



## **Rapportage effecten ERTMS**

*Interoperabiliteit, betrouwbaarheid, energiegebruik,  
toekomstvastheid, wachttijden overwegen,  
buitendienststellingen, spoorwegveiligheid en smalle knopen*

Datum 25 maart 2014  
Kenmerk IM037.4

*MuConsult B.V.*  
Postbus 2054  
3800 CB Amersfoort  
Telefoon 033 – 465 50 54  
Fax 033 – 461 40 21  
E-mail [INFO@MUCONSULT.NL](mailto:INFO@MUCONSULT.NL)  
Internet [WWW.MUCONSULT.NL](http://WWW.MUCONSULT.NL)

# Inhoudsopgave

<b>1. Inleiding</b>	<b>1</b>
1.1 Onderzoekstraject ERTMS	1
1.2 Afwegingskader en rapportage effecten ERTMS	1
1.3 Eindbeelden en migratiepaden	2
<b>2. Interoperabiliteit beveiliging</b>	<b>5</b>
2.1 Probleemanalyse en doelstellingen	5
2.2 Aspecten en relaties	6
2.3 Uitwerking indicatoren	9
2.4 Effecten in eindbeelden	11
2.5 Migratiepaden	12
2.6 Eindbeelden Mix L1/L2 en Level 2plus	13
2.7 Samenvatting en conclusies	14
<b>3. Betrouwbaarheid</b>	<b>17</b>
3.1 Inleiding	17
3.2 Methodiek en tussenresultaten	18
3.3 Resultaten per eindbeeld	21
3.4 Migratiepaden	22
3.5 Samenvatting resultaten en conclusies	23
<b>4. Energiegebruik</b>	<b>25</b>
4.1 Definities en doelstellingen	25
4.2 Aspecten en relaties	26
4.3 Methodiek en resultaten	28
4.4 Eindbeelden	29
4.5 Samenvatting en conclusie	30
<b>5. Wachttijden overwegen</b>	<b>32</b>
5.1 Probleemanalyse	32
5.2 Aspecten en relaties	32
5.3 Uitwerking wachttijden 'stationsoverwegen'	33
5.4 Eindbeelden	34
5.5 Samenvatting en conclusies	35

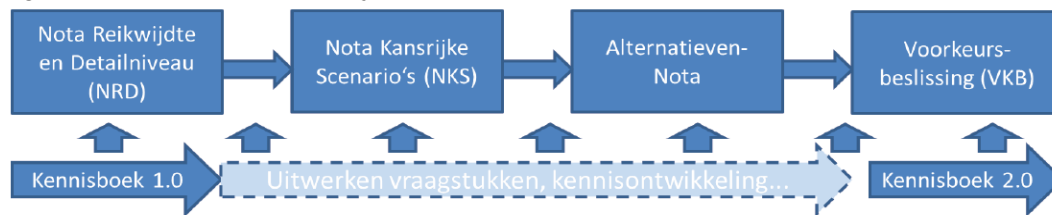
<b>6. Toekomstvastheid</b>	<b>36</b>
6.1 Probleemanalyse en doelstellingen	36
6.2 Uitwerking per aspect	36
6.3 Samenvatting en conclusies	39
<b>7. Buitendienststellingen</b>	<b>40</b>
7.1 Inleiding	40
7.2 Uitwerking per aspect	40
7.3 Samenvatting en conclusies	42
<b>8. Effecten op veiligheid</b>	<b>43</b>
8.1 Inleiding en vraagstelling	43
8.2 Werkwijze	43
8.3 Effect op spoorwegveiligheid	44
8.4 Effect op overwegveiligheid	45
8.5 Migratiestrategie	46
8.6 Aanvullende eindbeelden	48
8.7 Overige effecten	48
8.8 Conclusies	49
<b>9. Reistijdeffecten van ERTMS</b>	<b>52</b>
9.1 Inleiding	52
9.2 Uitkomsten Capaciteitsanalyses en aanvullingen	52
9.3 Doorwerking Capaciteitsanalyse naar eindbeelden	53
9.4 Methodiek	56
9.5 Resultaten	57
9.6 Conclusies	58
<b>Bijlage A: betrouwbaarheid</b>	<b>59</b>
Bijlage A1: storingsoorzaken	59
Bijlage A2: functiehersteltijd	59
Bijlage A3: verliesuren in het nulscenario	60

# 1. Inleiding

## 1.1 Onderzoekstraject ERTMS

ERTMS (European Rail Traffic Management System) is de nieuwe internationale standaard voor treinbesturing en -beveiliging. Het Kabinet overweegt met dit systeem, dat al op enkele Nederlandse spoorlijnen gebruikt wordt, het bestaande beveiligingssysteem geheel of gedeeltelijk te vervangen. Vanwege de complexiteit van het invoeringsvraagstuk vergt invoering van ERTMS een zorgvuldig onderzoeks- en besluitvormingstraject (zie figuur 1.1).

Figuur 1.1: Onderzoekstraject ERTMS



In de Nota Reikwijdte en Detailniveau (NRD) zijn de scope van het project, de mogelijke eindbeelden en het afwegingskader voor de invoering van ERTMS in Nederland beschreven. In de Nota Kansrijke Eindbeelden (NKS) zijn de in de NRD beschreven eindbeelden (inclusief referentiescenario's) beoordeeld middels globale kosten- en batenschattingen. Op basis van deze beoordeling is een selectie gemaakt van kansrijke eindbeelden die in de Alternatieven-Nota nader worden uitgewerkt. Deze derde nota in het kader van de verkenningsfase ERTMS moet voor de staatssecretaris voldoende beslisinformatie bevatten om een verantwoorde voorkeursbeslissing te kunnen nemen over de invoering van ERTMS in Nederland.

## 1.2 Afwegingskader en rapportage effecten ERTMS

Het afwegingskader is bedoeld om een brede en gedegen onderbouwing te geven aan de keuzes betreffende de invoering van ERTMS op (delen van) het Nederlandse spoorwegnet. Het afwegingskader wordt "gevoed" vanuit een aantal onderliggende onderzoeksrapporten, waarin diverse aspecten worden uitgewerkt en onderbouwd. Deze rapporten beschrijven de investerings- en exploitatiekosten, een maatschappelijke kosten-batenanalyse, de effecten op de (spoorweg)veiligheid en een analyse van de risico's op afwijkingen van de verwachte kosten en baten.

Dit rapport is één van de onderliggende rapport bij het afwegingskader. Het gaat in op de effecten die ERTMS teweeg brengt op verschillende deelaspecten van het spoorstelsel:

- ▶ Interoperabiliteit (hoofdstuk 2).
- ▶ Betrouwbaarheid (hoofdstuk 3).
- ▶ Energiegebruik (hoofdstuk 4).
- ▶ Toekomstvastheid ERTMS (hoofdstuk 5).
- ▶ Capaciteit buitendienststellingen (hoofdstuk 6).
- ▶ Wachtijd overwegen (hoofdstuk 7).
- ▶ Spoorwegveiligheid (hoofdstuk 8).
- ▶ Reistijden (hoofdstuk 9).

### 1.3 Eindbeelden en migratiepaden

Op basis van de resultaten van de NKS worden naast het nulscenario de volgende projectscenario's onderzocht. In de Nota van Uitgangspunten zijn de scenario's uitgebreider toegelicht.

Alle eindbeelden gaan ervan uit dat NS 100% van haar materieel gereed maakt voor ERTMS. In **Eindbeeld 1** dienen regionale vervoerders circa 50% van het materieel gereed te maken voor ERTMS, omdat die vervoerders rijden op delen van PHS die in het eindbeeld overgaan op ERTMS Level 2 only. In **eindbeelden 2 en 3** wordt er vanuit gegaan dat de overige reizigersvervoerders ook de rest van hun materieel gereedmaken voor ERTMS. Veel goederenvervoermaterieel is nu al geschikt om te rijden onder ERTMS. Verondersteld is in de scenario's dat de goederenvervoerders de resterende helft van hun circa 440 locs gereedmaken voor ERTMS.

- ▶ **Eindbeeld 1: ERTMS Level 2 op EU-verplichte en PHS corridors.** Eindbeeld 1 gaat uit van ERTMS Level 2 only (dus zonder dat er (ook) ATB aanwezig is) als eindbeeld op de EU verplichte corridors (2020 en 2030) en de PHS-corridors. Op het overige spoornetwerk (rest Hoofdrailnet en regionaal spoor) blijft ATB gehandhaafd. Achtergrond voor dit eindbeeld is dat uit de NKS is gebleken dat de verwachte baten op dit deelnetwerk het hoogste zijn per geïmplementeerde kilometer ERTMS. De PHS-corridors kennen namelijk de grootste behoefte aan capaciteit en verwerken tevens de grootste reizigersstromen. Op de PHS-corridors zal op vele locaties blokverdichting worden toegepast en op de overige corridors alleen daar waar substantiële effecten worden verwacht.
- ▶ **Eindbeeld 2: ERTMS Level 2 op HRN.** In dit eindbeeld wordt ERTMS Level 2 only op het hele Hoofdrailnet (HRN) gerealiseerd. Op het PHS-segment zal op dezelfde manier als in eindbeeld 1 sprake zijn van blokverdichting, terwijl op de overige segmenten zal blokverdichting worden toegepast alleen daar waar substantiële effecten worden verwacht.
- ▶ **Eindbeeld 3: ERTMS Level 2 in heel Nederland.** In dit eindbeeld wordt ERTMS Level 2 only op het gehele Nederlandse spoorwegnet gerealiseerd. Dit betekent dat in aanvulling op het Hoofdrailnet (eindbeeld 2) ook de regionale lijnen uitgerust zullen worden met ERTMS. Op het PHS-segment zal op dezelfde manier als in eindbeeld 1 sprake zijn van blokverdichting, terwijl op de overige segmenten zal blokverdichting worden toegepast alleen daar waar substantiële effecten worden verwacht.

#### *Aanvullende analyses*

Naast bovengenoemde scenario's is een aantal aanvullende analyses uitgevoerd ten aanzien van het eindbeeld:

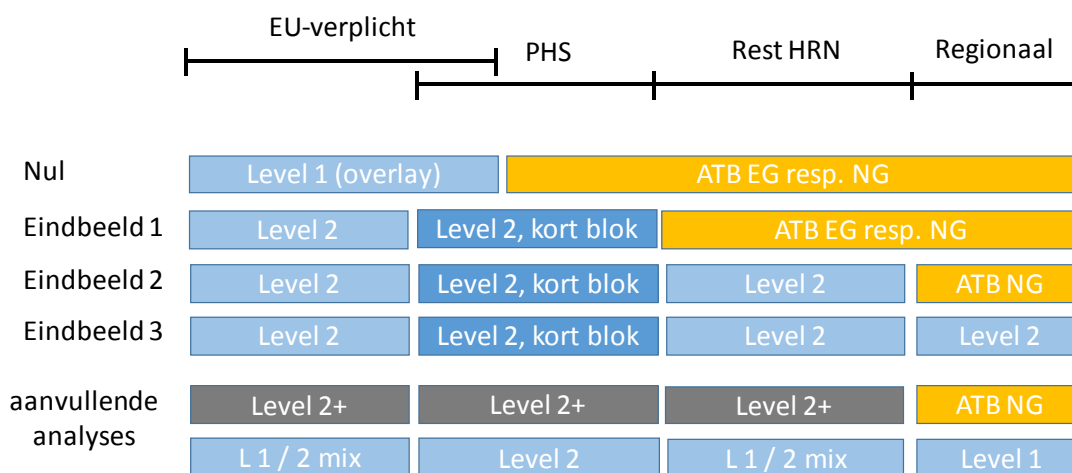
- ▶ **Level 2plus.** Voor het gehele HRN wordt aangenomen dat het zogeheten Level 2plus wordt gerealiseerd. Level 2plus bestaat uit de standaard Level 2-toepassing met baangebonden detectie, gecombineerd met virtuele blokken en autolocalisatie van Level 3 voor treinen die hun trein integriteit kunnen garanderen. De virtuele blokken zorgen ervoor dat deze treinen op een veilige manier dichter achter elkaar kunnen rijden, hetzelfde effect als bij blokverdichting door conventionele blokken. Hierdoor kan de hoeveelheid baangebonden detectie lager zijn of hoeft de detectie niet aangepast te worden om kortere opvolgtijden te behalen.

Level 2plus is op dit moment nog niet operationeel. Level 2plus is voorsnog nog een concept. In deze aanvullende analyse blijft de huidige ATB gehandhaafd op de rest van het netwerk (namelijk de regionale lijnen).

- ▶ **Level 1 / 2 mix.** De aanleg van ERTMS Level 1 is naar verwachting goedkoper dan Level 2, waardoor kostenbesparingen kunnen worden gerealiseerd. Level 1 wordt in deze aanvullende analyse verondersteld op baanvakken in heel NL waar geen blokverdichting plaatsvindt en op een aantal emplacements op het HRN. Op de overige delen wordt in deze analyse Level 2 uitgerold.

In figuur 1.2 is deze indeling schematisch weergegeven.

Figuur 1.2: Overzicht nulscenario en eindbeelden



### Migratiepaden

Hierboven zijn de eindbeelden beschreven. Er zijn verschillende strategieën om tot de geschetste eindbeelden te komen. In de scenario's is daarom onderscheid gemaakt tussen drie 'migratiepaden' (volgorde waarin delen van de infrastructuur worden aangepast en ERTMS wordt 'uitgerold') met een verschillende focus.

Uitgangspunt voor elk migratiepad is dat het materieel eerst volledig is omgebouwd, voordat de infrastructuur operationeel wordt onder ERTMS. Uitzondering hierop vormt materieel ten behoeve van de indienststelling van de EU verplichte lijn Rotterdam – Belgische grens. Hiervoor is voldoende materieel beschikbaar om vanaf 2020 onder ERTMS te kunnen gaan rijden. Tevens is de tijdige oplevering van de EU verplichte corridors en OV-SAAL uitgangspunt. De verschillende migratiepaden zijn:

- ▶ **Migratiepad A: PHS eerst.** Dit pad beoogt het snel incasseren van de verwachte baten, door drukke lijnen en knooppunten voorrang te geven bij de invoering van ERTMS. Prioriteit ligt daarom bij de PHS corridors, door deze corridors als eerste aan te passen, te beginnen met Amsterdam en omstreken.
- ▶ **Migratiepad B: Vervanging eerst.** Hier wordt zoveel mogelijk de vervangingsopgave van beveiligingssysteem gevolgd, met als doel het aantal vervangingen van bestaande systemen te beperken en op deze manier tot een kosteneffectieve vervanging te komen. Begonnen wordt in het hart van Nederland.

- ▶ **Migratiepad C: Landsdelen eerst.** De operationele risico's (kans op verstoringen als gevolg van mogelijke kinderziektes e.d. worden geminimaliseerd door prioriteit te geven aan rustige lijnen. De kans op het optreden van negatieve effecten als gevolg van de invoering van ERTMS wordt zoveel mogelijk vermeden. De doorwerking van verstoringen op de rest van het spoorwegnet zal op rustige lijnen lager zijn dan op de drukkeren delen van het netwerk.

Naast de bovenstaande kenmerken van de migratiepaden is bij het opstellen van ieder migratiepad gekeken naar:

- ▶ Het voldoen aan de Europese verplichtingen voor 2020 en 2030 als randvoorwaarde voor de uitrolvolgorde;
- ▶ Het toepassen van een olievlek-gedachte en het minimaliseren van het aantal transitieën tussen ERTMS en ATB.

#### *Aanvullende analyse: hoog tempo*

Bovenstaande migratiepaden gaan uit van een uitroltempo waarbij baanvakken tussen 2020 en 2035 in dienst worden gesteld.

Een volledige uitrol voor 2028 (einde van huidige MIRT periode) kan mogelijk aantrekkelijk zijn door het sneller incasseren van baten en het lagere risico dat er meerdere variaties van ERTMS (bijvoorbeeld nieuwe versies) moeten worden uitgerold. Daarom is een aanvullende analyse uitgevoerd gericht op vaststelling van de effecten en kosten van uitrol in een hoog tempo van uitrol in zeven jaar met migratiepad PHS-eerst. Dit eindbeeld wordt het "hoog tempo" scenario genoemd.

## 2. Interoperabiliteit beveiliging

### 2.1 Probleemanalyse en doelstellingen

De spoorssystemen in de Europese landen verschillen onderling van elkaar, onder meer op het gebied van regelgeving, beveiligings- en beïnvloedingssysteem, spoorbreedte en bovenleidingsspanning. Hierdoor is het niet zonder meer mogelijk om een trein van het ene land naar het andere te laten rijden. In de praktijk wordt het materieel aangepast voor de inzet in meerdere landen door het geschikt te maken voor onder andere meerdere beveiligingssystemen en bovenleidingsspanningen. Dit werkt kostenverhogend en beperkt de vrije stroom van goederen en reizigers per spoor. Om die reden wordt op Europees niveau gewerkt aan een harmonisatie van (eisen aan) regelgeving, procedures, materieel en infrastructuur. Dit moet leiden tot de vaststelling van een *“optimaal niveau van technische harmonisatie”*, waarmee internationaal spoorvervoer binnen de EU en van en naar niet-EU-landen verder wordt verbeterd en ontwikkeld. Dit draagt bij *aan de geleidelijke invoering van een interne markt voor uitrusting en diensten voor de exploitatie van het spoorwegsysteem in de Unie<sup>1)</sup>*.

In richtlijn 2008/57/EG is interoperabiliteit gedefinieerd als: *“de geschiktheid van een spoorwegsysteem voor een veilig en ononderbroken treinverkeer, waarbij de voor de betrokken lijnen gespecificeerde prestaties worden geleverd”*. In dit hoofdstuk ligt het accent op het *“ononderbroken treinverkeer”* (de veiligheidsaspecten komen in hoofdstuk 8 aan de orde), wat een harmonisatie van materieel en infrastructuur vereist. Hiertoe zijn diverse TSI's (technische specificaties voor interoperabiliteit) uitgebracht, waarin geharmoniseerde specificaties voor diverse onderdelen van het spoorstelsel zijn beschreven, zoals sporen, communicatie, beveiliging, constructie et cetera. De lidstaten, infrabeheerders, materieelleveranciers en vervoerders zijn verplicht deze specificaties toe te passen. Dit moet er uiteindelijk toe leiden dat spoorvervoerders hun treinen zonder belemmeringen in of door meerdere landen kunnen laten rijden.

Naast de hierboven beschreven (technische) interoperabiliteit bestaat ook een operationele interoperabiliteit. Hierbij gaat het om het harmoniseren van regelgeving en gebruiksprocessen. De huidige regelgeving is nationaal georiënteerd, met in elk land een eigen seinreglement, personeelseisen en procedures. Het harmoniseren hiervan vergemakkelijkt het gebruik van spoorwegnetten in andere landen, onder meer omdat het personeel geen (uitgebreide) aanvullende opleidingen nodig heeft (wel zullen ze wegbekendheid moeten hebben en de taal van het betreffende land machtig moeten zijn). ERTMS Level 2 biedt deze vorm van operationele interoperabiliteit door toepassing van een uniform seinstelsel, ERTMS Level 1 functioneert onder nationale seinstelsels en leidt dus niet tot operationeel interoperabiliteit.

---

<sup>1)</sup> Samengevat uit Voorstel voor een Richtlijn van het Europees Parlement en de Raad betreffende de interoperabiliteit van het spoorwegsysteem in de Europese Unie (2013/0015) d.d. 30.1.2013.



In een situatie met technische interoperabiliteit is sprake van een kostendaling in het internationale spoorvervoer. Het materieel hoeft dan alleen met ERTMS te worden uitgerust, in plaats van meerdere beveiligingssystemen voor verschillende landen. De kostendaling heeft tot gevolg dat het spoorvervoer aantrekkelijker wordt, waardoor het marktaandeel kan toenemen.

De Europese definitie is ook toepasbaar op de **nationale interoperabiliteit**, omdat ook hier het kernbegrip “*ononderbroken treinverkeer*” is. In Nederland is naast ERTMS sprake van een tweetal veiligheidssystemen, te weten ATB-EG en -NG (zie tabel 2.2 in paragraaf 2.3). Deze systemen zijn door de EU erkend als “class B”-systeem, wat wil zeggen dat ze ook in de toekomst op nationaal niveau gebruikt mogen worden. Het dieselmaterieel kan onder beide systemen rijden, het elektrische materieel meestal alleen onder ATB-EG. Dit leidt niet tot belemmeringen, aangezien ATB-NG alleen op diesellijnen is toegepast. Een aantal lijnen wijkt af van deze “nationale standaard-specificaties”, namelijk de Betuweroute, de Havenlijn en de HSL. Deze lijnen zijn uitgerust met ERTMS waardoor zij voldoen aan de EU-specificaties van interoperabiliteit op het gebied van treinbeveiliging. Het gebruik van deze lijnen in combinatie met het conventionele spoorwegnet vereist de inzet van materieel dat voorzien is van ERTMS.

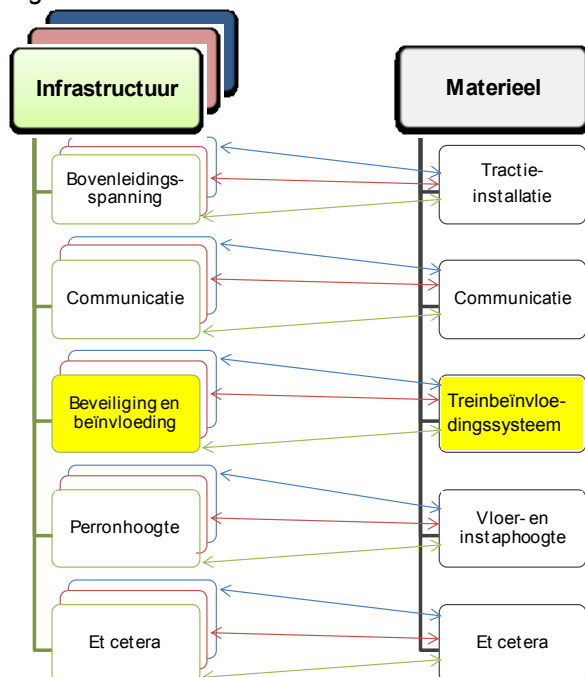
## 2.2 Aspecten en relaties

Van interoperabiliteit is in de praktijk pas sprake wanneer treinen gebruik kunnen maken van de infrastructuur van twee of meer netten. Dit vereist de afstemming van zowel de infrastructuur van de diverse netten onderling als de afstemming van het materieel op de infrastructuur. In figuur 2.1 is dit weergegeven voor een situatie waarin de kenmerken van materieel (rechterkolom) zijn afgestemd op meerdere spoorwegnetten (linkerkolom). De afstemming is weergegeven met pijlen. De elementen die in de Nederlandse situatie door ERTMS worden beïnvloed zijn geel gemarkeerd. Materieel wordt pas toegelaten tot de infrastructuur van een land als het aan alle kenmerken van de nationale infrastructuur is aangepast; materieel voor grensoverschrijdend treindiensten moet daarom worden aangepast aan de infrastructuur van meerdere netwerken<sup>2)</sup>. Zoals uit de figuur is af te leiden is *volledige* interoperabiliteit afhankelijk van de mate waarin de kenmerken van infrastructuur en regelgeving zijn geharmoniseerd; ERTMS behoort tot de belangrijkste daarvan. Het vergroten van de mate van interoperabiliteit van spoorwegnetten leidt tot lagere kosten en vergemakkelijkt het aanbieden van grensoverschrijdende spoorverbindingen, waardoor het spoorvervoer aantrekkelijker wordt. Bij het onderwerp interoperabiliteit is onderscheid te maken naar binnenlands en internationaal vervoer.

---

<sup>2)</sup> Soms worden verdergaande technische oplossingen toegepast, zoals wagons met verschuifbare wielen of locomotieven die onder meerdere spanningen kunnen rijden, al is dit kostenverhogend.

Figuur 2.1: Relatie materieel en infrastructuur (interoperabiliteit)



### Nationale interoperabiliteit

De nationale interoperabiliteit heeft betrekking op verschillen in de infrastructuur binnen Nederland. Het huidige binnenlandse net is op te splitsen in vier groepen spoorlijnen:

- ▶ **Lijnen met ERTMS en 25kV-bovenleiding:** de recent aangelegde Betuweroute en HSL-Zuid alsmede de Rotterdamse Havenlijn zijn voorzien van ERTMS en een bovenleidingsspanning van 25kV, waardoor zij aan de Europese definitie van interoperabiliteit voldoen. Deze lijnen zijn vooral gericht op internationaal vervoer.
- ▶ **Lijnen met ATB-EG en 1500V bovenleidingsspanning:** het grootste deel van het binnenlandse spoorwegnet is geëlektrificeerd en voorzien van het vanaf de jaren zestig ingevoerde beïnvloedingssysteem ATB.
- ▶ **Niet geëlektrificeerde lijnen met ATB-NG:** de niet geëlektrificeerde spoorlijnen met reizigersvervoer zijn voorzien van het beveiligingssysteem ATB-NG. Hierop rijden dieseltreinen. Materieel met het beïnvloedingssysteem ATB-NG kan wel gebruik maken van lijnen die zijn uitgerust met ATB-EG; het omgekeerde is niet mogelijk.
- ▶ **Overige lijnen:** een aantal lijnen of gedeelten daarvan heeft bijzondere infrastructuurele kenmerken. Hieronder vallen grensbaanvakken die soms met andere beveiliging en bovenleidingsspanning zijn uitgerust (voorbeeld Venlo – Venlo grens) en lijnen met beperkt vervoer zoals goederenlijnen (voorbeeld: Lage Zwaluwe – Oosterhout) en museumlijnen (voorbeeld Apeldoorn – Dieren), die geen beïnvloedingssysteem hebben. Deze lijnen worden niet meegenomen in het onderzoek.

