

---

Vergaderjaar 2011–2012

---

**32 707**

**Parlementair onderzoek onderhoud en innovatie  
spoor**

**Nr. 11**

**DEELONDERZOEK I**

**Innovatie op het spoor en mogelijkheden van ERTMS in Nederland**

Uitgevoerd door de Technische Universiteit Delft, Faculteit Civiele  
Techniek en Geowetenschappen, Afdeling Transport en Planning

Het onderzoek is uitgevoerd door een team bestaande uit de volgende personen:

- Dr. R. M. P. Goverde, Afdeling Transport en Planning, TU Delft (projectleider)
- Prof. Dr-Ing. I. A. Hansen, Afdeling Transport en Planning, TU Delft
- Dr. F. Corman, Afdeling Transport en Planning, TU Delft
- Dr. A. D'Ariano, Afdeling Transport en Planning, TU Delft
- Prof. Dr-Ing. J. Trinckauf, Afdeling Verkeresbeveiligingstechniek, TU Dresden (Duitsland)

## **Inhoudsopgave**

<b>Managementsamenvatting</b>	<b>5</b>
<b>1 Inleiding</b>	<b>11</b>
1.1 Aanleiding	11
1.2 Doel en onderzoeksvragen	11
1.3 Aanpak en leeswijzer	12
<b>2 Theoretische achtergrond</b>	<b>14</b>
2.1 Beveiliging en beheersing van railsystemen	14
2.1.1 Infrastructuur	15
2.1.2 Dienstregeling	15
2.1.3 Beheersing	16
2.1.4 Beveiliging	16
2.1.5 Treinsturing	18
2.2 De benuttingsbalans	19
2.3 Treinbeveiliging in Nederland	21
2.3.1 Het bestaande NS'54 seinstelsel met ATB-EG	21
2.3.2 Het bestaande NS'54 seinstelsel met ATB-NG	23
2.3.3 ETCS Level 1	24
2.3.4 ETCS Level 2	25
2.3.5 ETCS Level 3	26
2.3.6 Gemengd seinstelsel NS'54/ATB-EG met ETCS Level 2 overlay	26
2.3.7 ETCS L1 Limited Supervision en ERTMS Regional	28
2.4 Interoperabiliteit en interfaces	29
2.5 Railverkeersleiding	32
2.6 Conclusies	33
<b>3 Huidige stand van zaken rond ERTMS</b>	<b>35</b>
3.1 Nederlandse ERTMS geschiedenis	35
3.2 Recente ontwikkelingen in de spoorsector	38
3.2.1 Kosten van elektronische interlockings	38
3.2.2 ERTMS infrastructuurkosten	44
3.2.3 ETCS materieelkosten	45
3.2.4 Proefbedrijf ERTMS Amsterdam–Utrecht	49
3.2.5 Triple A en Robuust Spoor	50
3.3 Internationale ontwikkelingen	52
3.3.1 België	52
3.3.2 Denemarken	54
3.4 MKBA ERTMS	56
3.5 Conclusies	60
<b>4 Capaciteitsstudie Utrecht–Den Bosch</b>	<b>64</b>
4.1 Inleiding	64
4.2 Bloktijdtheorie en baanvakbelasting	64
4.3 Beschrijving casus Utrecht–Den Bosch	66
4.4 Infrastructuur en dienstregeling 2011	67
4.4.1 Rijttijden	67
4.4.2 Minimum opvolgtijden	68
4.4.3 Baanvakbelasting	71
4.4.4 Vertraginganalyse	72
4.5 PHS infrastructuur en dienstregeling 2020	73
4.5.1 Rijttijden	73
4.5.2 Minimum opvolgtijden	74
4.5.3 Baanvakbelasting	76
4.5.4 Vertraginganalyse	79
4.6 Conclusies	79

<b>5</b>	<b>Baten van ERTMS</b>	<b>81</b>
5.1	Inleiding	81
5.2	Interoperabiliteit	81
5.3	Veiligheid	82
5.4	Optimalisering infrastructuur en dienstregeling	83
5.5	Rijtijdwinsten door snelheidsverhoging	84
5.5.1	Maximum baanvaknelheid	84
5.5.2	Uitgesteld remmen	85
5.5.3	Snelheidsbeperkingen tussen ATB-EG snelheidsstappen	86
5.6	Opvolgtijdwinsten (Kort Volgen)	86
5.7	Capaciteitsbenutting	90
5.8	Energiezuinig rijden	90
5.9	Verkeersmanagement	92
5.10	Conclusies	94
<b>6</b>	<b>Implementatiestrategie ERTMS</b>	<b>95</b>
6.1	Levenscycluskosten	95
6.2	ERTMS migratie	96
6.3	ERTMS migratiestrategieën voor Nederland	99
6.3.1	Aanbevelingen aan infrastructuurmanagers	99
6.3.2	Aanbevelingen aan spoorwegondernemingen	100
6.3.3	Aanbevelingen aan de overheid	101
6.4	Landelijke ERTMS migratiestrategie in Nederland	102
<b>7</b>	<b>Conclusies</b>	<b>106</b>
7.1	Antwoord op de onderzoeksvragen	106
7.1.1	Hoofdvraag: Wat zijn de potentiële kosten en baten van ERTMS voor Nederland?	106
7.1.2	Onderzoeksvraag 1: Wat kan ERTMS bijdragen aan capaciteitsverhoging?	107
7.1.3	Onderzoeksvraag 2: Hoe is de verhouding tussen kosten en opbrengsten?	109
7.2	Aanbevelingen	111
	<b>Referenties</b>	<b>113</b>
A	Lijst van afkortingen	119
B	Lijst van geïnterviewde personen	121
C	Specificaties van de casus Utrecht–Den Bosch	122
C.1.	Infrastructuur	122
C.2.	Materieel	122
C.3.	Vertragingsscenario's	122
D	Overzicht sein- en treinbeïnvloedingssystemen in Nederland	124
E	Mistral corridors	125

## MANAGEMENTSAMENVATTING

De Europese commissie heeft twintig jaar geleden het initiatief genomen om een Europees railbeveiligings- en beheersingssysteem te ontwikkelen waarmee de lappendeken aan verschillende systemen in de Europese lidstaten op termijn konden worden vervangen door een integraal interoperabel systeem waardoor treinen van ieder land op de infrastructuur van elk andere land kunnen rijden ongeacht de leveranciers van de boord- en infrastructuurapparatuur. Dit systeem heet ERTMS (European Rail Traffic Management System). Een belangrijk onderdeel van dit systeem is ETCS (European Train Control System), een state-of-the-art cabinesignaleringssysteem dat de diverse nationale seinstelsels en automatische treinbeïnvloedingssystemen in Europa kan vervangen met verhoogde veiligheid en prestaties. ERTMS is intussen operationeel op een veelvoud aan nieuwe (hogesnelheids) spoorlijnen in diverse landen in Europa en daarbuiten. In Nederland is ERTMS operationeel op de HSL-Zuid en de Betuweroute, en komt het binnenkort beschikbaar op de spoorlijn Amsterdam–Utrecht en de Hanzelijn waardoor daar onder ETCS met hogere snelheden gereden kan worden.

De volgende fase is vervanging van de beveiligingssytemen op de conventionele sporen door ERTMS. De Europese lidstaten hebben verschillende motieven om deze migratie door te voeren. De belangrijkste daarvan zijn interoperabiliteit (Zwitserland), vervanging van verouderde beveiliging waarvan de levensduur verstreken is (Denemarken), verbeterde veiligheid (België), en betere prestaties (alle landen), en meestal een mix hiervan. In Nederland was lange tijd de belangrijkste reden om te investeren in ERTMS de betere prestaties waarmee knelpunten op het drukke Nederlandse spoor door beter benutten opgelost zouden kunnen worden. Nederland staat voor diverse uitdagingen zoals een vergaande frequentieverhoging in grote delen van de Randstad (PHS), verhoging van baanvaksnelheden en omlaag brengen van stoptonendsein (STS) passages. ERTMS biedt in al deze uitdagingen uitkomst.

De laatste jaren is er in Nederland echter een kentering te bespeuren in het enthousiasme over ERTMS met als belangrijkste reden het ontbreken van een sluitende business case. Voor migratie naar ERTMS moeten zowel het materieel als de infrastructuur aangepast worden. Inbouw van ETCS in treinen voordat de infrastructuur is voorzien van ETCS om de baten te incasseren geeft een negatieve business case voor de spoorwegmaatschappijen. Andersom kan de infrastructuur niet omgebouwd worden naar ETCS als treinen nog niet voorzien zijn van ETCS boordapparatuur, terwijl dubbele beveiligingssytemen in de infrastructuur erg kostbaar worden. De natuurlijke migratiestrategie is dan ook om eerst treinen te voorzien van ETCS samen met een specifieke module voor het oude nationale treinbeïnvloedingssysteem zodat zowel op spoorlijnen met de oude beveiliging als op ETCS lijnen gereden kan worden. Goederentreinen hebben al dergelijke systemen aan boord zodat ze zowel op de conventionele spoorlijnen als de Betuweroute kunnen rijden. Hetzelfde geldt voor de hogesnelheidstreinen die over de HSL-Zuid rijden. Vanwege de negatieve business case wil NS volledige subsidie van de overheid voor de ombouw van hun treinenvloot, terwijl het ministerie van I&M niet verder wilt gaan dan 50% subsidie volgens het EU-regime. De bepaling van de juiste migratiestrategie is dus een integrale zaak van spoorwagondernemingen, infrastructuurmanager en overheid.

Door uitblijven van duidelijkheid over de te volgen migratiestrategie heeft ProRail alternatieve ontwikkelingen verkend om het spoor beter te benutten binnen het huidige seinstelsel en de treinbeïnvloeding ATB-EG in afwachting van ERTMS, wat heeft geleid tot de Triple A aanpak voor Anders plannen en uitvoeren, Anders verdelen van capaciteit en Anders vergroten van capaciteit. Deze aanpak is sterk beïnvloed door analyses van realisatiegegevens waaruit bleek dat er nog veel lucht in de dienstregeling zat alsmede de Japanse praktijk waar hoge prestaties worden gehaald met een «klassiek» treinbeveiligingssysteem. Voor het Programma Hoogfrequent Spoor (PHS) is de Triple A aanpak naar voren geschoven om de gewenste frequentieverhogingen te faciliteren. Voor de OV-SAAL (Schiphol–Amsterdam–Almere–Lelystad) bleek al snel dat de gewenste frequenties niet mogelijk waren, waarna het project Kort Volgen is gestart waarin wordt onderzocht welke maatregelen denkbaar en haalbaar zijn om de regelgeving en grenzen van het huidige systeem aan te passen om toch capaciteitsvergrotingen te realiseren. Naar aanleiding van de overlast van de verstoring van het treinverkeer als gevolg van een brand bij een verkeersleidingspost en winterse omstandigheden heeft de Minister van I&M gevraagd om een voorstel voor de vereenvoudiging en het betrouwbaarder maken van het spoorvervoer, inclusief infrastructuur, dienstregeling en logistiek. Dit wordt bij ProRail samen met NS uitgewerkt onder de noemer Robuust Spoor met als belangrijke componenten de vereenvoudiging van de infrastructuur (wisselsanering) en bijsturing. ProRail wilt zo de uitdagingen van de toekomst aangaan door over te stappen naar een vereenvoudigd spoorstelsel gericht op robuustheid i.p.v. het huidige «complexe» systeem gericht op flexibiliteit.

