 seconde tot een verschil van maximaal 10 seconden per uur in het baanvakbelastingcijfer.

Hierop geldt één uitzondering: in die situaties waarin de vertrekproceduretijd maatgevend is en deze procedure start met een vertreklicht, is de communicatietijd niet maatgevend, omdat deze binnen de vertrekproceduretijd valt.

## 7 Vergelijking van de resultaten NS'54 (geoptimaliseerd) en ERTMS

De resultaten van de berekeningen voor de drie onderzochte situaties, NS'54, NS'54 geoptimaliseerd en ERTMS Level 2, worden in dit hoofdstuk naast elkaar gezet, waarbij de verschillen van de gevonden resultaten worden verklaard.

### 7.1 Rijtijden

Ten behoeve van de rijtijden zijn binnen deze studie twee onderzoeken uitgevoerd. Ten eerste is gekeken wat de rijtijden bij NS'54, NS'54 geoptimaliseerd en ERTMS Level 2 zijn wanneer de maximale snelheid van het baanvak Utrecht-'s-Hertogenbosch 130km/h blijft. Daarnaast is bekeken wat een ophoging van de maximale snelheid naar 140 respectievelijk 160km/h nog extra aan rijtijdwinst voor de stoptrein en intercity oplevert bij ERTMS Level 2.

#### 7.1.1 Resultaten

Rijtijden Max v = 130km/h	Ut-Gdm			Gdm-Ut			Totale rijtijd		
	NS54	NS54o	ERTMS	NS54	NS54o	ERTMS	NS54	NS54o	ERTMS
Intercity	13'56"	13'56"	13'52"	12'09"	12'08"	11'37"	26'05"	26'04"	25'29"
Stoptrein	19'14"	19'13"	18'46"	14'38"	14'25"	13'57"	33'52"	33'38"	32'43"
G'trein met stop <sup>2</sup>	22'14"	22'14"	22'07"	20'14"	19'44"	19'12"	42'28"	41'58"	41'19"
G'trein door	20'41"	20'41"	20'42"	17'06"	17'04"	16'43"	37'47"	37'45"	37'25"

Tabel 7.1: Rijtijden bij NS'54, NS'54 geoptimaliseerd en ERTMS Level 2 bij een maximale snelheid van 130km/h

Rijtijden ERTMS (130, 140 en 160 km/h)	Ut-Gdm			Gdm-Ut			Totale rijtijd		
	130	140	160	130	140	160	130	140	160
Intercity	13'52"	13'25"	13'18"	11'37"	11'11"	10'58"	25'29"	24'36"	24'16"
Stoptrein	18'46"	18'26"	18'17"	13'57"	13'35"	13'22"	32'43"	32'01"	31'39"

Tabel 7.2: Rijtijden bij ERTMS Level 2 met variërende maximale snelheid

#### 7.1.2 Verklaring verschil rijtijden

De verschillen in rijtijden tussen NS'54 en ERTMS Level 2 zijn vooral te verklaren door de mogelijkheid om sneller aan te zetten bij vertrek en later te remmen bij binnenkomst. Het optimaliseren van het snelheidsprofiel heeft voor het baanvak Utrecht-'s-Hertogenbosch geen winst opgeleverd. Per treintype worden de behaalde rijtijdwinsten nu toegelicht en verklaard. In bijlage 12 kunnen grafieken worden teruggevonden, waarin deze rijtijdverschillen grafisch inzichtelijk gemaakt worden. In deze paragraaf is ook een verklaring van de rijtijdwinsten bij een hogere baanvaknelheid terug te vinden.

##### *De intercity.*

De rijtijdwinst van 0'36" ten opzichte van de huidige situatie voor de intercity wordt gehaald door de mogelijkheid om sneller te kunnen vertrekken in Utrecht en in 's-Hertogenbosch sneller binnen te kunnen komen bij ERTMS Level 2. Het optimaliseren van NS'54 levert voor de intercity maar 1 seconde rijtijdwinst op, waardoor 0'35" rijtijdwinst is toe te wijzen aan Level 2. Het snellere vertrek te Utrecht wordt mogelijk doordat het projecteren van de blokgrenzen bij ERTMS Level 2 te Utrecht minder beperkingen kent dan de seinplaatsing voor NS'54. Bovendien hoeven snelheidsverhogingen niet meer met een blok grens gepaard te gaan, waardoor de snelheidsverhoging daar kan worden doorgevoerd waar de railinfra dit toelaat. Het sneller binnenkomen te 's-Hertogenbosch wordt vooral verklaard doordat de remming naar

<sup>2</sup> In de NS'54-berekeningen is de aanname voor de remvertraging van goederentreinen waarschijnlijk te optimistisch.



## **ProRail**

stop later ingezet kan worden en deze bovendien materieel afhankelijk is, maar ook het feit dat de projectering van de blokgrenzen minder beperkingen kent speelt mee.

Op het gehele baanvak tussen Utrecht en 's-Hertogenbosch is er geen winst te behalen door een aanpassing van het snelheidsprofiel, aangezien dit profiel bijna geen verschillen kent bij ERTMS Level 2 ten opzichte van ATB EG.

### *De stoptrein.*

De rijtijdwinst van 1'09" ten opzichte van de huidige situatie voor de stoptrein wordt behaald door de vertreksituatie in Utrecht en Geldermalsen en de binnenkomst in Geldermalsen en 's-Hertogenbosch. Een klein deel van deze winst, 14 seconden, kan ook worden behaald door NS'54 te optimaliseren. Door de invoering van ERTMS Level 2 ontstaat een extra rijtijdwinst van 55 seconden.

De verklaring voor het snellere vertrek te Utrecht en Geldermalsen is, net als bij de intercity, mogelijk doordat het projecteren van de blokgrenzen en snelheidsverhogingen bij ERTMS Level 2 te Utrecht minder beperkingen kent dan de seinplaatsing voor NS'54. De optimalisering te Geldermalsen is ook mogelijk door de seinplaatsing van NS'54 aan te passen, waarmee een rijtijdwinst van 12 seconden wordt geboekt. .

Voor het binnenkomen te Geldermalsen en 's-Hertogenbosch zijn vooral de mogelijkheid om pas later de remming tot stilstand in te zetten en dat deze remming materieel afhankelijk is, de belangrijkste verklaring voor de rijtijdwinst. Maar ook het makkelijker kunnen projecteren van blokgrenzen heeft zeker een positieve bijdrage.

Er worden geen rijtijdwinsten behaald bij de haltingen te Lunetten, Houten, Culemborg en Zaltbommel. De verklaring hiervoor is eenvoudig aangezien de remming naar deze haltes een vrije remming betreft en deze niet verschilt voor NS'54 en ERTMS Level 2.

Ook voor de stoptrein geldt dat het snelheidsprofiel bijna niet aangepast kan worden en er daarom hierdoor op het baanvak Utrecht- 's-Hertogenbosch geen winst behaald kan worden.

### *Goederentreinen*

De rijtijdwinst van 1'09" ten opzichte van de huidige situatie voor de goederentrein met een stop te Geldermalsen wordt verklaard door sneller te kunnen aanzetten bij vertrek in Geldermalsen en het later kunnen remmen bij binnenkomst in Geldermalsen en 's-Hertogenbosch. Door het optimaliseren van NS'54 kan een rijtijdwinst van 30 seconden behaald worden bij vertrek in Geldermalsen, hetgeen betekent dat de winst door de invoering van ERTMS Level 2 voor deze goederentrein 0'39" bedraagt.

Hiermee wordt ook verklaard dat de rijtijdwinst van 0'22" voor de doorgaande goederentrein te Geldermalsen kleiner is dan de rijtijdwinst voor de stoppende goederentrein, aangezien er voor de doorgaande goederentrein geen rijtijdwinst bij de aanzet te Geldermalsen wordt behaald.

### *Rijtijdwinst bij een baanvaksnelheid van 140 of 160km/h*

Door de baanvaksnelheid te verhogen naar 140 of 160km/h, is het mogelijk de rijtijdwinst verder te laten toenemen. Zowel voor de intercity als de stoptrein levert een verhoging tot 140 km/h een kleine minuut en een verhoging tot 160 km/h een ruime minuut extra rijtijdwinst op. Dat deze winsten vooral behaald worden door de verhoging naar 140km/h en in mindere mate door de verhoging van 140 naar 160km/h, wordt verklaard doordat het baanvak niet echt geschikt is voor 160km/h. De stukken baanvak waar 160km/h gereden kan worden zijn te kort en voordat de gemodelleerde treinen 160km/h rijden, dient vaak al een remming ingezet te worden naar een lagere snelheid

Opvallend is dat de behaalde winsten voor de intercity en stoptrein niet echt veel verschillen. De verwachting vooraf was dat vooral de intercity profijt zou hebben van de verhoging van de snelheid. Dat dit voor dit baanvak niet het geval is, wordt verklaard door de betere aanzetkarakteristieken van de stoptrein en het grote aantal locaties waar de maximale snelheid 130km/h mag bedragen. Hierdoor kan de intercity slechts beperkt profiteren van de snelheidsverhoging tot 160km/h.

## 7.1.3 Conclusie rijtijdwinsten

De rijtijdwinsten voor het baanvak Utrecht-'s-Hertogenbosch door de projectering van ERTMS Level 2 worden vooral behaald door:

- De mogelijkheid uitgesteld remmen toe te passen, waardoor de remming later kan worden ingezet en het rijden met een lage snelheid daarmee beperkt wordt;
- Het materieel afhankelijk remmen, waardoor voor elke treintype een optimale remming naar stop ingezet kan worden;
- Een klein deel van de gevonden rijtijdwinsten bij ERTMS Level 2 kunnen ook behaald worden door het optimaliseren van NS'54 ATB EG.

De rijtijdwinsten voor het baanvak Utrecht-'s-Hertogenbosch door de projectering van ERTMS Level 2 worden niet behaald door:

- Het beter kunnen volgen van het feitelijke snelheidsprofiel van de railinfrastructuur, op dit baanvak zijn namelijk weinig essentiële verschillen tussen het snelheidsprofiel van NS'54 en ERTMS Level 2;
- De mogelijkheid om het snelheidsprofiel tot op 5km/h nauwkeurig te volgen, aangezien deze situaties niet voorkomen op bestudeerde baanvak;
- De remmingen naar de haltes Lunetten, Houten, Culemborg en Zaltbommel, omdat deze haltes met een vrije remming benaderd worden. Een vrije remming biedt geen rijtijdwinst op, aangezien deze voor NS'54 en ERTMS Level 2 gelijk is.