Als criterium voor de nationale interoperabiliteit wordt het aandeel materieel gehanteerd dat over één danwel meer beveiligingssystemen moet beschikken om de treindiensten waar het voor bedoeld is uit te kunnen voeren. In de huidige situatie is sprake van een grote mate van nationale interoperabiliteit, maar geen volledige interoperabiliteit. Reden hiervoor is dat het materieel dat gebruik maakt van de HSL-Zuid en de Betuweroute twee beveiligingssystemen nodig heeft, namelijk ATB en ERTMS. Het verschil tussen ATB-EG en ATB-NG is hiervoor niet hinderlijk omdat ATB-NG alleen op diesellijnen is toegepast.

### *Internationale interoperabiliteit*

De internationale interoperabiliteit heeft betrekking op de afstemming tussen het Nederlandse spoorwegnet en de netwerken in België en Duitsland. Ook hier wordt de hoeveelheid materieel dat over meer dan een beveiligingssysteem moet beschikken om grensoverschrijdende treindiensten uit te voeren gebruikt als maatstaf voor de mate van interoperabiliteit. In de huidige situatie zijn de beveiligings- en beïnvloedingssystemen in Nederland, Duitsland en België niet aan elkaar gelijk. Hierdoor moet materieel voor internationale treinen beschikken over meerdere beveiligingssystemen<sup>3)</sup>, waardoor het relatief duur is. Alternatief voor het gebruik van materieel dat is aangepast voor de infrastructuur van meerdere landen is het wisselen van locomotief in de grensstations; dit leidt echter ook tot hogere kosten. Op grond hiervan kan worden vastgesteld dat in de huidige situatie geen sprake is van interoperabiliteit van het Nederlandse spoorwegnet met de spoorwegnetten van onze buurlanden.

De invoering van ERTMS wordt ook in België en Duitsland gepland. In **België** is besloten het gehele spoorwegnet in de periode tot 2022 te voorzien van ERTMS (Level 1 en 2)<sup>4)</sup>. Hierdoor wordt België waarschijnlijk het eerste land dat ERTMS toepast op het volledige spoorwegnet. Dit leidt tot een vergroting van de interoperabiliteit van het Belgische en Nederlandse spoorwegnet; wanneer Nederland eveneens kiest voor invoering van ERTMS op het gehele spoorwegnet (conform eindbeeld 3, mix Level 1/Level 2 of Level 2plus) is op het aspect beveiliging sprake van volledige interoperabiliteit.

De plannen voor invoering van ERTMS in **Duitsland** gaan vooralsnog alleen uit van invoering op de TEN-T-corridors. Dit betekent dat in de grensstations Bad Bentheim en Emmerich in alle eindbeelden wordt aangesloten op de invoering van ERTMS in Nederland (nulscenario). Treinen die in Bad Nieuwesches, Venlo en Landgraaf de grens passeren moeten net als nu van het Duitse beïnvloedingssysteem (PZB) voorzien zijn; materieel dat ook op de Duitse hogesnelheidslijnen rijdt moet bovendien beschikken over het op deze lijnen gebruikte systeem LZB beschikken. Op grond hiervan kan worden vastgesteld dat in de huidige situatie geen sprake is van interoperabiliteit met het Duitse spoorwegnet; in 2035 is onafhankelijk van de in Nederland gemaakte keuzes sprake van een verbeterde interoperabiliteit.

### *Level 1 en Level 2*

ERTMS kent (tot nu toe) twee basisvarianten, namelijk Level 1 en Level 2. Treinen die zijn uitgerust met ERTMS kunnen technisch gezien zowel onder L1 als L2 rijden. Operationeel is wel sprake van verschil tussen Level 1 en Level 2. Onder Level 1 kan zowel een nationaal als een Europees geharmoniseerd seinreglement worden gebruikt. Dit betekent dat een machinist van een trein naar of vanuit Duitsland of België kennis moet hebben van zowel het Nederlandse als het Belgische of Duitse seinreglement. In het nulscenario is voorzien in de combinatie van Level 1 met het bestaande beveiligingssysteem (overlay), wat betekent dat het huidige Nederlandse seinreglement gehandhaafd blijft. In Level 2 only is de situatie anders, omdat de baansein kunnen vervallen. Dit vereist de invoering van een nieuw seinreglement, waarbij de verplichting bestaat om dit te baseren op geharmoniseerde Europese regels. Hierdoor is operationeel sprake van een verbetering van de interoperabiliteit.

---

<sup>3)</sup> Naast verschillen in beveiligingssysteem is ook sprake van verschillen in onder meer bovenleidingsspanning, perronhoogten en regelgeving. Deze verschillen blijven in dit onderzoek buiten beschouwing.

<sup>4)</sup> Zie "[Taking ERTMS nationwide](#)", International Railway Journal, 6 maart 2013.

### *Overige aspecten*

De invoering van ERTMS beïnvloedt ook de exploitatiekosten van het spoorwegsysteem die een raakvlak hebben met interoperabiliteit. Deze kosten zijn uitgewerkt in de rapportage kosten en worden hier niet nader uitgewerkt. De belangrijkste kostenposten zijn aanpassing van het materieel en opleiding personeel van rijdend personeel alsmede opleiding van personeel van de infrabeheerder (onderhoud en verkeersleiding) en van bij het onderhoud ingeschakelde contractanten.

Naast de kosten zijn nog twee andere aspecten van belang voor de interoperabiliteit, te weten:

- ▶ **Veiligheid:** de invoering van een nieuw treinbeïnvloedings- en besturingssysteem leidt enerzijds tot een toename van de spoorwegveiligheid (bijvoorbeeld remcurvebewaking) maar anderzijds ook tot nieuwe risico's (bijvoorbeeld invoeren treingegevens). Per saldo is sprake van een verbetering van de spoorwegveiligheid (zie rapportage veiligheid).
- ▶ **Inzetbaarheid licht materieel:** een specifiek aspect van interoperabiliteit betreft de toelating van "licht" dieselmaterieel dat door regionale vervoerders wordt gebruikt. Gebleken is dat dit materieel niet onder alle omstandigheden zorgt voor elektrisch contact tussen beide spoorstaven, waardoor de detectie met GRS-spoorstroomlopen niet volledig gewaarborgd is. Deze lijnen mogen alleen onder bepaalde voorwaarden worden bereden. De invoering van ERTMS gaat op trajecten waar blokverdichting wordt toegepast gepaard met de vervanging van GPRS door assentellers, waardoor de beperkingen op die baanvakken kunnen worden opgeheven. Dit is echter ook het geval wanneer blokverdichting met behoud van ATB wordt toegepast, aangezien ook dan kan worden gekozen voor detectie met assentellers. De detectie van lichter materieel is dus alleen indirect gerelateerd aan ERTMS.

## **2.3       Uitwerking indicatoren**

### **2.4.1 Aanpassing binnenlands materieel**

De invoering van ERTMS heeft tot gevolg dat (een deel van) het Nederlandse spoorwegnet wordt voorzien van een ander beïnvloedings- en beveiligingssysteem. Hierdoor wordt het netwerk minder interoperabel. Om doorgaande treindiensten tussen de verschillende deelnetten te kunnen uitvoeren moet het materieel worden aangepast voor het gebruik van ERTMS, zonedig in combinatie met de bestaande ATB. Het percentage van het materieelpark dat meerdere beveiligingssystemen nodig heeft is daarom een goede maatstaf voor de interoperabiliteit.

Tabel 2.2 bevat een overzicht van de in het materieel benodigde beveiligingssystemen per eindbeeld, waarbij alleen is uitgegaan van gebruik van het Nederlandse spoorwegnet. Hieruit is af te leiden dat in het nulscenario al behoefte bestaat aan aanpassing van 25% van het materieelpark voor ERTMS en ATB. De grote hoeveelheid materieel met twee beveiligingssystemen is het grootst in eindbeeld 1; dit is toe te schrijven aan het feit dat in dit eindbeeld slechts een deel van het hoofdnet wordt aangepast naar ERTMS. In eindbeeld 2 en Level 2plus kan al een substantieel deel van de treindiensten worden uitgevoerd met materieel dat alleen ERTMS heeft, in de eindbeelden 3 en mix L1/L2 geldt dat voor al het materieel.

Tabel 2.2: Minimale ombouwbehoefte t.b.v. ERTMS

Eindbeeld	HRN			Reiz.int.			Reg.reiz.			Goederen			Totaal		
	A	E	AE	A	E	AE	A	E	AE	A	E	AE	A	E	AE
Nulscenario	75%	0%	25%	48%	5%	47%	100%	0%	0%	23%	46%	31%	64%	11%	25%
Eindbeeld 1	0%	0%	100%	33%	42%	25%	50%	0%	50%	15%	54%	31%	13%	16%	71%
Eindbeeld 2	0%	100%	0%	0%	95%	5%	0%	0%	100%	0%	85%	15%	0%	84%	16%
Eindbeeld 3	0%	100%	0%	0%	100%	0%	0%	100%	0%	0%	100%	0%	0%	100%	0%
mix L1/L2	0%	100%	0%	0%	100%	0%	0%	100%	0%	0%	100%	0%	0%	100%	0%
Level 2+	0%	100%	0%	0%	100%	0%	0%	0%	100%	0%	85%	15%	0%	84%	16%

A = ATB, E= ERTMS en AE=ERTMS + STM-ATB

## 2.4.2 Aanpassing internationaal materieel

Het voor binnenlands materieel gebruikte criterium “aandeel materieel met meer dan een beveiligingssysteem” is niet zonder meer toepasbaar voor internationaal materieel. In 2035, het jaar waarop de eindbeelden betrekking hebben, heeft België het gehele spoorwegnet van ERTMS voorzien. In Duitsland is daarentegen sprake van een invoering op alleen de TEN-T-corridors. Hierdoor is voor een deel van het materieel nog steeds een apart Duits beveiligingssysteem nodig. Om die reden is voor de vergelijking van de eindbeelden gekeken naar de aandelen materieel voor grensoverschrijdende treindiensten die alleen ERTMS nodig hebben. Tabel 2.3 bevat deze gegevens voor het internationale goederenvervoer, tabel 2.4 voor het internationale reizigersvervoer.

Tabel 2.3: Internationale interoperabiliteit goederenvervoer <sup>1)</sup>

Eindbeeld	aandeel goederentreinen die alleen met ERTMS kunnen rijden		
	2011	2030	2040
Huidig netwerk (2013)	0%		
Eindbeeld 0		79%	75%
Eindbeeld 1		82%	80%
Eindbeeld 2		90% <sup>2)</sup>	88% <sup>2)</sup>
Eindbeeld 3		91% <sup>2)</sup>	88% <sup>2)</sup>
Totaal aantal treinen per etmaal	198	335	392

- <sup>1)</sup> De aantallen goederentreinen zijn ontleend aan de studies *Maximaliseren gebruik Betuweroute*, Ministerie van IenM, 2. juli 2012, *prognoses goederenvervoer zonder maatregelen gebruik Betuweroute*, pagina's 12 en 13 en *Lange termijnperspectief Goederenvervoer*, TNO i.o.v. Ministerie van IenM, 30. mei 2012. De rapporten bevatten geen gegevens voor Eijsden en Bad Nieuweschans, deze zijn op basis van de huidige dienstregeling geschat op 10 resp. 2.
- <sup>2)</sup> Een deel van het materieel heeft naast ERTMS in Nederland ook het Duitse beveiligingssysteem PZB nodig om gebruik te kunnen maken van de grensovergangen Leer, Venlo en Herzogenrath. Als de aansluitende Duitse trajecten worden voorzien van ERTMS bedragen de percentages 99% in scenario 2 en 100% in scenario 3.

Uit tabel 2.3 kan worden geconcludeerd dat in het nulscenario al een groot aantal goederentreinen met alleen ERTMS kan rijden; ATB is voor deze treinen niet meer noodzakelijk. Een volledige interoperabiliteit wordt zelfs in eindbeeld 3 niet bereikt. Dit is toe te schrijven aan het gegeven dat de grensovergang Venlo geen deel uitmaakt van een EU-verplichte corridor, waardoor de hierop aansluitende Duitse lijn naar Viersen naar verwachting geen ERTMS zal hebben. Hierdoor is voor goederentreinen via Venlo naast ERTMS ook het Duitse beveiligingssysteem PZB90 nodig.

Tabel 2.4: *Interoperabiliteit internationaal reizigersvervoer* <sup>1)</sup>

Eindbeeld	Aandelen beveiligingssystemen in materieelpark 2035		
	ATB	ERTMS	ERTMS+ATB
Eindbeeld 0	42%	5%	47%
Eindbeeld 1	33%	42%	25%
Eindbeeld 2	0%	95%	5%
Eindbeeld 3	0%	100%	0%

<sup>1)</sup> *Gebaseerd op de bestaande en geplande materieelparken voor grensoverschrijdende treindiensten exclusief Maastricht – Hasselt (tram) en Enschede – Gronau (lijn met alleen Duitse beveiliging) en Venlo – Viersen (alleen Duitse beveiliging).*

Tabel 2.4 laat zien dat een verdergaande invoering van ERTMS in Nederland leidt tot een verbetering van de internationale interoperabiliteit. Hierdoor wordt in een groot deel van het materieelpark het gebruik van een ATB-installatie overbodig. Doordat het Belgische spoorwegnet in 2022 integraal is uitgerust met ERTMS is voor Nederland en België sprake van volledige interoperabiliteit op het gebied van beveiliging. In Duitsland worden naar verwachting alleen de TEN-T-corridors van ERTMS voorzien, waardoor reizigerstreinen via Venlo en Herzogenrath naast ERTMS ook het Duitse beïnvloedingsstelsel PZB90 nodig hebben.

## 2.4 Effecten in eindbeelden

### 2.4.1 Nulscenario

De nationale interoperabiliteit verslechtert in het nulscenario. Zoals uit tabel 2.2 blijkt moet 34 procent van het materieel worden voorzien van ERTMS en ATB en heeft 55 procent alleen ATB. Slechts 11 procent van het materieel hoeft alleen van ERTMS te zijn voorzien. Hierdoor is sprake van een verminderde interoperabiliteit.

De internationale interoperabiliteit vertoont eenzelfde beeld voor het internationale reizigersvervoer. Slechts 5% van het materieel hoeft voor het Nederlandse net alleen over ERTMS te beschikken, het merendeel heeft ERTMS en ATB nodig. In het goederenvervoer is dat beeld anders, met name omdat via de Betuweroute veel verkeer onder ERTMS kan worden afgewikkeld. Hierdoor is voor 75 tot 80 procent van het materieel een ERTMS-installatie voldoende.

### 2.4.2 Eindbeeld 1

In eindbeeld 1 vermindert de nationale interoperabiliteit als gevolg van de invoering van ERTMS op alle EU-verplichte corridors en de PHS-lijnen. Hierdoor moet twee derde deel van het materieelpark worden voorzien van zowel ERTMS als ATB. De internationale interoperabiliteit verbetert vooral voor het reizigersvervoer. Dit is toe te schrijven aan de uitbreiding van het aantal binnenlandse bestemmingen die vanaf de grens via lijnen met ERTMS te bereiken zijn; dit geldt vooral voor de verbindingen Rotterdam – Den Haag en Bad Bentheim – Amsterdam (ERTMS op Amersfoort – Hilversum). De verbetering voor het goederenvervoer is procentueel geringer; ook hier is de verbetering toe te schrijven aan de uitbreiding van het aantal met ERTMS bereikbare bestemmingen.

### 2.4.3 Eindbeeld 2

De toepassing van ERTMS op het gehele hoofdrailnet heeft tot gevolg dat het NS-materieel in het eindbeeld geen ATB-installatie meer nodig heeft. Dit betekent een belangrijke verbetering van de interoperabiliteit, omdat materieel met ERTMS makkelijker in andere landen ingezet kan worden. De afwijkende Nederlandse bovenleidingsspanning blijft echter een beperkende factor.

De internationale interoperabiliteit verbetert in eindbeeld 2 aanzienlijk, omdat het merendeel van de door grensoverschrijdende treindiensten voor reizigers- en goederenvervoer gebruik kan maken van lijnen met ERTMS. Hierdoor kan in een groot deel van het materieel worden volstaan met een ERTMS-installatie.

#### 2.4.4 Eindbeeld 3

In eindbeeld 3 is het gehele Nederlandse spoorwegnet voorzien van ERTMS, waardoor sprake is van volledige nationale en internationale interoperabiliteit. ATB is in dit eindbeeld volledig uitgefaseerd. Slechts op enkele grensoverschrijdende verbindingen naar Duitsland (Bad Nieuweschans, Venlo, Herzogenrath) heeft het materieel aanvullend op ERTMS het Duitse beveiligingssysteem nodig.

## 2.5 Migratiepaden

De uitrol van ERTMS in het **nulscenario** heeft nauwelijks invloed op het treinverkeer omdat ERTMS wordt gecombineerd met de bestaande beveiliging (dual layer). Enige uitzondering hierop is de SAAL-corridor Schiphol – Amsterdam – Almere – Lelystad, die met ERTMS Level 2 only worden uitgerust. Hiervoor is aanpassing van NS-materieel en opleiding van personeel van NS nodig.

Voor de **eindbeelden 1, 2 en 3** zijn drie migratiepaden gedefinieerd voor de uitrol van ERTMS. Dit betekent dat gedurende de uitrol sprake zal zijn van een transitiefase, waarbij deels met ERTMS en deels met ATB wordt gereden. Treinen die van het ene netwerkdeel naar het andere rijden moeten voor de start van de ombouw zijn aangepast, getest en gecertificeerd voor ERTMS met een STM-ATB. Dit geldt voor alle eindbeelden en migratiepaden. De migratiepaden verschillen in het tempo en de volgorde van ombouw naar ERTMS; de ombouw van het benodigde materieel gaat hieraan vooraf (zie tabel 2.6).

#### *Nationaal vervoer*

De capaciteit voor ombouw is niet onbeperkt en het is bovendien niet mogelijk om al te veel binnenlands (reizigers)materieel gelijktijdig aan de dienst te onttrekken ten behoeve van ombouw. Dit betekent dat een migratiepad met een op één gebied geconcentreerde aanleg van ERTMS en een langzame(re) start minder risico's ten aanzien van de beschikbaarheid van materieel zal opleveren dan migratiepaden met een snelle en/of gefragmenteerde ombouwstrategie. NS heeft aangegeven dat bij een tijdige besluitvorming de aanpassing van het materieel in 2022 (grotendeels) voltooid kan zijn.

Het migratiepad "**Landsdelen eerst**" gaat uit van oplevering van de eerste (EU-verplichte) baanvakken vanaf 2020. De ombouw start voor eindbeeld 1 met een ombouw van OV-SAAL (2023) inclusief de lijn naar Hilversum, in eindbeeld 2 en 3 met baanvakken in Limburg en Brabant.

Het migratiepad “**PHS eerst**” gaat uit van een snelle ombouw van het netwerk in de (noordelijke) Randstad, die tussen 2020 en 2023 voltooid is. Dat geldt ook voor OV-SAAL. Gelet op het relatief drukke vervoer is de aanpassing van veel materieel nodig; het risico bestaat dat dit niet tijdig beschikbaar is.

Het migratiepad “**Vervanging eerst**” wordt de ombouwvolgorde in belangrijke mate bepaald door de noodzaak om bestaande beveiligingen en interlockings te vervangen. Voor alle drie de eindbeelden betekent dit voor 2021 de ombouw van een achttal lijnen in zuid- en midden Nederland. Hierdoor is het noodzakelijk veel materieel aan te passen, wat leidt tot grotere risico's ten aanzien van de tijdige beschikbaarheid van voldoende materieel met ERTMS.

### *Internationaal vervoer*

Uit de beschrijving van de eindbeelden is te concluderen dat het materieel van internationale reizigers- en goederenvervoerder grotendeels al beschikt over ERTMS. De migratiepaden hebben daarom geen consequenties voor de geschiktheid van het materieel dat voor internationaal vervoer wordt gebruikt. Een snellere migratie van de voor internationaal (goederen)vervoer van belang zijnde corridors maakt het mogelijk om eerder te starten met de uitfasering van ATB. Op dit aspect onderscheiden de migratiepaden zich nauwelijks, daar voldaan wordt aan de EU-verplichtingen.

### *Conclusie*

De migratiepaden onderscheiden zich in de volgorde waarin de ombouw plaats vindt. Omdat voorafgaand aan de ingebruikname van de eerste ERTMS-lijnen het materieel moet zijn aangepast en toegelaten kan de keuze voor de eerst om te bouwen lijnen tot knelpunten in de beschikbaarheid van voldoende interoperabel materieel leiden. Het migratiepad “Landsdelen eerst” geeft hierbij iets gunstiger resultaten dan beide andere paden; de verschillen zijn evenwel verwaarloosbaar klein.

Tabel 2.5: *Effecten migratiepaden interoperabiliteit*

Migratiepad:	Eindbeelden		
	1. EU+PHS	2. heel HRN	3. heel NL
A. PHS eerst	0	0	0
B. Vervanging eerst	0	0	0
C. Landsdelen eerst	0	0	0

## **2.6 Eindbeelden Mix L1/L2 en Level 2plus**

### **2.6.1 Eindbeeld mix level 1 en 2**

Dit eindbeeld gaat uit van de toepassing van Level 2 op het HRN en Level 1 op het regionale netwerk. Voor de aanpassing van het materieel maakt dat geen onderscheid, omdat materieel dat is voorzien van ERTMS beveiligingsapparatuur zowel onder Level 1 als Level 2 kan rijden. De variant Mix Level 1/2 levert voor wat betreft de interoperabiliteit van het materieel een effect dat vergelijkbaar is met eindbeeld 3. De operationele interoperabiliteit verbetert echter minder sterk omdat het personeel nog altijd onder twee (licht) verschillende regimes moet rijden.



## 2.6.2 Eindbeeld Level 2 plus

Materieel dat beschikt over ERTMS-apparatuur die alleen voor Level 2 geschikt is kan technisch gezien gebruik maken van spoorlijnen die met Level 2 plus zijn uitgerust. De meerwaarde van Level 2 plus (meer capaciteit door een “virtuele” blokindeling) kan echter alleen worden gerealiseerd wanneer materieel wordt ingezet dat is voorzien van een Train Integrity Monitor (TIM); de ontwikkeling daarvan is nog gaande. Zolang de infrabeheerder een TIM niet verplicht stelt (bijvoorbeeld omdat extra capaciteit nodig is) is in eindbeeld Level 2plus sprake van volledige interoperabiliteit.

## 2.7 Samenvatting en conclusies

De interoperabiliteit beschrijft de “*geschiktheid van een spoorwegsysteem voor een veilig en ononderbroken treinverkeer, waarbij de voor de betrokken lijnen gespecificeerde prestaties worden geleverd*”. Dit is geoperationaliseerd naar de mogelijkheden om met een trein die voorzien is van één beveiligingssysteem (ATB of ERTMS) gebruik te maken van meerdere deelnetten in Nederland (nationale interoperabiliteit) respectievelijk meerdere buitenlandse netten (internationale interoperabiliteit). In de onderstaande tabel is de noodzakelijke hoeveelheid materieel met ATB, ERTMS of beide per eindbeeld uitgewerkt. Hieruit kan worden geconcludeerd dat in de eindbeelden 3, Mix L1/L2 en Level2plus kan worden volstaan met materieel dat alleen ERTMS heeft; dit leidt tot een maximale nationale en internationale interoperabiliteit. In eindbeeld 2 is nog een beperkte hoeveelheid materieel met twee beveiligingssystemen nodig. Het nulscenario en eindbeeld 1 vereisen daarentegen juist veel materieel met beide systemen, waardoor sprake is van een beperkte interoperabiliteit.

### *Nationale interoperabiliteit*

Uitgangspunt is een **nulscenario**, waarin de EU-corridors voor internationaal vervoer zijn voorzien van ERTMS Level 1 overlay (waarbij de ATB blijft gehandhaafd). Enkele lijnen zijn voorzien van ERTMS Level 2 only, waaronder OV-SAAL. Dit heeft tot gevolg dat meerdere deelnetwerken ontstaan die andere eisen stellen aan het materieel, waardoor een deel van het binnenlands materieel moet worden uitgerust met ERTMS om de gebruiksmogelijkheden te behouden. Hierdoor is verminderd sprake van “ononderbroken” treinverkeer.

In **eindbeeld 1**, waarin de EU- en PHS-lijnen worden uitgerust met ERTMS Level 2 is het op die lijnen niet meer mogelijk om gebruik te maken van ATB. Dit vereist omvangrijke aanpassingen aan het materieel. Om de in 2030 bestaande dienstregeling te kunnen rijden moet al het NS-materieel worden aangepast alsmede een deel van het materieel van regionale vervoerders (50%). Tevens moet een groot deel van het personeel aanvullend worden opgeleid. Hierdoor is sprake van een verminderde binnenlandse interoperabiliteit.

In **eindbeeld 2** wordt het gehele hoofdrailnet voorzien van ERTMS, wat betekent dat al het materieel van zowel NS als regionale vervoerders moet worden aangepast en al het personeel aanvullend moet worden opgeleid. Hier staat tegenover dat alleen de regionale vervoerders nog gebruik moeten maken van ATB; op het hoofdrailnet is dat niet langer nodig. Hierdoor nemen de gebruiksmogelijkheden van het binnenlandse reizigersmaterieel en de inzetmogelijkheden van het rijdend personeel toe en is sprake van verbeterde interoperabiliteit.

In **eindbeeld 3** is het gehele Nederlandse spoorwegnet voorzien van ERTMS, waardoor de noodzaak om ATB te gebruiken vervalt. In die situatie is sprake van volledige interoperabiliteit op het gebied van beveiliging.