Het voorliggende rapport bevat een vergelijkende capaciteitsanalyse van ERTMS en ATB-EG voor de corridor Utrecht–Den Bosch. Met korte blokken is onder ATB-EG een vermindering van minimum opvolgtijden tot 18% mogelijk. Met ETCS kunnen veel lagere minimum opvolgtijden worden gehaald tot aan 54% minder ten opzichte van ATB-EG. De baanvakbelasting verbetert met ETCS L1 gemiddeld met 12 procentpunt bij dezelfde seinafstanden als het huidige seinstelsel. Met ETCS L2 komt de baanvakbelasting 14,4 procentpunt lager uit dan het bestaande seinstelsel met ATB-EG. Voor ATB-EG met korte blokken verbetert de baanvakbelasting gemiddeld met drie procentpunt. Uit de analyse blijkt dat de twee goederenpaden per uur zoals in de huidige dienstregeling gepland volstrekt niet haalbaar zijn onder het huidige beveiligingssysteem. Sterker nog, het structureel niet rijden van een goederentrein per uur is noodzakelijk om de reizigersdienstregeling stabiel te houden. Zodra de twee goederenpaden echt structureel geclaimd gaan worden zoals gepland moet het baanvak direct overbelast verklaard worden. Met ETCS daarentegen voldoet de dienstregeling 2011 met twee goederentreinen per uur aan de normen zonder dure infrastructuuruitbreidingen. Voor de PHS dienstregeling Utrecht–Den Bosch zijn twee goederentreinen per uur onder het bestaande beveiligingssysteem zeker niet mogelijk ondanks de viersporigheid tot aan Houten. Ook na aanpassing van de dienstregeling waarbij de IC de doorgaande Sprinters en goederentreinen inhaalt in Geldermalsen is de baanvakbelasting ontoelaatbaar. Met deze inhalingen is onder ETCS L2 wel een dienstregeling mogelijk met een baanvakbelasting van 77,2%. Voor een stabiele dienstregeling is met een dergelijke hoge baanvakbelasting wel een railverkeersmanagementstelsel nodig.

Verhoging van de baanvaknelheid naar 160 km/u kan alleen tegen additionele infrastructuurmaatregelen (inhaalsporen bij Zaltbommel) of als er maximaal één goederentrein per uur rijdt. Sprinters en IC's hebben

dan respectievelijk drie en vier minuten kortere rijtijden. Zonder snelheidsverhoging kunnen de Sprinters onder ETCS L1 één minuut en onder ETCS L2 anderhalve minuut korter rijden. IC's en goederentreinen halen onder ETCS L2 een halve minuut rijtijdwinst. In de huidige dienstregeling hebben de Sprinters echter een ruime rijtijdspeling van 18% (zes minuten) over het traject van Utrecht tot Den Bosch (exclusief haltering in Geldermalsen) waar twee minuten (5%) voldoende zou moeten zijn. Mogelijk is dat ter compensatie van de hoge baanvakbelasting zodat met ETCS L2 een potentiële rijtijdwinst van vijf minuten voor de Sprinters mogelijk kan worden (zonder snelheidsverhoging). Het volledig incasseren van dergelijke rijtijdverbeteringen hangt echter ook af van netwerkfahankelijkheden in de dienstregeling buiten de corridor Utrecht–Den Bosch.

De alternatieve ontwikkelingen weg van ERTMS als middel om beter benutten en beheersen mogelijk te maken kregen nog een andere impuls door de business case voor «integrale vervanging van interlockings en ERTMS» van ProRail in 2009, waarin werd geconcludeerd dat moderne elektronische interlockings steeds duurder werden terwijl conventionele interlockings steeds goedkoper werden. Daarop werd in 2010 een wijziging van het Mistral programma aangekondigd waarbij vervanging door moderne elektronische interlockings die voorbereid zijn op ERTMS niet meer vanzelfsprekend was. Op een groot aantal corridors waar voorlopig geen ERTMS wordt verwacht zullen nu aanbestedingen gedaan worden zonder de eis voor compatibiliteit met ERTMS zodat interlockings met conventionele techniek kunnen worden geïnstalleerd. Interlockings geschikt voor ERTMS worden alleen nog gespecificeerd op corridors waar ERTMS verplicht is van de EU en corridors met capaciteitsknelpunten die mogelijk met ERTMS kunnen worden opgelost en waarvoor een positieve ERTMS business case bestaat. De business case voor integrale vervanging is echter uitgegaan van het toenmalige kostenniveau voortgekomen uit goed werkende managementcontracten voor de bestaande relaisinterlockings en de huidige wijze van contractering van de laatste ERTMS projecten geëxtrapoleerd naar de komende 30 jaar.

Deze huidige kosten van ERTMS en moderne elektronische interlockings zijn echter niet representatief. Allereerst waren projecten als de HSL-Zuid, de Betuweroute en Amsterdam–Utrecht allen ontwikkelingsprojecten door verschillende leveranciers waarbij onafhankelijk van elkaar ontwikkelingskosten zijn gemaakt voor landspecifieke specificaties, operationele regels en voorschriften. Daarnaast moesten interfaces worden ontwikkeld voor integratie met de bestaande verkeersleidingssystemen en naburige interlockings. Ook is de safety case voor nieuwe systemen kostbaar omdat nog niet teruggevallen kan worden op reeds eerder gecertificeerde oplossingen, zoals bij bestaande beveiligingssystemen wel het geval is. Voor de Hanzelijn waren de specificaties ook nog aangepast waardoor weer 1/3 ontwikkelingskosten ontstonden plus ook 1/3 kosten voor traditionele beveiliging (ATB-EG en treindetectie) die naast ERTMS wordt geïnstalleerd omdat nog niet alle treinen over ETCS beschikken. De kosten van ERTMS inclusief elektronische interlocking waren daarmee 1/3 van het totale bedrag voor de Hanzelijn. In de laatste (afgeblazen) Mistral aanbesteding voor drie pilotprojecten onstond ook weer 50% ontwikkelingskosten door veranderde specificaties. De onderhoudskosten van moderne installaties zijn ook nog erg duur omdat iedere leverancier een eigen continu onderhoudsbedrijf moet optuigen voor kleine gebieden. Daarnaast kunnen moderne elektronische interlockings meerdere relaisinstallaties tegelijk vervangen, zodat één-op-één vervanging van een

relatief kleine relaisinstallatie zoals nu door de Mistral-tenders wordt beoogd niet effectief is.

De levenscycluskosten van moderne elektronische interlockings kunnen dalen tot het niveau van relaisinterlockings door een aantal maatregelen: bevroren van de specificaties voor ERTMS (en daarmee voorkomen van ontwikkelingskosten), grootschalige implementatie van ERTMS en daarvoor geschikte interlockings door effectieve uitrol van vergelijkbare installaties (i.p.v. kleine individuele projecten zoals nu met Mistral wordt gedaan), aanbesteden van grotere samenhangende gebieden (met centrale interlockings i.p.v. meerdere interlockings voor kleine gebieden met ieder hun eigen project- en locatiekosten), grootschalige onderhoudscontracten (met lage marginale kosten per installatie), en prestatiegerichte contracten over de hele levenscyclus waarbij de leverancier verantwoordelijk is voor de realisatie en (operationeel) onderhoud inclusief updates en herconfiguraties na infrastructuurwijzingen. De levenscycluskosten van integrale vervanging door ETCS L2 inclusief interlockings komen dan 1,6 miljard Euro lager uit (de door ProRail geschatte extra levenscycluskosten voor elektronische interlockings), waarmee het 21,5% (0,9 miljard Euro) duurder is dan ATB-EG met relaisinterlockings in plaats van de 49% (2,5 miljard Euro) uit de business case. De levenscycluskosten van ETCS L1 met (relais)interlockings worden door ProRail 9% duurder dan ATB-EG geschat, waarmee ETCS L2 12,5% duurder is dan ETCS L1 maar daarvoor meer functionaliteiten biedt. De voorbereiding van de specificaties moet gebeuren door een ERTMS expertisegroep in overleg met de industrie zodat duidelijk is waar extra ontwikkelingskosten gaan zitten en waarvoor standaardoplossingen beschikbaar zijn en de uitslag van de aanbesteding niet totaal anders uitvalt als vantevoren gedacht.

De schattingen van de business case gebaseerd op het toenmalige prijspeil zijn ook gebruikt door Decisio in de MKBA ERTMS van 2010. Vanwege de onzekerheden rondom Mistral en het hoge kostenverschil tussen elektronische interlockings en relaisinterlockings heeft Decisio twee nulvarianten gedefinieerd: ATB-EG met relaisinterlockings en ATB-EG met elektronische interlockings. Het gevolg was een MKBA saldo met een enorme bandbreedte van ruim een half miljard in de min tot een half miljard in de plus (netto contante waarde). Met de nieuwe inzichten uit het voorliggende rapport vervalt het verschil in levenscycluskosten tussen elektronische interlockings en relaisinterlockings, en daarmee de nulvariant met relaisinterlockings van de MKBA ERTMS van Decisio alsmede het kostenverschil tussen de twee nulvarianten en de grote bandbreedte van het MKBA saldo. De MKBA ERTMS komt dan voor alle varianten positief uit. Voor de sectorstrategie berekent Decisio een positief resultaat van 125 miljoen Euro (netto contante waarde) ten opzichte van het instandhouden van ATB-EG, en een baten/kosten saldo van 1,01. De kosten kunnen hier nog verder zakken doordat de bovengenoemde maatregelen niet alleen een gunstig effect hebben op de levenscycluskosten van elektronische interlockings maar ook op die van ERTMS. Daarnaast zijn de materieelkosten van ETCS inbouw in de afgelopen jaren gezakt en kunnen de levenscycluskosten van de buitenelementen voor met name ETCS L2 omlaag door spoorvrijdetectie te implementeren met assentellers i.p.v. spoorstroomlopen die voor ATB-EG wel essentieel zijn. Assentellers bieden een betere detectie, zijn goedkoper en hebben geen last van weersomstandigheden (bladeren, regen, sneeuw). Om deze positieve MKBA mogelijk te maken is dus wel een aanpassing noodzakelijk van de migratiestrategie zoals die nu gedefinieerd is met de aanbesteding van drie projecten per jaar voor de komende 30 jaar.



Aanbestedingen moeten grootschaliger worden met grotere samenhangende gebieden die effectiever kunnen worden gemigreerd naar ERTMS met gecentraliseerde elektronische interlockings. De tijdsplanning blijft daarmee wel uitgesmeerd over meerdere jaren maar de vaste kosten van de leveranciers worden verdeeld over meerdere installaties.