Het verhogen van de baanvakssnelheid levert extra rijtijdwinsten op, waarbij opvalt dat:

- Een verhoging tot 140km/h verhoudingsgewijs meer rijtijdwinst oplevert dan een verhoging naar 160km/h, omdat het baanvak Utrecht-'s-Hertogenbosch slechts voor een klein deel geschikt is voor 160km/h;
- Het verschil in rijtijdwinst door deze verhogingen voor de intercity en de stoptrein vrijwel gelijk is, omdat de stoptrein betere aanzetkarakteristieken heeft en het baanvak groot aantal locaties kent waarvoor een maximale snelheid van 130km/h geldt.

## 7.2 Opgeloftijden

In de studie zijn de maatgevende opgeloftijden bepaald voor NS'54, NS'54 geoptimaliseerd en ERTMS Level 2. Het betreft de maatgevende opvolgingen voorkomend in dienstregeling 2009.

### 7.2.1 Resultaten

Opgeloftijden Ut - Gdm <i>Max snelheid si 130km/h</i>	Vertrek Ut			Binnenkomst Gdm		
	NS54	NS54o	ERTMS	NS54	NS54o	ERTMS
IC - Stop	2'41"	2'35"	1'42"	7'59"	7'52"	6'34"
Stop - IC	6'35"	6'35"	5'40"	1'20"	1'20"	0'48"
IC - Gt met stop	3'02"	2'57"	1'27"	11'33"	11'28"	9'53"
Gt met stop - Stop	5'13"	5'13"	4'50"	2'13"	2'13"	1'29"
Stop - Gt door	3'02"	2'57"	1'27"	10'00"	9'56"	8'29"
Gt door - Stop	4'36"	4'21"	3'55"	3'07"	2'52"	1'58"

Tabel 7.3: Opgeloftijden voor het baanvak Utrecht- Geldermalsen bij NS'54, NS'54 geoptimaliseerd en ERTMS Level 2

Opgeloftijden Gdm - Ht <i>Max snelheid si 130km/h</i>	Vertrek Gdm			Binnenkomst Ht		
	NS54	NS54o	ERTMS	NS54	NS54o	ERTMS
IC - Stop	1'31"	1'34"	0'54"	4'01"	3'52"	3'14"
Stop - IC	4'48"	4'32"	3'48"	2'22"	2'17"	1'25"
IC - Gt met stop	1'30"	0'46"	0'38"	9'37"	8'20"	8'14"
Gt met stop - IC	11'02"	10'25"	9'38"	2'57"	2'51"	2'03"
Stop - Gt door	3'12"	3'01"	1'53"	5'39"	5'38"	4'39"
Gt door - IC	7'53"	7'46"	7'11"	2'57"	2'54"	2'03"

Tabel 7.4: Opgeloftijden baanvak Geldermalsen-'s-Hertogenbosch bij NS'54, NS'54 geoptimaliseerd en ERTMS L2.

## 7.2.2 Verklaring verschil opvolgtijden

De resultaten van de berekeningen laten zien dat zonder uitzondering alle maatgevende opvolgtijden op het baanvak Utrecht- 's-Hertogenbosch door de invoering van ERTMS Level 2 afnemen, met minimaal 0'23" en maximaal met 1'40", ten opzichte van hetzelfde baanvak beveiligd met NS'54 ATB EG. Het optimaliseren van NS'54 levert in enkele situaties significante winst op, maar alleen bij de opvolging IC- Gt met stop bij vertrek uit Geldermalsen kan de behaalde winst voor het grootste deel ook behaald worden door het optimaliseren van NS'54. Echter kan gesteld worden dat de gevonden winsten vooral aan de invoering van ERTMS Level 2 kunnen worden toegeschreven. De belangrijkste verklaringen voor deze opvolgtijdwinsten bij ERTMS Level 2 zijn:

- Juist bij de bepalende punten in de opvolging is rijtijdverbetering mogelijk;
- Het is beter mogelijk de theoretisch minimale opvolgtijd van railinfra te benaderen;
- Opvolgende treinen kunnen elkaar op het maatgevende punt dichter naderen.

### *Rijtijdverbetering bij de bepalende punten in de opvolging*

De rijtijdverbeteringen op het baanvak Utrecht- 's-Hertogenbosch worden juist op die locaties behaald waar zich ook de bepalende situaties voor de opvolgtijden bevinden, bij vertrek en binnenkomst op de stations. Deze rijtijdwinst levert daardoor een dubbele winst op, ten eerste rijden de treinen sneller en ten tweede kunnen de treinen bij bepalende situaties in tijd dichter op elkaar rijden.

### *Theoretisch minimale opvolgtijd is beter te benaderen*

In de railinfrastructuur zijn locaties aanwezig die theoretisch minimale opvolgtijd kennen. Los van het toegepaste beveiligingssysteem kennen deze locaties een minimale opvolgtijd, die door de toepassing van het beveiligingssysteem wel kunnen verslechteren, maar niet beter kunnen worden. In meest optimale situatie worden de maatgevende opvolgtijden door de opvolgtijden van deze punten bepaald. Door de systeemkenmerken van NS'54 ATB EG is dit niet mogelijk en worden de maatgevende opvolgtijden bepaald door het beveiligingssysteem. Gebleken is dat bij de projectering van ERTMS Level 2 het beter mogelijk is deze theoretisch minimale opvolgtijden te benaderen. De verklaring hiervoor is dat de projectering van de blokgrenzen bij ERTMS Level 2 flexibeler is dan bij NS'54, omdat:

- Er is geen onderlinge relatie tussen de blokgrenzen, dit in tegenstelling tot blokgrenzen bij NS'54. Bij NS'54 is de afstand tussen twee grenzen bepalend voor het seinbeeld bij remmingen, het sein geeft namelijk aan waar de remming moet worden ingezet. De blokgrens bij ERTMS Level 2 geeft alleen aan of deze gepasseerd mag worden en de trein bepaalt vervolgens zelf het punt waarop de remming ingezet moet worden;
- De blokdictheid, het aantal toegepaste blokgrenzen, bij ERTMS Level 2 kan worden afgestemd op de plaatselijke behoefte om de capaciteit te kunnen optimaliseren. Er hoeft hierbij geen rekening gehouden te worden met ergonomische aspecten voor de machinist of onderlinge relaties tussen de blokgrenzen;
- De blokgrenzen zijn bij ERTMS Level 2 makkelijker plaatsbaar, omdat er minder eisen zijn dan bij NS'54 ten aanzien van de projectering van blokgrenzen, belangrijkste punt hierbij is de zichtbaarheid van de blokgrens. Bij NS'54 moeten de seinen buiten vanuit de cabine goed en ondubbelzinnig zichtbaar zijn, dit in tegenstelling tot de blokgrenzen bij ERTMS Level 2 die door middel van cabinesignalering zichtbaar gemaakt worden en dus altijd zichtbaar zijn;

Door het eenvoudiger kunnen projecteren van blokgrenzen is het bij ERTMS Level 2 makkelijker om eventuele knelpunten (bijvoorbeeld een open spaninrichting of overweg) in de projectering te omzeilen, zodat deze niet bepalend worden in de opvolging van twee treinen. Wanneer deze knelpunten echter te dicht bij een punt met een theoretisch minimale opvolging liggen (bijvoorbeeld een uittakkend wissel), wordt de kans groot dat ook in ERTMS Level 2 de maatgevende opvolgtijd groter wordt dan de theoretisch minimale opvolgtijd.

## *Treinen dicht op elkaar bij de bepalende punten*

Doordat bij ERTMS Level 2 de locatie wordt aangegeven waar een trein tot stilstand moet zijn gekomen en de trein zelf bepaalt waar de remming dan moet worden ingezet, wordt het mogelijk het bepalende punt dicht te naderen in afstand. Op het moment dat dit bepalende punt namelijk vrij komt mag de opvolgende trein zich op remwegafstand verlengd met extra afstand ten behoeve van een reactietijd tot dit punt bevinden. Deze afstand zal voor goed beremde treinen kleiner zijn dan de afstand die op basis van de regelgeving van NS'54 ATB EG noodzakelijk is.

### 7.2.3 Conclusie opvolgtijdwinsten

De opvolgtijdwinsten voor het baanvak Utrecht-'s-Hertogenbosch door de projectering van ERTMS Level 2 worden behaald door:

- Dat rijtijdwinsten vooral behaald worden bij vertrek en binnenkomst van treinen op stations en juist deze locaties de bepalende opvolgtijden opleveren;
- De mogelijkheid om de theoretisch minimale opvolgtijden beter te benaderen door de grote flexibiliteit bij de projectering van de blokgrenzen, deze wordt verklaard doordat:
  - Er geen onderlinge relatie tussen de blokgrenzen is;
  - De blokdichtheid beter kan worden afgestemd op de capaciteitsbehoefte;
  - Er minder eisen zijn ten aanzien van de projectering van blokgrenzen;
- De mogelijkheid om treinen dicht op elkaar te laten rijden op de bepalende punten;
- De gevonden opvolgtijdwinsten op dit baanvak, op één uitzondering na (IC-Gt met stop), niet behaald kunnen worden door het optimaliseren van NS'54 ATB EG.

### 7.3 Baanvakbelastingcijfers

De combinatie van rijtijden en opvolgtijden levert het baanvakbelastingcijfer op. Met dit cijfer wordt nu inzichtelijk gemaakt wat de behaalde rij- en opvolgtijdwinsten betekenen voor belasting van het baanvak Utrecht- 's-Hertogenbosch in een maatgevend uur.