De effecten in het **binnenlandse goederenvervoer** wijken hier iets van af, omdat de meeste routes voor het binnenlandse goederenvervoer over EU-, PHS- en HRN-lijnen verlopen. Slechts enkele bestemmingen liggen aan het regionale netwerk, zoals Coevorden, Delfzijl en Veendam. Omdat de goederenvervoerders al beschikken over relatief veel materieel dat zowel van ATB als van ERTMS is voorzien leidt dit niet tot knelpunten. Op langere termijn bezien bieden eindbeeld 2 en vooral 3 voordelen omdat het materieel dan niet (eindbeeld 3) of nauwelijks (eindbeeld 2) ATB nodig heeft.

### *Internationale interoperabiliteit*

De internationale interoperabiliteit heeft betrekking op de mogelijkheden om met één beveiligingssysteem naar Duitsland of België te rijden. Dit leidt tot een makkelijker toegang tot andere netwerken, onder meer in de vorm van lagere kosten. Dit leidt tot een kostendaling, waardoor het (inter)nationale reizigers- en goederenvervoer per trein wordt gestimuleerd. Het Belgische spoorwegnet wordt tot 2022 geheel voorzien van ERTMS Level 1 en 2 (afhankelijk van het belang van elke spoorlijn), waardoor invoering van ERTMS in Nederland tot een verbetering van de interoperabiliteit leidt. In Duitsland worden alleen de TEN-T-corridors conform planning van ERTMS voorzien.

In het internationaal vervoer wordt al veel materieel gebruikt dat ERTMS aan boord heeft, zoals de Thalys en vele goederenlocs. Hierdoor leidt elke uitbreiding van ERTMS in Nederland tot vergroting van de inzetmogelijkheden. In eindbeeld 0 en 1 worden de EU-corridors voorzien van ERTMS (eindbeeld 0: Level 1 overlay, eindbeeld 1 Level 2 only), waardoor op de belangrijkste routes voor internationaal vervoer gebruik kan worden gemaakt van ERTMS. In eindbeeld 2 en 3 verbetert dit verder, waardoor het wisselen van locomotief wegens andere beveiligingssystemen nauwelijks meer nodig is. Jaarlijks leidt dit tot 3.885 uur tijdsbesparing voor goederentreinen. Op basis hiervan zijn de onderstaande scores voor interoperabiliteit tot stand gekomen.

### *Varianten*

De effecten van eindbeeld mix Level 1/2 zijn voor wat betreft de interoperabiliteit van het materieel gelijk aan de effecten van eindbeeld 3, de effecten van Level 2plus zijn gelijk aan eindbeeld 2. Hierbij moet worden aangetekend dat de verwachte effecten van Level 2plus, namelijk het realiseren van extra capaciteit tegen lagere kosten, alleen gerealiseerd kan worden als (bijna) al het materieel op deze lijnen voorzien is van een Train Integrity Monitor. Het eindbeeld mix Level 1/2 scoort iets lager vanwege de geringere operationele interoperabiliteit; dit wordt veroorzaakt door het gegeven dat het personeel onder twee (licht) verschillende regimes moet rijden.

Tabel 2.6: Samenvatting effecten ERTMS op interoperabiliteit<sup>1)</sup>

Onderdeel:	Eindbeelden				
	1	2	3	mix L1/2	L2+
<b>Binnenlands vervoer:</b>					
Reizigersvervoer HRN	0/-	0/+	++	++	0/+ <sup>2)</sup>
Reizigersvervoer regionaal	0/-	0/-	++	++	0/- <sup>2)</sup>
Goederenvervoer binnenlands	+	0/+	+	+	0/+ <sup>2)</sup>
Totaal	0/-	0/+	++	++	0/+ <sup>2)</sup>
<b>Internationaal vervoer</b>					
Reizigersvervoer	0	+	+/++	+	+ <sup>2)</sup>
Goederenvervoer	0/+	+	+/++	+	+ <sup>2)</sup>
Totaal	0/+	+	+/++	+	+ <sup>2)</sup>
<b>Tijdbesparing goederen (uur)</b>	<b>0</b>	<b>3.885</b>	<b>3.885</b>	<b>3.885</b>	<b>3.885 <sup>2)</sup></b>
<b>Totaal oordeel</b>	<b>0</b>	<b>0/+</b>	<b>++</b>	<b>+</b>	<b>0/+ <sup>2)</sup></b>

<sup>1)</sup> Als materieel meer dan één beveiligingssysteem nodig heeft om de treindiensten uit te voeren en personeel extra opleiding nodig heeft leidt dit tot een negatieve score, nemen de inzetmogelijkheden van materieel en personeel toe dan is de score positief.

<sup>2)</sup> Noodzakelijke voorwaarde voor realisatie effecten is ontwikkeling en toepassing TIM.

## 3. Betrouwbaarheid

### 3.1 Inleiding

In de Lange Termijn Spoor Agenda (LTSA) is als doel aangegeven dat *“de kwaliteit van het spoor als vervoerproduct moet worden verbeterd zodat de reiziger en verlader de trein in toenemende mate als een aantrekkelijke vervoersoptie zien en gebruiken”*<sup>5)</sup>.

Betrouwbaarheid is een belangrijk kwaliteitskenmerk van het reizen met het openbaar vervoer, naast kenmerken als reistijd, reiskosten en comfort. Reizigers en verladers ervaren een onbetrouwbare reis als vervelend. Men is langer onderweg dan vooraf gedacht. Onbetrouwbaarheid leidt dus tot maatschappelijke kosten.

#### Definities

Er zijn verschillende definities van betrouwbaarheid in omloop (KIM, 2010). De meest gangbare definitie van betrouwbaarheid van een reis per openbaar vervoer houdt in dat deze reis verloopt zoals weergegeven in de dienstregeling. De onbetrouwbaarheid wordt gedefinieerd als de variatie in de reistijden, die in het spoorvervoer wordt vertaald naar de punctualiteit van treinen. Een trein heet ‘op tijd’ te zijn, wanneer hij –afhankelijk van de gehanteerde definitie– met minder dan drie of vijf minuten vertraging aankomt. Daarbij gaat het dus om het bijhouden van het aandeel vertraagde treinen ten opzichte van het totaal aantal gereden treinen. Verschillen in de bezettingsgraad tellen niet mee, noch uitgevallen treinen. De indicator reizigerspunctualiteit geeft weer voor welk percentage van de reizigers de treinrit is geslaagd, dat wil zeggen de trein heeft daadwerkelijk gereden, had minder dan vijf minuten vertraging bij aankomst en de voor de overstappers geplande aansluiting is gehaald. Elementen zijn dus de treinuitval, treinpunctualiteit en overstappen. Aan de onbetrouwbaarheid op het spoor *an sich* zijn maatschappelijke kosten verbonden. Reizigers zijn langer onderweg en missen daardoor soms afspraken. Deze extra (onverwachte) reistijd is gedefinieerd als het aantal reizigersverliesuren, dat met behulp van kengetallen voor waardering van verliestijd te monetariseren is.

In dit hoofdstuk worden de effecten van de ERTMS-eindbeelden (eindbeelden en migratiepaden) inzake betrouwbaarheid beschreven aan de hand van de onderstaande indicatoren, te weten:

- ▶ **Verliesuren:** de som van de door alle treinreizigers opgelopen vertragingen.
- ▶ **Punctualiteit,** gedefinieerd als het percentage treinen dat niet meer dan vijf minuten vertraagd is. De punctualiteit wordt beïnvloed door de (storingsvrije) beschikbaarheid van infrastructuur en materieel, alsmede de dienstregelingsstabiliteit.
- ▶ **Treinuitval:** het percentage treinen dat wel in de dienstregeling is opgenomen, maar niet heeft gereden. Dit wordt beïnvloed door de beschikbaarheid van de infrastructuur en storingen aan het materieel.
- ▶ **Storingen materieel,** welke wordt bepaald door de kans op storingen en defecten aan het ingezette materieel. De focus ligt in dit kader op de verandering in de kans op storingen aan de treinbeveiligingsapparatuur.

---

<sup>5)</sup> Lange Termijn Spooragenda, pagina 23.

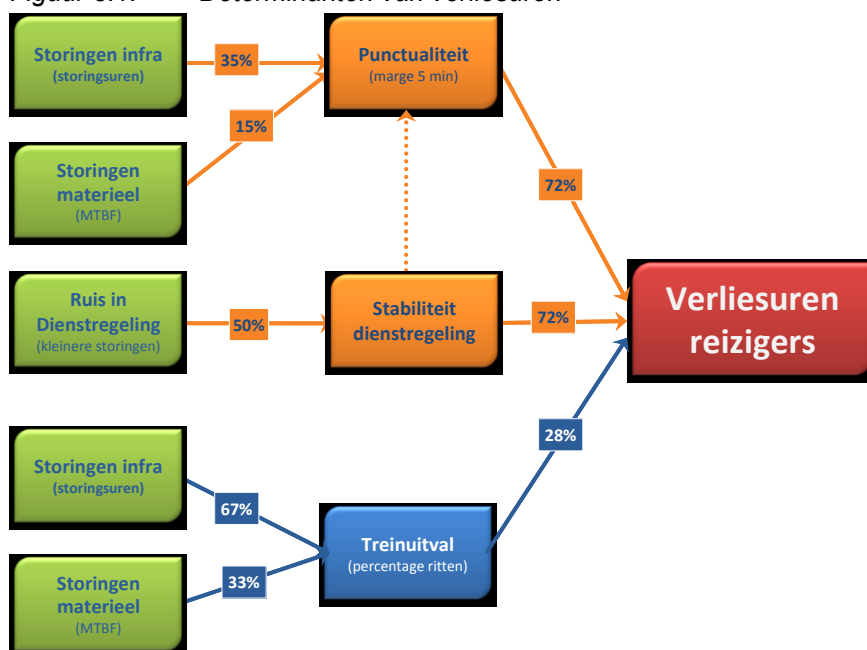
- ▶ **Storingen infrastructuur:** de kans op storingen aan de infrastructuur met eveneens een focus op storingen aan het beveiligingssysteem en hun gevolgen (ongeplande niet-beschikbaarheid).
- ▶ **Duur storingen treinsysteem,** welke wordt berekend door het aantal storingen (inclusief treindienst-aantastende onregelmatigheden, ofwel TAO's) te vermenigvuldigen met de functiehersteltijd.
- ▶ **Dienstregelings-ruis:** kleine verstoringen in de uitvoering van de dienstregeling, zoals de rijstijl van de machinist, wachten op klanten of snelheid uitvoering vertrekproces.
- ▶ **Stabiliteit dienstregeling:** de mate waarin (kleine) afwijkingen van de geplande dienstregeling binnen de beschikbare infrastructuur kunnen worden opgevangen.

## 3.2 Methodiek en tussenresultaten

### 3.2.1 Uitwerking methodiek

De betrouwbaarheid van het treinverkeer wordt uitgedrukt in het aantal reizigers-verliesuren per jaar, ofwel de gesommeerde vertraging van alle treinreizigers. De belangrijkste oorzaken van die vertragingen zijn de punctualiteit van de treindienst en het uitvallen van treinen. De punctualiteit en de treinuitval worden op hun beurt weer veroorzaakt door storingen aan de infrastructuur, storingen aan het materieel en ruis in de dienstregeling. In figuur 3.1 is dit samengevat.

Figuur 3.1: Determinanten van verliesuren



De verklarende variabelen storingen infrastructuur en storingen materieel hebben een directe relatie met ERTMS. Storingen aan de infrastructuur, zoals sein- en overwegstoringen, zullen in frequentie als herstelduur veranderen met de invoering van ERTMS. Met experts van ProRail en het ministerie van IenM zijn de invloeden die ERTMS heeft op het aantal storingen en de duur ervan per storingsoorzaak geschat (zie bijlage A1 en A2) tevens is een schatting gemaakt van de invloeden van elke indicator; deze zijn weergegeven in figuur 3.1. Met behulp hiervan is voor elk eindbeeld de verandering in het aantal storingsuren infrastructuur berekend.

De inbouw van nieuwe beveiligingssystemen beïnvloedt het aantal storingen aan het materieel, waar storingen aan het beveiligingssysteem een categorie in zijn. De effecten van het vervangen van een ATB-installatie door een ERTMS-installatie zijn met behulp van praktijkgegevens van leasebedrijven bepaald; daarbij is ook rekening gehouden met de invloed van een Specific Transmission Module (STM) die ATB-signalen “vertaalt” naar ERTMS.

De effecten die ERTMS heeft op de doorwerking van kleinere verstoringen van de dienstregeling zijn door ProRail bepaald met behulp van het simulatieprogramma Simone (Simulatie MOdel voor NEtwerken). Hierbij is de werking van ERTMS gesimuleerd door onder meer de opvolgtijden modelmatig te verkorten. Dit leidt tot verandering van de vertragingen zelf en van de gevolgen van die vertragingen.

De invloed die elk van de oorzaken heeft op punctualiteit en treinuitval is eveneens vastgesteld in samenspraak met experts van ProRail. De punctualiteit en de treinuitval hebben beïnvloedt op hun beurt het aantal storingsuren.

#### *Nieuwe storingsoorzaken*

De in dit hoofdstuk beschreven analyse heeft betrekking op de veranderingen die ERTMS in bestaande storingsoorzaken teweeg brengt. ERTMS bevat een aantal nieuwe technieken, die ook tot nieuwe soorten storingen kunnen leiden. Hierbij is onder meer te denken aan storingen in GSM-R, waardoor de communicatie tussen trein en Radio Block Center (RBC) kan uitvallen en treinen geen rijopdrachten krijgen. Omdat er nog nauwelijks ervaring bestaat met ERTMS op het conventionele netwerk (de HSL Zuid en de Betuweroute wijken op diverse punten af) ontbreken gegevens over de aantallen storingen en de duur daarvan. Om die reden zijn deze storingen in de rekenkundige analyse buiten beschouwing gelaten; in de risico-analyse wordt hier een kwalitatieve schatting van gemaakt.

### **3.2.2 Resultaten subindicatoren**

#### *Storingsuren infrastructuur*

De invoering van ERTMS verandert zowel het aantal storingen als de duur daarvan, ofwel de functiehersteltijd. Hierbij is onderscheid te maken naar ERTMS als overlay op de bestaande beveiliging en ERTMS als vervanging van bestaande beveiliging. In tabel 3.2 zijn de resultaten van deze analyse samengevat.

*Tabel 3.2: Aantal storingsuren infrastructuur per eindbeeld*

	Eindbeeld					
	nul	1	2	3	mix L1/2	L2+
Aantal storingen/jaar	45.225	43.323	41.552	40.098	42.984	41.552
Functiehersteltijd (min)	221,21	219,59	217,53	215,83	218,32	217,53
<b>Storingsuren/jaar</b>	<b>166.739</b>	<b>158.553</b>	<b>150.645</b>	<b>144.240</b>	<b>156.404</b>	<b>150.645</b>
Index (nulscen=100)	100,0	95,1	90,3	86,5	93,8	90,3

De toepassing van ERTMS leidt, wanneer dit als vervanging van de bestaande beveiliging wordt toegepast, tot een vermindering van zowel het aantal infrastoringen als de duur ervan. Dit wordt deels veroorzaakt door de vervanging van detectie door spoorstroomlopen door detectie met assentellers. Andere belangrijke oorzaken van de vermindering van het aantal storingsuren zijn overwegen en treinbeïnvloeding (zie bijlage A1).

De aantallen storingsuren nemen het sterkst af in de eindbeelden 3, omdat in dit eindbeeld wordt uitgegaan van een landelijke invoering van ERTMS. In eindbeeld mix L1/L2, dat grotendeels uit gaat van Level 1, is voor de storingsgevoeligheid hiervan uitgegaan van een lichte verbetering ten opzichte van ATB; dit betekent dat een kleinere afname van het aantal storingen verwacht. Het nulscenario gaat uit van de toepassing van Level 1 in overlay met de bestaande beveiliging, waardoor het aantal storingen op die trajecten juist toeneemt ten opzichte van de huidige infrastructuur. Oorzaak is het parallel werken van twee beveiligings- en beïnvloedingsystemen, waardoor een storing in het ene systeem automatisch tot een stilstand van het andere systeem leidt.

### *Stabiliteit dienstregeling*

De met het model Simone gemaakte analyses wijzen uit dat de dienstregeling onder ERTMS meer stabiliteit kent dan met de huidige beveiliging. Dit is vooral toe te schrijven aan de kortere opvolgtijden, waardoor de invloed van kleine(re) verschillen van de geplande vertrek- en aankomsttijden vermindert. Denk hierbij aan drukte bij het instappen of over korte afstand langzamer rijden wegens dieren langs de baan. De kortere opvolgtijden zorgen ervoor dat kleine afwijkingen van de dienstregeling minder sterk doorwerken op zowel de betrokken trein als de daaropvolgende treinen (olievlekwerking).

### *Storingen materieel*

De invoering van ERTMS vereist de vervanging van het bestaande ATB-systeem van (een deel van de) treinen door een ERTMS-systeem. Zolang ook nog onder ATB wordt gereden moet het ERTMS-systeem in de trein worden uitgebreid met een STM, die de ATB-signalen vertaalt naar ERTMS. Voor nieuw materieel bestaat vanaf 2016 de verplichting dit te voorzien van ERTMS en, indien noodzakelijk, een STM-ATB. In de eindbeelden heeft in het nulscenario (vrijwel) al het materieel een STM-ATB, in eindbeeld 3 kan voor al het materieel worden volstaan met ERTMS zonder STM.

De invloed op het aantal materieelstoringen is bepaald met behulp van storingsgegevens van leasemaatschappijen die over grotere aantallen locomotieven met ERTMS en ATB beschikken. Uit deze gegevens blijkt dat de vervanging van ATB door ERTMS leidt tot een grotere storingskans van het materieel; bij vervanging door ERTMS aangevuld met een STM voor de ATB is de storingskans nog iets groter. Per saldo leidt de invoering van ERTMS daardoor tot een toename van het aantal materieelstoringen met 1,1 tot anderhalf procent.

*Tabel 3.3: Effect ERTMS op aantal storingen materieel*

Categorie materieel	Storingen per jaar		Effect ERTMS t.o.v. ATB
	per trein	waarvan beveiliging <sup>1)</sup>	
ATB (huidig)	2,16	0,130	
ERTMS	2,185	0,154	+1,1%
ERTMS+STM-ATB	2,192	0,162	+1,5%

<sup>1)</sup> Bedoeld is het aantal storingen aan het ATB- of ERTMS-systeem van een locomotief of treinstel.

### 3.3 Resultaten per eindbeeld

#### Reizigersvervoer

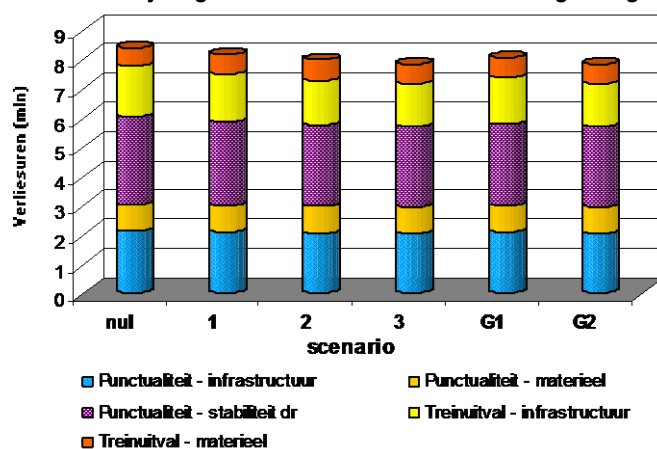
De door ERTMS gerealiseerde veranderingen van het aantal storingen aan materieel en infrastructuur, alsmede van de dienstregelingsstabiliteit beïnvloeden de punctualiteit van het treinverkeer en de hoeveelheid uitgevallen treinen. De dispunctualiteit en het uitvallen van ritten veroorzaakt voor reizigers vertragingen, die worden uitgedrukt in reizigersverliesuren. De resultaten van de analyse zijn samengevat in tabel 3.4 en figuur 3.5.

Tabel 3.4: Aantal verliesuren per jaar per eindbeeld en oorzaak (x 1 miljoen)

Oorzaken verliesuren	Eindbeeld					
	nul	1	2	3	mix L1/2	L2+
Punctualiteit met onderliggende oorzaak:						
▷ storingen infrastructuur	2,11	2,07	2,04	2,01	2,06	2,04
▷ storingen materieel	0,90	0,91	0,91	0,91	0,91	0,91
▷ dienstregelingsstabiliteit	3,01	2,85	2,80	2,76	2,77	2,80
<b>Totaal punctualiteit</b>	<b>6,03</b>	<b>5,83</b>	<b>5,73</b>	<b>5,68</b>	<b>5,75</b>	<b>5,73</b>
Materieeluitval met onderliggende oorzaak:						
▷ storingen infrastructuur	1,71	1,62	1,52	1,45	1,59	1,52
▷ storingen materieel	0,63	0,70	0,69	0,69	0,69	0,69
<b>Totaal materieelstoring</b>	<b>2,34</b>	<b>2,31</b>	<b>2,21</b>	<b>2,13</b>	<b>2,26</b>	<b>2,21</b>
<b>Verliesuren (mln)</b>	<b>8,37</b>	<b>8,14</b>	<b>7,94</b>	<b>7,81</b>	<b>8,02</b>	<b>7,94</b>
Index (nulscenario = 100)	100,0	97,2	94,8	93,2	95,9	94,8

De tabel en de grafiek laten zien dat het aantal reizigersverliesuren afhankelijk van het gekozen eindbeeld tot 6,7 procent kan afnemen. De grootste bijdrage aan deze vermindering wordt geleverd door de afname van het aantal storingen aan de infrastructuur, die zowel de punctualiteit verbetert als het uitvallen van treinen vermindert. De verbetering van de stabiliteit van de dienstregeling levert eveneens een significante bijdrage aan het verminderen van het aantal verliesuren. Het gegeven dat het aantal storingen aan het materieel met de invoering van ERTMS iets toeneemt (vergelijk tabel 3.3) betekent dat reizigers hiervan meer overlast zullen ondervinden. Deze overlast is gering in vergelijking met de verbeteringen die worden gerealiseerd door afname van het aantal infrastoringen en verbetering van de stabiliteit van de dienstregeling.

Figuur 3.5: Bijdragen oorzaken aan vermindering reizigersverliesuren





### Goederenvervoer

De effecten die de ombouw van het spoorwagernet voor het goederenvervoer hebben zijn bij gebrek aan gegevens geschat. In die schatting is rekening gehouden met het gegeven dat ongeveer de helft van het goederenvervoer over de Betuweroute en Havenlijn wordt afgewikkeld; de invoering van ERTMS op het klassieke spoorwagernet beïnvloedt daardoor de helft van het goederenvervoer. De uitkomsten van deze kwalitatieve schatting zijn opgenomen in tabel 3.6.

Tabel 3.6: Schatting effecten ERTMS op goederenvervoer

Oorzaken verliesuren	Scenario					
	nul	1	2	3	mix L1/2	L2+
Punctualiteit	7,2%	7,1%	6,9%	6,8%	6,9%	6,9%
Uitval	1,0%	1,0%	0,9%	0,9%	0,9%	0,9%

## 3.4 Migratiepaden

De vervanging van de bestaande beveiliging en treinbeïnvloeding door ERTMS veroorzaakt overlast voor reizigers, verladers en vervoerders, zowel tijdens de voorbereiding en ombouw zelf (werkzaamheden) als direct na de ombouw (kinderziekten). Daarnaast kunnen transitieën tussen ATB en ERTMS ook leiden tot storingen. Deze overlast beïnvloedt de betrouwbaarheid van het spoorvervoer.

De **werkzaamheden** die verricht moeten worden voor de ombouw van (delen van) het spoorwagernet zijn bij alle migratiepaden gelijk; slechts de volgorde van uitvoering van de werkzaamheden verschilt. De omvang van de overlast voor reizigers en vervoerders verschilt niet, zodat de migratiepaden op dit aspect niet onderscheidend zijn.

Ervaringen in andere landen wijzen uit dat de ombouw van een lijn naar ERTMS in de periode na oplevering van de nieuwe beveiliging tot een **tijdelijke toename van het aantal storingen** leidt (kinderziekten). De periode die nodig is om deze storingen op te lossen neemt af naarmate meer lijnen zijn omgebouwd, zo blijkt uit ervaringen in zowel Zwitserland<sup>6)</sup> en Nederland<sup>7)</sup>. Dit effect treedt met name op bij de als eerste omgebouwde lijnen; bij volgende ombouwprojecten wordt geprofiteerd van de opgedane ervaring waardoor kinderziekten goeddeels voorkomen worden. De migratiepaden onderscheiden zich wel op de keuze van de als eerste om te bouwen lijnen. De migratiepaden "PHS eerst" en "Vervanging eerst" voorzien in een vroeg stadium de ombouw van een aantal drukke spoorlijnen. De kans bestaat dat op deze lijnen in eerste instantie meer storingen optreden ten gevolge van kinderziekten, waardoor relatief veel reizigers overlast zullen ondervinden. In het migratiepad "Landsdelen eerst" worden in de eerste jaren minder drukke lijnen omgebouwd, waardoor de gevolgen van eventuele kinderziekten ook kleiner zijn.

<sup>6)</sup> Ervaringsgegevens van de Zwitserse spoorwegen met de toepassing van ERTMS op de nieuwe lijn Mattstetten – Rothrist (geopend december 2004, ERTMS volledig in bedrijf december 2007) en de lijn door de Lötschberg basistunnel (geopend en met ERTMS in bedrijf per december 2007).

<sup>7)</sup> Zie onder meer railmap 1.0, startbeslissing, pagina 16.

De geleidelijke ombouw van (delen van) het spoorwegnet heeft tot gevolg dat op wisselende plekken **transities** ontstaan tussen ATB en ERTMS. Dit vergt van machinisten extra alertheid om tijdig de juiste handelingen te verrichten, met name het bevestigen van de transitie. Vooral in de periode direct na ingebruikname van nieuwe ERTMS-trajecten is de kans op fouten groter, na enige tijd wordt de omschakeling meer routine en neemt het aantal fouten af. De foutkans wordt daarnaast beïnvloed door de locatie waar de transitie plaats vindt. Op een plek waar een machinist meer handelingen tegelijk moet verrichten (seinen, wissels, rijwegen etc.) is de kans op een fout bij de transitie groter dan op de vrije baan. Ook de kwaliteit van de GSM-R-ontvangst beïnvloedt de kans op een geslaagde transitie.