De principekeuze voor integrale migratie naar ETCS L2 met radiocommunicatie via gecentraliseerde RBC's i.p.v. ETCS L1 met gedistribueerde ERTMS eenheden (LEU's) bij seinen is niet vanzelfsprekend. ETCS L2 is (vooralsnog) niet goedkoper dan ETCS L1, terwijl de verbeteringen van ETCS L1 in termen van capaciteitsbenutting en veiligheid ook substantieel zijn zoals de case studie in dit rapport laat zien. ETCS L2 is met name interessant voor drukke corridors met een hoge baanvakbelasting en capaciteitsknelpunten waar effectief railverkeersmanagement via de tweezijdige radiocommunicatie tussen trein en verkeersleidingsposten een rol moet spelen. Op regionale en nevencorridors geeft ETCS L1 ook een forse kwaliteitsimpuls tegen lagere kosten, zeker bij aansluiting op bestaande apparatuur (interlockings of baanseinen). Een gemengde migratiestrategie van ETCS L1 en L2 op basis van differentiatie van hoofd-, neven- en regionale corridors, alsmede aansluiting bij bestaande interlockings waarvan de levensduur nog lang niet is verlopen geeft een enorme reductie in kosten. In België wordt verwacht dat met een dergelijk strategie en twee grootschalige aanbestedingen de landelijke ERTMS migratiekosten, inclusief nieuwe elektronische interlockings waar nodig, gehalveerd wordt van 4 naar 2 miljard vergeleken met een algehele vernieuwing.

De kosten en baten van ERTMS hangen af van de gewenste levels en functionaliteiten. Een simpele implementatie van ERTMS kan verkregen worden door implementatie van ETCS L1 met aansluiting van de LEU's (Lineside Electronic Units) op de baanseinen en zonder aanpassing van interlockings. De baten zijn dan Interoperabiliteit, hogere veiligheid door remcurvebewaking (voorkomen STS-passages), snelheidsbewaking van alle snelheden inclusief snelheden die nu niet gedekt zijn door ATB-EG, bewaking van een hogere baanvaksnelheid tot 160 km/u (mits de baan daarvoor geschikt is) waarmee rijtijdwinsten en/of snellere inhaling van vertraging mogelijk worden, uitgesteld remmen volgens individuele materieel-specifieke remcurves waarmee rijtijd- en opvolgtijdwinsten mogelijk worden, en een betere demping van volgvertragingen bij verstoringen en vertragingen. De LEU's van ETCS L1 kunnen ook direct aangesloten worden op interlockings waardoor niet alleen één seinbeeld bekend is maar de volledige rijtoestemming tot aan het eerstvolgende rode sein inclusief de spoorbeschrijving tot aan het einde van de rijtoestemming. De plaatsing van de LEU's en bijbehorende Eurobalises zijn dan ook niet meer afhankelijk van de bestaande baanseinen. De extra baten boven bovenstaande zijn dan de berekening van een dynamisch snelheidsprofiel aan boord over de hele rijtoestemmingsafstand zodat overal zo lang mogelijk met de hoogst toegelaten snelheid gereden kan worden, kortere blokken met virtuele seinen waarmee lagere minimum opvolgtijden mogelijk worden, en verwijderen van (de meeste) baanseinen waardoor kostenbesparing gerealiseerd wordt en waarna blokken verder kunnen worden geoptimaliseerd doordat waarneembaarheidsvoorschriften van baanseinen vervallen. Als gekozen wordt voor ETCS L2 dan zijn de investeringskosten voor de ontwikkeling van een interface voor bestaande interlockings hoger, zodat ook vaker gekozen zal worden voor een nieuwe moderne elektronische interlocking. Daarentegen is het beheer van een gecentraliseerd RBC minder intensief dan de

gedistribueerde LEU's zodat bespaard kan worden op duur personeel (intern of via outsourcing). Tussen het spoor zijn alleen passieve Eurobalises voor de herijking van treinposities nodig samen met spoorvrijdetectie. Extra baten boven bovenstaande zijn bij ETCS L2 lagere beheersingskosten, verwijderen van koperdraden langs het spoor die gevoelig zijn voor koperdiefstal, verdere snelheidsverhoging, verdere optimalisatie van blokken op emplacementen door flexibele projectering van virtuele seinen vlak voor wissels e.d. waarmee minimum opvolgtijden verder omlaag gaan, en tweezijdige veilige real-time communicatie tussen treinen en interlockings/verkeersleidingsposten via de RBC. Deze tweezijdige communicatie maakt een hoop extra functionaliteiten mogelijk inclusief actuele dienstregelingsinformatie aan de machinist en effectief railverkeersmanagement.

Voor een effectieve migratiestrategie is allereerst vereist dat ETCS zo snel mogelijk wordt ingebouwd in het materieel. Vervolgens kan de infrastructuur worden gemigreerd waarbij zo veel mogelijk moet worden aangesloten op de natuurlijke vervangingsmomenten van de bestaande beveiliging. Hiervoor moet een tijdsplanning gemaakt worden waarbij gekeken moet worden naar samenhangende gebieden waar verschillende relaisinterlockings vervangen kunnen worden door één gecentraliseerde elektronische interlocking. De beveiliging aan de infrastructuurkant moet in grote stukken worden aanbesteed om de kosten van realisatie en onderhoud te drukken. Voor het tijdsplan moet rekening gehouden worden met voorbereidingstijd voor het opzetten van een ERTMS expertisecentrum, het formuleren van de (definitieve) specificaties van de ETCS infrastructuur en de ETCS boordapparatuur, de ontwikkeling van een standaard trein-interface (TIU) tussen de ETCS boordcomputer en het treinsysteem (remsysteem, etc.) van de verschillende treintypes (VIRM, SLT), en uitwerking van een nieuwe migratiestrategie. Voor deze werkzaamheden samen met de ervaringen van het operationeel proefbedrijf Amsterdam-Utrecht is al een beschikkingaanvraag ingediend. Deze voorbereidingen kunnen eind 2013 á 2014 afgerond zijn (afhankelijk van de begindatum), waarna in twee jaar al het materieel (of voldoende materieel) kan worden omgebouwd zodat in 2015 begonnen kan worden met de installatie van ERTMS op de eerste Mistral corridors waarvan de vervangingsmomenten kritiek zijn. De aanbestedingen van ERTMS aan de infrastructuurzijde (incl. elektronische interlockings) moeten dan in 2014 plaats vinden. Met deze tijdsplanning en de juiste volgorde van corridors is het ook mogelijk om ERTMS als capaciteitsverhogend middel in te zetten binnen het Programma Hoogfrequent Spoor (PHS) zodat synergie tussen Mistral en PHS bereikt wordt en dure infrastructuurmaatregelen zo veel mogelijk kunnen worden voorkomen.

## 1 INLEIDING

### 1.1 Aanleiding

Op 7 april 2011 is de «Tijdelijke commissie onderhoud en innovatie spoor» van de Tweede Kamer ingesteld. De commissie houdt een parlementair onderzoek naar het Nederlands spoorsysteem en het onderhoud daarvan in relatie tot innovatie. De voormalige commissie voor Verkeer en Waterstaat diende voor de Toekomst- en onderzoeksagenda 2011 een conceptvoorstel in voor een onderzoek naar het Nederlandse spoor. Volgens de commissie is het voor de Tweede Kamer moeilijk om uitgaven aan spoorinfrastructuur te beoordelen. Er is bijvoorbeeld minder goed zicht op de besteding van middelen dan bij het wegenonderhoud. Aangezien er komende jaren grote uitgaven gepland voor spooronderhoud, wil de Tweede Kamer goed inzicht in deze uitgaven. De commissie wil beter inzicht krijgen in de besteding van de spoorbudgetten en de wijze waarop innovatie op het spoor tot nu toe is aangepakt. Ook maakt de commissie een vergelijking met het buitenland: hoe zijn de budgetten en prestaties daar in relatie tot inrichting, gebruik en onderhoud?

Het parlementair onderzoek heeft uiteindelijk tot doel een bijdrage te leveren aan een efficiënt spoorstelsel in het algemeen en het bevorderen van innovatie waar dit zinvol is. Voor deze doelstelling is het noodzakelijk om beter inzicht te krijgen in de besteding van de spoorbudgetten en in de wijze waarop innovatie op het spoor tot nu toe is aangepakt. Specifieke aandachtspunten hierbij zijn de mogelijkheden van het alternatieve beveiligingssysteem ERTMS, de toekomstvastheid van geplande investeringen, de organisatie van het spoor, de mogelijkheden voor een meer efficiënte besteding van middelen voor onderhoud en beveiliging die kunnen bijdragen aan capaciteitsgroei en betrouwbaarheid van de dienstregeling. Een vergelijking met het buitenland met aandacht voor budgetten en prestaties in relatie tot inrichting, gebruik en onderhoud, dient inzicht te verschaffen in de relatieve positie van het Nederlandse spoor. Op basis van de verkregen inzichten zullen indien mogelijk aanbevelingen worden gedaan om het spoor beter te laten functioneren.

In het kader van dit parlementaire onderzoek is het deelonderzoek III «Verkenning mogelijkheden alternatief beveiligingssysteem ERTMS» geformuleerd en uitbesteed aan de TU Delft. Dit rapport bevat de resultaten van dit onderzoek.

### 1.2 Doel en onderzoeksvragen

Het doel van dit deelonderzoek is het in kaart brengen van de potentiële kosten en baten van het alternatieve beveiligingssysteem ERTMS voor het Nederlandse spoorsysteem. De resultaten van dit onderzoek vormen een aanvulling op de MKBA ERTMS van Decisio/SYSTRAN (Decisio, 2010). Het onderzoek voorziet in zowel een kwalitatieve beschouwing als een doorrekening van een concreet traject.

De volgende vragen worden in dit rapport beantwoord:

- Hoofdvraag: Wat zijn de potentiële kosten en baten van het alternatieve beveiligingssysteem ERTMS voor het Nederlandse spoorsysteem?
- Onderzoeksvraag 1: Wat kan ERTMS naast verhoging van de veiligheid bijdragen aan capaciteitsverhoging van het spoor?

- Onderzoeksvraag 2: Hoe is de verhouding tussen kosten en (vervoers)-opbrengsten?

### 1.3 Aanpak en leeswijzer

Het onderzoek is uitgevoerd door een team bestaande uit de volgende personen:

- Dr. R.M.P. Goverde, Afdeling Transport en Planning, TU Delft (project-leider)
- Prof. Dr-Ing. I.A. Hansen, Afdeling Transport en Planning, TU Delft
- Dr. F. Corman, Afdeling Transport en Planning, TU Delft
- Dr. A. D’Ariano, Afdeling Transport en Planning, TU Delft
- Prof. Dr-Ing. J. Trinckauf, Afdeling Verkeersbeveiligingstechniek, TU Dresden (Duitsland).