#### 7.3.1 Resultaten

Baanvakbelastingcijfer	NS'54	NS'54 Optimaal	ERTMS
Vertrek 1 <sup>e</sup> trein Ut	0	0	0
Vertrek 1e trein Ut, volgend uur	54'18"	52'34"	45'02"
Baanvakbelastingcijfer	91%	88%	75%

Tabel 7.5: Baanvakbelasting bij NS'54, NS'54 geoptimaliseerd en ERTMS Level 2 bij een maximale snelheid 130km/h

#### 7.3.2 Verklaring verschil baanvakbelastingcijfers

De definitie voor het baanvakbelastingcijfer luidt; de verhouding tussen de benodigde tijd om een reeks trein- en rangeerbewegingen uit te voeren en de beschikbare tijd (één uur) voor dit proces. Hierbij bestaat de benodigde tijd voor een baanvak uit opvolgtijden en rijtijdverschillen. Op basis van deze definitie is eenvoudig de afname van het baanvakbelastingcijfer te verklaren. De combinatie van rij- en opvolgtijdwinsten leiden er toe dat dit afneemt van 91% tot 75%. Bij de invoering van ERTMS Level 2 wordt de railinfrastructuur ruim 9 minuten minder belast dan bij NS'54 ATB EG, voor het rijden van dezelfde gecombineerde dienstregeling op het baanvak Utrecht- 's-Hertogenbosch.

Door het optimaliseren van NS'54 is een kleine afname van dit cijfer (88%) te realiseren, maar dit staat niet in verhouding met de winst die mogelijk is bij ERTMS Level 2 voor dit baanvak.

#### 7.3.3 Conclusie baanvakbelastingcijfer

Door de rij- en opvolgtijdwinsten voor het onderzochte baanvak door de invoering van ERTMS Level 2 neemt het baanvakbelastingcijfer bij de gecombineerde dienstregeling van 2009 af van 91% naar 75%. Door het optimaliseren van NS'54 kan, onder dezelfde condities, een afname van 91% naar 88% gerealiseerd worden voor dit cijfer.

## 8 Generieke vertaling naar het landelijke netwerk

### 8.1 Rijtijden

Geconstateerd is dat door de invoering ERTMS Level 2 op het baanvak Utrecht - 's-Hertogenbosch rijtijdwinsten te behalen zijn. Deze winsten variëren van 0'22" voor de doorgaande goederentrein, 0'35" voor de intercity, 1'09" voor de stoptrein tot 1'10" voor de goederentrein met stop, bij een baanvaksnelheid van 130km/h. Deze winsten kunnen voor de intercity en stoptrein nog verhoogd worden met meer dan een minuut door de maximale snelheid op te hogen tot 160km/h.

Om te kunnen bepalen of de gevonden winsten op dit baanvak ook gelden voor het landelijke netwerk, is geanalyseerd of en in welke mate de verklaringen voor deze winsten locatie specifiek zijn of ook generiek gelden. In deze analyse zijn ook de mogelijke verklaringen meegenomen die niet van toepassing zijn op het bestudeerde baanvak. Mogelijke verklaringen voor rijtijdverbeteringen bij ERTMS Level 2 ten opzichte van NS'54 zijn:

1. Bij ERTMS Level 2 wordt uitgesteld remmen toegestaan;
2. Bij ERTMS Level 2 wordt materieelafhankelijk geremd;
3. Bij ERTMS Level 2 kunnen de snelheidsprofielen nauwkeuriger gedefinieerd (locaties) en nauwkeuriger bewaakt (stappen van 5 km/h) kan worden, onafhankelijk van de blokindeling;
4. Bij ERTMS Level 2 kunnen eenvoudiger route afhankelijke snelheidsprofielen gegenereerd worden;
5. Bij ERTMS Level 2 kan met hogere maximale snelheden gereden worden.

#### 8.1.1 Uitgesteld remmen

Een groot aandeel in de behaalde rijtijdwinst veroorzaakt de mogelijkheid tot uitgesteld remmen bij remmingen die afgedwongen worden door het beveiligingssysteem. Door dit uitgesteld remmen wordt het rijden met een lage snelheid beperkt, hetgeen de meeste rijtijdwinst oplevert.

Bij elke remming naar stop, die door het beveiligingssysteem wordt bewaakt ('binnenkomst op rood') levert dit uitgesteld remmen winst op, maar ook bij alle bewaakte snelheidsverlagingen.

Deze winst behaald door uitgesteld remmen geldt generiek voor Nederland en is niet alleen van toepassing voor het bestudeerde baanvak.

#### 8.1.2 Materieel afhankelijk remmen

Bij NS'54 wordt de start van de remming aangegeven, waarbij dit startpunt bepaald wordt door slechts remmende trein, terwijl bij ERTMS het einde van de remming wordt aangegeven en de trein zelf bepaalt waar de remming ingezet dient te worden om op tijd stil te staan.

Het is in ERTMS dus mogelijk materieelafhankelijk te remmen, waardoor voor elke trein een optimale remming gegenereerd kan worden.

De winst behaald door materieelafhankelijk remmen, geldt generiek voor Nederland en is niet alleen van toepassing voor het bestudeerde baanvak.

#### 8.1.3 Betere definiëring en bewaking snelheidsprofielen

De feitelijke snelheidsbeperkingen kunnen in ERTMS Level 2 nauwkeuriger gedefinieerd worden dan in NS'54. Een verklaring hiervoor is dat het snelheidsprofiel bij ERTMS Level 2 onafhankelijk is van het beveiligingssysteem, dit in tegenstelling tot NS'54. Bij NS'54 dienen wijzigingen van de snelheid bij sterke voorkeur gepaard te gaan met een lichtsein.

Door deze ontkoppeling wordt voorkomen dat een beperking aan de seinplaatsing tot gevolg heeft dat het toegestane snelheidsverandering niet direct gevolgd kan worden. Het komt bijvoorbeeld voor dat een mogelijke versnelling van de trein uitgesteld moet worden omdat deze beveiligingstechnisch niet goed afgedekt kan worden.

Bij remmingen wordt het bijvoorbeeld mogelijk een wisselsnelheid pas vlak voor het wissel af te dwingen in plaats van aan het begin van de wisselstraat. Er zijn situaties te vinden op grote emplacements waar dit meer dan 100 meter verschil maakt in vergelijking met NS'54 waar de wisselsnelheid bereikt moet zijn bij het lichtsein dat voor het wissel staat.

ERTMS Level 2 levert daarnaast rijtijdwinst in situaties waar het alignment snelheden toestaat, die door ATB EG niet kunnen worden bewaakt. ATB-EG kent alleen de snelheidsstappen 40, 60, 80, 130 en 140km/h, terwijl met ERTMS elke snelheid tussen 0 en de maximaal toegestane snelheid met snelheidsstappen van 5 km/h bewaakt kan worden. Het rijden met baanvaksnelheden van 100km/h is binnen ERTMS dan ook geen enkel probleem, terwijl dit met NS'54 veel discussie over spoorwegveiligheid oplevert en in veel situaties niet mogelijk is.

Overigens heeft dit aspect geen rijtijdwinst opgeleverd op het bestudeerde baanvak.

De winst behaald door een nauwkeurige definiëring en bewaking van de snelheidsprofielen geldt generiek voor Nederland en is niet alleen van toepassing voor het bestudeerde baanvak.

### 8.1.4 Route afhankelijke snelheidsprofielen

Op grote emplacements geldt in veel situaties een lagere snelheid dan de baanvaksnelheid. In NS'54 wordt vaak één snelheid voor het gehele emplacement toegepast. Bij emplacements waar 40 km/uur geldt, is de reden voor deze snelheid het voorkomen van het toepassen van ATB-EG. Een andere reden is dat het beveiligingstechnisch te gecompliceerd wordt om op grote emplacements verschillende snelheden toe te staan. Bij ERTMS Level 2 is het beter mogelijk route afhankelijke snelheidsprofielen te genereren.

De winst behaald door route afhankelijke snelheidsprofielen geldt generiek voor Nederland en is niet alleen van toepassing voor het bestudeerde baanvak.

### 8.1.5 Hogere maximale snelheden

Bij ERTMS Level 2 kan rijtijdwinst behaald worden door het rijden met hogere snelheden, omdat ERTMS veel hogere maximale snelheden toestaat dan NS'54 (600 vs 140 km/h). Het ophogen van de baanvaksnelheid leverde voor het in deze studie bestudeerde baanvak een winst van ruim één minuut op.

De winst behaald door hogere maximale snelheden geldt generiek voor Nederland en is niet alleen van toepassing voor het bestudeerde baanvak.

### 8.1.6 Generieke conclusie rijtijdwinsten

Gesteld kan worden dat de gevonden verklaringen voor rijtijdwinsten op het baanvak Utrecht-'s-Hertogenbosch ook generiek gelden voor het landelijke netwerk. Daarnaast zijn er situaties die rijtijdwinst kunnen opleveren, maar op het bestudeerde baanvak niet voorgekomen. De behaalde rijtijdwinst en de omvang van deze winst op dit baanvak is daarom niet op zichzelf staand.

De gevonden winsten op het baanvak Utrecht-'s-Hertogenbosch zijn dus niet extreem te noemen en het mag dan ook verwacht worden dat op andere baanvakken soortgelijke winsten behaald kunnen worden. De precieze winst op andere baanvakken wordt echter vooral door de specifieke kenmerken van dit baanvak bepaald. Om voor een specifiek baanvak de rijtijdwinst te kunnen vaststellen dienen locatie specifieke berekeningen uitgevoerd te worden.

Overigens is het niet te verwachten dat er situaties zijn waar de invoering van ERTMS Level 2 leidt tot rijtijdverlies of dat dezelfde rijtijdwinsten behaald kunnen worden door een optimalisatie onder NS'54.

## 8.2 Opvolgtijden

Naast rijtijdwinsten is voor het baanvak Utrecht-'s-Hertogenbosch geconstateerd dat er door de invoering ERTMS Level 2 ook opvolgtijdwinsten te behalen zijn, variërend van 0'30" tot 1'30'. Om te kunnen bepalen of de gevonden winsten op dit baanvak ook gelden voor het landelijke netwerk, is geanalyseerd of en in welke mate de verklaringen voor deze winsten locatie specifiek zijn of ook generiek gelden. Voor het baanvak Utrecht-'s-Hertogenbosch zijn de verklaringen voor opvolgtijdverbeteringen bij ERTMS Level 2 ten opzichte van NS'54:

1. Bij ERTMS Level 2 wordt de rijtijdwinst op de bepalende locaties voor de opvolgtijd behaald;
2. Bij ERTMS Level 2 is de mogelijkheid om de theoretisch minimale opvolgtijd te behalen door de flexibiliteit van de projectering van de blokgrenzen;
3. Bij ERTMS Level 2 is de mogelijkheid om treinen dichter op elkaar te laten rijden op de bepalende punten.