Exacte gegevens over de foutkans bij transities ontbreken, zodat de kans op storingen bij transities alleen kan worden afgeleid uit het aantal transities per migratiepad en eindbeeld. Dit leidt tot de in tabel 3.7 weergegeven aantallen transities, uitgedrukt in indexcijfers (gemiddelde is 100). Hieruit is af te leiden dat het migratiepad “Landsdelen eerst” tot meer transities leidt dan beide andere migratiepaden en dus een hogere kans op storingen en fouten bij de transitie van ATB naar ERTMS en omgekeerd kent. Dit is deels een gevolg van het feit dat in dit scenario OV SAAL enige jaren onvermijdelijk als ERTMS eiland blijft bestaan omdat het uitgangspunt dat OV SAAL voor eind 2023 met ERTMS only zal zijn uitgerust hogere prioriteit heeft dan de noodzaak aansluitende ERTMS gebieden met elkaar te blijven verbinden.

Tabel 3.7: Aantallen transities per migratiepad in indexcijfers ten opzichte van gemiddelde (100,0).

Eindbeeld	Migratiepaden		
	PHS eerst	Vervanging eerst	Landsdelen eerst
Eindbeeld 1	122,0	116,8	134,3
Eindbeeld 2	100,6	100,1	108,8
Eindbeeld 3	7,5	70,1	77,0
Gemiddelde	97,7	95,7	106,7

**Conclusie:** de migratiepaden leiden niet tot grote verschillen in de gevolgen van de ombouwwerkzaamheden. De overlast van mogelijke storingen ten gevolge van kinderziektes is in migratiepad “Landsdelen eerst” kleiner dan in beide andere eindbeelden. Hier staat tegenover dat de migratiepaden PHS eerst en Vervanging eerst tot minder migraties (die ook tot storingen kunnen leiden) leiden. Op grond hiervan lijken de migratiepaden “PHS eerst” en “Vervanging eerst” tot iets minder reizigersoverlast te leiden, het pad Landsdelen eerst juist tot iets meer overlast. De verschillen tussen de migratiepaden zijn echter klein.

### 3.5 Samenvatting resultaten en conclusies

De betrouwbaarheid van het spoorvervoer is gedefinieerd als de mate waarin een reis van reizigers of goederen afwijkt van de dienstregeling. De vertraging van reizigers en het te laat arriveren van goederen wordt uitgedrukt in verliesuren; deze worden in de MKBA vertaald naar maatschappelijke kosten.

Het aantal **reizigersverliesuren** wordt bepaald door de dispunctualiteit en de uitval van treinen. Beide verschijnselen hebben diepere oorzaken, te weten het aantal storingsuren van de infrastructuur, de dienstregelingsstabiliteit en materieelstoringen. De invoering van ERTMS beïnvloedt al deze oorzaken. Uit de analyse blijkt dat:

- ▶ ERTMS Level 2 only leidt tot een afname van het aantal verliesuren door minder infrastoringen en meer dienstregelingsstabiliteit. Level 1 only leidt ook tot een afname van het aantal verliesuren, doch deze afname is kleiner.
- ▶ In ERTMS Level 1 overlay (nulscenario) groeit het aantal verliesuren ten gevolge van infrastoringen ten opzichte van de huidige toestand.
- ▶ Invoering van ERTMS leidt tot een toename van het aantal materieelstoringen met één tot anderhalf procent, waardoor het aantal verliesuren toeneemt. Dit negatieve effect is aanzienlijk kleiner dan de positieve effecten van minder infrastoringen en meer dienstregelingsstabiliteit.

De effecten voor het **goederenvervoer** kunnen niet worden vertaald naar verliesuren, zodat hiervoor de effecten op vertragingen en treinvuurtijd zijn gebruikt. Uit deze gegevens blijkt dat uitbreiding van ERTMS over het klassieke spoorweg tot verbeteringen voor het goederenvervoer leidt (zie tabel 3.6).

De **migratiepaden** zijn beoordeeld op drie aspecten die de betrouwbaarheid van het spoorvervoer (kunnen) beïnvloeden. De overlast door de ombouw naar ERTMS is in alle migratiepaden vergelijkbaar. De paden onderscheiden zich op de aspecten “kans op kinderziekten” (gunstiger resultaat bij pad Landsdelen eerst) en “aantal transities” (pad Landsdelen eerst minst gunstig). Per saldo lijken de migratiepaden PHS eerst en Vervanging eerst tot iets gunstiger resultaten te leiden, al zijn de verschillen klein.

Tabel 3.8: Eindresultaten betrouwbaarheid in reizigersverliesuren

Eindbeeld	Migratiepaden <sup>1)</sup>			Effect eindbeeld (verliesuren * 1 mln)	
	PHS eerst	Landsdelen eerst	Vervanging eerst	absoluut	Index
0: EU	nvt	nvt	nvt	8,37	100,0
1: plus PHS	0	0/-	0/-	8,14	97,2
2: plus HRN	0/+	0/-	0	7,94	94,8
3: geheel NL	0/+	0	0/+	7,81	93,2
mix L1/L2	n.o. <sup>2)</sup>	n.o. <sup>2)</sup>	n.o. <sup>2)</sup>	8,02	95,9
Level 2+	n.o. <sup>2)</sup>	n.o. <sup>2)</sup>	n.o. <sup>2)</sup>	7,94	94,8

<sup>1)</sup> De migratiepaden zijn kwalitatief beoordeeld op hun invloed op de betrouwbaarheid van het spoorvervoer. De resultaten zijn weergegeven op een schaal van “+” (relatief beter resultaat) tot “-” (relatief ongunstiger resultaat).

<sup>2)</sup> Niet onderzocht.

## 4. Energiegebruik

### 4.1 Definities en doelstellingen

#### *Definitie*

Het energiegebruik wordt gewoonlijk uitgedrukt in kilowattuur (kWh). De spoorwegen zijn grootgebruiker, het landelijk energiegebruik op het 'conventionele net' bedroeg in 2013 voor alle spoorvervoerders samen ongeveer 1,9 miljard kWh, ofwel 1,9 terawattuur (TWh). Het merendeel van de gebruikte energie (ca 1,5 TWh) bestaat uit elektriciteit, het overige deel uit dieselolie (ca. 45 miljoen liter). De kosten van elektrische energie per kWh en energie uit dieselolie per kWh liggen sinds het afschaffen van de accijnsvoordelen voor spoorvervoer ('rode' diesel) op hetzelfde niveau, namelijk € 0,10. De totale energiekosten bedroegen in 2013 ongeveer € 190 miljoen. Om rekening te houden met het grotere aantal treinkilometers door onder andere PHS is het energiegebruik geschat op 2 TWh en kosten daarvan op twee miljard euro.

#### *Relatie met beleidsdoelstellingen*

In de Lange Termijn Spooragenda (LTSA) is ten aanzien van duurzaamheid als doel opgenomen het borgen van de leidende positie van de trein als duurzaam transportmiddel. De LTSA stelt dat het spoor voorop moet blijven lopen op het gebied van duurzame innovaties in vergelijking met andere modaliteiten. Dit kan onder meer worden bereikt door energiezuiniger te rijden en gebruik te maken van groene energie. Juist railvervoer biedt hier mogelijkheden toe, omdat het relatief weinig energie per verplaatst gewicht gebruikt.

De spoorsector heeft al een groot aantal initiatieven ontwikkeld om met behulp van bestaande technieken het energiegebruik te minimaliseren. Hieronder vallen onder meer:

- ▶ het programma 'UZI' (Universeel Zuinig rijden Idee), dat machinisten leert om snel op te trekken naar de baanvaksnelheid en de tractie op een zodanig moment uit te schakelen dat de treinen bij aankomst op een station of emplacement de voorgeschreven snelheid hebben bereikt. Ter illustratie: een trein die 140 km/h rijdt kan acht minuten voor aankomst de tractie al uitschakelen en doorrollen. Uiteraard is dit alleen mogelijk als de trein op tijd rijdt;
- ▶ het 'routelint' geeft machinisten informatie over de treinen die zich voor en achter de eigen trein rijden en over komende seinbeelden. Dit stelt de machinist in staat te anticiperen op andere treinen en tijdig zijn snelheid aan te passen, waardoor minder vaak geremd of geaccelereerd hoeft te worden;
- ▶ stimulering van het personeel om samen te werken bij het realiseren van een lager energiegebruik.

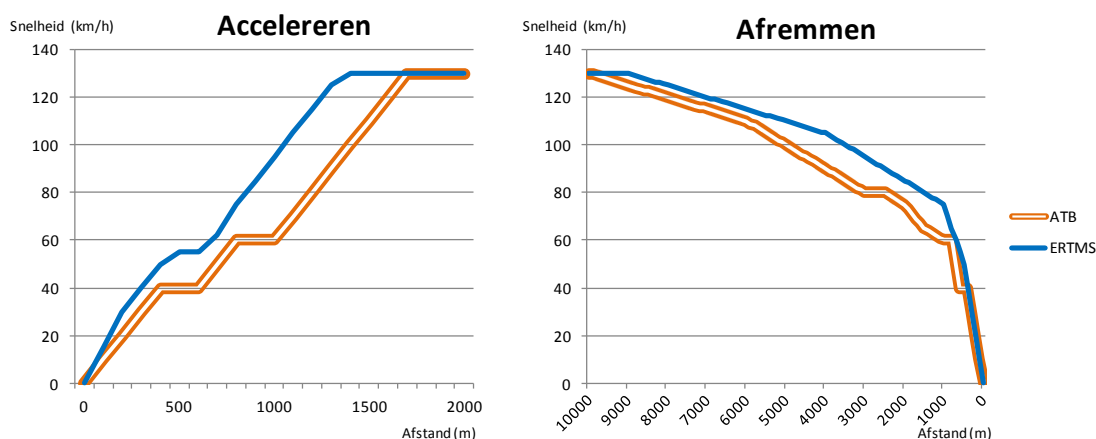
Een belangrijk deel van de verwachte besparingen van ongeveer vijftwintig procent is bij NS al gerealiseerd. De ambitie van NS is om de besparingen in 2020 volledig te hebben bereikt.

## 4.2 Aspecten en relaties

De invoering van ERTMS kan het energiegebruik van treinen op drie manieren beïnvloeden:

- ▶ **optimaliseren snelheidsprofiel:** ERTMS biedt de mogelijkheid om de toegestane snelheid van treinen in een fijnere schaal door te geven en te bewaken (ATB kent relatief grove snelheidstrappen van 40, 60, 80, 130 of 140 km/h, ERTMS kan per vijf kilometer werken). De te rijden snelheden kunnen hierdoor nauwkeuriger en langer tevoren worden doorgegeven, wat machinisten beter in staat stelt om te anticiperen op seinbeelden en andere treinen op hetzelfde baanvak;
- ▶ **snelheid op emplacementen:** het grotere aantal snelheidstrappen maakt het mogelijk om op emplacementen sneller te rijden (bijvoorbeeld 55 km/h in plaats van 40 km/h), waardoor na het bereiken van de vrije baan eerder de toegestane maximum snelheid wordt bereikt (zie figuur 4.1). Dit vraagt nauwelijks extra energie omdat het accelereren op een eerder moment plaats vindt en sneller optrekken nauwelijks meer energie kost. De hierdoor gewonnen rijtijd kan worden benut om treinen langer te laten uitrollen, waardoor per saldo energie wordt bespaard;
- ▶ **maximum snelheid:** ERTMS maakt het mogelijk om op een aantal hiervoor technisch geschikte baanvakken met 160 km/h te rijden in plaats van het maximum van 140 km/h bij ATB. Dit leidt tot een toename van het energieverbruik.

Figuur 4.1: rijkarakteristiek ATB en ERTMS



### *Snelheidsprofiel optimaliseren*

ERTMS maakt het mogelijk treinen nauwkeuriger te sturen (in termen van toegestane rijnsnelheid) en te controleren. Waar ATB slechts maximum-snelheden van 40, 60, 80, 130 en 140 km/h kan toestaan en controleren, kan ERTMS dit op vijf kilometer nauwkeurig. Daarnaast kunnen ook snelheidsadviezen worden gegeven. Dit geeft machinisten meer mogelijkheden om te anticiperen op ander treinverkeer en komende seinbeelden, waardoor een soort 'groene' golf ontstaat. Het vermijden van onnodig afremmen en optrekken leidt niet alleen tot een besparing in het energiegebruik, maar ook tot een rustigere, voor reizigers aangenamere rijstijl.

De potentiële besparing die met deze maatregelen kan worden bereikt is in eerdere studies geschat op maximaal dertig procent<sup>8)</sup>. Uit het voorgaande blijkt dat een belangrijk deel van de energiebesparende maatregelen al onder het huidige beveiligingssysteem wordt toegepast, wat in 2020 tot een vermindering van het energiegebruik met vijftwintig procent leidt. Per saldo resteert dus een generieke energiebesparing van circa vijf procent, die kan worden toegeschreven aan ERTMS. Dit percentage komt goed overeen met de in Deense studies<sup>9)</sup> genoemde besparing van drie tot acht procent voor reizigerstreinen (daarnaast gaat de studie uit van een besparing van zes tot twaalf procent door aanpassing van de rijstijl van de machinist).

Op basis van het voorgaande gaan wij in de berekeningen uit van een gemiddelde besparing van vijf procent voor alle reizigerstreinen; vanwege het aanzienlijk grotere treingewicht gaan wij voor goederentreinen uit van een besparing van tien procent op het totale energiegebruik. Onder Level 1 only verwachten wij dat de helft van het effect realiseerbaar is. Op lijnen met Level 1 overlay rijdt verwachten wij geen effect vanwege het noodzakelijke samenspel van ATB en ERTMS.

### *Effect snelheid emplacementen*

Het grotere aantal snelheidstrappen in ERTMS maakt het mogelijk om de plaatselijk toegestane snelheden nauwkeuriger vast te stellen en middels de treinbeïnvloeding af te dwingen. Met name op emplacementen bij stations gelden maximale snelheden van veertig, zestig of tachtig kilometer per uur, die via de ATB gecontroleerd worden. Bij invoering van ERTMS is het ook mogelijk om snelheden van 55, 75 of 90 km/h toe te staan en deze te bewaken. Dit maakt het mogelijk om treinen sneller te laten optrekken (zie figuur 4.1) waardoor eerder op baanvaksnelheid zijn. De tijdwinst die dit oplevert kan vervolgens worden benut om langer uit te rollen en energie te besparen. Het sneller optrekken zelf kost nauwelijks meer energie, zo blijkt uit praktijkproeven van NS.

De mogelijkheid om maximum-snelheden nauwkeuriger vast te stellen en af te dwingen biedt ook voordelen bij het afremmen. Hierdoor kunnen hogere maximum snelheden worden vastgesteld, waardoor een trein niet of minder vaak hoeft te remmen voor tussentijdse snelheidsbeperkingen. Dit levert niet alleen rijtijdwinst op, maar bespaart ook energie. De omvang van de besparing ligt tussen de 0,5 en 1 procent, afhankelijk van de mogelijkheden die de infrastructuur biedt. Op basis hiervan wordt voor reizigerstreinen uitgegaan van een besparing van 0,7%; voor goederentreinen heeft dit geen effect omdat zij niet snel kunnen optrekken of afremmen.

### *Effect hogere maximum-snelheid*

ERTMS maakt het mogelijk om de **baanvaksnelheid** te verhogen tot boven de 140 km/h, mits de infrastructuur hiervoor geschikt is. In dit onderzoek wordt voor zeven trajecten uitgegaan van een hogere snelheid van 160 km/h<sup>10)</sup>. Op de meeste trajecten zal de hogere snelheid wegens de korte halte-afstanden alleen benut kunnen worden door IC-treinen; alleen op Almere – Lelystad en Lelystad – Zwolle zijn de stationsafstanden dermate groot dat een hogere snelheid ook bij stoptreinen meerwaarde heeft. Voor goederentreinen heeft de snelheidsverhoging geen effect omdat de gebruikte wagons in de regel niet sneller mogen rijden dan 100 of 120 km/h.

<sup>8)</sup> Zie onder meer "Eco-nomisch spoorverkeer met de integrale groene golf", Arco Sierts (Alstom Transport BV, Utrecht), Wouter Wiersema (Arcadis BV, Amersfoort) en Thijs Lindhout (NS ProjectConsult, Utrecht)

<sup>9)</sup> Ontleend aan "The Signalling Programme 2008, Project Proposals, Main report S-Bane en Main report Fjernbane, Baneverket (DK)", pagina 80 resp. 95.

<sup>10)</sup> Den Haag – Leiden, Leiden – Schiphol, Weesp – Almere, Almere – Lelystad, Lelystad – Zwolle, Amsterdam Bijlmer ArenA – Utrecht en Boxtel – Eindhoven.

Het rijden van een hogere snelheid kost meer energie, zowel ten behoeve van het langer accelereren als het handhaven van een hogere snelheid. Het extra energiegebruik wordt geschat op tien tot twintig procent, wat reden is om uit te gaan van het gemiddelde van beide waarden, dus vijftien procent.

### 4.3 Methodiek en resultaten

De in de voorgaande paragraaf beschreven invloeden van ERTMS op het energiegebruik per treinkilometer zijn gebruikt om per combinatie van deelnet en treinsoort een schatting te maken van het procentuele energiegebruik, bijvoorbeeld voor alle IC's op het hoofdrailnet (eindbeeld 2). Op basis van het aantal treinkilometers per treintype en deelnetwerk is de procentuele verandering in het energiegebruik op landelijk niveau uitgerekend. De gehanteerde besparingen per treinsoort zijn in tabel 4.2 samengevat.

Tabel 4.2: Samenvatting energiebesparing ERTMS per treinsoort t.o.v. ATB

Besparing/Level	Stoptrein	IC / Int	Goederen
<b>Level 2:</b>			
▸ optimaal snelheidsprofiel	- 5%	- 5%	- 10%
▸ snelheid emplacementen	- 0,7%	- 0,7%	0%
▸ 160 km/h (waar toegestaan)	+ 15%	+ 15%	0%
<b>Totaal Level 2 (excl. 160 rijden)</b>	<b>- 5,7%</b>	<b>- 5,7%</b>	<b>- 10%</b>
<b>Level 1:</b>			
▸ optimaal snelheidsprofiel	- 2,5%	- 2,5%	- 5%
▸ snelheid emplacementen	- 0,3%	- 0,3%	0%
▸ 160 km/h (waar toegestaan)	+ 15%	+ 15%	0%
<b>Totaal Level 1 (excl. 160 rijden)</b>	<b>- 2,8%</b>	<b>- 2,8%</b>	<b>- 5%</b>
<b>Level 1 overlay</b>			
▸ optimaal snelheidsprofiel	0%	0%	0%
▸ snelheid emplacementen	0%	0%	0%
<b>Totaal Level 1 overlay</b>	<b>0%</b>	<b>0%</b>	<b>0%</b>

De uitwerking van de som van deze effecten per netwerkdeel en treinsoort in het energiegebruik per eindbeeld is weergegeven in tabel 4.3. Om het deel van de effecten die al in het nulscenario worden bereikt inzichtelijk te maken, is ook het energiegebruik voor de huidige situatie zonder ERTMS weergegeven.

Tabel 4.3: Effect ERTMS op energiegebruik in indexcijfers (nulscenario = 100)

Eindbeeld	Index energiegebruik (nulscenario = 100)			
	Stoptrein	IC/Int	Goederen	Totaal
Eindbeeld 0	100,0	100,0	100,0	100,0
Eindbeeld 1	98,2	97,7	95,5	97,9
Eindbeeld 2	96,8	96,3	91,0	96,3
Eindbeeld 3	95,3	96,1	90,5	95,5
Mix L1/L2	96,8	97,2	92,7	96,8
Level 2plus	96,8	96,3	91,0	96,3

De gemiddelde energiebesparing van ongeveer viereneenhalf procent ten opzichte van het nulscenario is grotendeels toe te schrijven aan het effect van de nauwkeuriger snelheidsregeling die door ERTMS mogelijk wordt gemaakt. Dit resultaat is in lijn met de in de quick scan<sup>11)</sup> opgenomen besparing van vijf procent die gebaseerd is op schattingen van NS.

De financiële implicaties van de verlaging van het energiegebruik zijn samengevat in tabel 4.4. Daarbij is uitgegaan van een huidige kostprijs van 0,10 euro per kWh. De te realiseren besparing is geschat op maximaal negen miljoen euro per jaar. Deze besparing lijkt bescheiden, wat een gevolg is van het gegeven dat de spoorsector nu en in de nabije toekomst al veel energiebesparende maatregelen implementeert.

Tabel 4.4: Financiële effecten energiebesparing door ERTMS (prijspeil 2013)

	nul	Eindbeelden				
		1	2	3	mix L1/2	L2+
Energiegebruik (TWh)	2,00	1,96	1,93	1,91	1,94	1,93
Energiekosten (€ mln)	200	195,7	192,7	191,0	193,7	192,7
Besparing/jr (€ mln)		4,3	7,3	9,0	6,3	7,3

## 4.4 Eindbeelden

### Eindbeelden

In het **nulscenario** is uitgegaan van toepassing van ERTMS Level 1 als overlay op de bestaande beveiliging van de lijnen die tot het EU-lijnen behoren, met dien verstande dat de OV-SAAL-corridor voorzien wordt van Level 2 only. Op de EU-lijnen treden geen effecten op het energiegebruik op omdat het merendeel van de treinen onder het huidige beveiligings- en beïnvloedingsstelsel zal rijden. Wel ontstaan effecten door de hogere snelheid van 160 km/h die op de OV-SAAL-lijnen gereden kan worden. Hierdoor neemt het energiegebruik van stoptreinen en IC's ten opzichte van de huidige situatie iets toe; het energiegebruik van goederentreinen blijft gelijk.

In de **eindbeelden 1, 2 en 3** wordt uitgegaan van ERTMS Level 2, waardoor zowel de effecten van nauwkeuriger snelheidsregeling als van een hogere maximum snelheid op enkele baanvakken van toepassing zijn. De omvang van de besparing neemt toe naarmate een groter deel van het spoorwagennet van ERTMS wordt voorzien. De grootste besparingen worden gerealiseerd in het goederenvervoer, dat kan profiteren van de nauwkeuriger snelheidsregeling. Door het hoge treingewicht kost het optrekken met een goederentrein veel energie, waardoor een vermeden stop tot hogere besparingen leidt. De besparingen in het stoptreinsegment zijn iets hoger dan de besparingen in het Intercity-segment omdat Int/IC's waar mogelijk met 160 km/h rijden en stoptreinen dit alleen op de lijn Almere – Lelystad – Zwolle zullen doen.

Het **eindbeeld mix L1/L2** gaat uit van toepassing van Level 2 op de drukste lijnen en Level 1 op de overige lijnen. Dit leidt tot een besparing van 3,2 procent ten opzichte van het nulscenario, wat vergelijkbaar is met de verwachte besparing van 3,6 procent in eindbeeld 2. De effecten in **eindbeeld Level 2plus**, van toepassing op het HRN, zijn gelijk aan de effecten in eindbeeld 2.

<sup>11)</sup> Zie Quick Scan Maatschappelijke Kosten-Batenanalyse ERTMS, MuConsult in opdracht van ministerie van IenM, 2 oktober 2013, pagina 16.



### *Migratiepaden*

De migratiepaden beschrijven de volgorde en het tempo waarin ERTMS per eindbeeld wordt ingevoerd. Gelet op de relatief geringe besparingen zijn de effecten die met de verschillende migratiepaden worden bereikt alleen kwalitatief beoordeeld. Uit de uitwerking blijkt dat de effecten op het energiegebruik vooral ontstaan in het goederenvervoer en het stoptreinvervoer. Een snellere invoering van ERTMS Level 2 conform de eindbeelden 1, 2 en 3 op lijnen met veel IC- en goederenvervoer leidt dus sneller tot besparingen op energie.

Voor het goederenvervoer is vooral de invoering van Level 2 op de EU-corridors van belang, alsmede op de lijn (Rotterdam –) Eindhoven – Venlo. Deze lijnen worden in alle migratiepaden relatief snel voorzien van ERTMS, waardoor de effecten vergelijkbaar zijn. In het reizigersvervoer treden de grootste effecten op bij migratiepaden die prioriteit geven aan de drukst bereden lijnen. Op grond daarvan is te verwachten dat het migratiepad “PHS eerst” sneller tot energiebesparingen leidt dan beide andere migratiepaden.

## **4.5 Samenvatting en conclusie**

De spoorsector werkt al intensief aan maatregelen om energie te besparen, onder meer door energiezuinig rijden. Deze maatregelen, die een besparing van ongeveer 25% in het energiegebruik moeten opleveren, benaderen de effecten die met ERTMS gerealiseerd worden. De door ERTMS teweeg gebrachte effecten op het energiegebruik zijn daardoor bescheidener in omvang. Zij worden teweeg gebracht door:

- ▶ **optimaliseren snelheidsprofiel:** ERTMS kent meer snelheidstrappen dan ATB en biedt meer mogelijkheden om machinisten te informeren over komende seinbeelden en hen te adviseren over optimale snelheden. Ten opzichte van de huidige mogelijkheden (o.a. routelint) is een besparing van vijf procent voor reizigerstreinen en tien procent voor goederentreinen mogelijk;;
- ▶ **snelheid op emplacementen:** het grotere aantal snelheidstrappen maakt het mogelijk om op emplacementen sneller te rijden, zowel bij accelereren als bij uitrijden. Het sneller accelereren vergt nauwelijks meer energie, het langer uitrijden bespaart daarentegen veel. Per saldo bedraagt de besparing 0,7% voor reizigerstreinen;
- ▶ **maximum snelheid:** ERTMS maakt het mogelijk om op een aantal lijnen met 160 in plaats van 140 km/h te rijden. Dit kost per gereden kilometer 15% meer energie.