Het onderzoek bestond uit een aantal onderdelen die in de achtereenvolgende hoofdstukken in dit rapport aan bod komen:

- a. Een beschouwing van de stand van zaken rondom ERTMS met een beschrijving van de theoretische achtergrond en het kader waarin ERTMS moet worden gezien (Hoofdstuk 2). Dit deel is gebaseerd op literatuurstudie en aanwezige kennis van het onderzoeksteam.
- b. Een verkenning van de stand van zaken van ERTMS in Nederland en geselecteerde Europese landen die al besluiten over ERTMS migratie hebben genomen en een nadere beschouwing van de MKBA ERTMS van Decisio (Hoofdstuk 3). Dit deel is gebaseerd op interviews en brononderzoek (brieven, rapporten, wetenschappelijke en vakliteratuur).
- c. Een kwantificatie van de operationele baten en capaciteitseffecten van ERTMS middels een casus op de corridor Utrecht–Den Bosch, waar het huidige beveiligingssysteem wordt vergeleken met ERTMS voor zowel de huidige situatie als voor hoogfrequent spoor zoals gepland staat voor 2020 (PHS) (Hoofdstuk 4). Dit deel is uitgevoerd met de software tool ROMA dat aan de TU Delft is ontwikkeld.
- d. Een kwalitatieve beschouwing van de mogelijkheden (baten) van ERTMS voor het Nederlandse spoorsysteem (Hoofdstuk 5). Dit deel is gebaseerd op de resultaten van de andere hoofdstukken, literatuuronderzoek, en aanwezige kennis van het onderzoeksteam.
- e. Aanbevelingen voor een migratiestrategie in Nederland (Hoofdstuk 6). Dit onderdeel is gebaseerd op de resultaten van de verkenning van de stand der zaken in Nederland en de ervaringen in het buitenland.
- f. Ten slotte worden de onderzoeksvragen beantwoord en aanbevelingen gedaan op basis van de rest van het rapport (Hoofdstuk 7).

Een deel van dit rapport bestaat uit verslagen van interviews die soms hele paragrafen innemen. Voor het weergeven van de referenties is het volgende systeem gehanteerd:

- Een referentie midden in een zin slaat op de woorden direct voor de referentie.
- Een referentie aan het eind van de zin – voor de punt – slaat op de hele zin.
- Een referentie na een zin – na de punt – slaat op de hele alinea daarvoor, of tot aan een vorige alinea-referentie als er meerdere van deze referenties in een alinea staan. In het bijzonder slaat een referentie aan het eind van een alinea op de hele alinea daarvoor.

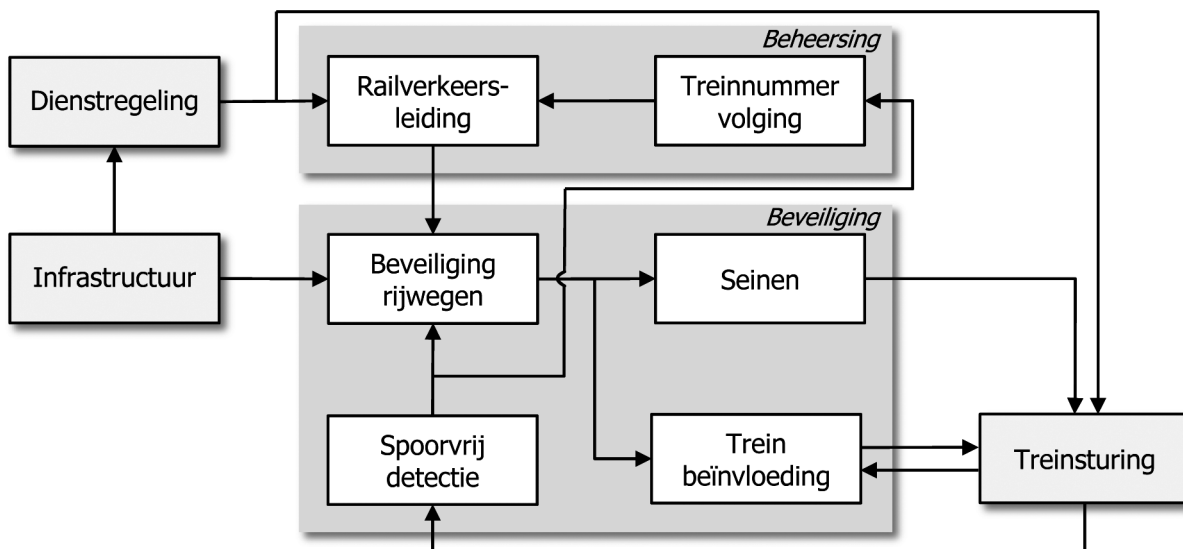
Alinea's zonder referenties geven de kennis en ervaring van het onderzoeksteam weer, die grotendeels is bevat in standaardliteratuur over railverkeerskunde (Hansen en Pacht, 2008), treinbeveiliging (Fenner e.a., 2003; Theeg en Vlasenko, 2009), ERTMS (Winter, 2009; Stanley, 2011) en systeemtechniek (Blanchard, 2008).

## 2 THEORETISCHE ACHTERGROND

### 2.1 Beveiliging en beheersing van railsystemen

De discussie rondom nut en noodzaak van ERTMS kan niet gevoerd worden zonder een goed kader waarin ERTMS te plaatsen valt. ERTMS is geen doel maar slechts een middel om veilig, effectief en efficiënt spoorvervoer mogelijk te maken. ERTMS definieert een standaard voor informatie- en communicatieoverdracht die geschikt is voor spoorbeveiligings- en beheersingssystemen. Figuur 1 toont een traditioneel railverkeerssysteem opgedeeld in diverse op elkaar inspelende componenten: de infrastructuur (sporen, wissels), dienstregeling, beveiliging, beheersing en treinsturing. Opvallend zijn de terugkoppelingen en redundante (parallele) lijnen in de beveiliging. De treinbeïnvloeding bewaakt continu de treinsturing en grijpt zo nodig in. Daarnaast valt op dat een directe verbinding tussen railverkeersmanagement en de treinen mist: een machinist rijdt primair op een tijdtabel (aankomst-, vertrek- en doorkomsttijden op stations) en de seinen (Van den Top, 2010). De railverkeersleiding, de beveiliging en het rijden van treinen gebeurt op operationeel niveau (real-time), terwijl de infrastructuur op strategisch niveau wordt bepaald (lange termijn: jaren vooraf) en de dienstregeling op tactisch niveau (korte termijn: een jaar tot een paar dagen vooraf).

**Figuur 1** Structuur van een railverkeerssysteem



De dienstregeling bepaalt het aanbod van treindiensten voor reizigers en verladers en de kwaliteit daarvan in termen van beloofde reistijd, wachttijd, frequentie en noodzaak van overstappen. De railverkeersleiding bewaakt de afwijkingen van de dienstregeling die ontstaan door afwijkende treinbewegingen (machinistgedrag, weersinvloeden, langere halteertijden, materieelstoring) en mindere beschikbaarheid van de infrastructuur (sein- en wisselstoringen, tijdelijke snelheidsbeperkingen) en stuurt zo mogelijk bij met het oog op de punctualiteit, betrouwbaarheid en doorstroming. De beveiliging en infrastructuur geven randvoorwaarden voor de dienstregeling, railverkeersleiding en treinsturing.

De dienstregeling moet zo goed mogelijk bij de marktwensen passen om een kwalitatief hoog openbaar vervoer te bieden. Als marktwensen kortere reistijden of hogere frequenties vereisen moet dat in de dienstre-

geling gerealiseerd worden onder de randvoorwaarden van de beveiliging, infrastructuur en de bijstuurbaarheid (reserves). Laten deze randvoorwaarden een gewenste verbetering van de dienstregeling en uitvoering niet meer toe dan moeten of concessies gedaan worden, zoals stoptreinen die alternerend een halte overslaan of intercity's die langzamer gaan rijden en extra haltes gaan aandoen, of de randvoorwaarden worden aangepast zodat het gewenste effect wordt verkregen. Extra infrastructuur bouwen is duur waardoor steeds meer oplossingen worden gezocht in beter benutten van de infrastructuur. De infrastructuurbenutting wordt in hoge mate beïnvloed door het toegepaste seinstelsel en het gedrag van de automatische treinbeïnvloeding zodat hier mogelijkheden voor capaciteitsverhoging liggen zonder dure nieuwbouw van extra sporen dat als laatste mogelijkheid voor capaciteitsverhoging geldt.

In de rest van dit hoofdstuk worden de diverse componenten van Figuur 1 en de interacties tussen de componenten nader uitgelegd met een focus op de beveiliging alsmede de verschillende invullingen van dit plaatje in Nederland. De innovatieve invloed van ERTMS op dit plaatje is significant, zie § 5.9.

### **2.1.1 Infrastructuur**

Op strategisch vlak wordt bepaald hoe de infrastructuur er uit ziet: op macroscopisch niveau worden stationslocaties bepaald en de spoorlijnen die de diverse stations verbinden. Op microscopisch niveau wordt bepaald hoeveel sporen een spoorlijn nodig heeft (enkelspoor, dubbelspoor, of meersporigheid), hoeveel perronsporen een station nodig heeft en hoe het sporenplan van een stationsemplacement ontworpen moet worden met verbindende wissels en sporen om van en naar baanvak- en perronsporen te kunnen komen. De infrazijdige spoorbeveiliging wordt meestal ook tot de infrastructuur gerekend maar in dit rapport wordt die als een aparte component gezien.

### **2.1.2 Dienstregeling**

Op basis van de infrastructuur en de wensen van reizigers en verladers wordt een dienstregeling ontworpen. Een dienstregeling geeft op macroscopisch niveau de aankomst-, vertrek-, en doorkomsttijden van alle treinen over de stations. Op microscopisch (intern) niveau bestaat een dienstregeling uit *treinpaden* (of tijdwegpaden) voor alle treinen, d.w.z. dat iedere trein een pad van achtereenvolgende rijwegen over de spoorweginfrastructuur krijgt toegewezen inclusief de tijden waarop de rijwegen exclusief voor die trein zijn gereserveerd. Hieruit volgt dat een dienstregeling conflictvrij moet zijn zodat iedere trein ongehinderd kan doorrijden als alle treinen hun geplande paden exact aanhouden. Uiteraard zit er enige bandbreedte rond de treinpaden zodat een kleine afwijking niet direct leidt tot een conflict met een andere trein. Bij knelpunten kan het handig zijn om de treinpaden nog niet helemaal van tevoren vast te leggen, zoals bij Schiphol. Macroscopisch liggen de aankomst- en vertrektijden op de stations dan wel vast (voor de reizigers) maar de toewijzing van de infrastructuur kan op het laatste moment plaats vinden op basis van de actuele treinposities. Ook hier is echter belangrijk dat een (korte-termijn) conflictvrij plan van treinpaden toegewezen wordt om te voorkomen dat een trein moet afremmen en eventueel zelfs stil moet staan voor een rood sein. Afremmen en stilstaan kost capaciteit wat zeker bij een knelpunt ongewenst is.