### 8.2.1 Rijtijdverbeteringen

De behaalde opvolgtijdwinsten worden voor een deel verklaard doordat dat de rijtijdwinsten vooral behaald worden bij vertrek en binnenkomst van treinen op stations en juist deze locaties de bepalende opvolgtijden opleveren. In de vorige paragraaf is aangegeven dat het realistisch is te veronderstellen dat de behaalde rijtijdwinsten voor het onderzochte baanvak ook generiek gelden. Op grond hiervan is het dan ook realistisch om te stellen dat deze verklaring voor de opvolgtijdwinst niet alleen voor het onderzochte baanvak gelden, maar ook generiek.

### 8.2.2 Flexibiliteit projectering blokgrenzen

Door de grotere flexibiliteit bij de projectering van de blokgrenzen wordt het mogelijk de theoretisch minimale opvolgtijd van een baanvak beter te benaderen. Deze grote flexibiliteit wordt vooral verklaard doordat:

- Er geen onderlinge relatie tussen de blokgrenzen is;
- De bloktheid kan worden afgestemd op de capaciteitsbehoefte (kleinere blokken);
- Er minder eisen zijn ten aanzien van de projectering van blokgrenzen;

#### *Er is geen relatie tussen de blokgrenzen*

De blokgrens bij ERTMS Level 2 geeft alleen aan of deze gepasseerd mag worden en de trein bepaalt vervolgens zelf het punt waarop de remming ingezet moet worden. Er is daarom geen onderlinge relatie tussen de blokgrenzen zoals dat bij ATB EG het geval is.

#### *De bloktheid kan worden afgestemd op de capaciteitsbehoefte*

ERTM Level 2 biedt betere mogelijkheden om de projectering gericht af te stemmen op de lokale functionele behoeftes. Daar waar korte opvolgingen gewenst zijn, (bijvoorbeeld bij de knooppunten) kunnen blokken worden verkort. Als er op de vrije baan geen korte opvolgingen vereist zijn, zijn zeer lange blokken ook toegestaan. Dit kan gunstig zijn voor de storingskans de onderhoudsinspanning en de aanlegkosten)

#### *Er zijn minder eisen zijn ten aanzien van de projectering van blokgrenzen*

De eisen ten aanzien van de projectering van blokgrenzen verschillen vooral ten aanzien van eisen aan de zichtbaarheid van blokgrenzen. Bij ERTMS Level 2 komen deze eisen grotendeels te vervallen, hetgeen grote positieve consequenties heeft voor de vrijheid in projectering van de blokgrenzen.

Concluderend kan gesteld worden dat de winst behaald door flexibiliteit van de projectering van de blokgrenzen generiek geldt voor Nederland en niet alleen van toepassing is voor het bestudeerde baanvak.

## 8.2.3 Treinen dicht op elkaar.

Doordat bij ERTMS Level 2 de locatie wordt aangegeven waar een trein tot stilstand moet zijn gekomen en de trein zelf bepaalt waar de remming dan moet worden ingezet, wordt het mogelijk het bepalende punt dicht te naderen in afstand, hierdoor wordt het mogelijk om treinen dicht op elkaar te laten rijden op de bepalende punten;

Deze verklaring is niet specifiek voor het onderzochte baanvak, maar geldt generiek voor het Nederlandse netwerk.

## 8.2.4 Generieke conclusies opvolgtijdwinsten

De gevonden verklaringen voor de opvolgtijdwinsten op het baanvak Utrecht-'s-Hertogenbosch zijn niet specifiek voor dit baanvak, maar gelden ook generiek voor het landelijke netwerk. De omvang van de behaalde opvolgtijdwinsten is niet extreem te noemen en het mag dan ook verwacht worden dat op andere baanvakken soortgelijke winsten behaald kunnen worden. De precieze winst op andere baanvakken wordt echter vooral door de specifieke kenmerken van dit baanvak bepaald. Om voor een specifiek baanvak de opvolgtijdwinst te kunnen vaststellen, dienen locatie specifieke berekeningen uitgevoerd te worden.

De meeste opvolgtijden zullen door de invoering van ERTMS Level 2 afnemen ten opzichte van de huidige situatie met NS'54, waarbij het niet aannemelijk is dat er situaties zijn waar er sprake is van opvolgtijdverlies. Het is overigens niet te verwachten dat deze opvolgtijdwinst met ERTMS Level 2, in dezelfde mate haalbaar is door optimalisatie onder NS'54.

## 8.3 Baanvakbelastingcijfer

Eerder is al aangegeven dat het baanvakbelastingcijfer vooral bepaald wordt door opvolg- en rijtijden (rijtijdverschillen). Een verbetering van deze tijden leidt tot een optimalisering van dit cijfer. In de vorige paragrafen is aangegeven dat zowel de rij- als opvolgtijdwinsten niet alleen specifiek gelden voor het onderzochte baanvak, maar ook generiek voor het landelijke netwerk.

Het gevonden winst voor het baanvakbelastingcijfer geldt echter wel specifiek voor het baanvak Utrecht-'s-Hertogenbosch, dit cijfer is namelijk opgebouwd uit de gevonden rij- en opvolgtijdwinsten voor dit specifieke baanvak en door de treinvolgorde uit dienstregeling 2009 voor het baanvak.

De precieze winst voor dit cijfer op andere baanvakken wordt door de specifieke kenmerken van dit andere baanvak bepaald. Om dit cijfer voor een ander baanvak te kunnen bepalen, is het nodig de rij- en opvolgtijdwinst voor dit baanvak vast te stellen door locatie specifieke berekeningen uit te voeren.

Door de invoering van ERTMS Level 2 mag verwacht worden dat het baanvakbelastingcijfer op de meeste baanvakken zal afnemen, maar dat de omvang hiervan alleen door locatie specifieke berekeningen kan worden vastgesteld.

## 8.4 Specifieke situaties

De generieke rij- en opvolgtijdwinsten door de invoering van ERTMS Level 2 leiden in een aantal specifieke situaties structureel tot winst. Vier van dergelijk situaties worden kort beschreven, omdat deze veel voorkomen en de interessante winsten kunnen opleveren

- Inhalingen;
- Stop/Door-schakelingen;
- Tonnagebeperkingen (L/H-seinen);
- Bijsturing mogelijkheden.

### *Inhalingen*

Uit deze studie is gebleken dat een groot deel van de behaalde winsten gehaald worden bij binnenkomst en vertrek van treinen. ERTMS Level 2 levert opvolgtijdwinst bij:



## ProRail

- Aankomst-Aankomst en Aankomst-Doorkomst. Door de rijtijdwinst bij stationsnadering, verlaat de eerste trein sneller het gezamenlijke deel van de infra (op het splitspunt). De winst wordt vergroot doordat de tweede trein in die situatie dichter op de voorganger kan rijden zonder hinder (door uitgesteld en materieelspecifieke remmen);
- Vertrek-Vertrek en Doorkomst-Vertrek. De blokken kunnen verkort worden, zodat sneller aan de vertrekvoorwaarden kan worden voldaan. De winst is afhankelijk van de mogelijkheid tot rijtijdwinst. Winst daarnaast afhankelijk van de locatie specifieke mogelijkheden om onder NS'54 korte blokken te projecteren;

Deze twee punten maken samen dat inhalingen in kortere tijd mogelijk zijn, waardoor de wachttijd voor ingehaalde stoptreinen kan worden geminimaliseerd. Op overstapknooppunten, waar veel treinen in korte tijd arriveren en vertrekken, kan hierdoor de overstapcyclus verkort worden en kan dit leiden tot een efficiëntere perronbenutting op knooppunten. Concluderend kan gesteld worden dat de invoering van ERTMS Level 2 kan leiden tot een optimalisatie van een inhaling tussen treinen.

### *Stop/door-schakeling*

Bij een stop/door-schakeling komt een stoppende trein altijd binnen met een door de beveiliging afgedwongen remopdracht. Door het uitgesteld en materieelafhankelijk remmen dat bij deze remming kan worden toegepast, zal deze remming rijtijdwinst opleveren en daarmee zullen de capaciteitsverliezen die een stop/door-schakeling met zich meebrengt afnemen.

### *Tonnagebeperkingen*

Een tonnagebeperking is bij ERTMS Level 2 niet meer afhankelijk van de locatie van seinen. In de buurt van een helling kunnen de blokgrenzen (bijv. door blokverdichting) zo gekozen worden dat de capaciteitsverliezen door tonnagebeperkingen geminimaliseerd worden.

### *Bijsturing*

ERTMS Level 2 biedt in vergelijking met NS'54 meer mogelijkheden in het opvangen van vertragingen, mits er voldoende blokgrenzen worden toegepast. Treinen kunnen met ERTMS Level 2 bij verstoringen in de dienstregeling dichter op elkaar rijden, waarbij de normale snelheid langer aangehouden kan worden. Dit leidt tot een robuustere dienstregelinguitvoering.

## 9 Vertaling naar de dienstregeling

Voor het baanvak Utrecht- 's-Hertogenbosch is vastgesteld dat de invoering van ERTMS Level 2 rij- en opvolgtijdwinsten tot gevolg heeft. Een verdere vertaling van deze winsten naar de consequenties voor de dienstregeling is alleen in beschouwende zin mogelijk. Indien blijkt dat de invoering van ERTMS Level 2 structureel leidt tot verkorting van de rij- en opvolgtijden dan mag worden aangenomen dat dit positieve effecten heeft voor de landelijke dienstregeling. Echter de rij- en opvolgtijdwinsten die door de projectering van ERTMS Level 2 binnen deze studie behaald worden, betreffen technische winsten, de betekenis hiervan op planmatig niveau hangt af van:

- De mate waarin deze technische winsten planmatig te incasseren zijn;
- De manier waarop deze winsten worden geïncasseerd.

### 9.1 Incasseerbaarheid van de winsten

In hoeverre technische winsten planmatig te incasseren zijn hangt van een aantal punten af:

1. De vertaling van technische naar planmatige opvolgtijden;
2. Zijn de winsten al geïncasseerd in de huidige planning;
3. Passen de mogelijke winsten in de dienstregeling.