De grootste besparingen worden gerealiseerd in het goederenvervoer, namelijk ruim negen procent in eindbeeld 3. In het reizigersvervoer zijn de effecten kleiner, enerzijds door de geringere treingewichten en anderzijds doordat op een aantal lijnen sneller zal worden gereden. De besparingen bedragen maximaal 3,9% voor IC's en 4,7% voor stoptreinen. De totale besparing bedraagt 4,5%. In financiële termen lopen de besparingen op van € 4,3 miljoen in eindbeeld 1 tot negen miljoen euro in eindbeeld 3.

De invloed van de migratiepaden is alleen kwalitatief uitgewerkt. Het migratiepad “PHS eerst” leidt tot het (iets) eerder realiseren van de baten uit energiebesparing omdat in dit migratiepad eerst de drukke lijnen met veel IC-verkeer worden aangepast. De resultaten van de beschreven bewerkingen zijn opgenomen in tabel 4.5.

Tabel 4.5: Ontwikkeling energiekosten bij invoering ERTMS

Eindbeeld	Migratiepaden			Energiekosten/jaar (€ 1mln)	
	PHS eerst	Landsdelen eerst	Vervanging eerst	Totaal (pp2013)	Index (nulsc.=100)
<b>0: EU</b>				<b>200,0</b>	<b>100,0</b>
<b>1: plus PHS</b>	<b>0/+</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>195,7</b>	<b>97,9</b>
<b>2: plus HRN</b>	<b>0/+</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>192,7</b>	<b>96,3</b>
<b>3: geheel NL</b>	<b>0/+</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>191,0</b>	<b>95,5</b>
<b>Mix L1/L2</b>	n.o. <sup>1)</sup>	n.o. <sup>1)</sup>	n.o. <sup>1)</sup>	<b>193,7</b>	<b>96,8</b>
<b>Level 2plus</b>	n.o. <sup>1)</sup>	n.o. <sup>1)</sup>	n.o. <sup>1)</sup>	<b>191,0</b>	<b>95,5</b>

<sup>1)</sup> Niet onderzocht

## **5. Wachttijden overwegen**

### **5.1 Probleemanalyse**

De invoering van ERTMS biedt mogelijkheden om een techniek te ontwikkelen waarmee het moment van sluiten van overwegen nauwkeuriger kan worden afgestemd op de snelheid van een naderende trein. Daarmee worden twee doelen bereikt, namelijk het verkorten van (de variatie in) de wachttijd voor het wegverkeer en –daarmee samenhangend– het verhogen van de veiligheid.

Onder de huidige detectie en beveiliging kent elke overweg een vast contactpunt. Zodra een trein dit contactpunt in de richting van de overweg passeert wordt de overweg geactiveerd. De bellen gaan rinkelen, de waarschuwingslichten knipperen en de spoorbomen dalen, waarna de trein de overweg ongehinderd kan passeren. De locatie van het contactpunt is bepaald op basis van de maximaal toegestane snelheid van een trein en een minimale tijd van vijfendertig tot veertig seconden die nodig is om de overweg te sluiten. Op die manier kan onder alle omstandigheden worden gewaarborgd dat een overweg op tijd gesloten is. Consequentie van deze keuze is dat bij langzamer rijdende treinen de overweg langer gesloten blijft (dit is gedefinieerd als dichtligtijd), waardoor tijdverlies ontstaat voor het wegverkeer dat bij de overweg staat te wachten. Uit ervaringen van ProRail blijkt bovendien dat overwegen met variërende dichtligtijden een groter ongevalrisico kennen. Vermoedelijke oorzaak is dat weggebruikers meer risico nemen als de (verwachte) tijd tot het arriveren van de trein langer wordt. Bij overwegen met vrijwel constante en in lengte beperkte dichtligtijden is het aantal aanrijdingen bij gelijke verkeersintensiteiten in de regel lager.

Het afhankelijk van de (ontwikkeling van) de snelheid van een trein sluiten van een overweg wordt Constant Warning Time (CWT) genoemd. Dit nog te ontwikkelen systeem berekent op basis van door de trein verzonden informatie over locatie, snelheid en eventuele remcurve hoe lang de trein onderweg is van het activeringspunt van een overweg naar de overweg zelf.

De huidige ideeën voor de ontwikkeling van een CWT-systeem gaan uit van een uitbreiding van de functionaliteit van het beveiligingssysteem. Dit systeem kan als aanvulling op ERTMS functioneren zonder dat aanpassingen aan het materieel noodzakelijk zijn; de interoperabiliteit van ERTMS wordt hierdoor niet aangetast. Experts van ProRail en het ministerie van IenM verwachten dat een CWT-systeem mogelijk voor 2030 beschikbaar zal zijn.

### **5.2 Aspecten en relaties**

De verschillen in dichtligtijd van een overweg zijn een gevolg van verschillen in de rijnsnelheid van treinen. Deze snelheidsverschillen kennen drie oorzaken, te weten:

- ▶ **Verskil in maximum snelheid trein en baan:** zowel voor treinen als voor infrastructuur worden maximum-snelheden vastgesteld. Treinen mogen nooit sneller rijden dan de laagste van beide maximum-snelheden. Goederentreinen rijden in de regel niet sneller dan honderd kilometer per uur en zijn op de meeste lijnen daardoor langzamer dan reizigerstreinen. In Nederland bedraagt het verschil in de gereden snelheden tussen goederentreinen en IC's maximaal zestig kilometer per uur (op een beperkt aantal lijnen is die snelheid toegestaan); in het merendeel van de gevallen is dit dertig of veertig kilometer per uur. Dit leidt tot beperkte verschillen in sluitingstijden van overwegen die vrijwel alleen optreden op lijnen waar (veel) goederentreinen rijden;
- ▶ **Doorrijdende en stoppende treinen:** op lijnen met gemengd verkeer, bijvoorbeeld stoptreinen en Intercity's, ontstaan snelheidsverschillen doordat sommige treinen afremmen om bij een tussenstation te stoppen terwijl andere treinen doorrijden. Bij overwegen in de nabijheid van stations kan dit leiden tot grote verschillen in snelheid, en daardoor in dichtligtijd.
- ▶ **Verstoringen en vertragingen:** door verstoringen (seinstoring, spoorlopers etc.) of vertraging van een eerdere trein kunnen op het spoor "files" ontstaan, die tot gevolg hebben dat treinen langzamer rijden dan de baanvaksnelheid, waardoor de wachttijden voor overwegen langer worden.

De belangrijkste effecten zijn te realiseren op plekken met een structureel groot verschil in snelheden. Dit betreft de overwegen die op beperkte afstand van stations liggen. Bij de verder van stations gelegen overwegen zijn de snelheidsverschillen, en dus de excess wachttijden, kleiner; deze zijn bovendien afhankelijk van de intensiteit van het (langzamere) goederenverkeer. De derde oorzaak, langzamer rijdende treinen ten gevolge van verstoringen en vertragingen, komt incidenteel en op verschillende plekken voor, waardoor de baten eveneens gering zijn. Op grond daarvan is gekozen om alleen een uitwerking te maken van de bij "stationsoverwegen" bereikbare effecten.

### 5.3 Uitwerking wachttijden 'stationsoverwegen'

De basis voor de analyse wordt gevormd door meetgegevens van dichtligtijden en verkeersintensiteiten die door ProRail zijn verzameld tijdens de 'ETMET'-proef op de lijn Utrecht – Eindhoven in 2010. Dit zijn ook de enige structurele gegevens die bij ProRail beschikbaar zijn over wachttijden voor overwegen; een project waarbij op uitgebreidere schaal dichtligtijden gemeten worden is onlangs gestart.

Als stationsoverwegen worden aangemerkt de overwegen die op maximaal 750 meter afstand van een stoptrein-station liggen; bij grotere afstanden zijn de verschillen in snelheid met doorgaande treinen al sterk verminderd. Op het traject Utrecht – 's Hertogenbosch – Eindhoven betrof dit zeven overwegen<sup>12)</sup>. Van deze overwegen is het verschil tussen de gemiddelde dichtligtijd per trein en de norm-dichtligtijd van 40 seconden aangemerkt als excess wachttijd, die met CWT kan worden geëlimineerd. Dit leidt tot een gemiddelde excess wachttijd van 29 seconden per passerende trein.

---

<sup>12)</sup> Te weten: Tricht Lingedijk, Tricht Nieuwsteeg, Vught Helvoirtseweg, Vught Elisabethstraat, Vught Molenstraat en Boxtel Tongersestraat

De overlast voor het wegverkeer op de betrokken zeven overwegen is berekend op basis van de intensiteiten per uur per overweg en de excess wachttijd. Deling van de (potentiële) wachttijdwinst door het aantal volgens dienstregeling passerende treinen resulteert in een gemiddeld te besparen wachttijd per passerende trein van 209 seconden voor alle autoverkeer samen. Omdat dit kental is berekend voor spitsuren is nog een correctie van 30% toegepast om rekening te houden met de lagere intensiteit van het autoverkeer buiten de spitsen. Resultaat is een potentiële besparing op de wachttijden van 147 seconden per passerende trein.

Voor elk deelnet is vervolgens op basis van databestanden van ProRail bepaald welk aantal overwegen binnen een afstand van 750 meter van een station ligt; tevens is het gemiddeld aantal treinritten (in beide richtingen samen) per jaar berekend voor elk deelnet. Combinatie van deze gegevens leidt tot de potentieel te besparen wachttijden. Deze wachttijd-besparingen zijn alleen toegepast voor Level2. In het nulscenario wordt uitgegaan van Level 1 overlay op EU-corridors, waardoor hier geen effect kan optreden. Het effect voor de in het nulscenario wel met Level 2 uitgeruste lijnen nul verondersteld omdat deze lijnen<sup>13)</sup> nauwelijks overwegen kennen. De resultaten van deze analyse zijn in tabel 5.1 samengevat.

Tabel 5.1: Potentiële tijdwinst wegverkeer bij Constant Warning Time

	Nulscenario	Eindbeeld 1	Eindbeeld 2	Eindbeeld 3
Aantal 'stations'-overwegen <sup>1)</sup>	52	100	275	452
Sluitingen per jaar	4.119.764	7.904.675	15.920.289	21.099.910
Tijdwinst per sluiting (sec)	0	147	147	147
<b>Tijdwinst per jaar (uur)</b>	<b>0</b>	<b>321.761</b>	<b>648.037</b>	<b>858.875</b>

<sup>1)</sup> Overwegen gelegen binnen 750 meter van een station

## 5.4 Eindbeelden

### 5.4.1 Mix Level 1/Level 2

De activering van een overweg door een trein vindt nu plaats door middel van de baangebonden beveiliging (detectie), die uitgaande van de maximaal toegestane snelheid bepaalt wanneer de trein de overweg zal bereiken. Als een overweg is voorzien van CWT wordt op grond van via GSM-R naar het RBC verzonden treindata het moment van sluiten uitgesteld wanneer de trein langzamer rijdt. Bij L1 is CWT niet bruikbaar.

Dit eindbeeld gaat uit van een gedifferentieerde toepassing van Level 1 en Level 2, waarbij 72% van het voorzien wordt van Level 1 en 28% van Level 2. Het Nederlandse spoorwegnet telt 452 overwegen die binnen 750 meter van een station liggen. De effecten van CWT zijn alleen realiseerbaar onder Level 2 en worden daarom voor 28% van deze overwegen meegerekend.

<sup>13)</sup> Dit betreft de Betuweroute, Havenlijn, HSL-Zuid, Hanzelijn en Lelystad – Almere – Amsterdam Zuid – Schiphol en Amsterdam Centraal – Hilversum.

## 5.4.2 Level 2 plus

De toepassing van Level 2 plus heeft tot gevolg dat een trein zowel via de baan (spoorstroomlopen of assentellers) als via GSM-R en positiebepaling wordt gedetecteerd. In beide gevallen wordt de informatie die nodig is om het moment van sluiten van de overweg af te stemmen op (de verandering van) de snelheid van de trein verzonden, zodat een CWT-systeem de overweg op het juiste moment kan sluiten. Het potentiële effect van CWT is in dit eindbeeld daarom gelijk aan het effect dat onder Level 2 op het HRN (eindbeeld 2) wordt bereikt.

## 5.5 Samenvatting en conclusies

De contactpunten voor het sluiten van overwegen liggen nu op vaste plekken, die bepaald zijn op basis van de maximum snelheid die treinen ter plekke kunnen rijden. Als treinen langzamer rijden is de overweg dus langer gesloten dan noodzakelijk is, met als gevolg dat extra wachttijden optreden in het autoverkeer. Langere en variërende wachttijden lijken ook invloed te hebben op de veiligheid van overwegen: hoe korter en betrouwbaarder de sluitingstijd van de overweg is, des te minder snel weggebruikers op het idee komen dat de overweg gestoord is waarna ze besluiten om door te rijden. Door de ontwikkeling van een systeem waarmee exact kan worden voorspeld op welk moment een trein bij een overweg arriveert is het mogelijk overwegen steeds op het 'juiste' moment te sluiten, waardoor de hinder voor het wegverkeer wordt geminimaliseerd. Dit wordt een Constant Warning Time-systeem (CWT-systeem) genoemd. Het is alleen toepasbaar op lijnen met ERTMS Level 2 en hoger.

De effecten van CWT zijn nemen toe naarmate een groter deel van het netwerk is uitgerust met ERTMS Level 2. Het effect wordt versterkt door het gegeven dat op de drukste spoorlijnen het grootste deel van de overwegen al vervangen is door ongelijkvloerse kruisingen. De effecten zijn alleen realiseerbaar wanneer een CWT-systeem daadwerkelijk ontwikkeld is en operationeel kan worden ingezet; het gaat dus steeds om potentiële effecten.

Tabel 5.2: Potentiële effecten wachttijd autoverkeer bij Constant Warning Time

Eindbeeld	Migratiepad <sup>1)</sup>			Eindbeeld <sup>2)</sup>
	PHS eerst	Landsdelen eerst	Vervanging	
0: EU				0
1: plus PHS	0	0	0	321.761
2: plus HRN	0	0	0	648.037
3: geheel NL	0	0	0	858.875
Mix L1/L2	n.o. <sup>3)</sup>	n.o. <sup>3)</sup>	n.o. <sup>3)</sup>	321.761
Level 2+	n.o. <sup>3)</sup>	n.o. <sup>3)</sup>	n.o. <sup>3)</sup>	648.037

<sup>1)</sup> Verwacht wordt dat CWT rond 2030 beschikbaar komt, waardoor dit voor de migratiepaden niet tot verschillen leidt. Daarom is het effect voor de migratiepaden gelijk verondersteld

<sup>2)</sup> Wachttijd autoverkeer berekend als aantal voertuigen maal wachttijd op jaarbasis

<sup>3)</sup> Niet onderzocht

## 6. Toekomstvastheid

### 6.1 Probleemanalyse en doelstellingen

Een belangrijke vraag bij omvangrijke en/of ingrijpende investeringsbeslissingen is de toekomstvastheid van de investering. Dit geldt ook voor ERTMS, waarover in de Nota Reikwijdte en Detailniveau (NRD) op pagina 23 wordt gezegd: *“De keuze van het migratiescenario moet gericht zijn op het voorkomen van investeringen voor een (te) beperkte duur en flexibiliteit ten aanzien van systeemwijzigingen gedurende de levensduur. Er moet dus gezocht worden naar zoveel mogelijk no-regret oplossingen.”*

De toekomstvastheid van investeringen in ERTMS kent drie dimensies:

- ▶ **flexibiliteit ten aanzien van toekomstige ontwikkelingen**, ofwel de vraag of, en zo ja, in hoeverre de gemaakte keuzes toekomstige ontwikkelingen faciliteren of bemoeilijken. Hierbij is te denken aan de ontwikkelingen op korte (bijvoorbeeld. Level 3 en Level 2-plus) en lange termijn (bijvoorbeeld driverless operation en hogere maximum snelheden);
- ▶ **flexibiliteit ten aanzien van toekomstige behoeften**, ofwel de vraag in hoeverre toekomstige maatschappelijke en economische behoeften wensen kunnen worden ingevuld, zoals een ander dienstregelingmodel, hogere snelheden, hogere veiligheidseisen;
- ▶ **voorkomen van desinvesteringen**, ofwel de vraag of te verwachten is dat de gedane investeringen over de geplande tijd kunnen worden afgeschreven.

### 6.2 Uitwerking per aspect

#### 6.2.1 Toekomstige technische ontwikkelingen

De toekomstige ontwikkelingen hebben betrekking op de techniek van ERTMS zelf en de “spoor”-omgeving. De centrale vraag hierbij is in hoeverre deze ontwikkelingen leiden tot waardeverlies van de nu geplande investeringen in ERTMS Level 1 overlay of Level 2 only. Onder meer de onderstaande mogelijke ontwikkelingen kunnen vooraf worden voorzien:

- ▶ **ERTMS Level 3:** de belangrijkste uitbreiding van Level 3 ten opzichte van Level 2 is dat de integriteit van de trein in Level 3 bewaakt wordt. De hiervoor benodigde Train Integrity Monitor (TIM) stelt vast of de trein geen wagons verloren heeft. Hierdoor is het mogelijk om af te zien van baangebonden detectie, waardoor veel bekabeling vervalt en de aanleg van ERTMS goedkoper wordt.

De ontwikkeling van een TIM is nog niet afgerond, waardoor invoering van Level 3 thans nog niet planbaar is. Zodra Level 3 beschikbaar is ligt het in de rede dat voor de nog om te bouwen baanvakken een nieuwe afweging wordt gemaakt tussen de meerkosten in het materieel, de gevolgen voor interoperabiliteit (materieel zonder TIM kan niet op Level 3-lijnen rijden) en de besparingen op ombouwkosten. De al eerder naar Level 2 omgebouwde baanvakken hoeven niet te worden aangepast (behoudens het op een geschikt moment verwijderen van de kabels van de baandetectie), waardoor de keuzes overwegend toekomstvast zijn.

- ▶ **ERTMS Level 2-plus:** Level 2-plus functioneert zowel in combinatie met detectie via de spoorbaan (spoorstroomloop of assenteller conform Level 2), maar kent ook detectie door gegevensuitwisseling met de trein zelf (autolocatie en controle op integriteit van de trein zoals in Level 3). De gedachte hierbij is dat deze vorm van detectie de mogelijkheid biedt om variabele blokken toe te passen, waardoor de capaciteit kan toenemen. Het verdichten van de (fysieke) blokken kan dan achterwege blijven, waardoor geld wordt bespaard.  
De detectie via de spoorbaan wordt hierbij gezien als een oplossing die enerzijds treinen zonder TIM toe te laten onder Level 2 en anderzijds een back-up geeft bij verstoringen. Level 2-plus kan dus functioneren zonder TIM, doch heeft dit gevolgen voor de capaciteitswinst. Omdat blokverdichting bij Level 2-plus achterwege blijft gebruiken treinen zonder TIM de bestaande blokindeling, waardoor op grotere afstand tot een vooruitrijdende trein wordt gereden. Het effect op de capaciteitswinst is afhankelijk van het aantal treinen dat wel en niet over een TIM beschikt, alsmede van de intensiteit van het treinverkeer op het betreffende baanvak. Door de duale detectie is Level 2-plus interoperabel met L2 en geldt om die reden als toekomstvast.
- ▶ **IP-based GSM-R of 4-G:** een mogelijk knelpunt is de capaciteit van GSM-R om in de huidige configuratie op drukke knooppunten alle dataverkeer met de vereiste snelheid te verwerken. Op korte termijn is dit op te lossen door uitbreiding van de capaciteit middels het bijplaatsen van GSM-R-masten; op langere termijn kan een vorm IP-based GSM-R worden ontwikkeld. Dit is niet compatibel met de bestaande GSM-R in locomotieven omdat hiervoor nieuwe modems in de treinen nodig zijn. Deze keuze kan alleen in afstemming met andere landen worden gemaakt, omdat dit direct raakt aan de interoperabiliteit (materieel zonder nieuw modem zou dan niet in Nederland kunnen rijden).
- ▶ **Bovenleidingsspanning naar 3KV:** een mogelijk toekomstige ontwikkeling is de overweging om de bovenleidingsspanning in Nederland te verdubbelen van 1,5KV naar 3KV. ERTMS is niet afhankelijk van bovenleidingsspanning (in België wordt ERTMS tot 2022 bij deze spanning uitgerold), zodat de keuze voor ERTMS hier toekomstvast is. Invoering van 3kV zou ten opzichte van de huidige 1500V leiden tot verlaging van de verliezen en biedt mogelijkheden voor capaciteitsvergroting die complementair is aan de baten van ERTMS;
- ▶ **Herontwerp be- en bijsturing.** Parallel aan de voorbereidingen voor invoering van ERTMS zal het be- en bijsturingssysteem met bijbehorende processen worden geüpgrade, waarbij rekening gehouden wordt met de komst van ERTMS.

Naast voorzienbare ontwikkelingen kunnen ook niet voorziene ontwikkelingen optreden. Ten aanzien hiervan kan worden vastgesteld dat ERTMS onder voorwaarden toekomstvast zal zijn. Een groot aantal landen investeert de komende jaren grootschalig in de implementatie van ERTMS als interoperabel systeem voor het Europese spoorvervoer. Om de voordelen van interoperabiliteit (een belangrijke reden om ERTMS te ontwikkelen) te behouden zullen de verschillende landen en vervoerders eisen dat nieuwe ontwikkelingen binnen ERTMS interoperabel zijn. Het aanhouden van de bestaande Europese specificaties voor ERTMS Level 1 en 2<sup>14)</sup> is dus de belangrijkste garantie voor toekomstvastheid van de investeringen in ERTMS. Wanneer deze specificaties niet worden gevolgd bestaan wel risico's ten aanzien van de toekomstvastheid.

---

<sup>14)</sup> Zie EU-besluit 2012/88/EG d.d. 25.1.2012, betreffende de technische specificatie inzake interoperabiliteit van de subsystemen besturing en seingeving van het trans-Europese spoorwegsysteem.



## 6.2.2 Toekomstige maatschappelijke behoeften

De behoefte aan spoorvervoer kan in de komende decennia veranderen, bijvoorbeeld door veranderde vervoerpatronen, een toe- of afname van de vraag naar spoorvervoer of de wens van hogere reissnelheden. De toekomstvastheid van ERTMS wordt in dit verband bepaald door de mogelijkheden om op deze ontwikkelingen in te spelen.

- ▶ **Vervoerpatronen en vervoervraag.** De toepassing van ERTMS Level 1 als overlay op de bestaande beveiliging met ATB heeft tot gevolg dat de bestaande blokindeling en exploitatiemogelijkheden gehandhaafd blijven, tenzij additionele investeringen in aanpassing van het seinstelsel worden gedaan. Bij de vervanging van ATB door ERTMS 2 is het wel mogelijk om tegelijkertijd aanpassingen in het seinstelsel te doen die tot meer exploitatiemogelijkheden leiden, zoals blokverdichting en snelheidsverhoging. Dit geeft zowel ten opzichte van ATB als ten opzichte van Level 1 overlay (nulscenario) meer mogelijkheden om de dienstregeling aan te passen aan de dan geldende wensen. Eén en ander laat onverlet dat in sommige gevallen nieuwe dienstregelingmodellen of hogere frequenties alleen te realiseren zijn door investering in infrastructuur. De flexibiliteit ten aanzien van toekomstige ontwikkelingen van de vraag naar spoorvervoer wordt ook gefaciliteerd doordat ERTMS meer mogelijkheden biedt voor de be- en bijsturing van het treinverkeer waardoor de capaciteit van spoorlijnen kan worden vergroot.

Een tweede element in de toekomstige vervoervraag is de verwachte **toename van het grensoverschrijdende reizigers- en goederenvervoer**, die het gevolg is van het liberaliseren van de Europese spoormarkt en het vergroten van de interoperabiliteit. ERTMS biedt de mogelijkheid om meer treinverkeer op een baanvak af te wikkelen, waardoor er meer mogelijkheden zijn om groei van het internationaal treinverkeer te faciliteren. Op grond daarvan kan worden geconcludeerd dat ERTMS ten aanzien van veranderingen van de dienstregeling meer flexibiliteit biedt dan de huidige beveiliging, waardoor sprake is van een toekomstvaste keuze.

- ▶ **Snelheid.** De wens om op een aantal lijnen met hogere snelheden (tot 200 kilometer per uur) te rijden bestaat al langere tijd, maar is tot op heden buiten de HSL Zuid en Hanzelijn (beide onder ERTMS) niet ingevuld. De bestaande ATB is niet geschikt voor hogere snelheden. ERTMS Level 2 wordt nu al gebruikt bij snelheden tot 350 kilometer per uur, waardoor sprake is van toekomstvastheid ten aanzien van toekomstige wensen en behoeften. Ook Level 1 only is geschikt voor hogere snelheden; zolang de vaste seinen langs de baan gehandhaafd blijven is toepassing bij snelheden boven 200 kilometer per uur risicovol. Op grond hiervan kan worden vastgesteld dat Level 2 meer toekomstvast is.

Samengevat biedt Level 2 only meer mogelijkheden om de treindienst en rijsnelheden aan te passen aan toekomstige wensen dan het huidige beïnvloedings- en beveiligingssysteem. Level 2 is daarin meer toekomstvast dan Level 1.