Bij ProRail en NS wordt getracht de dienstregeling conflictvrij te ontwerpen door het toepassen van normen voor opvolgtijden (de tijd tussen twee achtereenvolgende treinen) en overkruistijden (de tijd tussen twee kruisende treinbewegingen) die in de uitvoering door de beveiliging worden afgedwongen. In de praktijk kunnen deze normen echter te krap zijn of helemaal niet voldoen zodat de dienstregeling in feite niet conflictvrij is waardoor treinen moeten remmen en wachten voor seinen. Deze gehinderde treinen worden aldus vertraagd en bezetten de infrastructuur langer dan gepland waardoor ook andere treinen weer gehinderd kunnen worden met een domino-effect van volgvtragingen tot gevolg. Bovendien wordt de dienstregeling in Nederland ontworpen in minuten waardoor kostbare capaciteit verloren gaat of door afronding conflicterende rijwegen ontstaan. In het buitenland zoals Zwitserland en Duitsland wordt gebruik gemaakt van bloktijd diagrammen (zie Hoofdstuk 4) die het infrastructuurgebruik expliciet zichtbaar maken waardoor wel gegarandeerd conflictvrije dienstregelingen ontworpen kunnen worden (Hansen en Pachel, 2008). Hier wordt ook met een interne dienstregeling in seconden gewerkt waarbij de dienstregeling voor reizigers uiteraard gewoon afgerond is hele minuten. Werken met twee dienstregelingen waarbij de interne afwijkt van de gepubliceerde dienstregeling door een verdere opdeling van interne processen voorkomt ook conflicterende belangen bij het vertrekproces: de reiziger verwacht bij een geplande vertrektijd tot dat tijdstip ook in te kunnen stappen. De vervoerders willen de trein echter stipt op de geplande vertrektijd laten vertrekken waarvoor de machinist opdracht heeft het vertrekproces 20 seconden vóór de vertrektijd te beginnen (op het fluitje blazen) en de deuren te sluiten zo'n 10 seconden voor de vertrektijd waardoor de machinist inderdaad stipt kan vertrekken. De reizigers die nog net voor de gepubliceerde vertrektijd bij de trein komen hebben dan echter het nakijken en zijn *not amused*.

### **2.1.3 Beheersing**

Railverkeersbeheersing is er op gericht om de treinen conflictvrij en effectief over de infrastructuur te leiden. Als alle treinen volgens de dienstregeling rijden dan betekent dit slechts de taak om de rijwegen op tijd in te stellen volgens de dienstregeling. Dit wordt gedaan door *treindienstleiders* ondersteund door Automatische Rijweginstelling (ARI) en een treinnummervolgsysteem dat de treinposities over het netwerk volgt op basis van spoorvrijdetectie. Als treinen veel afwijken van hun pad dan kunnen ze andere treinen hinderen en moet de geplande tijdige toewijzing van rijwegen aan treinen wellicht worden herzien. Kleine afwijkingen kunnen worden afgehandeld door de treindienstleider of automatisch via ARI (bij bijvoorbeeld aanpassen van de volgorde waarop twee treinen een station binnenrijden). Grote vertragingen hebben impact op een groter gebied dan waar een treindienstleider zicht op heeft en deze worden afgehandeld door *verkeersleiders* in samenspraak met transportleiders van de regelcentra van de vervoerders die over de logistiek van treinmaterieel en -personeel gaan. In Nederland worden de aanpassingen op de dienstregeling door verkeersleiders niet getoetst op haalbaarheid en kunnen in de praktijk dus conflicterende treinpaden bevatten.

### **2.1.4 Beveiliging**

Spoorbeveiliging kan functioneel worden onderverdeeld in vier samenhangende onderdelen die gezamenlijk de treindienstuitvoering mogelijk maken en een hoog niveau van veiligheid garanderen (Fenner e.a., 2003):

- Spoorvrijdetectie: detectie van spoorbezetting en -vrijgave



- Interlocking of rijwegbeveiliging: sturing en beveiliging van rijwegen
- Signalering: informatieoverdracht van rijtoestemming aan machinist (*Movement Authority*)
- Treinbeïnvloeding: sturing en beveiliging van treinbewegingen.

Deze onderdelen hebben internationaal vele uitwerkingen en ook binnen Nederland zijn verschillende varianten aanwezig. De meest gebruikte vormen van spoorvrijdetectie zijn spoorstroomlopen en assentellers. Interlockings in Nederland zijn gebaseerd op relais of computertechniek (de zogenaamde relais- en elektronische interlockings), terwijl in het buitenland ook nog klassieke mechanische en elektromechanische interlockings voorkomen. Signalering gebeurt voor het grote deel met lichtseinen langs de baan zoals het Nederlandse NS'54 seinstelsel of met cabinesignalering in de trein, terwijl in het buitenland ook nog klassieke mechanische seinen gebruikt worden. Treinbeïnvloeding heeft internationaal veel verschillende uitwerkingen met uiteenlopende functionaliteiten. In Nederland zijn ATB-EG en ATB-NG (Automatische Treinbeïnvloeding – Eerste/Tweede Generatie) in gebruik, met recentelijk een aantal varianten hierop (ATB-vv, ATB-E). ETCS voorziet in zowel cabinesignalering als treinbeïnvloeding en is in gebruik op de nieuwere spoorlijnen (HSL-Zuid, Betuweroute). Duale signalering (*dual signalling*) van ETCS en NS'54/ATB-EG is geïmplementeerd op de corridor Amsterdam–Utrecht en de in aanbouw zijnde Hanzelijn; hier rijden treinen die niet voorzien zijn van ETCS onder NS'54/ATB-EG met maximaal 140 km/u en anders onder ETCS waarmee de treinen harder (160 c.q. 200 km/u) mogen rijden.

De functionaliteit van spoorvrijdetectie is het voorkomen van aanrijdingen die ontstaan door het instellen van rijwegen naar een bezet spoor. Spoorvrijdetectie is daarbij een eerste vereiste voor spoorvrij informatie en rijweginstelling.

Spoorbeveiliging wordt gerealiseerd door het spoor op te delen in *blokken* die bezet mogen worden door hooguit één trein. Blokken worden van elkaar gescheiden door (baangebonden of virtuele) seinen. De seinen geven aan of een blok vrij(gegeven) is of niet. De aansturing van de seinen wordt gedaan door het infrazijdige beveiligingssysteem. Hierin zijn twee verschillende systemen te onderscheiden: baanvakbeveiliging en emplacementsbeveiliging (of interlocking). Een baanvak is een stuk spoor tussen twee emplacements waar treinen alleen achter elkaar aan kunnen rijden. Wissels liggen per definitie op een emplacement. Een bezet blok wordt traditioneel aangegeven met een rood sein dat niet gepasseerd mag worden. Omdat treinen een lange remweg hebben wordt op minimaal de remwegafstand voorafgaand aan het stoptonende sein aangegeven dat een trein moet afremmen. Dit geeft op een baanvak de traditionele opvolging van een geel en rood sein. Een groen sein geeft aan dat de volgende twee blokken vrij zijn zodat een trein op volle snelheid mag doorrijden. Op een baanvak met *automatisch blokstelsel* reageren de seinen automatisch op de spoorvrijdetectie (spoorstroomlopen of assentellers) in de baan. Zodra een trein een bloksectie oprijdt wordt deze bezet gemeld en valt het voorliggende sein op rood. Als de trein een blok helemaal is uitgereden dan springt het sein voor dat blok van rood op geel ter waarschuwing dat een trein in het daaropvolgende blok zit. Als de trein ook dat blok uitrijdt dan springt het sein van geel op groen. Op een baanvak is een rijweg heel simpel: het stuk spoor tussen twee seinen. Baanvakbeveiliging kan gezien worden als een eenvoudige vorm van interlocking waarbij alleen beveiligd hoeft te worden tegen achteroprijden (treinseparatie) en frontaal botsen.

Op een emplacement is een rijweg ook een stuk spoor tussen twee seinen maar nu moet worden zeker gesteld dat er geen conflicterende rijwegen tegelijkertijd worden vrijgegeven. Op een emplacement zijn seinen daarom bediende seinen die worden aangestuurd door de emplacement-beveiliging. Een bediend sein reageert wel op de spoorvrijdetectie als een trein de ingestelde rijweg na het sein op rijdt; het sein valt dan op rood. Maar een bediend sein kan alleen vrijgegeven worden door de emplacement-beveiliging als voldaan wordt aan een aantal eisen: alle elementen van de rijweg (wissels en spoorsecties) zijn vrij en vastgezet in de goede positie, alle mogelijke conflicterende rijwegen zijn beveiligd door een rood sein, en alle flankerende wissels waarover een andere trein op de rijweg zou kunnen komen (bij negeren van een rood sein) zijn in een veilige stand gezet (flankbeveiliging). Vandaar dat een emplacement-beveiliging ook *interlocking* wordt genoemd: niet alleen worden wissels op de rijweg vastgelegd maar ook wissels en seinen van flankerende c.q. conflicterende rijwegen. Een bediend sein wordt dus niet automatisch vrijgegeven als de trein de ingestelde rijweg helemaal heeft verlaten maar het blijft rood totdat een nieuwe rijweg wordt vrijgegeven door de interlocking. Een rood sein betekent dus dat er geen rijweg is vrijgegeven en beschermt ook eventuele conflicterende rijwegen die wel zijn vrijgegeven. De functionaliteiten van een interlocking zijn op te sommen als (1) aansturing en bewaking van de wissels; (2) vergrendel wissels voor rijwegen; (3) vergrendel rijwegen tegen conflicterende rijwegen; en (4) stuur de seininformatie naar de seinen. Dit geldt voor zowel emplacementen als baanvakken waarbij de blokken op de vrije banen per definitie geen wissels bevatten.

Passeren van een stoptonend sein (STS) op een baanvak betekent gevaar dat de trein achterop een voor hem rijdende trein botst. Een STS-passage op een emplacement kan gevaar betekenen dat de trein op een voor hem rijdende trein botst, tegen een kruisende trein aanbotst, en/of een wissel die niet in de goede positie ligt stuk rijdt. Om een STS-passage te voorkomen zijn treinen voorzien van *automatische treinbeïnvloeding* (ATB). Als een machinist niet tijdig reageert op een remopdracht dan grijpt de automatische treinbeïnvloeding in en volgt een snelremming tot stilstand. Merk op dat de ingreep moet plaats vinden op remafstand vóór het stoptonende sein en niet bij passage van het rode sein zelf want dan is het al te laat. Voor het functioneren van de automatische treinbeïnvloeding is dus informatie van de baan nodig die overeen komt met de seinen die de machinist volgt. Hiervoor zijn verschillende mogelijkheden: bakens tussen de rails (puntsgewijze datacommunicatie), of een code in de spoorstroomlopen of een radiosignaal «direct» vanuit de interlocking (continue datacommunicatie).