#### *1. De vertaling van technische naar planmatige opvolgtijden;*

In de vertaling van technische opvolgtijden naar planmatige opvolgtijden kan het gebeuren dat een opvolgtijdwinst van 10 seconden geen verschil maakt. In deze vertaling wordt namelijk een marge op technische opvolgtijd gezet en wordt vervolgens de opvolgtijd naar boven afgerond in hele minuten. Hierdoor is het mogelijk dat een behaalde technische opvolgtijdwinst geen verschil maakt in de planmatige opvolgtijd. Door anders om te gaan met deze marges en niet af te ronden op hele minuten maar op seconden, wordt de kans hierop aanzienlijk kleiner.

#### *2. Zijn de winsten al geïncasseerd in de huidige planning*

In het huidige planningstool (DONS) van ProRail zijn de gehanteerde opvolgtijden aangenomen. Het verifiëren van deze opvolgtijden met de werkelijkheid is (nog) niet gebeurd en het kan dus voorkomen dat een aangenomen opvolgtijd in de huidige situatie met NS'54 niet gehaald kan worden. Met de opvolgtijdwinst die door het toepassen van ERTMS Level 2 wordt geboekt, wordt dan alleen bereikt dat de aangenomen opvolgtijd dan wel realistisch is. Echter planmatig wordt er dan geen capaciteitswinst geboekt.

#### *3. Passen de mogelijke winsten in de dienstregeling*

Bij het genereren van een dienstregeling spelen niet alleen de maatgevende opvolgtijden een rol, maar met name de marktwensen van de vervoerder. Dit kan betekenen dat een snellere rijtijd van een trein tot gevolg heeft dat deze trein langer stilstaat op een tussenliggend station, omdat de dienstregeling op het begin- en eindpunt gefixeerd is. Deze marktwensen zijn bij het genereren van een dienstregeling zeer bepalend en zullen daarom van invloed zijn op de incasseerbaarheid van de te behalen winsten door ERTMS Level 2.

### 9.2 Hoe worden de winsten geïncasseerd

Voor het incasseren van mogelijk behaalde capaciteitswinsten door het invoeren van ERTMS Level 2 zijn verschillende opties denkbaar:

1. De robuustheid van de dienstregeling vergroten;
2. Het rijden van extra treinen;
3. Het voorkomen van infra uitbreidingen.

Onderscheid tussen deze drie opties is dat het robuuster maken van de dienstregeling altijd mogelijk is, maar het rijden van meer treinen of het voorkomen van infra uitbreidingen niet in elke situatie tot de mogelijkheden behoort.

## *1. Robuustheid van de dienstregeling*

Winsten door de invoering van ERTMS Level 2 maken het mogelijk een betrouwbaardere en robuustere dienstregeling te maken. Indien er voor gekozen wordt de dienstregeling niet aan te passen, hebben de behaalde winsten tot gevolg dat de dienstregeling onder ERTMS Level 2 betrouwbaarder en robuuster is waardoor de kans op en duur van vertragingen/verstoringen wordt beperkt.

## *2. Rijden van extra treinen*

Het is niet ondenkbaar dat de gevonden winsten zo groot zijn dat het mogelijk wordt om extra treinen te rijden bij dezelfde railinfrastructuur. Het bestudeerde baanvak in deze studie laat deze optie zien. De gecomprimeerde dienstregeling op het baanvak Utrecht- 's-Hertogenbosch bezet de railinfrastructuur 54 minuten van uur. Door de invoering van ERTMS Level 2 wordt deze tijd teruggebracht tot 45 minuten. Indien de hele dienstregeling alleen uit dit baanvak bestaat, wordt in theorie het mogelijk 2 à 3 treinen meer te rijden. In dit voorbeeld is echter niet gekeken naar de totale samenhang van de dienstregeling in landelijk verband. Verondersteld is dat conflictvrij kan worden doorgereden buiten het berekende baanvak. Om vast te kunnen stellen of er meer treinen kunnen rijden zal altijd naar deze samenhang gekeken moeten worden en daarvoor is een nader onderzoek nodig. Met dit voorbeeld wordt alleen geïllustreerd dat er situaties zullen zijn waar door de invoering van ERTMS Level 2 meer treinen kunnen rijden.

Indien ervoor gekozen wordt de winsten te incasseren door extra treinen te rijden, betekent dit wel dat dit consequenties heeft voor de betrouwbaarheid en robuustheid van de dienstregeling.

## *3. Voorkomen van infra uitbreidingen*

De capaciteitswinst door de invoering van ERTMS Level 2 zal het aantal potentiële knelpunten bij een gelijkblijvende dienstregeling doen afnemen. Investerings in infrastructuur kunnen daardoor mogelijk achterwege blijven, uitgesteld worden of beperkter zijn. Om dit te kunnen vaststellen zijn locatie specifieke onderzoeken noodzakelijk.

Een dergelijk onderzoek is gedaan voor het baanvak Amsterdam- Amsterdam Bijlmer. In dit onderzoek wordt geconcludeerd dat de gewenste dienstregeling voor 2020 binnen de kaders en regels van NS'54 alleen mogelijk is door het uitbreiden van de railinfrastructuur.

Met de gevonden rij- en opvolgwinsten voor het baanvak Utrecht- 's-Hertogenbosch, is het niet ondenkbaar dat de invoering van ERTMS Level 2 voor het baanvak Amsterdam- Amsterdam Bijlmer tot gevolg zal hebben dat deze investering in de infrastructuur achterwege kan blijven. Om dit definitief te kunnen vaststellen is de aanbeveling het bestaande onderzoek uit te breiden met de projectering en doorrekening van ERTMS Level 2 op dit baanvak.

## **9.3 Concluderend**

Op basis van de resultaten uit deze studie ten aanzien van technische rij- en opvolgtijdwinsten, kan gesteld worden dat er ook planmatige potentiële winsten zijn die ook daadwerkelijk geïncasseerd kunnen worden. Dit geldt niet alleen voor het in deze studie beschouwde baanvak, maar voor het totale landelijke netwerk.

Om de omvang van deze winsten te kunnen bepalen, zullen de locatie specifieke situaties onderzocht moeten worden. Waarbij in veel gevallen de dienstregeling betrouwbaarder en robuuster wordt, maar er ook zeker situaties zijn waar extra treinen gereden kunnen worden of bespaard kan worden op investeringen in de railinfrastructuur.

## 10 Relatie met andere studies/projecten

### 10.1 Relatie met Betuweroute

Op dit moment wordt er op de Betuweroute gereden met ERTMS Level 2 zonder overlay. De ervaringen op het gebied van capaciteit en rijtijd zijn hier minder positief, dan de binnen deze studie gevonden resultaten uitwijzen. Dit verschil in capaciteit wordt verklaard door:

#### 1. *Het toegepaste remmodel en -parametrisering*

Het in deze studie toegepaste remmodel is dat uit baseline 3. Dit geeft een betere performance dan de remmodellen die tot nu toe in de treinapparatuur is geïmplementeerd van de treinen die op de Betuweroute rijden. Daarnaast bevat de huidige parametrisering van de treinen vaak onnodige marges, die leiden tot performance verlies. Op dit punt zijn sinds de eerste ervaringen inmiddels verbeteracties gestart.

#### 2. *Uitsluitend goederentreinen.*

De verwachte rijtijd- en capaciteitswinst is voor een deel toe te schrijven aan de treinafhankelijke remwegberekening. Voor goed beremd reizigersmaterieel levert dit voordeel omdat hun remwegen niet langer worden bepaald door de remwegen van het slechtst beremde materieel. Goederentrein behoren tot het slechtst beremde materieel en boeken op dit punt dus minder winst en op de Betuweroute rijden juist uitsluitend goederentreinen.

#### 3. *Eis ten aanzien van projectering blokgrenzen*

Level 2 biedt de mogelijkheid om de projectering nauwkeurig af te stemmen op de vereiste functionaliteit. Dit is toegepast op het A15-tracé, waar een minimaal ongehinderde opvolgtijd was vereist van 4,5 minuut, (passend bij een operationele opvolgtijd van 6 minuten). Deze eis is destijds vertaald naar een theoretische maximumlengte voor een blok van ruim 3300 meter en dergelijke lange blokken zijn ook daadwerkelijk toegepast. Hiermee werd aan de gestelde eis voldaan en zijn onnodige kosten vermeden. In de huidige studie is gezocht naar een veel hogere performance. Op locaties waar dit nodig is, zijn de blokken navenant kleiner.

### 10.2 Relatie met Europese studies

De uitgevoerde studie is niet de eerste studie die uitgevoerd is naar het capaciteitseffect van ERTMS Level 2. Het is echter wel de eerste Nederlandse studie en de eerste studie waarbij zeer nauwkeurig is gekeken naar de projecteringsmogelijkheden en hun consequenties. Verschillende aspecten verklaren de verschillen met de eerdere studies:

#### 1. *Nadruk op de knooppunten in plaats van op de vrije baan*

Eerdere studies leggen vooral nadruk op de capaciteitseffecten voor de vrije baan. In een Nederlandse setting is die vrije baan echter zelden maatgevend voor de capaciteit. Vrijwel altijd zijn de aankomsten op knooppunten of de vertrekken bepalend.

#### 2. *Rijtijdwinst in relatie tot het soort lichtseinstelsel*

Eerdere studies besteden weinig aandacht aan rijtijdeffecten, mogelijk omdat hiervoor geen effecten vermoed werden in de landen waarin de studie werd verricht. In Nederland wordt de rijnsnelheid in sterke mate opgelegd en bewaakt door het lichtseinstelsel (NS'54) en het bijbehorende treinbeïnvloedingssysteem (ATB EG). Rijtijdwinst bij lage snelheid is een belangrijke factor in overall Level 2-effect voor de Nederlandse situatie. In landen waarin de snelheidsbewaking volledig overgelaten wordt aan de machinist of waar de snelheidsbewaking in kleinere stappen gaat dan in Nederland, is rijtijdwinst inderdaad minder te verwachten.

#### 3. *Eerdere studies sterk vereenvoudigd*

Eerdere studies zijn gebaseerd op aannames en vereenvoudigingen, die niet generiek voor alle landen geldig zijn. In Nederland is tot nu toe nergens beveiligde doorschietlengte

toegepast voorbij rode seinen. In krappe stationssituaties betekent dit dat de treinen sterk zullen worden gehinderd door de op veiligheid gerichte remcurves. In landen waarin traditioneel lange doorschietlengtes worden toegepast, is de aanname terecht dat een trein altijd met dienstremvertraging tot stilstand kan komen. Voor Nederland is een dergelijke vereenvoudiging te optimistisch.