## 6.2.3 Desinvesteringen

Met de investering in ERTMS worden bepaalde technische keuzes voor langere tijd vastgelegd. Dit houdt het risico in dat in de toekomst nieuwe technieken worden ontwikkeld die technisch en/of economisch weliswaar aantrekkelijker zijn, maar tot gevolg hebben dat een deel van de investeringen versneld moet worden afgeschreven om de nieuwe technieken te kunnen gebruiken. Indien bijvoorbeeld geïnvesteerd wordt in blokverdichting onder L2 en L2-plus of L3 gaan in de toekomst tot de mogelijkheden behoren, dan kunnen deze investeringen snel afgeschreven worden.

De omvangrijke investeringen die niet alleen in Europa, maar wereldwijd worden gedaan in ERTMS betekenen dat veel landen zich committeren aan het systeem en de bestaande definities. Dit betekent dat nieuwe ontwikkelingen alleen acceptabel zullen worden bevonden wanneer deze passen binnen de bestaande specificaties van ERTMS; andere ontwikkelingen zijn immers niet in het belang van vervoerders of lidstaten, omdat dit tot extra kosten leidt. Veranderingen aan de specificaties zijn dus alleen mogelijk wanneer (vrijwel) alle EU-landen en vervoerders hiermee instemmen. Dit gegeven biedt grote zekerheid ten aanzien van de toekomstvastheid van investeringen in ERTMS.

### 6.3 Samenvatting en conclusies

De toekomstvastheid van investeringen in ERTMS wordt bepaald op basis van de flexibiliteit ten aanzien van toekomstige technische ontwikkelingen en toekomstige maatschappelijke behoeften. In beide gevallen is op bijna alle onderzochte aspecten sprake van een ruim voldoende mate van toekomstvastheid, waarbij Level 2 iets meer zekerheden biedt dan Level 1. Belangrijkste verschil is dat Level 1 meer beperkingen kent ten aanzien van snelheidsverhoging en de inpasbaarheid van andere dienstregelingen. De kans dat gedane investeringen in ERTMS vervroegd moeten worden afgeschreven (kans op desinvesteringen) vloeit voort uit de flexibiliteit ten aanzien van toekomstige ontwikkelingen en is in het algemeen dus (ruim) voldoende. Zoals aangegeven zijn hierbij enkele opmerkingen c.q. nuanceringen te maken:

- ▶ **GSM-R:** de capaciteit van GSM-R is een aandachtspunt om het dataverkeer rondom drukke stations te verwerken. Op termijn kan een IP-based versie van GSM-R wordt ontwikkeld, die de inbouw van nieuwe modems in het materieel vereist. Dit kan de interoperabiliteit met buitenlandse spoorwegnetten verminderen. Vooreerst is voorzien in het vergroten van de capaciteit van GSM-R door het bijplaatsen van zendmasten.
- ▶ **Collectiviteit:** het gegeven dat veel landen en vervoerders investeren in en gebruik maken van ERTMS vormt een belangrijk gegeven in de beoordeling van de toekomstvastheid. Dit betekent dat de toekomstvastheid van ERTMS groot is zolang de hiervoor geldende specificaties (TSI's) worden gevolgd. Eigen, landspecifieke ontwikkelingen zijn alleen toekomstvast als deze niet conflicteren met de TSI's.

In tabel 6.1 zijn de beoordelingen grafisch samengevat. Omdat deze meer betrekking hebben op de onderzochte ERTMS-varianten dan op de eindbeelden zelf zijn de resultaten geclusterd weergegeven. Om dezelfde reden is afgezien van een beoordeling van de migratiepaden.

Tabel 6.1: *Beoordeling ERTMS op toekomstvastheid<sup>1)</sup>*

Aspect	nul	Eindbeeld				
		1	2	3	Mix L1/L2	L2+
Technische ontwikkelingen	0	+	+	+	+	+ <sup>2)</sup>
Maatschappelijke behoeften	0	0/+	+	++	++	+ <sup>2)</sup>
Desinvesteringen	0	+	+	+	+	+ <sup>2)</sup>
Totaal	0	0/+	+	+/++	+/++	+ <sup>2)</sup>

<sup>1)</sup> De waarderingen +, 0 en – geven het effect van elk item aan op de toekomstvastheid van ERTMS. Een plus betekent een goede score, dus een la(a)g(er) risico, nul een gemiddeld risico en min een groot risico.

<sup>2)</sup> De waarderingen + voor eindbeeld Level 2plus zijn gebaseerd op de verwachting dat de hiervoor benodigde TIM voor 2030 ontwikkeld en toegelaten en wordt ingebouwd in (bijna) al het materieel.

## 7. Buitendienststellingen

### 7.1 Inleiding

Een specifiek aspect van de effecten op de infracapaciteit vormen de aanleg en het onderhoud van infrastructuur, waaronder ERTMS. Aanleg en onderhoud vragen, zowel om praktische redenen als vanwege de veiligheid, om buitendienststellingen. Gedurende de zogeheten 'treinvrije perioden' kan doelmatig en veilig aan het spoor worden gewerkt. Het stilleggen van het treinverkeer heeft grote gevolgen voor de vervoerders en hun klanten; dit is reden om treinvrije periode zoveel mogelijk 's nachts en in weekenden te plannen. Op die manier wordt de overlast zoveel mogelijk beperkt.

De effecten die ERTMS heeft op het aantal buitendienststellingen zijn aan de hand van de onderstaande factoren te bepalen:

- ▶ **aanleg ERTMS:** de aanleg van ERTMS vergt veel werkzaamheden aan en langs het spoor, zoals het graven van nieuwe kabelkanalen en (soms) het wijzigen van de blokindeling. Een deel van deze werkzaamheden kan alleen met buitendienststellingen worden uitgevoerd.
- ▶ **regulier onderhoud:** wanneer ERTMS eenmaal is aangelegd moet het systeem worden onderhouden. Hiertoe zijn ook werkzaamheden aan en langs de spoorbaan nodig, waarvoor soms buitendienststellingen nodig zijn.
- ▶ **aanpassing infrastructuur:** wanneer de infrastructuur wordt aangepast, bijvoorbeeld het toevoegen van een wissel of het aansluiten van extra sporen, moeten de veranderingen meestal in de beveiliging worden opgenomen. Dit aspect maakt deel uit van de werkzaamheden waarin fysieke aanpassingen worden uitgevoerd.

De effecten die ERTMS heeft op de bovengenoemde oorzaken van buitendienststellingen worden kwalitatief uitgewerkt; cijfermatige inzichten in de specifieke effecten van ERTMS zijn namelijk niet beschikbaar.

### 7.2 Uitwerking per aspect

#### 7.2.1 Aanleg ERTMS

De aanleg van ERTMS vergt veel voorbereidingen, zoals het trekken van kabels, het aanbrengen van detectie en het plaatsen van seinen, RBC's en balises. Deze werkzaamheden worden gedurende langere tijd uitgevoerd, waarbij de bestaande beveiliging in dienst blijft. Pas als alles gereed is kan tijdens een buitendienststelling de werking van de nieuwe beveiliging worden getest; een geslaagde test is een voorwaarde voor de ingebruikname van nieuwe beveiliging.

De voorbereidende werkzaamheden kunnen deels worden uitgevoerd zonder het treinverkeer te hinderen. Andere werkzaamheden, zoals het plaatsen/verwijderen van seinpalen (voor zover nodig, onder Level 2 kunnen deze vervallen) en het aanbrengen van isolaties ten behoeve van de blokindeling, kunnen alleen bij buitendienststellingen worden uitgevoerd. Dit kan worden gecombineerd met de reguliere nachtelijke buitendienststellingen, die eens per week of twee weken worden ingepland. Hierdoor hoeft geen extra hinder voor reizigers, verladers en vervoerders te ontstaan. Bij Level 2plus is sprake van minder hinder, omdat de fysieke blokindeling niet wordt gewijzigd.

Het aansluiten van de nieuwe beveiliging vindt plaats na afronding van alle voorbereidende werkzaamheden. Onderdeel van de ingebruikname is een uitgebreide test waarin de correcte werking van alle elementen grondig wordt gecontroleerd. Voor de aansluit- en testwerkzaamheden is waarschijnlijk een buitendienststelling van 48 tot 72 uur nodig. De hinder voor reizigers en vervoerders is evenredig met het aantal om te bouwen lijnen, waardoor de hinder in eindbeeld 3 het grootst is.

### **7.2.2 Regulier onderhoud ERTMS**

ERTMS Level 2 kent, in vergelijking met de huidige beveiliging en beïnvloeding, minder onderdelen die verbonden zijn aan de spoorbaan en meer computers. Het geringere aantal onderdelen buiten, alsmede de geringere storingskans (zie hoofdstuk 3, betrouwbaarheid) vermindert de hoeveelheid langs de spoorbaan uit te voeren werkzaamheden. Vergeleken met de huidige beveiliging hoeft het treinverkeer dus minder vaak te worden stilgelegd in een geplande buitendienststelling. De huidige werkzaamheden aan de beveiliging worden uitgevoerd tijdens de regulier geplande nachtelijke buitendienststellingen, welke in de dienstregelingen verwerkt zijn. Gedurende zo'n nacht worden diverse werkzaamheden uitgevoerd, waaronder aan de beveiliging. Omdat de hoeveelheid werk aan en bij de spoorbaan bij ERTMS kleiner is volstaan de reguliere buitendienststellingen voor uitvoering van het reguliere onderhoud. De effecten van incidenteel onderhoud (meestal herstel wegens storingen of defecten) zijn in hoofdstuk 3 al uitgewerkt.

Wanneer ERTMS in combinatie met de bestaande beveiliging functioneert (overlay) verandert dit beeld. De onderhoudswerkzaamheden voor ERTMS komen namelijk bovenop de reguliere werkzaamheden aan het conventionele systeem, waardoor het tijdsbeslag toeneemt. In hoeverre het toegenomen tijdsbeslag voor onderhoud leidt tot meer buitendienststellingen is onzeker. Dezelfde vragen spelen ook een rol bij de verwachtingen voor het regulier onderhoud aan Level 2plus. De detectie is dubbel uitgevoerd (via baan en autolocatie via de trein) waardoor de onderhoudsbehoefte toeneemt; hier staat tegenover dat de detectie via de trein zelf juist geen fysieke apparatuur langs de baan kent waardoor de onderhoudsbehoefte afneemt. Per saldo blijft het aantal buitendienststellingen gelijk.

### **7.2.3 Aanpassing infrastructuur**

De spoorweginfrastructuur wordt voortdurend aangepast aan de behoeften van vervoerders, reizigers en verladers. Soms blijft dit beperkt tot het aanleggen of verwijderen van een wissel, soms is sprake van grotere projecten zoals de vernieuwing van spoorbruggen en de aanleg van vrije kruisingen. Het beveiligingssysteem moet worden aangepast aan elke verandering van de infrastructuur. Deze werkzaamheden worden vooraf voorbereid, maar kunnen pas na afronding van de fysieke spooraanpassingen worden uitgevoerd.

De noodzaak om aanpassingen aan de fysieke infrastructuur aan te sluiten op de beveiliging en voor ingebruikname grondig te testen verandert met de invoering van ERTMS niet. Het aansluiten van nieuwe elementen op de beveiliging kost bij Level 1 overlay even veel tijd als bij het huidige systeem. Het tijdsbeslag bij Level 2 only is naar verwachting vergelijkbaar of langer vanwege het de verdergaande ontwerpvalidatie en uitgebreidere testen. Tot op heden zijn daarvoor langere buitendienststellingen nodig geweest; met het toenemen van de ervaring lijkt een gelijke tijdsduur haalbaar. Omdat Level-2plus een duale detectie kent bestaat hier een groter risico op langere buitendienststellingen.

## 7.2.4 Migratiepaden

Uit het voorgaande is af te leiden dat de verschillen tussen de diverse eindbeelden in verwachte buitendienststellingen klein zijn. Het onderhoud kan in alle gevallen binnen de bestaande reguliere buitendienststellingen plaatsvinden, de aanleg van ERTMS vergt per lijn naar verwachting een gelijk aantal buitendienststellingen. Hieruit is te concluderen dat de migratiepaden geen verschillen op het aspect geplande buitendienststellingen kennen.

## 7.3 Samenvatting en conclusies

De aanleg en onderhoud van spoorweginfrastructuur vereist zowel om praktische redenen als vanwege de veiligheid soms buitendienststellingen. Dat geldt ook voor de aanleg en het onderhoud van ERTMS. De aanleg kan met beperkte hinder voor het treinverkeer worden uitgevoerd, onder meer door gebruik te maken van regulier geplande treinvrije perioden gedurende de nacht. De omschakeling van bestaande beveiliging naar ERTMS vergt wel een buitendienststelling; vermoedelijk volstaat hiervoor per traject een (lang) weekeinde. Door het grotere aantal aan te passen trajecten is de hinder in scenario 3 het grootst, doch het gaat hierbij om eenmalige hinder.

De toepassing van ERTMS Level 1 als overlay op de bestaande beveiliging leidt tot een toename van het aantal beveiligingscomponenten, zowel langs de spoorbaan als elders. Hierdoor is meer tijd nodig voor regulier onderhoud en het aansluiten van nieuwe infrastructuur). Verwacht wordt echter dat het reguliere onderhoud plaats kan vinden binnen de bestaande hoeveelheid buitendienststellingen. Bij de aansluiting van nieuwe infrastructuur moeten bij Level 2plus meer werkzaamheden worden verricht, omdat hierbij sprake is van een duale vorm van detectie. Level 1 only en Level 2 only kennen dit bezwaar niet. Per saldo kennen de eindbeelden geen significante verschillen. De resultaten zijn in tabel 7.1 schematisch weergegeven.

Tabel 7.1: Beoordeling ERTMS op buitendienststellingen<sup>1)</sup>

Aspect	Eindbeeld				
	1	2	3	mix L1/2	L2+
Aanleg ERTMS	0/-	0/--	-	0	0/+
Regulier onderhoud	0	0	0	0	0
Wijzigen infrastructuur	0	0	0	0	0/-
Totaal	0	0	0	0	0
	Migratiepaden				
	PHS eerst	Vervanging eerst		Landsdelen eerst	
Buitendienststellingen	0	0		0	

<sup>1)</sup> De waarderingen +, 0 en – geven ten opzichte van het nulscenario.

Hieruit is te concluderen dat de migratiepaden geen verschillen op het aspect geplande buitendienststellingen kennen.

## 8. Effecten op veiligheid<sup>15)</sup>

### 8.1 Inleiding en vraagstelling

Een belangrijk criterium in het afwegingskader ten aanzien van de invoering van ERTMS is de veiligheid. In dit hoofdstuk worden de effecten van invoering van ERTMS bepaald voor de onderscheiden scenario's, zowel voor wat betreft de eindbeelden als de migratiepaden. De analyse is uitgevoerd voor de volgende indicatoren:

- ▶ veiligheid treinreizigers en treinpersoneel;
- ▶ veiligheid baanwerkers;
- ▶ veiligheid overwegen;
- ▶ externe veiligheid;
- ▶ overige aspecten.

### 8.2 Werkwijze

Het onderzoek is uitgevoerd in een aantal stappen. De ongevalgegevens uit de ILT-database, waaronder de aantallen Stoptonend Sein-passages (STS) zijn voor de referentie jaren 2008-2012 toegedeeld aan deelnetwerken. Met deze gegevens is het aantal te verwachten STS'en in het nulscenario (2030) bepaald, waarbij rekening is gehouden met:

- ▶ de verdere uitrol van ATB-vv bij 800 seinen als aanvulling op de reeds bestaande ATB-vv bij 1.614 seinen (in totaal dus 2.414 seinen met ATB-vv);
- ▶ de aanwezigheid van ERTMS Level 1 als overlay op de bestaande ATB op de EU-corridors;
- ▶ de aanwezigheid van ERTMS Level 2 op de OV-SAAL-corridor.

De effecten van deze verandering ten opzichte van de huidige situatie zijn bepaald door specifiek rekening te houden met de effecten op het aantal STS-passages en de factoren die daarbij een rol spelen. Hierbij is gebruik gemaakt van de kennis en ervaring die is opgedaan op onder meer de Hanzelijn. Merk hierbij op dat de oordeelsvorming over de effecten van de eindbeelden steeds is gepresenteerd als verschillen-analyse ten opzichte van het nulscenario; hiermee wordt niet beoogd om de toekomstige ontwikkelingen in de spoorwegveiligheid in het algemeen te voorspellen. De veranderingen die al in het nulscenario zijn opgenomen, zoals ATB-vv, leiden zelf ook al tot een verbetering van de spoorwegveiligheid; de effecten van de eindbeelden ten opzichte van het nulscenario zijn daardoor beperkter.

Voorts moet worden opgemerkt dat deze studie slechts indicaties van effecten kan opleveren. Reden hiervoor is dat de spoorwegveiligheid in Nederland al een hoog niveau kent, waardoor de aantallen STS'en, ongevallen en slachtoffers relatief laag zijn. Dit heeft tot gevolg dat de statistische marges relatief groot zijn. Daarnaast bestaat nog weinig praktijkervaring met de toepassing van ERTMS, met name op complexere netwerken. Deze ervaringen moeten onder meer voortkomen de thans gehouden pilot Amsterdam – Utrecht.

---

<sup>15)</sup> Dit hoofdstuk is mede gebaseerd op Movares, 2014, Utrecht

Tijdens het onderzoek heeft nader overleg plaatsgevonden met ProRail over verschillen in uitkomsten uit de eerder uitgevoerde feitenonderbouwingsanalyse van ProRail. Gebleken is dat statistische variatie een belangrijke factor is voor deze verschillen, alsmede de keuze voor een actuelere vijfjaars-periode. Vastgesteld is dan ook dat er geen substantiële verschillen bestaan in de uitkomsten van beide studies.

### 8.3 Effect op spoorwegveiligheid

#### STS-passages

De database van ILT bevat over de periode 2008 – 2012 in totaal 951 geregistreerde STS'en; hiervan konden 895 voor de studie worden gebruikt<sup>16)</sup>. In het nulscenario zijn de effecten van de in de voorgaande paragraaf vermelde maatregelen meegenomen. Het aantal STS'en neemt ten opzichte van de huidige situatie af van gemiddeld 179 per jaar naar 158. Belangrijkste oorzaken hiervoor zijn:

- ▶ de verder uitrol van ATB-vv, die (uitgaande van een reductie van een STS per honderd ATB-vv-seinen) leidt tot een vermindering van acht STS'en per jaar;
- ▶ de toepassing van ERTMS op OV-SAAL, die leidt tot een reductie van dertien STS'en per jaar. Uitgangspunt hierbij is de verwachte reductie van 118 STS'en bij een landelijke uitrol van ERTMS en het gegeven dat op de trajecten van OV-SAAL twaalf procent van het landelijk aantal treinkilometers wordt gereden.

Op basis van dezelfde uitgangspunten zijn ook de aantallen STS'en voor de verschillende eindbeelden bepaald (zie tabel 8.1). Daarbij is, op basis van de in de ILT-database gehanteerde classificatie, onderscheid gemaakt naar de potentiële risico's die aan de verschillende STS'en verbonden zijn.

Tabel 8.1: Totaal aantal overblijvende STS'en per vijfjaarsperiode eindbeeld

Risicoklasse	Referentie	Eindbeelden			
	2008-2012	Nul	1	2	3
Ernstig risico	204	180	97	66	63
Risico	318	281	135	94	91
Geen risico	351	310	146	107	104
Risico onbekend	22	19	7	5	5
<b>Totaal per 5 jaar</b>	895	790	385	272	263
Totaal per jaar	179	158	77	54	53
Index (nulscenario=100)	113,3	100,0	48,7	34,2	33,5

Bron: Movares, 2014

De invoering van ERTMS leidt tot een halvering van het aantal STS'en in eindbeeld 1 en een reductie met twee derde in de eindbeelden 2 en 3. Het geringe verschil in aantallen STS'en tussen eindbeeld 2 en 3 is toe te schrijven aan het gegeven dat de regionale spoorlijnen, die in eindbeeld 3 eveneens van ERTMS worden voorzien, nu zijn uitgerust met ATB-NG, dat vrijwel even effectief is als ERTMS. Reductie van STS'en wordt alleen bereikt bij ten onrechte vertrek van een buiten dienst gesteld spoor, een opstelspoor of een rangeerterrein en in een vertrek door rood situatie.

<sup>16)</sup> voor de andere, niet meegenomen STS'en, geldt oorzaak onbekend, locatie niet herleidbaar tot scenario, etc.

## Letsel

Voor letselcijfers als uitgangspunt over de periode 2008-2012 zijn de ILT jaarrapportages en trendanalyses geraadpleegd. De effecten die ERTMS teweeg brengt in de aantallen STS'en zijn gebruikt om de effecten op letsel te bepalen.

Tabel 8.2: *Indicatie te verwachten resterende letsels per eindbeeld (aantal per jaar) <sup>1)</sup>*

Periode/eindbeeld	Letaal		Zwaar gewond		Lichtgewond	
	personeel	reiziger	personeel	reiziger	personeel	reiziger
Referentie 2008-2012	0,2	0,4	7,2	7,4	onbekend	132
Nulscenario	0,2	0,4	5,8	6,0	onbekend	116
Eindbeeld 1	0,1	0,2	3,4	3,6	onbekend	56
Eindbeeld 2	0,1	0,2	2,4	2,4	onbekend	39
Eindbeeld 3	0,1	0,2	2,3	2,3	onbekend	38

<sup>1)</sup> Afrondingsverschillen ten opzichte van bronrapport mogelijk

Bron: Movares, 2014

## 8.4 Effect op overwegveiligheid

De onveiligheid op overwegen wordt vooral veroorzaakt door weggebruikers die de rode lichten of overwegbomen negeren ('slalommen'). Dit gedrag wordt maatgevend beïnvloed door variatie in de tijd dat de overweg gesloten is ('dichtligtijd'). Bij een langere sluiting zonder dat een trein passeert (bijvoorbeeld omdat deze langzaam rijdt of net een station verlaat) ontstaat ongeduld of irritatie, wat aanleiding kan geven om door te rijden. Met ERTMS level 2 is het mogelijk de variatie in dichtligtijden te reduceren door het moment van sluiting van de overweg af te stemmen op de snelheid van de trein. Dit proces, dat 'Constant Warning Time' (CWT) wordt genoemd, vermindert de aanleiding om de overweg te negeren. De toepassing van CWT vergt niet alleen de introductie van ERTMS level 2, maar ook van nog te ontwikkelen technieken waarmee de aankomsttijd van een trein op een overweg betrouwbaar en voldoende nauwkeurig wordt voorspeld.

Het (potentiële) effect van CWT is geschat op basis van de incidentenregistratie van de ILT over de periode 2008 – 2012. Deze bevat 233 incidenten, waarvan er 255 aan een locatie konden worden gekoppeld. De vastgelegde oorzaak laat in de meeste gevallen geen directe conclusie toe over de vraag of het bewust (door ongeduld of irritatie) negeren van de overweg het ongeval heeft veroorzaakt. Op basis van een analyse van 69 ongevallen is de conclusie getrokken dat ten minste 4,3% van de ongevallen kan worden voorkomen bij toepassing van CWT. Door het ontbreken van informatie over de oorzaak van ongevallen is de bovengrens indicatief vastgesteld. De resultaten van de analyse staan in tabel 8.3.



Tabel 8.3: Geschat potentieel effect ERTMS Level 2 overwegen per netwerkdeel en eindbeeld per jaar <sup>1)</sup>

Zwaarte letsel	EU-verplicht	Netwerkdelen			Onbekend <sup>2)</sup>	Totaal
		1 EU + PHS	2 HRN	3 heel NL		
Aantal overwegen	37	83	224	344	98	442
<b>Letsel 2008 – 2012 (gemiddelde per jaar, cumulatieve verdeling over netwerksegmenten):</b>						
Letaal	4	5,6	10,2	13,6	0	13,6
Zwaar gewond	1	2,2	2,8	3,8	0	3,8
Licht gewond	1,2	2,4	7,6	13,4	0,2	13,6
<b>Effecten per eindbeeld:</b>						
Zwaarte letsel	Nul-scenario <sup>3)</sup>	1 EU + PHS	2 HRN	3 heel NL		
<b>Resterend letsel per jaar bij ERTMS + CWT (onder/bovengrens, cumulatief per eindbeeld):</b>						
Letaal	13,6	12,8-13,4	12-13,2	11,4-13		
Zwaar gewond	3,8	3,6-3,8	3,6-3,8	3,4-3,8		
Licht gewond	13,6	13,2-13,6	12,4-13,4	11,4-13,2		
<b>Voorkomen letsel per jaar bij ERTMS + CWT (cumulatief):</b>						
Letaal	0 <sup>1)</sup>	0,2-0,8	0,4-1,6	0,6-2,2		
Zwaar gewond	0 <sup>1)</sup>	0-0,2	0-0,2	0-0,4		
Licht gewond	0 <sup>1)</sup>	0-0,4	0,2-1,2	0,4-2,2		

<sup>1)</sup> Afrondingsverschillen ten opzichte van bronrapport mogelijk

<sup>2)</sup> Deze overwegen konden niet eenduidig aan een netwerksegment worden toegerekend.

<sup>3)</sup> CWT is in principe alleen realiseerbaar bij ETCS level 2. Omdat de baanvakken die in het nulscenario zijn uitgerust met ERTMS Level 2 (OV-SAAL) geen overwegen bevatten is het effect in het nulscenario 0.

Bron: Movares, 2014

Uit tabel 8.3 is af te leiden dat de grootste effecten worden bereikt op de netwerksegmenten HRN en regionaal. Dit is toe te schrijven aan het grotere aantal overwegen op deze netwerken. Bij grotere snelheden en hogere treinfrequenties op het HRN kan de variatie in dichtligtijden, en daarmee de kans op riskant gedrag bij overwegen, toenemen. Het potentiële effect van ERTMS als 'enabler' van CWT neemt daardoor eveneens toe.