### **2.1.5 Treinsturing**

De treinbestuurder probeert met snelheidssturing zo goed mogelijk volgens de dienstregeling te rijden gebruik makend van de door de interlocking ingestelde rijwegen, waarbij de snelheidsopdrachten van de seinen opgevolgd moet worden wat bewaakt wordt door de automatische treinbeïnvloeding. Een treinbestuurder is meestal een machinist maar kan ook een automaat zijn zoals bij automatische metro's. De dienstregelingsinformatie die de machinist tot zijn beschikking heeft loopt internationaal uiteen van zeer gedetailleerd tot zeer summier. Voorbeelden van het eerste zijn het Japanse Navi-systeem dat de rijtijd, afstand, actuele rijtijdspeling en toegestane snelheidsprofiel tot het volgende doorkomstpunt geeft alsmede de actuele positie en snelheid waarmee de

machinist genoeg informatie heeft om de treinsnelheid zo te sturen dat de trein op elke plek precies op tijd aanwezig is (Hofstra, 2010, pp. 14–15), en het Duitse ESF EBUa (*Energiesparende Fahrweise Elektronischer Buchfahrplan und Langsamfahrstellen*) dat o.a. dienstregelingsinformatie, actuele treinpositie, afwijking van de dienstregeling, energiegebruik en snelheidsadviezen toont (Albrecht, 2008). Een voorbeeld van summere informatie is Nederland waar de machinist alleen een (elektronisch) dienstkaartje heeft met daarop de tijdtabel van aankomst-, vertrek- en doorkomsttijden op dienstregelpunten (stations, haltes, spooransluitingen) afgerond op minuten (NSR, 2011). In Nederland worden aanpassingen in de dienstregeling door de verkeersleiding of treindienstleiders niet (automatisch) doorgegeven. Dit leidt vaak tot conflicten met de daarbij behorende verträgen en energieverlies (Van den Top, 2010).

## 2.2 De benuttingsbalans

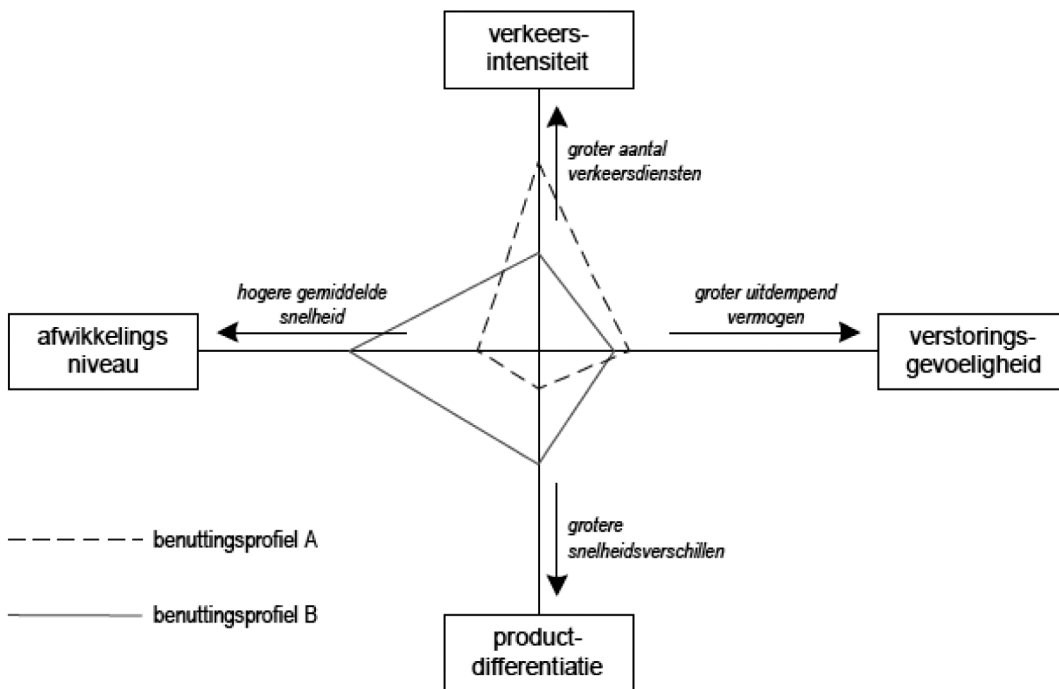
De keuze van het beveiligingssysteem heeft behalve de directe invloed op de treinsturing ook indirecte gevolgen voor het ontwerp van infrastructuur, dienstregeling en railverkeersmanagement zoals al genoemd. De capaciteit van baanvakken en emplacementen hangt in eerste instantie af van het sporenplan. Vervolgens bepaalt het ontwerp en de techniek van het beveiligingssysteem in hoge mate hoe intens het spoornetwerk gebruikt kan worden. Met name de karakteristieken van het seinstelsel en de automatische treinbeïnvloeding bepalen de dimensionering en effectiviteit van de blokken (seinafstanden). Onder ETCS kunnen treinen elkaar sneller volgen of overkruisen doordat ETCS «uitgesteld remmen» mogelijk maakt. Deze Nederlandse term is ontstaan door het feit dat een trein onder ATB-EG moet beginnen met remmen bij een (geel) sein. Als de trein materieel-specifieke remcurvebewaking heeft zoals bij ETCS dan hoeft pas geremd worden op het moment dat dat daadwerkelijk nodig is vlak voor het einde van de rijtoestemming. Doordat de remindicatie los staat van de blokgrens zijn ook korte blokken mogelijk waardoor treinen sneller blokken vrijgeven met als gevolg kortere opvolgtijden. Korte minimum opvolgtijden (en overkruistijden voor kruisende rijwegen) zorgen ervoor dat treinen kort achter elkaar een station in en uit kunnen rijden. Dit maakt ook korte inhalingen mogelijk waarbij een stilstaande trein nauwelijks langer hoeft te wachten dan de halteertijd voor het uit- en instappen van reizigers.

De kwaliteit van de dienstregeling heeft direct gevolgen voor het railverkeersmanagement en de treinsturing. Met name krappe dienstregelingen en conflicterende geplande treinpaden zorgen voor veel ingrijpen van railverkeersmanagement en treinsturing met een domino-effect van volgvertragingen. De dienstregeling moet niet alleen conflictvrij zijn maar ook genoeg reserves bevatten in de vorm van rijtijdtoeslagen en buffertijden tussen treinpaden om een betrouwbare uitvoering mogelijk te maken (Goverde, 2010). Hoe korter de minimum opvolgtijden en overkruistijden tussen treinen des te meer reserve ontstaat bij een gelijkblijvende dienstregeling. Snelheidsverschillen tussen verschillende treintypen (de heterogeniteit) verminderen de capaciteit doordat rijtijdverschil deel gaat uitmaken van de minimum opvolgtijden. Ook hogere snelheden hebben een negatief effect op capaciteit doordat de remafstand kwadratisch toeneemt met de snelheid.

De infrastructuurcapaciteit kan op verschillende manieren gebruikt worden waarbij keuzes gemaakt moeten worden in vier onafhankelijke richtingen: verkeersintensiteit (aantal treinen), differentiatie of heterogeniteit

(snelheidsverschillen), ontwikkelingsniveau (gemiddelde snelheid) en verstorings-gevoeligheid (uitdempend vermogen). De benuttingsbalans (Schaafsma, 2001; UIC, 2004) geeft dit visueel goed weer, zie Figuur 2. De punten op de assen geven aan hoeveel van de capaciteitsbenutting aan de verschillende benuttingsaspecten is toebedeeld. De theoretische capaciteit is het maximum aantal treinen dat over de gegeven infrastructuur kan rijden, zeg rond 30 treinen per uur. In dat geval staat de verkeersafwikkeling op de gemiddelde maximale snelheid binnen de mogelijkheden van het beveiligingssysteem (snelheden zodanig dat de remwegen inclusief marges gelijk zijn aan de bloklengten), de intensiteit op maximaal en het uitdempingsvermogen en de heterogeniteit op nul. De lengte van het touwtje dat de punten op de vier assen met elkaar verbindt geeft deze capaciteit weer. Bij een metrobedrijf (benuttingsprofiel A in Figuur 1) is de intensiteit erg hoog (hoogfrequent, zeg 20 treinen per uur) en de differentiatie van de metrodiensten erg laag (homogeen). De restcapaciteit is verdeeld over een hoge gemiddelde snelheid versus verstoringsgevoeligheid (door rijtijdtoeslagen en buffertijden gaat de gemiddelde snelheid omlaag). Bij een gemengd bedrijf (benuttingsprofiel B) op dezelfde infrastructuur met meerdere treinsoorten (sprinters en intercity's) is de differentiatie hoog en vanwege de intercity's is een hoge gemiddelde snelheid gewenst. Gecombineerd met een redelijk dempend vermogen leidt dit tot een vrij lage intensiteit, zeg (ter indicatie) 4 à 6 treinen per uur.

**Figuur 2 De benuttingsbalans (Schaafsma, 2001)**



Om de intensiteit op te hogen moeten concessies gedaan worden zoals een lagere heterogeniteit (homogeniseren van de rijkaracteristieken en snelheid van stoptreinen en intercity's), een lagere gemiddelde snelheid of een lagere stabiliteit (minder marges). Om één of meer benuttingsaspecten te verbeteren zonder een ander aspect te verminderen moet de infrastructuur (inclusief beveiligingssysteem) worden aangepast. Migreren van het NS'54/ATB-EG seinstelsel naar ETCS geeft een grotere capaciteit, zie Hoofdstuk 4, waardoor het touwtje langer wordt en er ruimte voor verbeteringen vrij komt. Integrale spoorverdubbeling geeft

nog veel meer capaciteit en dus een nog langer touwtje. De capaciteitsverhoging kan worden benut voor een verhoogde intensiteit. Bijvoorbeeld op de PHS corridor Utrecht–Den Bosch wordt de intensiteit van 10 treinen (4 IC's, 4 sprinters, 2 goederentreinen) verhoogd naar 14 treinen (6 IC, 6 Spr, 2 G) per uur. Afhankelijk van de mate van de capaciteitsverhoging kan bij gelijkblijvende storingsgevoeligheid (normen voor rijtjedoelagen en baanvakbelasting) het afwikkelingsniveau en de heterogeniteit gelijk blijven dan wel ook iets verbeteren of iets moeten verminderen.

Het verlengen van het touwtje (verhogen capaciteit) kost investeringen en hoe langer het touwtje wordt hoe groter de investeringen. Integrale viersporigheid Utrecht–Den Bosch geeft een heel lang touwtje doordat IC's een eigen spoor kunnen krijgen. Voor de PHS variant met verhoogde intensiteit tot 14 treinen per uur maakt dat ook een hogere differentiatie en verkeersafwikkeling mogelijk maar tegen een zeer hoge prijs. Met andere middelen (zoals ETCS) kan ook voldaan worden aan de gewenste intensiteit maar wellicht ten koste van de differentiatie en/of het afwikkelingsniveau. Er kunnen dan additionele infrastructuurmaatregelen genomen worden (kleine infrastructuurmaatregelen zoals een extra inhaalbaarheid) of een vermindering van de andere aspecten kan worden geaccepteerd (verlagen differentiatie door maar één goederentrein per uur toe te laten). Welke keuzes worden gedaan hangt af van het budget en de gewenste waarde van de vier benuttingsaspecten.