Omdat remcurves in krappe stationssituaties bepalend zijn voor de rijtijden en zij worden bepaald door een groot aantal factoren, is er voor de Nederlandse situatie bewust voor gekozen om zelden te vereenvoudigen en zo gedetailleerd mogelijk te modelleren. Voor een nog onbekend systeem is vereenvoudigen pas mogelijk als het effect ervan duidelijk is.

#### *4. Referentiesituatie komt niet overeen*

Nederland heeft een druk bereden net. In het verleden gestelde capaciteitseisen hebben al eerder geleid tot aanpassingen in het seinstelsel en de projectering. Op plaatsen waar dit nuttig is, is vaak al eerder blokverdichting toegepast. Dit beperkt het ogenschijnlijke capaciteitseffect van ERTMS voor Nederland.

In diverse studies wordt ook uitdrukkelijk gewaarschuwd om effecten van blokverdichting niet toe te schrijven aan ERTMS. Om die reden is binnen de studie ook een vergelijking gemaakt met een geoptimaliseerde NS'54-projectering. Conclusie is dat ERTMS de mogelijkheden tot blokverdichting vergroot.

## 11 Conclusies

De hoofddoelstelling van dit project betreft:

### **Het trekken van een conclusie, generiek voor Nederland, over de capaciteitseffecten van implementatie van ERTMS Level 2 op het bestaande spoorwegnet.**

Dit hoofdstuk bevat allereerst deze hoofdconclusie, gebaseerd op de studieresultaten. Daarnaast wordt een aantal aanvullende conclusies gepresenteerd, die zijn gebaseerd op de studieresultaten en op ervaringen opgedaan tijdens de projectering of berekeningen. Deze aanvullende conclusies zijn onderverdeeld in:

- Conclusies specifiek voor het baanvak Utrecht- 's-Hertogenbosch;
- Conclusies generiek voor het Nederlandse spoorwegnetwerk;
- Conclusies voor de capaciteitseffecten op dienstregelingsniveau;
- Conclusies voor de vergelijkbaarheid met eerdere Europese studies.

### 11.1 Hoofdconclusie

1. Implementatie van ERTMS Level 2 levert op het Nederlandse spoorwegnetwerk kortere rij- en opvolgtijden op dan NS'54 ATB EG, ook indien NS'54 ATB EG qua capaciteit is geoptimaliseerd. De omvang van de verbetering wisselt per locatie en is alleen door berekening vast te stellen. Bij een gelijkblijvende dienstregeling en infrastructuur leidt de verbetering in ieder geval tot een robuustere dienstuitvoering. Of de verbeterde rij- en opvolgtijden leiden tot een grotere capaciteit, dat wil zeggen een dienstregeling met meer treinen per uur, hangt af van marktwensen, van door vervoerders te maken dienstregelingskeuzes en van de landelijke samenhang in de dienstregeling. De verbetering van rij- en opvolgtijden kunnen ertoe leiden dat beoogde infra-uitbreidingen (deels) uitgespaard kunnen worden.

### 11.2 Conclusies voor het baanvak Utrecht - 's-Hertogenbosch

2. De invoering van ERTMS Level 2 levert voor het baanvak Utrecht-'s-Hertogenbosch voor alle treinen rijtijdwinsten op ten opzichte van de bestaande situatie, die variëren van 0'36" (intercity), 0'22" (doorgaande goederentreinen) tot 1'09" (stoptrein en goederentrein met stop). De rijtijdwinsten onder ERTMS Level 2 worden op dit baanvak behaald door:
  - uitgesteld remmen;
  - materieelafhankelijke remwegberekening;
  - het snelheidsprofiel onafhankelijk is van de blokindeling.
3. De invoering van ERTMS Level 2 levert voor het baanvak Utrecht-'s-Hertogenbosch voor alle voor dienstregeling 2009 bepalende opvolgtijdsituaties opvolgtijdwinsten op. Deze variëren ten opzichte van de bestaande situatie van 0'23" tot 1'40". De opvolgtijdwinsten onder ERTMS Level 2 worden op dit baanvak behaald door:
  - de rijtijdwinsten rond de knooppunten;
  - kleinere blokken mogelijk zijn bij een grotere projecteringsvrijheid voor blokgrenzen.
4. De verbetering van de rij- en opvolgtijden door de invoering van ERTMS Level 2, resulteert in een afname van het baanvakbelastingcijfer. Voor het baanvak Utrecht-'s-Hertogenbosch neemt dit ten opzichte van de bestaande situatie af van 91% (54'18") naar 75% (45'02").
5. De afname van de rijtijden, opvolgtijden en het baanvakbelastingcijfer door ERTMS Level 2 zijn niet in gelijke mate te realiseren door optimalisatie van het bestaande NS'54 ATB EG ontwerp. Door optimalisatie van het bestaande ontwerp is voor dit baanvak het baanvakbelastingcijfer terug te brengen tot 88% (52'34"). Dit cijfer geeft

een *indicatie* over de invloed van de gewijzigde rij- en opvolgtijden op een gegeven dienstregeling.

6. Indien bij invoering van ERTMS Level 2 op het baanvak Utrecht - 's-Hertogenbosch de baanvaksnelheid wordt verhoogd, levert dit een extra rijtijdwinst op voor de intercity van 0'53" bij 140km/h en 1'13" bij 160km/h. Voor een stoptrein bedraagt de winst 0'42" bij 140km/h en 1'04" bij 160km/h. De verhoging tot 140 km/h levert verhoudingsgewijs meer rijtijdwinst op dan een verhoging tot 160 km/h omdat slechts een deel van het baanvak geschikt is voor een snelheid boven 140 km/h.

### 11.3 Generieke conclusies voor het Nederlandse spoorwegnetwerk

7. Het baanvak Utrecht-'s-Hertogenbosch kan voor de inschatting van het capaciteitseffect door invoering van ERTMS Level 2 beschouwd worden als een representatief baanvak omdat de effecten worden verklaard uit de generieke eigenschappen van NS'54 ATB EG en ERTMS Level 2. Verwacht mag worden dat op het overige Nederlandse spoorwegnet, uitgerust met NS'54 ATB EG, qua ordegrrootte dezelfde effecten zullen optreden. Echter: het capaciteitseffect voor een specifiek baanvak is alleen vast te stellen door het uitvoeren van berekeningen omdat de kenmerken van de aanwezige infrastructuur en het gebruik van het baanvak bepalen hoe vaak potentiële winstsituaties zich voordoen.
8. Door de invoering van ERTMS Level 2 zullen de kale rijtijden afnemen ten opzichte van NS'54 ATB EG doordat:
  - eerder versneld kan worden bij vertrek van een emplacement;
  - met een hogere maximumsnelheid kan worden gereden (> 140 km/h);
  - later geremd kan worden (materieelafhankelijke uitgesteld remmen);
  - het snelheidsprofiel van de infrastructuur nauwkeuriger gedefinieerd (locaties) en nauwkeuriger bewaakt (stappen van 5 km/h) kan worden, onafhankelijk van de blokindeling.
9. De rijtijdwinsten door invoering van ERTMS Level 2 kunnen niet in gelijke mate gerealiseerd worden door optimalisatie van het bestaande NS'54 ATB EG ontwerp.
10. Door de invoering van ERTMS Level 2 zullen de minimaal ongehinderde opvolgtijden afnemen ten opzichte van NS'54 ATB EG doordat
  - treinen in opvolgsituaties, bij het sneller naderen op de emplacementen (rijtijdwinst) ook sneller de gezamenlijke infra verlaten;
  - treinen dichter op elkaar kunnen rijden (materieelafhankelijk uitgesteld remmen);
  - kleinere blokken mogelijk zijn bij een grotere projecteringsvrijheid voor blokgrenzen.
11. De opvolgtijdwinsten door invoering van ERTMS Level 2 kunnen niet in gelijke mate gerealiseerd worden door optimalisatie van het bestaande NS'54 ATB EG ontwerp.
12. De invoering van ERTMS Level 2 biedt rijtijdwinst in de situatie dat treinen dichter op elkaar rijden dan gepland (bij vertragingen/verstoringen). Door materieelafhankelijk uitgesteld remmen en door de grotere projecteringsvrijheid voor blokgrenzen kan de normale snelheid langer worden aangehouden. Dit levert een robuustere dienstregeling op. Tevens biedt dit extra planningsvrijheid bij het ontwerpen van een dienstregeling, met name omdat de mogelijkheden voor uitbuiging verbeteren.
13. De grotere projecteringsvrijheid van de blokindeling in ERTMS Level 2 maakt het mogelijk om het ontwerp precies af te stemmen op het voorziene gebruik van de spoorinfrastructuur en aan de vereiste robuustheid.

### 11.4 Conclusies voor het effect op dienstregelingsniveau

14. De invoering van ERTMS Level 2 zal, bij een gelijkblijvende dienstregeling en infrastructuur, leiden tot een robuustere dienstuitvoering doordat er bij verbeterde rij- en opvolgtijden meer marge is voor het uitdempen van vertragingen.

15. De door de invoering van ERTMS Level 2 gerealiseerde verbeteringen in rij- en opvolgtijd leiden niet automatisch tot de mogelijkheid om meer treinen per uur te rijden. Dit hangt ook af van marktwensen, van door vervoerders te maken dienstregelingskeuzes en van de landelijke samenhang in de dienstregeling.
16. De verbetering van rij- en opvolgtijden kunnen ertoe leiden dat beoogde infra-uitbreidingen, indien die voortkomen uit onvoldoende rij- en opvolgtijden onder NS'54 ATB EG, (deels) uitgespaard kunnen worden.