## 8.5 Migratiestrategie

Ten aanzien van de migratiepaden worden de volgende effecten verwacht:

- ▶ **STS-passages.** De uitrolstrategie "Landsdelen eerst" begint vanuit de regio ERTMS uit te rollen. Aangezien gebleken is dat voor wat betreft de STS gevallen in de regio geen ERTMS voordelen te behalen zijn, lijkt deze uitrolstrategie slechter te scoren dan de andere strategieën. Omdat de STS-analyse leert dat eindbeeld 1 relatief de grootste veiligheidsbaten oplevert, wordt verwacht dat het migratiepad "PHS eerst" beter scoort dan het pad "Vervanging eerst".
- ▶ **Overwegveiligheid.** Voor wat betreft overwegen lijkt het beeld omgekeerd, de grootste baten worden op het hoofdrailnet en in de regio behaald waardoor de migratiepaden "Landsdelen eerst" en "Vervanging eerst" beter scoren dan "PHS eerst". De aantallen uit te sparen letsels zijn lager dan bij de STS-passages.

- ▶ **Transities.** De omschakeling van de treinapparatuur van ERTMS naar ATB of omgekeerd (transitie) kan tot onveiligheid leiden wanneer de transitie mislukt, omdat de machinist de transitie dan handmatig moet voltooien. Naast de hierdoor ontstane bedrijfshinder bestaat de kans op foute bedienhandelingen, die tot een onveilige situatie zouden kunnen leiden. De kans op menselijke fouten bij de handmatige transitie bedraagt een maal per 1.000 tot 10.000 handelingen; deze hebben overigens niet per definitie een potentieel onveilige situatie tot gevolg.
- ▶ **Kinderziekten.** De toepassing van nieuwe en complexe systemen als ERTMS leidt in de opstartfase vaak tot kinderziekten, die vooral worden veroorzaakt door het gegeven dat de gebruikers moeten wennen aan een nieuw systeem. Dit uit zich in een groter aantal fouten en storingen die, net als bij foutieve transities, mogelijk kunnen leiden tot onveilige situaties. De ervaring met onder meer de Hanzelijn, waarvan de indienststelling aanzienlijk soepeler verliep dan bij de HSL-Zuid, wijst uit dat geleerd is uit de opgedane ervaringen. Op grond daarvan is geen significant verschil te verwachten tussen de migratiepaden.

#### *Kwantitatieve uitwerking*

Zoals uit het voorgaande blijkt is het aantal malen dat een trein moet overschakelen van ERTMS naar ATB of omgekeerd van invloed op de veiligheid. Het aantal treintransitie-passages (TTP) voor de periode 2012 – 2040 kan dus als maat voor de veiligheidseffecten van de migratiepaden worden genomen. Deze zijn in tabel 8.4 samengevat.

*Tabel 8.4: Aantallen TTP's per migratiepad en eindbeeld in miljoen per jaar*

Migratiepad	Eindbeelden		
	Eindbeeld 1	Eindbeeld 2	Eindbeeld 3
PHS eerst	34,68	28,61	20,03
Vervanging eerst	33,20	28,45	19,93
Landsdelen eerst	38,17	30,92	21,88

#### *Implicatie voor migratiepaden*

De in tabel 8.5 weergegeven beoordeling van de veiligheidseffecten van de migratiepaden is gebaseerd op de voorgaande, in alle gevallen kwalitatieve uitwerking van de verwachte effecten op veiligheid. Hieruit is af te leiden dat het migratiepad “PHS eerst” naar verwachting iets sneller zal resulteren in veiligheidsbaten, bij het pad “Landsdelen eerst” duurt het realiseren van baten daarentegen iets langer dan gemiddeld.

*Tabel 8.5: Relatieve vergelijking veiligheidseffecten migratiepaden*

Aspect	PHS eerst	Vervanging eerst	Landsdelen eerst
STS-passages	+	0	-
Overwegveiligheid	-	+	+
Transities	+	0/+	-
Kinderziekten	0	0	0
Relatieve score	0/+	0	0/-

## 8.6 Aanvullende eindbeelden

### *Level 2 plus*

De toepassing van ERTMS Level 2plus leidt naar verwachting tot eenzelfde niveau van veiligheid als bij Level 2. Hierbij moet worden opgemerkt dat de kans op een STS-passage door het kort volgen iets kan toenemen, omdat dichter op de marges van de remcurve en snelheidsbewaking wordt gereden. Ook glad spoor kan ernstiger consequenties hebben. De veiligheid op overwegen op basis van CWT neemt in principe niet toe of af.

### *Level 1/2 mix*

De toepassing van een mix van Level 1 en Level 2 leidt naar verwachting tot een aantal STS'en dat vergelijkbaar is met eindbeeld 3 met alleen Level 2. De potentiële verbetering van de overwegveiligheid door toepassing van CWT vervalt voor de lijn(delen) die met ERTMS Level 1 worden uitgevoerd. In dit eindbeeld zijn dat vooral de lijnen met relatief veel overwegen, waardoor de overwegveiligheid minder sterk verbetert ten opzichte van het nulscenario.

## 8.7 Overige effecten

De onderstaande overige effecten zijn met ERTMS op het gebied van veiligheid bereikbaar.

- ▶ **Veiligheid baanwerkers.** ERTMS Level 2 biedt de mogelijkheid om bij spoorwerkzaamheden een spoor in de beveiliging buiten dienst te stellen en/of een snelheidsbeperking in het (naastgelegen) spoor af te dwingen. Dit kan de veiligheid van baanwerkers verbeteren en/of minder buitendienststellingen ten behoeve van werkzaamheden nodig maken. In de incidentenregistratie van ILT zijn over de periode 2008 – 2012 vijf incidenten aangetroffen met baanwerkers, die op grond van de vastgelegde gegevens niet mitigeerbaar lijken te zijn. In 2013 hebben zich twee incidenten voorgedaan die mogelijk wel mitigeerbaar zijn. Op grond hiervan kan worden geconcludeerd dat ERTMS een bijdrage kan leveren aan de veiligheid van baanwerkers, maar dat nog geen inzicht bestaat in de omvang van de effecten.
- ▶ **Externe veiligheid.** De invoering van ERTMS vermindert het aantal STS'en, waardoor de kans op een ongeval vermindert. Daarnaast kan de snelheid van een trein nauwkeuriger worden bewaakt en kunnen specifieke restricties worden afgedwongen (bijvoorbeeld een beperkte snelheid bij de passage van een station). Dit alles verkleint de kans dat een trein (met gevaarlijke stoffen) bij een ongeval betrokken raakt en kan de mogelijke gevolgen beperken, waardoor de externe veiligheid verbetert. Ten aanzien van de externe veiligheid kan op basis van risicostudies weliswaar aannemelijk gemaakt worden dat de invoering van ERTMS tot een risicoreductie zal leiden, maar kan door het ontbreken van de casuïstiek dit vermoeden niet worden vertaald in termen van kwantificeerbare baten. De omvang van dit effect is dan ook niet kwantitatief voor de onderzochte scenario's vastgesteld.

In het nulscenario zijn de EU-verplichte corridors (waaronder de belangrijkste routes voor gevaarlijke stoffen) al voorzien van ERTMS Level 1 overlay, waardoor al een verbetering van de externe veiligheid wordt gerealiseerd voor treinen die onder ERTMS rijden. In de projectscenario's is sprake van Level2 only, waardoor het positieve effect voor alle treinen wordt gerealiseerd. De omvang van het effect neemt toe naarmate meer door treinen met gevaarlijke stoffen gebruikte routes van ERTMS voorzien zijn.

- ▶ **Opstartgedrag.** Bij de start van een rit moet de machinist handmatig een aantal gegevens over de trein invoeren. Hierbij kunnen fouten worden gemaakt, bijvoorbeeld het invoeren van een verkeerd treingewicht, waardoor nieuwe veiligheidsrisico's kunnen optreden. Dit kan deels, maar niet volledig worden opgevangen met procedurele maatregelen.
- ▶ **Cybersecurity.** ERTMS maakt gebruik van computers en mobiele datanetwerken, waardoor de kans bestaat dat het systeem gehackt wordt om bijvoorbeeld een rijwegtoestemming te vervalsen of het systeem met een cyber-aanval plat te leggen. Diverse landen werken aan mogelijkheden om dit risico te beperken.
- ▶ **Potentiële spin-offs.** In ERTMS zijn de positie, huidige en toekomstige snelheid van elke trein voortdurend bekend. Dit maakt het mogelijk nieuwe aanvullende veiligheidssystemen te ontwikkelen, bijvoorbeeld een automatische waarschuwing op perrons voor binnenkomende of doorrijdende treinen, de alarmering van hulpdiensten of extra bewaking voor treinen met gevaarlijke stoffen.

## 8.8 Conclusies

Het verhogen van de veiligheid door botsingen tussen treinen, ontsporingen van treinen en aanrijdingen met wegverkeer en baanwerkers te voorkomen, is een belangrijke doelstelling bij de invoering van ERTMS. Bij de uitkomsten is het van belang te realiseren dat sprake is van aanzienlijke bandbreedtes rond de uitkomsten door statistische variatie in aantallen.

### Effecten eindbeelden

In de tabel zijn de effecten weergegeven van de eindbeelden op de veiligheid.

Tabel 8.6: Effecten van eindbeelden op veiligheidsindicatoren ten opzichte van het nulscenario

Thema	Grootheid	Verandering t.o.v. nulscenario		
		Eindbeeld 1	Eindbeeld 2	Eindbeeld 3
1.1 Veiligheid treinreizigers en personeel	STS-passages/jaar	-81	-104	-105
	Doden	-0,3	-0,3	-0,3
	Zwaar gewonden	-4,8	-7,0	-7,2
	Licht gewonden	-60,4	-77,4	-78,4
1.2 Veiligheid baanwerkers	Relatieve score	0	+	+
1.3 Veiligheid overwegen	Slachtoffers/jaar	0	+	+
	Doden/jaar	-0,2 à -0,8	-0,4 à -1,6	-0,6 à -2,2
	Zwaar gewonden	0 à -0,2	0 à -0,2	0 à -0,4
	Licht gewonden	0 à -0,4	-0,2 à -1,2	-0,4 à -2,2
1.5 Externe veiligheid	Relatieve score	0/+	+	+
1.6 Security	Relatieve score	0 / -	0 / -	0 / -
<b>Overall</b>	Relatieve score	+	++	++

De in tabel 8.6 weergegeven effecten laten zich als volgt verklaren:

- ▶ **STS/passages per jaar.** Uit de analyses blijkt dat de eindbeelden 2 en 3 beter scoren op de reductie van STS-passages dan eindbeeld 1 omdat een groter deel van het netwerk is voorzien van ERTMS Level 2. Terugdringing van STS'en met ERTMS Level 2 komt onder meer door de remcurvebewaking en omdat meer duidelijk is waar een trein zich bevindt en hoe snel deze rijdt. Deze daling van het aantal STS-passages kan ook leiden tot een daling in het aantal slachtoffers onder reizigers en personeel.
- ▶ **Veiligheid op overwegen.** Deze wordt niet direct beïnvloed door de invoering van ERTMS. Wel maakt het de invoering van een zogeheten "Constant Warning Time"-systeem mogelijk, waarmee de variatie in sluitingstijden kan worden verminderd. Dit is een belangrijke oorzaak voor het (bewust) negeren van overwegen door weggebruikers. Ook hier scoren de eindbeelden 2 en 3 beter dan eindbeeld 1. In het onderzoek zijn de kosten en baten van de maatregelen meegenomen.
- ▶ **Veiligheid baanwerkers.** De invoering van ERTMS Level 2 biedt de technologische basis voor de ontwikkeling van aanvullende veiligheids-systemen, waaronder een "hand-held terminal" waarmee een stuk spoor kan worden gereserveerd voor baanwerkers. De eindbeelden 2 en 3 bieden hiertoe door de verdere invoering van ERTMS meer mogelijkheden dan eindbeeld 1.
- ▶ **Externe veiligheid.** ERTMS vermindert de kans op ongevallen ook voor treinen met gevaarlijke stoffen, wat naar verwachting tot een risicoreductie leidt. De omvang van het effect op de externe veiligheid kan door het ontbreken van de casuïstiek niet worden vertaald in termen van kwantificeerbare baten. Het grootste deel van de treinen met gevaarlijke stoffen maakt gebruik van het EU-verplichte netwerk waardoor een verbetering van de externe veiligheid als gevolg van de invoering van ERTMS reeds in het 0-scenario wordt gerealiseerd. In de projectscenario's rijden meer treinen onder ERTMS en zijn meer trajecten hiervan voorzien, waardoor het positieve effect versterkt wordt.
- ▶ **Security.** ERTMS gebruikt computersystemen en communicatienetwerken, waardoor nieuwe risico's zoals hacken ontstaan. Diverse landen werken aan maatregelen om deze risico's te beperken.

Op basis van deze uitkomsten is vast te stellen dat verdere uitrol van ERTMS Level 2 veiligheidsvoordelen zal hebben en derhalve eindbeeld 2 en 3 vanuit het oogpunt van veiligheid het hoogste scoren.

### *Effecten migratiepaden*

De onderstaande tabel toont de verschillen in het overall effect van de drie migratiepaden op de veiligheidsindicatoren. Daarbij is geen onderscheid gemaakt tussen de verschillende veiligheidsindicatoren; er is uitsluitend een overall beeld vastgesteld.

Tabel 8.7: *Effecten van migratiepaden op veiligheid*

Aspect	Score ten opzichte van nulscenario		
	PHS eerst	Vervanging eerst	Landsdelen eerst
Veiligheid	0/+	0	0/-

Uit de tabel volgt dat het migratiepad PHS-eerst de voorkeur geniet als het om de veiligheid gaat en dat het migratiepad Landsdelen eerst minder goed scoort. Dit komt vooral omdat het aantal treintransities, waarbij treinen van ERTMS-delen van het netwerk naar ATB overgaan en vice versa, het hoogst is in het migratiepad Landsdelen eerst.

#### **Gebruikte bronnen en inzichten:**

- ▶ ProRail Feitenonderbouwingsanalyse - ERTMS Factsheet Veiligheid - STS passages V3 13-15-2013
- ▶ ProRail document BID00005-1-V012 BIJLAGE (Geocodes)
- ▶ Excel sheet "Baanvakken" opgesteld door MuConsult
- ▶ Excelsheet "2014 01 10 Transitie per eindbeeld voorlopige versie-wjc\_MC\_v2" opgesteld door MuConsult
- ▶ ProRail excelsheet uitrolvolgorde tijdberekening v voor 3 eindbeelden V10
- ▶ ILT STS database selectie 2008-2012
- ▶ ILT incidentenregistratie selectie aanrijdingen 2008-2012
- ▶ ILT Jaarrapporten en trendanalyses (selectie)
- ▶ Het risico register overwogen met bijbehorend risicomodel van ProRail
- ▶ SAVE rapport Maatregelenonderzoek in het kader van het Rijksonderzoeksprogramma
- ▶ Robuustheid Basisnet Spoor hoofdrapport (externe veiligheid)
- ▶ CPNI IRSE-ITC briefing Cyber security dd 13 november 2013 met o.a. een lijst met know Rail incidents.
- ▶ APTA RP-CCS-1-RT-001-10 Securing Control and Communications in Transit Environments
- ▶ UIC Research Project "Secret": to assess the risks and consequences of EM attacks on railway Infrastructure

## 9. Reistijdeffecten van ERTMS

### 9.1 Inleiding

Invoering van ERTMS heeft gevolgen voor de reistijden en betrouwbaarheid van het spoorstelsel en daarmee voor de reizigers en exploitanten van het spoor. In dit kader is door ProRail een Capaciteitsanalyse uitgevoerd met als doel het beantwoorden van de volgende vragen:

- ▶ Wat zijn de effecten van ERTMS Level 2 op de rij- en opvolgtijden ten opzichte van de referentiesituatie met NS'54/ATB?
- ▶ Wat zijn de effecten op de reistijden?
- ▶ Wat zijn de effecten van ERTMS Level 2 op de punctualiteit (gevoeligheid voor verstoringen) van de dienstregeling?

Voor gebruik van de verkregen inzichten in het Afwegingskader en de MKBA is een vertaalslag nodig van de verkregen uitkomsten naar treinen en reizigers in de verschillende eindbeelden. Dit hoofdstuk beschrijft de daarbij gehanteerde stappen.

### 9.2 Uitkomsten Capaciteitsanalyses en aanvullingen

Uit de Capaciteitsanalyse blijkt dat ERTMS Level 2 tot capaciteitswinst in termen van rij- en opvolgtijd leidt. Deze winst kan op verschillende manieren worden ingezet, bijvoorbeeld voor het verkorten van de reistijd en het verhogen van de punctualiteit. Hoeveel winst geboekt kan worden, varieert sterk per baanvak en per situatie. Door middel van simulaties zijn voor een representatieve deelverzameling van trajecten uitkomsten verkregen ten aanzien van de verschillende aspecten.

#### *Rijtijdwinst*

- ▶ **Verhoging baanvaksneldheid naar 160km/h.** Bij verhoging van de baanvaksnelheden naar 160 km/h kan aanvullende rijtijdwinst geboekt worden. Op verschillende trajecten wordt dit effect al in het 0-scenario geïncasseerd (OV SAAL, Hanzelijn). In de onderzochte scenario's wordt additionele rijtijdwinst bereikt op Amsterdam-Bijlmer – Utrecht Centraal en Den Haag NOI – Leiden Centraal.
- ▶ **Uitbuigingen.** Met langere haltertijden voor sprinters (van 0,4 naar 0,7 minuut) moeten de IC's worden uitgebogen om het extra rijtijdverschil op te vangen. Met ERTMS kan eventueel een deel van dit uitbuigen worden voorkomen.
- ▶ **Kortere knopen.** Met ERTMS kunnen treinen korter achter elkaar rijden. Hierdoor kunnen aansluitingen, en soms halteringen van doorgaande treinen met aansluitingen, korter worden gepland. Met 'knoop' wordt een overstapstation bedoeld; het verkorten van de wachttijd van aansluitingen leidt tot een kortere knoop. Dit leidt tot reistijdwinst voor reizigers die overstappen.
- ▶ **Rijtijdwinsten.** De gemiddelde rijtijdwinst voor IC's ligt tussen de 2% en 3% en die voor Sprinters tussen de 2,3% en 4,3%. Voor enkelsporige baanvakken leidt de capaciteitswinst van ERTMS niet tot reistijdwinst, vanwege het kruisen van treinen in beide richtingen op kruisingsstations. Voor het overige net is het gevonden effect van ERTMS in termen van de rijtijdwinst vertaald naar de reistijdwinst, waarbij ook de halte-, overstap- en wachttijd zijn betrokken van reizen waarbij meer dan één treinrit wordt gemaakt.
- ▶ **Opvolg- en overkruistijdwinsten.** De gemiddelde opvolgtijdwinst ligt tussen de 15% en 40%, de gemiddelde overkruistijdwinst tussen de 10% en de 20%.

In onderstaande tabel zijn de rijtijdwinsten vertaald naar reistijdwinsten.

Tabel 9.1: reistijdwinsten ERTMS Level 2

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

### Punctualiteitswinst

Door invoering van ERTMS Level 2 zullen de technisch minimale opvolg- en overkruistijden afnemen. Dat leidt er toe dat de mate waarin een verstoring wordt doorgegeven aan een andere trein, afneemt. De weergegeven resultaten laten zien dat door ERTMS een aanzienlijke winst in betrouwbaarheid verwacht mag worden als de opvolgtijdwinsten niet gebruikt worden om rijtijdwinsten te incasseren of de treinfrequentie te verhogen. Het verschil tussen het lage, gemiddelde en hoge scenario is daarbij veel kleiner dan het verschil tussen de referentie met NS'54 en het (lage) scenario met ERTMS.

Tabel 9.2: punctualiteitseffecten per treinsoort

Seinstelsel	Intercity		Sprinter		Index gehaalde reizigersaan-sluitingen
	minuten	index	minuten	index	
NS'54	1,1	100,0	0,6	100,0	100,0
ERTMS laag	0,7	102,5	0,6	100,9	101,7
ERTMS middel	0,6	103,5	0,5	101,1	102,4
ERTMS hoog	0,6	103,9	0,5	101,5	102,7

Voor hoogfrequente dienstregelingen wordt het positieve effect van ERTMS groter ingeschat dat op de gesimuleerde dienstregeling. Bij de doorrekening is dit kwalitatieve effect niet meegenomen

### Uitwisseling tussen rijtijd- en punctualiteitswinst

De capaciteitswinst door ERTMS kan worden ingezet voor het behalen van rijtijdwinst en voor het verbeteren van de punctualiteit. Van een deel van de winst kan gekozen worden voor welke van beide doelen ze wordt ingezet: er is gedeeltelijk uitwisseling mogelijk van de winst tussen beide doelen.

In de MKBA is er rekening mee gehouden dat de effecten op reistijd en betrouwbaarheid niet een op een bij elkaar mogen worden opgeteld. In dat geval zou sprake zijn van dubbeltellingen. In de MKBA is daarmee rekening gehouden door slechts een kwart van de mogelijke betrouwbaarheidsbaten als gevolg van stabielere dienstregelingen mee te nemen.

## 9.3 Doorwerking Capaciteitsanalyse naar eindbeelden

### Effecten reistijdwinst ERTMS Level 2

Op basis van deze gegevens zijn de parameters bepaald waarmee de effecten van verschillende eindbeelden worden doorgerekend. Dit is stapsgewijs gebeurd.

Tabel 9.3: parameters reistijdwinst ERTMS Level 2

Treinsoort	Reistijdwinst
Intercity	2,3%
AggloRegio (AR, stoptrein)	2,9%



In het onderzoek zijn de effecten steeds afzonderlijk bepaald voor reizigersvervoer op 541 baanvakken en voor elk van de onderscheiden treintypen (IC, AR, SH en SG) in beide richtingen.

### *Effecten verhoging maximale snelheid naar 160 km/h bij ERTMS Level 2*

Voor zeven baanvakken is het effect berekend van een verhoging van de baanvaknsnelheid naar 160 km/h:

- ▶ Weesp – Almere Centrum
- ▶ Almere Centrum – Lelystad
- ▶ Lelystad – Zwolle
- ▶ Boxtel – Eindhoven
- ▶ Den Haag Laan van NOI – Leiden
- ▶ Leiden – Schiphol
- ▶ Amsterdam Bijlmer – Utrecht Centraal

De uitkomsten zijn weergegeven in de onderstaande tabel

*Tabel 9.4: Incasseerbare rijtijdwinst snelheidsverhoging naar 160 km/h in minuten*

Baanvak	Treinsoort	
	Intercity	Sprinter
Weesp – Almere Centrum	0	0
Almere Centrum – Lelystad Centrum	0,6	0,6
Lelystad Centrum – Zwolle	2,0 – 2,4	1,7
Boxtel – Eindhoven	0	0
Den Haag Laan van NOI – Leiden Centraal	0 – 0,3	0
Leiden Centraal – Schiphol	0	0
Amsterdam Bijlmer – Utrecht Centraal	1,1 – 1,3	0,4

In de berekeningen is voor elk baanvak en elk treintype de afname van de rijtijd berekend door het rijden van 160 km/h. Uitgangspunt is dat het effect van 160 km/h op de reistijd gelijk is aan de rijtijdwinst.

Voor de baanvakken tussen Weesp, Almere Centrum, Lelystad en Zwolle heeft het rijden van 160 km/h in de eindbeelden geen additioneel effect ten opzichte van het nulscenario. De trajecten maken deel uit van OV SAAL en de Hanzelijn. Op de trajecten Boxtel – Eindhoven en Leiden Centraal – Schiphol leidt een hogere snelheid niet tot incasseerbare rijtijdwinst, in de tabel staat een nul bij zowel IC als AR.

De baan van het traject Amsterdam Bijlmer – Utrecht Centraal is in het nul-scenario voorzien van ERTMS, maar er is nog geen geschikt materieel om onder ERTMS te rijden. Uitgangspunt is dat het materiaal beschikbaar is als ook op het aansluitende traject Amsterdam Bijlmer – Amsterdam Centraal ERTMS in gebruik wordt genomen. In de berekening is het midden van de verdeling gebruikt, 1,2 minuten voor IC's en 0,4 minuten voor sprinters.

Het tweede traject waar in de eindbeelden additionele effecten gehaald worden ten opzichte van het nulscenario is voor de intercity's het traject Den Haag Laan van NOI – Leiden Centraal. In de berekeningen is het midden van de verdeling gebruikt als reistijdwinst, dus 0,15 minuut (= 9 seconden).

### *Effecten van uitbuigingen bij ERTMS L2*

In onderstaande tabel zijn de trajecten weergegeven waarop uitbuigingen verminderd kunnen worden. Daarbij is telkens aangegeven hoe groot de reistijdwinst in minuten kan zijn en welke treinen deze winst ondervinden. Ook is aangegeven hoe in de berekeningen met de reistijdwinst is omgegaan.

Tabel 9.5: overzicht effecten uitbuigingen bij ERTMS Level 2

Traject	max. reistijd-winst	haalbare reistijd-winst	treinen
Wormerveer – Amsterdam C	1	1	6/u IC Alkmaar – Utrecht – Eindhoven
Amsterdam C – Amsterdam	1	1	6/u IC Alkmaar – Utrecht – Eindhoven
Bijlmer Arena	1	1	1/u ICE
Utrecht – 's-Hertogenbosch	1	1	6/u IC Amsterdam C – Utrecht – Eindhoven
Hoorn – Amsterdam C	1	0	2/u spits en spitsrichting
Harderwijk – Utrecht C	1	1	2/u IC Amersfoort – Utrecht
Gouda – Den Haag C	1	1	4/u IC Utrecht – Den Haag C
Deventer – Hengelo	1	0	6/dag IC Berlijn
Utrecht – Ede Wageningen	1	1	6/u IC Schiphol – Utrecht – Arnhem
Delft Zuid – Rotterdam	1	0	2/u IC Amsterdam – Dordrecht
Lombardijen			
Breda – Tilburg	1	1	2/u IC Den Haag C – Eindhoven en
	1	1	2/u IC Roosendaal – Arnhem – Zwolle
Ravenstein – Nijmegen – Arnhem – Zutphen	1	1	4/u IC Nijmegen – Arnhem – Utrecht – Schiphol

### Effecten smallere knopen

Met kortere opvolgtijden kunnen treinen korter achter elkaar rijden, waardoor aansluitingen en halteringen korter kunnen worden gepland. De belangrijkste locaties in PHS met potentieel kortere aansluitingen zijn de stations Utrecht Centraal, Eindhoven en Zwolle. Ook op Breda, Roermond en Sittard kunnen reizigers rijtijdwinst behalen door de kortere knopen. Ten slotte behalen reizigers met de stoptrein in Weesp een reistijdvoordeel, omdat de stoptrein door ERTMS minder lang op passerende intercity's hoeft te wachten. De omvang van het effect is alleen voor Utrecht Centraal, Eindhoven en Zwolle gekwantificeerd, de andere effecten zijn van een kleinere orde van grootte.