### 2.3 Treinbeveiliging in Nederland

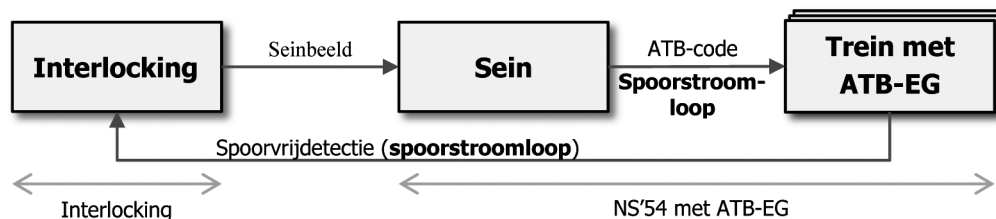
In Nederland zijn verschillende beveiligingsinstallaties geïmplementeerd. Op het overgrote deel van het spoornet is het NS'54 lichtseinstelsel geïnstalleerd aangevuld op het hoofdnet met ATB-EG en op de meeste regionale lijnen ATB-NG. ETCS L2 is geïnstalleerd op de vrij recent gebouwde HSL-Zuid en de Betuweroute. Op de HSL-Zuid is ook ETCS L1 geïnstalleerd dat gebruikt wordt als terugvaloptie voor ETCS L2. Bij het ontwerp is ervoor gekozen dat de twee ETCS levels niet tegelijkertijd gebruikt kunnen worden: de baan wordt of in ETCS L1 gezet of in L2, waarbij onder L1 niet harder dan 160 km/u gereden mag worden. Deze instelling is wel gescheiden voor de HSL noordsectie tussen Amsterdam en Rotterdam en de HSL zuidsectie tussen Rotterdam en Breda/Belgische grens. Op de spoorlijn Amsterdam–Utrecht is een duale signalering van NS'54/ATB-EG en ETCS L2 geïmplementeerd dat in december 2010 is opgeleverd en nog getest wordt. Op de nieuwbouw van de Hanzelijn wordt ook zowel NS'54/ATB-EG als ETCS L2 geïmplementeerd. De bedoeling is dat treinen met ETCS L2 aan boord op deze twee corridors 160 km/u (c.q. 200 km/u op de Hanzelijn) mogen rijden, terwijl treinen met alleen ATB-EG aan boord maximaal 140 km/u mogen rijden.

#### 2.3.1 Het bestaande NS'54 seinstelsel met ATB-EG

Figuur 3 toont een schematische weergave van de huidige situatie op het grootste deel van het hoofdnetwerk in Nederland, zie Appendix C. De interlockings sturen de wissels en seinen aan en zorgen voor de veilige instelling en vergrendeling van rijwegen over wissels en spoorsecties. Als een rijweg is ingesteld kan het sein aan het begin van de rijweg worden vrijgegeven. Het sein toont dan toestemming om door te rijden aan de machinist. Zolang een rijweg niet is vrijgegeven staat het voorliggende sein op rood en mag een trein niet passeren. In Nederland is het seinstelsel NS'54 geïmplementeerd dat via lichtseinen snelheidsopdrachten aan machinisten geeft zodanig dat treinen altijd op tijd kunnen

remmen vóór een rood sein (Bailey, 1995; Middelraad, 2000). De seinbeelden van NS'54 liggen wettelijk vast in Bijlage 4 van de Regeling Spoorverkeer. NS'54 maakt gebruik van vaste blokken waarbij de lengte van een blok minimaal gelijk is aan de wettelijke maximum remweg plus een toeslag voor de reactietijd van de machinist. De maximum remweg hangt af van de snelheid waarmee een trein het blok inrijdt en licht wettelijk vast in Artikel 8 van de Regeling Spoorverkeer. Deze maximum remwegen zijn gebaseerd op de slechtst remmende (goederen) trein die immers ook tot stilstand moet kunnen komen. Bij een normaal blok wordt de maximum remweg gehanteerd corresponderend met de baanvak-snelheid. Voor 140 km/u is dat bijvoorbeeld 1 150 meter, inclusief toeslag komt dat op 1 370 meter.

**Figuur 3 Interface tussen interlocking en NS'54 seinstelsel met AB-EG**



Nabij stations kunnen ook *korte blokken* voorkomen die korter zijn dan de remweg zodat treinen elkaar korter kunnen volgen. In dat geval wordt met snelheidssignalering al een sein (of meer) eerder opdracht gegeven om snelheid te minderen zodat de trein met lagere snelheid het korte blok inrijdt en dan wel op tijd kan remmen. Een snelheidsopdracht wordt aangegeven met een cijfer onder het lichtsein dat de toegestane snelheid aangeeft in tientallen. In bijvoorbeeld een blok van 800 meter kan een trein die harder rijdt dan 80 km/u mogelijk niet voldoende afremmen. Als het sein aan het eind van dit korte blok op rood staat, dan staat het sein ervoor op geel en het sein daarvoor op «geel 8». Een machinist ziet dan achtereenvolgens «geel 8» waarna hij afremt tot 80 km/u, vervolgens «geel» waarna hij vanaf 80 km/u verder afremt tot 40 km/u, en dan het rode sein waarvoor hij stopt.

Om fouten van machinisten op te vangen is op de treinen automatische treinbeïnvloeding (ATB) geïnstalleerd. Op het Nederlandse hoofdnets is dat ATB-Eerste Generatie (ATB-EG) dat de snelheid en remopdrachten bewaakt voor grove snelheidsstappen (40, 60, 80, 130, 140 km/u). Als een machinist niet voldoende remt na een remopdracht dan waarschuwt ATB-EG en als vervolgens nog niet wordt gereageerd volgt een snelremming tot stilstand. Hierbij is in het ontwerp aangenomen dat een machinist onder 40 km/u op zicht rijdt zodat een remming onder 40 km/u niet wordt bewaakt. Recent is ATB-vv (Verbeterde Versie) ingevoerd dat onder 40 km/u wel ingrijpt als een trein te snel op een rood sein afrijdt. Hiervoor moeten wel extra bakens voor een sein worden neergelegd.

Figuur 3 laat ook de interfaces zien tussen de drie onderdelen interlocking-seinen-treinbeïnvloeding. De interlocking is direct verbonden met de seinen langs de baan, terwijl het treingebonden ATB-EG continu informatie van de baan krijgt via een code in de spoorstroomlopen. De bewaakte snelheid wordt door de ATB-EG mens-machine interface (MMI) ook in de cabine aan de machinist getoond. Omdat ATB-EG alleen grove snelheidsstappen bewaakt kunnen deze echter hoger zijn dan de daadwerkelijke toegestane snelheid (bijvoorbeeld bij 100 km/u toont ATB-EG 130 km/u). Als het volgende seinbeeld verbetert (bijvoorbeeld van

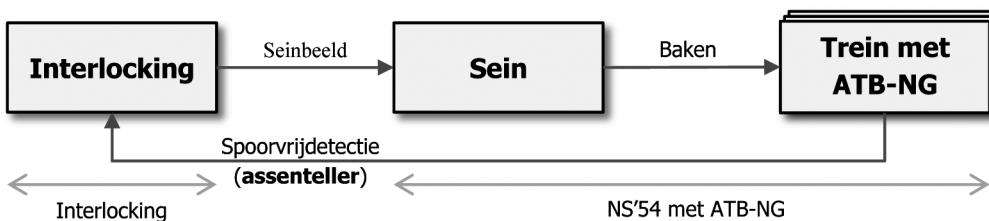
rood naar groen) dan wordt dat ook gelijk via de mens-machine interface aan de machinist getoond die daarop direct mag versnellen. De spoorstroomlopen zorgen ook voor de spoorvrijdetectie waardoor de interlocking weet dat spoorsecties vrij zijn. De «interface» van de seinen naar de trein gaat via de ogen van de machinist (niet getekend).

ATB-EG kan ook gebruikt worden door een trein met ETCS en een STM-ATB (Specific Transmission Module-ATB) aan boord. De snelheidsstappen worden dan via de ETCS cabinesignalerling aan de machinist getoond.

### 2.3.2 Het bestaande NS'54 seinstelsel met ATB-NG

Op de meeste regionale lijnen in Nederland is het NS'54 seinstelsel geïnstalleerd met ATB-Nieuwe Generatie (ATB-NG) dat is ontwikkeld begin jaren negentig (Van Leur, 1994). In het bijzonder is ATB-NG geïnstalleerd op niet-geëlektrificeerde spoorlijnen en lijnen waar lichte (lightrail) treinen rijden. In het eerste geval is ATB-EG niet mogelijk, en in het tweede geval zijn er detectieproblemen met de spoorstroomlopen zodat ATB-EG niet (veilig) gebruikt kan worden. Figuur 4 geeft een schematische weergave. Het seinstelsel is precies hetzelfde als met ATB-EG, alleen de treinbeïnvloeding is anders. ATB-NG bewaakt alle snelheden in stappen van 10 km/u inclusief 0 km/u en heeft een treinafhankelijke *remcurvebewaking*. De ATB-NG boordcomputer berekent op basis van de bekende treinspecifieke massa en remkarakteristiek een remcurve in het snelheids-weg domein tot aan de nieuwe doelsnelheid of het rode sein. Als de snelheid van de trein boven de remcurve uitkomt dan volgt een waarschuwing en zo nodig een remingreep tot stilstand. In principe hoeft een trein met ATB-NG pas te beginnen met remmen vlak voordat de remcurve is bereikt, het zogenoemde uitgesteld remmen, en dat kan ver na het gele sein zijn. Dit was in Nederland (aanvankelijk) echter niet toegestaan: net als met ATB-EG moet een machinist beginnen met remmen direct na passage van het sein. Hierdoor is het gedrag van de machinist bij ieder sein onafhankelijk van het geldende ATB systeem hetzelfde. Een uitzondering is de spoorlijn Gouda-Alphen aan den Rijn waar uitgesteld remmen wel is toegestaan vanwege capaciteitsproblemen. Dezelfde redenering zou ook bij veel enkelsporige baanvakken kunnen worden gehouden.

Figuur 4 Interface tussen interlocking en NS'54 seinstelsel met AB-NG



ATB-NG werkt op basis van puntsgewijze datacommunicatie via bakens tussen de rails die de afstand tot het eerstvolgende sein aan de trein doorgeven samen met de maximum snelheid op dat punt. Een eventuele verbetering van het volgende sein wordt pas opgepikt bij het volgende baken zodat een machinist niet mag versnellen totdat de nieuwe informatie is ingelezen. De spoorvrijdetectie gebeurt met assentellers. Een trein met ATB-NG aan boord kan ook rijden op spoorlijnen met ATB-EG, d.w.z. treinen met ATB-NG hebben ook ATB-EG aan boord. Een trein met ATB-NG schakelt automatisch over ATB-NG als die aanwezig is. Op het

spoor Gouda–Alphen aan den Rijn ligt zowel ATB-EG (met gecodeerde spoorstroomlopen) als ATB-NG (met bakens). ATB-NG wordt hier gebruikt door het lightrail materieel en ATB-EG door het overige materieel. Treinen met alleen ATB-EG aan boord kunnen niet op ATB-NG spoor rijden, NS heeft dan ook twee deelparken van treinen met ATB-EG voor het hoofdspoor en (diesel) treinen met ATB-NG die overal kunnen rijden maar voornamelijk op de regionale lijnen worden ingezet. Treinen met ETCS en een STM-ATB kunnen vooralsnog niet op ATB-NG spoor kunnen rijden. Het wachten is op de levering van specificaties van de leverancier van ATB-NG (Alstom) zodat andere leveranciers deze ook kunnen verwerken in een STM-ATB die geschikt is voor zowel ATB-EG als ATB-NG. De STM-ATB van Alstom is overigens gebaseerd op ATB-NG zodat deze wel gebruikt kan worden voor ATB-NG trajecten als in de trein de af luisterapparatuur van de ATB-NG bakens is geïnstalleerd.