### 11.5 Conclusies over de verschillen met eerdere Europese studies

17. De resultaten uit deze studie kunnen niet worden vergeleken met de ervaringen van de Betuweroute, omdat:
  - Het in deze studie toegepaste remmodel een betere performance heeft dan de remmodellen waarmee nu op de Betuweroute gereden wordt.
  - Op de Betuweroute uitsluitend goederentreinen rijden.
  - In deze studie gezocht is naar een veel hogere capaciteit dan destijds geëist voor de Betuweroute..
18. De resultaten uit deze studie kunnen niet worden vergeleken met de resultaten van eerdere Europese studies omdat:
  - Het Nederlandse seinstelsel, het treinbeïnvloedingssysteem en beveiligingsfilosofie wezenlijk anders zijn dan in de landen waar de studies op gebaseerd zijn. De uitgangssituatie waarmee ERTMS Level 2 wordt vergeleken, is daardoor ongelijk, mede omdat vergeleken wordt met een nog qua capaciteit ongeoptimaliseerde basissituatie.
  - In andere studies ligt de nadruk op de capaciteit van de vrije baan en niet op de knooppunten, die veel bepalender is.
  - De eerdere studies zijn deels gebaseerd op vooraf gestelde aannames en vereenvoudigingen, waarvan het effect niet bekend was en die, in ieder geval voor de Nederlandse situatie, niet geldig zijn.
  - In andere studies zijn de rijtijdeffecten bij lagere snelheden onderbelicht.



## 12 Aanbevelingen

Naar aanleiding van de ervaringen, opgedaan bij de voorbereidings-, projecterings- en berekeningsfase, kunnen de volgende aanbevelingen worden geformuleerd:

- A. Een introductie van ERTMS grijpt aan op vele aspecten van het spoorstelsel, binnen en buiten de directe invloed van ProRail. In verschillende deelsystemen en processen en dus door verschillende organisaties, zullen implementatiekeuzes worden gemaakt, die elkaar beïnvloeden. Als deze keuzes niet op elkaar afgestemd worden, gaat onnodig capaciteit verloren. Kennisuitwisseling met vervoerders en intensieve samenwerking bij de implementatie vergroot de gebruikswaarde. Enkele voorbeeldonderwerpen zijn: antennepositie op de treinen; odometrienauwkeurigheid; het belang van behoud van positieinformatie in treinen; opleiding machinisten; treinparametrisering en veiligheidsfactoren. Aanbevolen wordt om deze onderwerpen samen met vervoerders te inventariseren en te onderzoeken.
- B. ERTMS heeft met name effect op het vakgebied railgeometrie. Het ontwerp van bestaande spooralignementen is sterk verweven met het lichtseinstelsel NS'54 en ATB-EG. Bij de introductie van ERTMS dient een groot aantal ontwerpregels opnieuw afgewogen te worden. Enerzijds omdat beperkingen van NS'54 komen te vervallen. Anderzijds omdat ERTMS een groot aantal extra mogelijkheden biedt, met name op het gebied van snelheidsdifferentiatie tussen treinen en uitbreiding van het aantal te bewaken snelheden. Dit biedt belangrijke mogelijkheden voor verdere capaciteitswinst, hetgeen moet worden afgewogen tegen de benodigde onderhoudsinspanning. Aanbevolen wordt om de verruimde en vernieuwde mogelijkheden te onderzoeken, gericht op een afweging tussen de capaciteitsbaten en onderhoudslasten.
- C. Een efficiëntere vertrekprocedure is momenteel al onderwerp van studie. Aanbevolen wordt om het effect van ERTMS hierbij te betrekken. Enerzijds omdat de tijdsduur van de vertrekprocedure door de projecteringsvrijheid veel vaker maatgevend zal worden voor de opvolgingtijden bij vertrek. Anderzijds omdat ERTMS veel van de veiligheidsrisico's kan mitigeren die onder NS'54 aan een vlotter vertrekprocedure worden gekoppeld.
- D. Aanbevolen wordt om de methodiek voor rijtijd- en opvolgtijdverbetering, zoals vastgelegd in dit rapport, voor ProRail als standaardmethode vast te leggen.
- E. Aanbevolen wordt om de projecteringsregels, zoals vastgelegd in dit rapport, nader uit te werken in projecteringsrichtlijnen voor het ontwerp van ERTMS Level 2 zonder overlay, waarbij gebruikt wordt gemaakt van de ontwerpervaring die is opgedaan bij Betuweroute, HSL-zuid, Amsterdam – Utrecht en Hanzelijn, voor zover van toepassing.
- F. In Nederland wordt traditioneel geen beveiligde doorschietlengte ('overlap') gegarandeerd, bij nadering van een rood sein. Gebleken is dat in ERTMS een betrekkelijke kleine overlap (ordegrootte vanaf 20 meter) een gunstig effect heeft op de rijtijd bij nadering van krappe perronsporen en kan bijdragen aan verdere capaciteitswinst, bij een gelijkblijvend veiligheidsniveau. Aanbevolen wordt te onderzoeken of beveiligde doorschietlengte voor Nederland kan worden toegepast in combinatie met ERTMS Level 2 en onder welke voorwaarden.
- G. Om de te behalen winsten van ERTMS Level 2 optimaal te kunnen benutten is het van belang dat de planningstool(s) om te kunnen gaan met veranderingen in seconden. Met de huidige tools is een dergelijke winst niet goed te incasseren.
- H. Het is interessant om de theoretisch winsten beschreven in deze studie, in de praktijk te toetsen. Het zou daarom interessant zijn een pilot te starten waar in eerste instantie de winsten theoretisch vastgesteld worden om deze vervolgens te toetsen aan de praktijk door het onderzochte baanvak in te richten met ERTMS Level 2.

**ProRail**

# **ProRail**

## **Bijlagen**

1. Rapport Methodiek rij- en opvolgtijdberekeningen
2. Rapport Projecteringsregels
3. Modelleringskeuzes ERTMS Level 2
4. Gebruikte OBE-bladen, OS-bladen en 1:1000-tekeningen
5. Dienstregeling 2009
  - a. BUP 2009
  - b. BSO 2009 Ut/Gdm/Ht
6. Berekeningen NS'54
  - a. Snelheidsweg diagram
  - b. Opvolgtijddiagram
7. Berekeningen NS'54 geoptimaliseerd
  - a. Snelheidsweg diagram
  - b. Opvolgtijddiagram
8. Projectering ERTMS Level 2
  - a. EoA's
  - b. Snelheidsprofiel
  - c. Hellingsprofiel
9. Berekeningen ERTMS Level 2
  - a. Snelheidsweg diagram
  - b. Opvolgtijddiagram
10. Berekeningen ERTMS Level 2 rijtijdwinsten bij 130, 140 en 160km/h
11. Memo Remkarakteristieken Lloyds Register Rail
12. Grafische verklaring rijtijdverschillen NS'54, NS'54 geoptimaliseerd en ERTMS Level 2

**ProRail**

**ProRail**

**Bijlage 1: Rapport Methodiek rij- en opvolgtijdberekeningen**

**ProRail**

**ProRail**

**Bijlage 2: Rapport Projecteringsregels**

**ProRail**



**ProRail**

**Bijlage 3: Modelleringskeuzes ERTMS Level 2**

**ProRail**

**ProRail**

**Bijlage 4: Overzicht OBE-/ OS-bladen en 1:1000-tekeningen**

**ProRail**

## **Bijlage 5: Dienstregeling 2009**

De opgenomen dienstregeling is:

- Basis UurPatroon (BUP) 2009, ochtendspits baanvak Utrecht – 's-Hertogenbosch
- Basis SpoorOpstelling (BSO) 2009, ochtendspits emplacement Geldermalsen
- Basis SpoorOpstelling (BSO) 2009, ochtendspits emplacement 's-Hertogenbosch
- Basis SpoorOpstelling (BSO) 2009, ochtendspits emplacement Utrecht

**ProRail**

## Bijlage 6: Berekeningen NS'54

In bijlage 6 zijn rij- en opvolgtijden van de huidige situatie opgenomen. Naast de berekeningen is ook een Legenda van de opvolgtijdgrafieken en een overzichtstabel opgenomen.

Inhoudsopgave bijlage 6:

- Legenda opvolgtijdgrafieken NS'54
- Overzichtstabel NS'54 bestaande situatie
  
- 11.1: NS'54 bestaand Ut-Gdm, opvolging Intercity – Stoptrein
- 11.1d: NS'54 bestaand Ut-Gdm, opvolging Intercity – Stoptrein, detail
- 11.2: NS'54 bestaand Ut-Gdm, opvolging Stoptrein – Intercity
- 11.2d: NS'54 bestaand Ut-Gdm, opvolging Stoptrein – Intercity, detail
- 11.3: NS'54 bestaand Ut-Gdm, opvolging Intercity – Goederentrein (s)
- 11.3d: NS'54 bestaand Ut-Gdm, opvolging Intercity – Goederentrein (s), detail
- 11.4: NS'54 bestaand Ut-Gdm, opvolging Goederentrein (s) – Stoptrein
- 11.4d: NS'54 bestaand Ut-Gdm, opvolging Goederentrein (s) – Stoptrein, detail
- 11.5: NS'54 bestaand Ut-Gdm, opvolging Intercity – Goederentrein (d)
- 11.5d: NS'54 bestaand Ut-Gdm, opvolging Intercity – Goederentrein (d), detail
- 11.6: NS'54 bestaand Ut-Gdm, opvolging Goederentrein (d) – Stoptrein
- 11.6d: NS'54 bestaand Ut-Gdm, opvolging Goederentrein (d) – Stoptrein, detail
  
- 21.1: NS'54 bestaand Gdm-Ht, opvolging Intercity – Stoptrein
- 21.1d: NS'54 bestaand Gdm-Ht, opvolging Intercity – Stoptrein, detail
- 21.2: NS'54 bestaand Gdm-Ht, opvolging Stoptrein – Intercity
- 21.2d: NS'54 bestaand Gdm-Ht, opvolging Stoptrein – Intercity, detail
- 21.3: NS'54 bestaand Gdm-Ht, opvolging Intercity – Goederentrein (s)
- 21.3d: NS'54 bestaand Gdm-Ht, opvolging Intercity – Goederentrein (s), detail
- 21.4: NS'54 bestaand Gdm-Ht, opvolging Goederentrein (s) – Intercity
- 21.4d: NS'54 bestaand Gdm-Ht, opvolging Goederentrein (s) – Intercity, detail
- 21.5: NS'54 bestaand Gdm-Ht, opvolging Stoptrein – Goederentrein (d)
- 21.5d: NS'54 bestaand Gdm-Ht, opvolging Stoptrein – Goederentrein (d), detail
- 21.6: NS'54 bestaand Gdm-Ht, opvolging Goederentrein (d) – Intercity
- 21.6d: NS'54 bestaand Gdm-Ht, opvolging Goederentrein (d) – Intercity, detail

**ProRail**



## Bijlage 7: Berekeningen NS'54 geoptimaliseerd

In bijlage 7 zijn rij- en opvolgtijden van de geoptimaliseerde situatie voor NS'54 opgenomen. Naast de berekeningen is ook een legenda van de opvolgtijdgrafieken en een overzichtstabel opgenomen.