Intercity's die volgen op stoptreinen hoeven bij het binnenlopen van de genoemde stations een kortere volgtijd aan te houden. Na het vertrek van de intercity's hoeven ook de stoptreinen een kortere volgtijd aan te houden. Beide effecten leiden tot een kortere wachttijd voor overstappers van stoptrein naar intercity en vice versa. Hierbij is uitgegaan van een halve minuut opvolgtijdwinst voor alle vertrek-vertrek- en aankomst-aankomst-opvolgingen. In de navolgende tabel is het aantal overstappers en het reistijdeffect van de kortere knopen weergegeven.

Tabel 9.6: effect smallere knopen op reistijden

nr	knoop	Overstap	reizigers per dag	reistijd-winst (min)	totaal uren
1	Zwolle	van naar IC Leeuwarden	10.228	0,5	85
2	Zwolle	van naar sprinter Groningen	3.257	1,0	54
3	Zwolle	van naar IC Amersfoort Rotterdam	16.952	0,5	141
4	Zwolle	van naar sprinter Amersfoort Utrecht	1.906	1,0	32
5	Utrecht	van Den Haag naar Amersfoort	2.855	0,5	24
6	Utrecht	Schiphol / A'dam Bijlmer naar Arnhem / Eindhoven	14.087	0,5	117
7	Eindhoven	naar Venlo	5.920	0,5	49
8	Breda	IC/HS uit Den Haag naar sprinter Tilburg v.v.			pm
9	Roermond	IC Den Helder naar sprinter Maastricht v.v.			pm
10	Sittard	IC Den Helder naar sprinter Heerlen v.v.			pm
11	Weesp	kortere inhalingen			pm
<b>Totaal</b>					<b>503</b>

### *Effecten van ERTMS Level 1*

In het G1-eindbeeld wordt Level 2 op een deel van het netwerk uitgerold en gecombineerd met Level 1 op de resterende delen van het netwerk. Om te komen tot inzichten in de effecten van dit eindbeeld zijn keuzen gemaakt ten aanzien van de effecten van Level 1. Daarbij zijn, op basis van expert-judgement van ProRail en het projectteam, de volgende parameters geformuleerd:

- ▶ 160 km/h vergelijkbaar met Level 2.
- ▶ Uitbuigingen vergelijkbaar met Level 2. De uitbuigingen leiden tot extra reistijd die optreden kort voor emplacementen. Juist daar voegen de L1-trajecten (zonder blokverdichting) samen met L2-trajecten, waarop wel blokverdichting wordt gerealiseerd. Intercity's die op L1-trajecten rijden, kunnen meeprofiteren van de blokverdichting op de L2-trajecten. Uitzondering zijn de emplacementen van Ede-Wageningen en Ravenstein, waar uitsluitend L1-trajecten aankomen. Op die stations leidt L1 niet tot vermindering van de vertraging door uitbuigingen.
- ▶ Rijtijdwinst vergelijkbaar met ERTMS-Level 2.
- ▶ Smalle knopen geen verbetering ten opzichte van huidige beveiliging.
- ▶ Punctualiteit: op meersporige baanvakken zijn geen additionele effecten in vergelijking met ATB, op enkelsporige baanvakken zijn de effecten in termen van betrouwbaarheidsbaten gelijk aan de baten van L2.
- ▶ Level 1 en Level 2 worden interoperabel geacht, zodat geen transitie optreden tussen beide systemen.

### *Effecten van Level 2-plus*

In deze studie wordt verondersteld dat de effecten van ERTMS Level 2-plus dezelfde zijn als bij Level 2, zodat hierbij geen afzonderlijke analyse naar de effecten wordt uitgevoerd. Wel verschillen de kosten en de risico's.

### *Effecten van versnelling van Level 2*

De effecten van eindbeeld G3 zijn in het eindbeeld niet anders dan die van eindbeeld 2. Door een snellere invoering van ERTMS worden de effecten eerder bereikt, wat er in de MKBA toe leidt dat de baten hoger zijn.

## **9.4 Methodiek**

Op basis van deze uitkomsten van het capaciteitsonderzoek is de vraag hoe gekomen kan worden tot inzichten in de reistijd- en betrouwbaarheidseffecten voor reizigers. Deze stap is nodig om de uitkomsten van de capaciteitsanalyse, die betrekking hebben op treinen en specifieke treinreizen, te vertalen naar effecten op reizigers, ten behoeve van de MKBA.

Daartoe zijn de volgende stappen gezet:

1. Uitgangspunt zijn de prognoses die zijn opgesteld ten behoeve van de LTSA. Beschikbaar zijn de uitkomsten op het niveau van baanvakken voor het RC- en het GE-scenario, onderscheiden naar 4 treintypen (IC, AR, SH, SG). Er zijn gegevens beschikbaar over baanvaklengte, aantal treinen per uur en het aantal reizigers op etmaalniveau (werkdagen). Om te komen tot jaartotalen zijn deze vermenigvuldigd met 17 uur per etmaal en 310 etmalen per jaar.
2. Deze LTSA-gegevens zijn vervolgens gecorrigeerd voor de 160 km/h door de rijtijd op de baanvakken te veranderen terug naar de situatie voor 160, evenals het aantal reizigers. De gebruikte reistijdelasticiteit is -0,7.
3. Vervolgens is het maximaal haalbare effect van de onderscheiden aspecten bepaald. Dat is gedaan voor de 160 km/h, de uitbuigingen, ERTMS, smallere knopen, punctualiteit bij kleinere verstoringen en nieuwe reizigers. Ieder van deze deeleffecten is toegewezen aan de specifieke, relevante baanvakken en treintypen.

4. Deze potentiële effecten zijn berekend per baanvak. Het Nederlandse spoorwegnet is onderverdeeld gedacht in 541 baanvakken, waarbij bovendien een onderscheid wordt gemaakt naar 4 treintypen en 2 rijrichtingen. Deze baanvakken zijn vervolgens geaggregeerd naar de 118 trajecten die in de eindbeelden, migratiepaden en kostenraming worden onderscheiden.
5. De trajecten van het nulscenario zijn geïdentificeerd. De trajecten van de HSL-zuid, Betuweroute, OV SAAL, Hanzelijn, Amsterdam Bijlmer – Utrecht Centraal en Zevenaar – grens zijn in het nulscenario al uitgerust met ERTMS Level 2. In de andere eindbeelden kunnen op deze trajecten geen additionele winsten worden behaald, met uitzondering van Amsterdam Bijlmer – Utrecht Centraal. Op dat traject is de baan uitgerust met ERTMS maar het materieel is niet geschikt voor ERTMS. Op dat traject worden additionele winsten behaald, na het in gebruik nemen van geschikt materieel. Dat gebeurt in hetzelfde jaar als waarop ERTMS op het traject Amsterdam Bijlmer – Amsterdam Centraal in gebruik wordt genomen.
6. Voor elk jaar tussen 2015 en 2040 is vervolgens bepaald of, en zo ja vanaf welk jaar, het effect ook wordt gerealiseerd. De opgestelde migratiepaden geven voor ieder eindbeeld weer welke trajecten in welk jaar migreren.
7. Ten slotte is voor elk jaar en elk aspect het effect gecorrigeerd voor de ingroei van de reizigersaantallen tussen het onderhavige jaar en het planjaar van de LTSA-prognose (index 2030 = 100).

De effecten op betrouwbaarheid zijn beschreven in het hoofdstuk over betrouwbaarheid. Bij betrouwbaarheid zijn de effecten van toename van de betrouwbaarheid op groei van het aantal reizigers bepaald door gebruik te maken van een elasticiteit van  $-0,7 \times 2,5$  (relatieve gewicht van wachttijd ten opzichte van reistijd).

## 9.5 Resultaten

Op basis van het voorgaande is inzicht verkregen in resultaten die zijn opgenomen in het afwegingskader en de MKBA. In het navolgende worden deze toegelicht.

### *Reistijdwinsten*

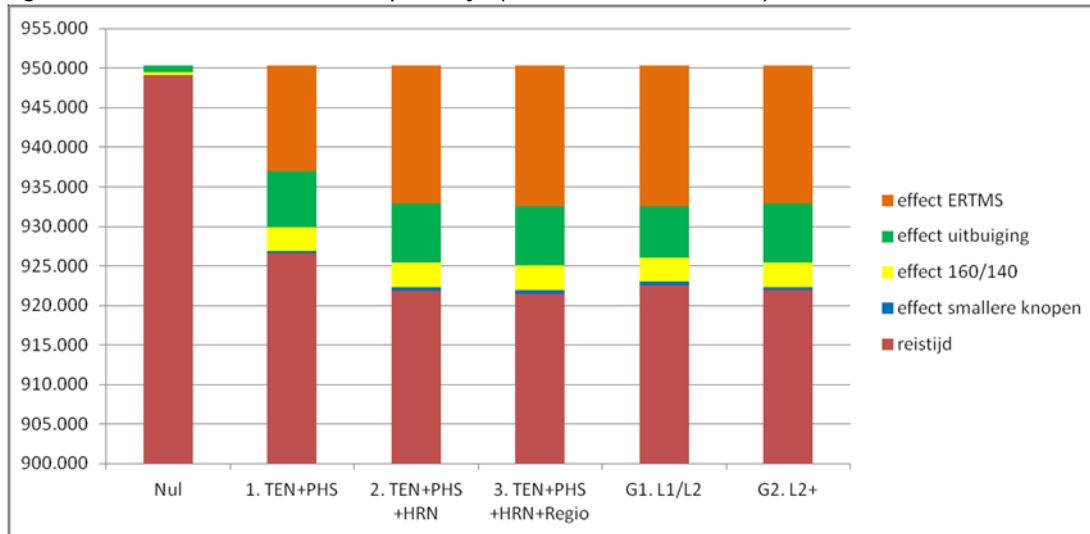
In de tabel is de bespaarde reistijd weergegeven per eindbeeld.

*Tabel 9.7: Bespaarde reistijd per jaar (miljoen uren, t.o.v. nulscenario)*

Onderdeel:	Eindbeeld				
	1	2	3	mix L1/2	L2+
Rij- / reistijdverkorting	4,2	5,4	5,5	5,6	5,4
Rijtijdwinst door verhoging Vmax	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
Rijtijdwinst door smallere knopen	0,1	0,2	0,2	0,1	0,2
Rijtijdwinst t.g.v. uitbuigingen	1,9	2,0	2,0	1,7	2,0
<b>Totaal</b>	<b>7,0</b>	<b>8,5</b>	<b>8,6</b>	<b>8,2</b>	<b>8,5</b>

Grafisch is het een en ander in figuur 9.8 weergegeven.

Figuur 9.8: Effecten ERTMS op reistijd (uren en etmaaltotalen).



### Punctualiteitswinsten (reductie verliezen)

Hierbij is de start de betrouwbaarheidsanalyse uit hoofdstuk 2. In tabel 9.9 zijn de resultaten van die analyse samengevat.

Tabel 9.9: Verliezen ten gevolge van dispunctualiteit

Eindbeeld	verliezen dispunctualiteit	effect
1. EU + PHS	-0,8	-25%
2. EU + PHS + HRN	-1,0	-34%
3. heel Nederland	-1,1	-36%
Mix Level 1 / Level 2	-1,0	-33%
Level 2 plus	-1,0	-34%

Van het effect op de dispunctualiteit wordt 25% in de MKBA meegerekend.

## 9.6 Conclusies

Uit het onderzoek blijkt dat ERTMS een bijdrage levert aan verkorting van de rijtijden van treinen tussen stations, alsmede van de wacht- en overstaptijden. Ook kan de variatie in de uitvoering van de dienstregeling worden beperkt, waardoor de betrouwbaarheid toe neemt. In de tabel 9.10 zijn de uitkomsten weergegeven.

Tabel 9.10: Effecten op reistijd- en snelheid per eindbeeld

Eindbeeld	1a	2a	3a	mix	L2+	TEN+PHS+HRN, versneld
	TEN+PHS	TEN+PHS +HRN	Heel NL			
Rijtijdwinst	-1,4%	-1,8%	-1,9%	-1,9%	-1,8%	-1,8%
160 km/h	-0,3%	-0,3%	-0,3%	-0,3%	-0,3%	-0,3%
uitbuigingen	-0,6%	-0,7%	-0,7%	-0,6%	-0,7%	-0,7%
smallere knopen	0,0%	-0,1%	-0,1%	0,0%	-0,1%	-0,1%
<b>Totaal</b>	<b>-2,4%</b>	<b>-2,9%</b>	<b>-2,9%</b>	<b>-2,8%</b>	<b>-2,9%</b>	<b>-2,9%</b>

## Bijlage A: betrouwbaarheid

De hier gepresenteerde gegevens over invloed beveiliging en effect ERTMS zijn vastgesteld in workshops met experts van ProRail en het ministerie van IenM.

### Bijlage A1: storingsorzaken

*Invloed van ERTMS en effect op aantal storingen, per storingsoorzaak*

Oorzaken <sup>1)</sup>	Aantal	Invloed beveiliging <sup>2)</sup>	Effect ERTMS <sup>3)</sup>	
			L1 overlay	L2 only
Doorsnijden (overwegen)	1.217	25%	1,25	1,00
Overweg	3.100	25%	1,25	0,26
Wissel	6.256	25%	1,00	1,00
Treindetectie <sup>4)</sup>				
- GRS spoorstroomloop	2.874	100%	1,25	0,26
- assentellers	291	100%	1,25	1,00
Treinbeveiliging overig	2.032	100%	1,25	0,25
Beveiliging (niet ingedeeld)	165	100%	1,00	1,00
Treinbeïnvloeding (ATB etc)	548	100%	1,25	0,25
Totaal interlocking <sup>5)</sup>				
- interlocking (elektronisch)	248	100%	1,00	1,00
- interlocking (B-relais)	2.032	100%	1,00	1,00
<b>Totaal</b>	<b>18.762</b>			

<sup>1)</sup> zoals onderscheiden door ProRail in gepubliceerde jaarrapportages

<sup>2)</sup> beschrijft de mate waarin de beveiliging en alle bijbehorende onderdelen invloed hebben op het aantal storingen per oorzaak

<sup>3)</sup> beschrijft de mate waarin de vervanging van het huidige beveiligingssysteem door ERTMS naar verwachting leidt tot verandering van het aantal door beveiliging beïnvloedbare storingen

<sup>4)</sup> totaal uit jaarrapportages verdeeld op basis van gegevens managementsysteem ProRail

<sup>5)</sup> in rapportages is geen onderscheid gemaakt voor relais interlocking. O.b.v. experts ProRail aangenomen dat dit 50% van post "Treinbeveiliging overig" bedraagt

### Bijlage A2: functiehersteltijd

*Invloed van ERTMS en effect op functiehersteltijden, per storingsoorzaak*

Oorzaken <sup>1)</sup>	Hersteltijd (minuten)	Invloed beveiliging <sup>2)</sup>	Effect ERTMS <sup>3)</sup>	
			L1 overlay	L2 only
Doorsnijden (overwegen)	222,2	25%	1,00	0,72
Wissel	439,7	25%	1,00	1,00
Treindetectie	402,0	100%	1,00	0,72
Seinen	95,7	100%	1,00	1,00
Overige onderdelen	196,0	50%	1,00	1,00
Energievoorziening	157,7	0%		
ICT/post21	80,3	0%		
<b>Gemiddelde functiehersteltijd</b>	<b>222,8</b>			

<sup>1)</sup> zoals onderscheiden door ProRail in gepubliceerde jaarrapportages

<sup>2)</sup> beschrijft de mate waarin de beveiliging en alle bijbehorende onderdelen invloed hebben op het aantal storingen per oorzaak

<sup>3)</sup> beschrijft de mate waarin de vervanging van het huidige beveiligingssysteem door ERTMS naar verwachting leidt tot verandering van het aantal door beveiliging beïnvloedbare storingen

## Bijlage A3: verliesuren in het nulscenario

### Inleiding

In deze notitie wordt het aantal verliesuren in het nulscenario bepaald om een baseline te krijgen weer tegen de effecten van de ERTMS-eindbeelden worden afgezet. Daarbij baseren wij ons op gegevens van ProRail over de vertragingen van treinen en berekeningen van NS waarbij inzichten over reizigersaantallen zijn toegevoegd. De uitkomsten worden gebruikt als input voor de MKBA voor het project ERTMS.

### Methodiek

Bij de berekeningen, voor het dienstregelingjaar 2013, zijn de vertragingen van de reizigers van NSR berekend. Daarbij is gebruik gemaakt van realisatiecijfers voor punctualiteit en reizigersaantallen, en is een aantal aannames gedaan om de berekeningsmethodiek te voltooien. De aannames zijn logisch gekozen, en doen qua nauwkeurigheid recht aan de voorliggende berekening.

NSR (afdeling Kenniscentrum) meet de reizigerspunctualiteit door de gegevens van ProRail over de doorkomsten van treinen op de punctualiteitsmeetpunten, uitval van treinen en gehaalde aansluitingen te combineren met aantallen reizigers per trein en overstappers van trein op trein. Deze reizigerspunctualiteit geeft het percentage treinreizen weer dat 5 minuten of minder vertraging heeft, rekening houdend met zowel vertraagde treinen, gemiste aansluitingen en uitval van treinen.

De reizigerspunctualiteit is door het Kenniscentrum vertaald in vertragingen, en onderscheiden in de drie componenten vertraging, aansluiting en uitval. Dit resulteert in **eerste instantie** in de volgende cijfers voor wat betreft treinen die 5 minuten of meer vertraging hebben:

▶ Vertragingen	2,0 mln
▶ Uitval	1,2 mln
▶ Aansluiting	0,2 mln
▶ TOTAAL	3,4 mln

Dit is nog niet het totaal aan vertragingen. Er zijn nog een aantal componenten die ontbreken. Deze worden in het navolgende ingevuld:

#### a. Vertragingen minder dan 5 minuten die wel zijn gemeten

Reizen met minder dan 5 minuten vertraging leiden ook tot vertragingen. Deze moeten worden bijgeschat. Hiervoor is gebruik gemaakt van de verdeling van de treinvertragingen over vertragingklassen van steeds 1 minuut. Voor de treinen met minder dan 5 minuten vertraging is de gemiddelde vertragingduur berekend, en ook voor treinen met meer dan 5 minuten vertraging. Hiervoor is per vertragingklasse een gemiddelde aangenomen, in het midden van de vertragingklasse (dus vertragingklasse tussen 3 en 4 minuten: 3,5 minuten vertraging). Enige uitzonderingen hierop zijn:

- ▶ vertragingklasse tussen 0 en 1 minuut (69% van de treinen), waarvoor 0,25 is aangenomen; reden hiervoor is dat er ook veel treinen zijn die op tijd of zelfs te vroeg aankomen.
- ▶ vertragingklasse groter dan 30 minuten (0,1% van de treinen), waarvoor 45 minuten is aangenomen.

De gemiddelde vertraging van een trein met minder dan 5 minuten vertraging is op deze manier berekend op 0,8 minuten. Een trein met meer dan 5 minuten vertraging heeft gemiddeld 10,3 minuten vertraging.

De reizigerspunctualiteit (5 minuten norm) in 2013 bedraagt 90,2%. Dit betekent dus dat ook 9,8% van de treinreizen een vertraging van 5 minuten of meer heeft. Voor de ophoging van de vertraging uren met de korte vertragingen wordt dit gegeven gecombineerd met de gemiddelde vertragingduur. Dit levert de volgende ophoging:

Kort:  $90,2\% * 0,8 \text{ minuten} = 0,72$

Lang:  $9,8\% * 10,3 \text{ minuten} = 1,01$

Ophoging:  $0,72/1,01 = 0,71$

Reizen met minder dan 5 minuten vertraging kennen geen uitval of gemiste aansluitingen (dan is de vertraging groter), dus de ophoging hoeft alleen voor de vertraging plaats te vinden. De opgehoogde getallen worden dan:

- ▶ Vertraging uren            3,4 mln ( $2,0 + 2,0 * 0,71$ )
- ▶ Uitval                        1,2 mln
- ▶ Aansluiting                0,2 mln
- ▶ TOTAAL                      4,8 mln

Op basis van deze correctie bedraagt het aantal verliesuren als gevolg van vertraging, uitval en gemiste aansluitingen circa 4,8 miljoen.

#### **b. Niet gemeten vertragingen**

Van alle reizen (heel NL) komt een kleine 25% niet langs een punctualiteitsmeetpunt. Hieronder de in reizigersaantallen gemeten zwaarste relatie die er is: Amsterdam Centraal – Schiphol, maar ook bv Hengelo-Enschede of Utrecht Centraal-Amsterdam Amstel (bron: jaarmatrix 2011). Uitgangspunt voor de analyse is dat vertraging op deze reizen even vaak voor komt als bij de reizen die wel langs een punctualiteitsmeetpunt komen (op zich een discutabele aanname, want het betreft hier veelal korte reizen), dan zouden de verliesuren als gevolg van vertragingen 33% hoger zijn dan nu berekend (nu namelijk 75% wel gemeten, 25% niet, dus  $25\%/75\%$  erbij). Dat zou het nieuwe cijfer 4,4 miljoen uren maken. Naar verwachting hoeft dit cijfer niet op de uitgevallen treinen te worden toegepast.

#### **c. Aansluitingen**

Met betrekking tot de aansluitingen is een uitsplitsing van alle overstappen gemaakt naar onder of boven de 300 overstappers per dag (van treinserie op treinserie), gekruist met binnen of buiten het 2-7 minuten interval voor de overstaptijd, en gekruist met van en naar NS lijnen versus minimaal 1 van beide lijnen niet-NS. Met de verdeling van het aantal overstappen (bron: werkdagmatrix 2011 met dienstregeling 2013):

>300	2-7 min	NS-NS	% ovstp
n	N	n	4%
n	N	j	26%
n	J	n	3%
n	J	j	13%
j	N	n	2%
j	N	j	15%
j	J	n	5%
j	J	j	33%



De tweede regel bv betekent: minder dan 300 reizen, meer dan 7 minuten overstaptijd, van NS naar NS: 26% van alle overstappen. In de berekening van de reizigerspunctualiteit wordt dus 33% van alle overstappen meegenomen (3 keer “j”, onderste regel), nl. alleen overstappen met minimaal 300 reizigers per dag, tussen de 2 en 7 minuten overstaptijd, en tussen NS lijnen. 13% van de overstappen valt weg vanwege de >300 regel, en daarnaast nog 8% vanwege overstap van/naar niet-NS lijnen. De vertragingssuren als gevolg van gemiste aansluitingen zouden dus ongeveer  $21\%/33\% = 60\%$  hoger zijn als deze wel worden meegenomen, er van uitgaande dat deze overstappen even vaak worden gemist als de wel meegenomen overstappen. De aansluit vertraging wordt dan niet 0,2 miljoen uur, maar 0,3 miljoen uur. De wegval door de 2-7 minuten regel wordt niet meegenomen, omdat het effect van deze regel op de vertragingssuren niet eenduidig is.

**d. Overige up-/downsides in de berekening:**

- ▶ Het aantal punctualiteitsmeetpunten waar een reis langs komt bedraagt gemiddeld 2,63. Dit betreft relatief vaker lange reizen, die langs meer meetpunten komen. Echter ook relatief vaak drukke sprinterlijnen in de Randstad, met een kortere reisafstand.
- ▶ Voor korte vertragingen is de gekozen waarde van 0,5 als midden van de vertragingssintervallen iets te hoog, vanwege de Poisson-verdeling van de vertragingen. De waarde van 0,4 zal waarschijnlijk dichterbij de waarheid liggen, het effect is marginaal (maximaal 0,1 miljoen uur).
- ▶ Voor vertragingen korter dan 1 minuut is nu 0,25 als gemiddelde tijd gekozen. Als deze op 0,5 wordt gezet neemt het aantal verliesuren met 0,3 miljoen toe.

**Verliesuren in het nulscenario**

Meenemen van deze correcties in de berekening brengt het totaal op 5,9 miljoen uur voor wat betreft het HRN. Daarbij komen dan de vertragingen op het regionale net. Deze worden geraamd op 10% van het vervoer maal de helft van de dispunctualiteit op het HRN, ofwel 0,3 mln vertragingssuren. Daarbij komt dan nog een groei van 34% door de groei in de reizigerskilometers tot 2030, zodat het aantal vertragingssuren in 2030 in het GE-scenario 8,3 miljoen bedraagt; bij RC is dat een groei van 12% en bedraagt het aantal verliesuren 7,0 miljoen. Merk op dat daarbij nog niet is gerekend met de invoering van bijvoorbeeld ERTMS L2 op de Saal-corridor. Zie het betreffende hoofdstuk. Er wordt niet uitgegaan van groei na 2030.

**Conclusie: het aantal verliesuren dat als startpunt dient voor de berekeningen bedraagt in het GE-scenario 8,3 miljoen. Voor het RC-scenario wordt uitgegaan van 7,0 miljoen verliesuren in 2030 en de jaren daarna.**