Inhoudsopgave bijlage 7:

- Legenda opvolgtijdgrafieken NS'54 geoptimaliseerd
- Overzichtstabel NS'54 geoptimaliseerd
  
- 12.1: NS'54 geoptimaliseerd Ut-Gdm, opvolging Intercity – Stoptrein
- 12.1d: NS'54 geoptimaliseerd Ut-Gdm, opvolging Intercity – Stoptrein, detail
- 12.2: NS'54 geoptimaliseerd Ut-Gdm, opvolging Stoptrein – Intercity
- 12.2d: NS'54 geoptimaliseerd Ut-Gdm, opvolging Stoptrein – Intercity, detail
- 12.3: NS'54 geoptimaliseerd Ut-Gdm, opvolging Intercity – Goederentrein (s)
- 12.3d: NS'54 geoptimaliseerd Ut-Gdm, opvolging Intercity – Goederentrein (s), detail
- 12.4: NS'54 geoptimaliseerd Ut-Gdm, opvolging Goederentrein (s) – Stoptrein
- 12.4d: NS'54 geoptimaliseerd Ut-Gdm, opvolging Goederentrein (s) – Stoptrein, detail
- 12.5: NS'54 geoptimaliseerd Ut-Gdm, opvolging Intercity – Goederentrein (d)
- 12.5d: NS'54 geoptimaliseerd Ut-Gdm, opvolging Intercity – Goederentrein (d), detail
- 12.6: NS'54 geoptimaliseerd Ut-Gdm, opvolging Goederentrein (d) – Stoptrein
- 12.6d: NS'54 geoptimaliseerd Ut-Gdm, opvolging Goederentrein (d) – Stoptrein, detail
  
- 22.1: NS'54 geoptimaliseerd Gdm-Ht, opvolging Intercity – Stoptrein
- 22.1d: NS'54 geoptimaliseerd Gdm-Ht, opvolging Intercity – Stoptrein, detail
- 22.2: NS'54 geoptimaliseerd Gdm-Ht, opvolging Stoptrein – Intercity
- 22.2d: NS'54 geoptimaliseerd Gdm-Ht, opvolging Stoptrein – Intercity, detail
- 22.3: NS'54 geoptimaliseerd Gdm-Ht, opvolging Intercity – Goederentrein (s)
- 22.3d: NS'54 geoptimaliseerd Gdm-Ht, opvolging Intercity – Goederentrein (s), detail
- 22.4: NS'54 geoptimaliseerd Gdm-Ht, opvolging Goederentrein (s) – Intercity
- 22.4d: NS'54 geoptimaliseerd Gdm-Ht, opvolging Goederentrein (s) – Intercity, detail
- 22.5: NS'54 geoptimaliseerd Gdm-Ht, opvolging Stoptrein – Goederentrein (d)
- 22.5d: NS'54 geoptimaliseerd Gdm-Ht, opvolging Stoptrein – Goederentrein (d), detail
- 22.6: NS'54 geoptimaliseerd Gdm-Ht, opvolging Goederentrein (d) – Intercity
- 22.6d: NS'54 geoptimaliseerd Gdm-Ht, opvolging Goederentrein (d) – Intercity, detail

**ProRail**

## **Bijlage 8: Projectering ERTMS Level 2**

In bijlage 8 is de projectering voor het baanvak Utrecht– 's-Hertogenbosch met ERTMS Level 2 vastgelegd.

Inhoudsopgave bijlage 8:

- 8a: Projectering Blokgrenzen (EoA's)
- 8b: Snelheidsprofiel
- 8c: Helingsegmentering

**ProRail**

## Bijlage 9: Berekeningen ERTMS Level 2

In bijlage 9 zijn rij- en opvolgtijden voor ERTMS Level 2 opgenomen. Naast de berekeningen is ook een legenda van de opvolgtijdgrafieken en een overzichtstabel opgenomen.

Inhoudsopgave bijlage 9:

- Legenda opvolgtijdgrafieken ERTMS Level 2
- Overzichtstabel ERTMS Level 2
  
- 13.1: ERTMS Level 2 Ut-Gdm, opvolging Intercity – Stoptrein
- 13.1d: ERTMS Level 2 Ut-Gdm, opvolging Intercity – Stoptrein, detail
- 13.2: ERTMS Level 2 Ut-Gdm, opvolging Stoptrein – Intercity
- 13.2d: ERTMS Level 2 Ut-Gdm, opvolging Stoptrein – Intercity, detail
- 13.3: ERTMS Level 2 Ut-Gdm, opvolging Intercity – Goederentrein (s)
- 13.3d: ERTMS Level 2 Ut-Gdm, opvolging Intercity – Goederentrein (s), detail
- 13.4: ERTMS Level 2 Ut-Gdm, opvolging Goederentrein (s) – Stoptrein
- 13.4d: ERTMS Level 2 Ut-Gdm, opvolging Goederentrein (s) – Stoptrein, detail
- 13.5: ERTMS Level 2 Ut-Gdm, opvolging Intercity – Goederentrein (d)
- 13.5d: ERTMS Level 2 Ut-Gdm, opvolging Intercity – Goederentrein (d), detail
- 13.6: ERTMS Level 2 Ut-Gdm, opvolging Goederentrein (d) – Stoptrein
- 13.6d: ERTMS Level 2 Ut-Gdm, opvolging Goederentrein (d) – Stoptrein, detail
  
- 23.1: ERTMS Level 2 Gdm-Ht, opvolging Intercity – Stoptrein
- 23.1d: ERTMS Level 2 Gdm-Ht, opvolging Intercity – Stoptrein, detail
- 23.2: ERTMS Level 2 Gdm-Ht, opvolging Stoptrein – Intercity
- 23.2d: ERTMS Level 2 Gdm-Ht, opvolging Stoptrein – Intercity, detail
- 23.3: ERTMS Level 2 Gdm-Ht, opvolging Intercity – Goederentrein (s)
- 23.3d: ERTMS Level 2 Gdm-Ht, opvolging Intercity – Goederentrein (s), detail
- 23.4: ERTMS Level 2 Gdm-Ht, opvolging Goederentrein (s) – Intercity
- 23.4d: ERTMS Level 2 Gdm-Ht, opvolging Goederentrein (s) – Intercity, detail
- 23.5: ERTMS Level 2 Gdm-Ht, opvolging Stoptrein – Goederentrein (d)
- 23.5d: ERTMS Level 2 Gdm-Ht, opvolging Stoptrein – Goederentrein (d), detail
- 23.6: ERTMS Level 2 Gdm-Ht, opvolging Goederentrein (d) – Intercity
- 23.6d: ERTMS Level 2 Gdm-Ht, opvolging Goederentrein (d) – Intercity, detail

**ProRail**

## Bijlage 10: Rijtijdverschillen 130, 140 en 160km/h

In bijlage 10 kunnen de snelheidswegdiagrammen bij ERTMS Level 2 worden teruggevonden voor de intercity en stoptrein indien de maximale baanvaksnelheid 130, 140 respectievelijk 160km/h bedraagt.

Inhoudsopgave bijlage 10:

- Snelheidswegdiagram Ut-Gdm stoptrein, maximale snelheid 130km/h
- Snelheidswegdiagram Gdm-Ht stoptrein, maximale snelheid 130km/h
- Snelheidswegdiagram Ut-Gdm stoptrein, maximale snelheid 140km/h
- Snelheidswegdiagram Gdm-Ht stoptrein, maximale snelheid 140km/h
- Snelheidswegdiagram Ut-Gdm stoptrein, maximale snelheid 160km/h
- Snelheidswegdiagram Gdm-Ht stoptrein, maximale snelheid 160km/h
  
- Snelheidswegdiagram Ut-Gdm intercity, maximale snelheid 130km/h
- Snelheidswegdiagram Gdm-Ht intercity, maximale snelheid 130km/h
- Snelheidswegdiagram Ut-Gdm intercity, maximale snelheid 140km/h
- Snelheidswegdiagram Gdm-Ht intercity, maximale snelheid 140km/h
- Snelheidswegdiagram Ut-Gdm intercity, maximale snelheid 160km/h
- Snelheidswegdiagram Gdm-Ht intercity, maximale snelheid 160km/h

**ProRail**



**ProRail**

**Bijlage 11: Memo Remkarakteristieken Lloyds Register Rail**

**ProRail**

## Bijlage 12: Grafische verklaring rijtijdverschillen

In bijlage 12 kunnen snelheidswegdiagrammen teruggevonden worden waarin het verschil in snelheid van treinen bij NS'54 ATB EG en ERTMS Level 2 wordt weergegeven.

Inhoudsopgave bijlage 12:

- Snelheidsverschil NS'54 en ERTMS Level 2 Ut-Gdm, stoptrein
- Snelheidsverschil NS'54 en ERTMS Level 2 Ut-Gdm, intercity
- Snelheidsverschil NS'54 en ERTMS Level 2 Ut-Gdm, goederentrein met stop
- Snelheidsverschil NS'54 en ERTMS Level 2 Ut-Gdm, goederentrein doorgaand
  
- Snelheidsverschil NS'54 en ERTMS Level 2 Gdm-Ht, stoptrein
- Snelheidsverschil NS'54 en ERTMS Level 2 Gdm-Ht, intercity
- Snelheidsverschil NS'54 en ERTMS Level 2 Gdm-Ht, goederentrein met stop
- Snelheidsverschil NS'54 en ERTMS Level 2 Gdm-Ht, goederentrein doorgaand

**ProRail**

# ProRail

## Colofon

Titel           Capaciteitseffecten ERTMS Level 2  
Documentnummer   EDMS 2472676  
Versie/Datum       1.0  
Status            26 januari 2010

Van            ProRail  
Auteur         Sander de Pundert, Bruno van Touw, Maarten Bartholomeus,  
                  Andrea Verhagen en Michel Duijker  
Projectleider    Marcel van der Vliet  
Projectcoördinator   Loubna Aazzouzi

## Autorisatie

	paraaf	datum
gecontroleerd prl	_____	_____
projectleider	_____	_____