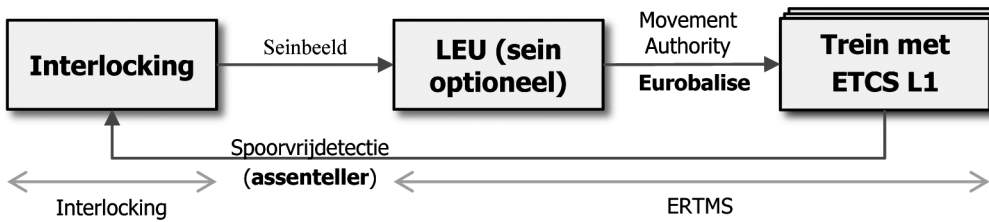
### **2.3.3 ETCS Level 1**

Figuur 5 geeft de situatie weer voor ETCS Level 1 (ETCS L1). Hier berekent een LEU (Lineside Electronic Unit) de rijtoestemming (Movement Authority) en geeft deze samen met een spoorbeschrijving (statisch snelheidsprofiel tot aan het einde van de rijtoestemming) via een Eurobalise door aan de trein. De Eurobalise liggen bij een blokgrens waar (optioneel) ook een baangebonden sein kan staan. De interlocking kan op twee manieren informatie doorgeven aan de LEU: via een directe interface of via de baanseinen. In het laatste geval wordt het seinbeeld van het lichtsein afgetapt en aan de LEU doorgegeven, bijvoorbeeld door een bypass van de stroomcircuits van iedere lamp en de stroomvoorziening. In dit geval liggen de LEU's gedecentraliseerd aan de baan en is geen interface nodig met de interlocking waardoor bestaande interlockings niet aangepast hoeven te worden (tenzij extra functionaliteiten gewenst zijn zoals meer informatie over de ingestelde rijweg). Bij een directe koppeling van de interlocking met de LEU's staan de LEU's gecentraliseerd in een kast in het seinhuis naast de interlocking. Volgens een recente wijziging van de Nederlandse spoorwegwet (V&W, 2010a) mogen treinen rijdend onder ETCS vertrouwen op de ETCS cabinesignalering en de seinen langs de baan negeren met uitzondering van een stoptonend sein. Dergelijke gebruiksvoorschriften zijn nationaal bepaald. Spoorvrijdetectie gebeurt met assentellers of spoorstroomlopen.

De Movement Authority geeft aan tot waar de trein toestemming heeft om te rijden. De ETCS boordcomputer berekent een dynamisch snelheidsprofiel op basis van de binnenkomende gegevens, de huidige snelheid en de remkarakteristiek van de trein waarbij rekening wordt gehouden met de snelheidsrestricties op alle locaties verderop tot aan het einde van de Movement Authority. Het dynamisch snelheidsprofiel omvat de remcurve aan het einde van de Movement Authority waar de trein onder moet blijven. Bij iedere blokgrens volgt een nieuwe Movement Authority. De rijtoestemming en het dynamisch snelheidsprofiel worden in de trein aan de machinist getoond met ETCS cabinesignalering. Daarnaast bewaakt ETCS het dynamisch snelheidsprofiel, d.w.z. dat de trein niet alleen de remcurve bewaakt maar ook de toegestane snelheid op iedere locatie. Als de machinist de berekende snelheidscurve overschrijdt dan volgt een waarschuwing en als daarop niet wordt gereageerd grijpt ETCS in met een gedwongen remming tot stilstand. Merk op dat een trein onder ETCS niet direct hoeft te remmen bij het binnenrijden van een blok zoals bij NS'54/ATB-EG, maar pas vlak voor de berekende remcurve die afhangt van de actuele snelheid en de materieelspecifieke remkarakteristiek.



**Figuur 5 Interface tussen interlocking en ETCS L1**

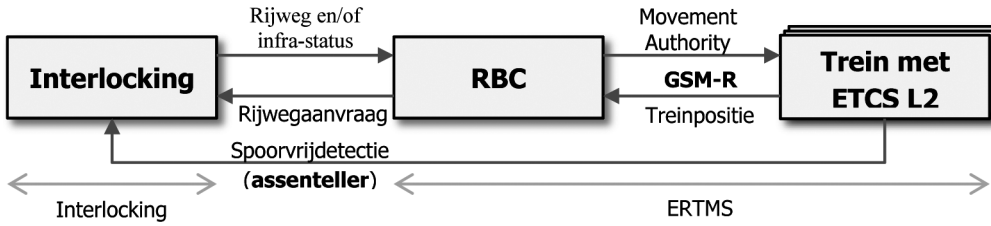


Bij ETCS L1 is de communicatie van baan naar trein puntsgewijs via de balises, d.w.z. dat tussen twee balises geen update op een rijtoestemming gegeven kan worden. Als een trein het eind van een Movement Authority nadert dan moet hij voor de balise bij de blokgrens tot stilstand komen. Als er geen baangebonden seinen worden gebruikt dan worden de blokgrenzen aangegeven met een Stopmerkbord (SMB). Als er een nieuwe Movement Authority is dan moet de trein langzaam oprijden over de balise om de nieuwe rijtoestemming en bijbehorende data te ontvangen. Hiervoor moet de machinist dan wel een teken krijgen dat er een nieuwe rijtoestemming is. Dit kan op drie manieren geïmplementeerd worden: via een normaal baangebonden, een witte lamp onder het stopmerkbord dat brandt als er een nieuwe Movement Authority is (zoals op de HSL-Zuid en de hogesnelheidslijnen met ETCS L1 in België), of een *infill* via Euroloop of GSM-R radio. In het laatste geval is er continue data transmissie vlak voor een blokgrens via een lus in het spoor (zoals bij gecodeerde spoorstroomlopen) of via radio zodat een nieuwe Movement Authority direct wordt doorgegeven aan de trein. Merk op dat de architectuur van ETCS L1 en ATB-NG erg op elkaar lijkt en beide remcurve- en snelheidsbewaking hebben.

### 2.3.4 ETCS Level 2

Figuur 6 toont de situatie voor ETCS Level 2 (ETCS L2). De interlocking geeft hier de ingestelde rijwegen en/of de status van de infrastructuurelementen (wissels en seinen) door aan het RBC (Radio Block Centre). Het RBC berekent de Movement Authorities voor de treinen die via een GSM-R radioverbinding samen met de relevante spoorgegevens worden doorgegeven aan de ETCS L2 boordcomputer. Het RBC kan snelheidsrestricties bij wissels exact leggen voor het begin van het wissel. Deze functionaliteit kan de infrastructuurcapaciteit vergroten vergeleken met het leggen van snelheidsrestricties bij het voorliggende sein dat enkele honderden meters kan schelen. Net als bij ETCS L1 berekent en bewaakt de boordcomputer het dynamisch snelheidsprofiel. Anders dan bij ETCS L1 is er nu echter sprake van tweeweg communicatie. De trein geeft continu zijn positie door aan het RBC en kan via het RBC een nieuwe rijweg aanvragen bij de interlocking. Ook kan het RBC continu een nieuwe Movement Authority doorgeven of een Movement Authority (deels) intrekken. De interlocking krijgt spoorvrijdetectie van assentellers of spoorstroomlopen en kan op basis hiervan ook rijwegen instellen via bijvoorbeeld de automatische rijweginstelling (ARI). In het spoor liggen nog wel vaste Eurobalises die coördinaten doorgeven voor de ijking van de treinpositie. Bij ETCS L2 zijn seinen of stopmerkborden niet meer nodig. Bij de blokgrenzen staan «virtuele seinen» die in de cabinesignalering worden getoond. Dit geeft een enorme vrijheid aan de projectering van blokgrenzen op de infrastructuur omdat waarneembaarheidseisen van de baangebonden lichtseinen vervallen. Hiermee kunnen significante capaciteitswinsten behaald worden, zie § 5.4.

**Figuur 6 Interface tussen interlocking en ETCS L2**

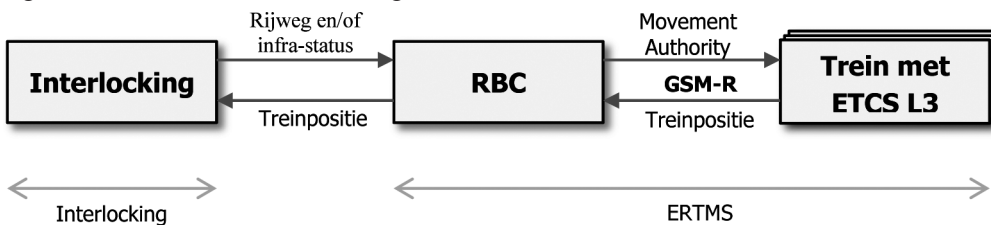


Uit Figuur 6 valt op te maken dat ETCS L2 op de trein gekoppeld is aan de interlockings via een RBC. Een RBC staat naast de interlockingskasten in een seinhuis en is daaraan gekoppeld via een vaste interface.

### 2.3.5 ETCS Level 3

ETCS Level 3 (L3) is nog niet leverbaar en bestaat in Nederland dan ook nog niet alhoewel het wel wordt genoemd als het ideale eindplaatje (ProRail, 2006b). Voor de volledigheid geeft Figuur 7 de situatie van ETCS L3 weer. De situatie wijkt van ETCS L2 af doordat de baangebonden spoorvrijdetectie is vervallen. De treinen bewaken nu zelf hun integriteit (volledigheid) en geven hun voor en eindpositie door aan de RBC die ze weer doorgeeft aan de interlocking. Een indeling van het spoor in discrete vaste blokken is nu niet meer nodig: iedere trein kan nu worden gezien als een «bewegend blok» die zijn positie continu doorgeeft aan de interlocking. De interlocking kan nu rijwegen instellen tot vlak voor de achterkant van de trein. De treinen kunnen dan dus op remwegafstand van elkaar rijden (plus een veiligheidsmarge). Dit is vergelijkbaar met ETCS L2 met oneindig korte blokken. Op emplacementen moet ook rekening gehouden worden met rijweginstelling inclusief vrijkomen en omleggen van wissels. De baanvakbenutting van ETCS L3 is daarom vergelijkbaar met ETCS L2 met geoptimaliseerde blokken op emplacementen.

**Figuur 7 Interface tussen interlocking en ETCS L3**



Voor een infrastructuurmanager is ETCS L3 het ideaalbeeld omdat baanapparatuur als seinen en spoorvrijdetectie niet meer nodig is waardoor een grote kostenpost van aanleg en onderhoud vervalt. In de baan liggen nog wel (passieve) Eurobalises die alleen vaste coördinaten doorgeven voor de herijking van de treinposities. Het bewaken van de integriteit is voor losse locomotieven en moderne treinstellen geen probleem, maar nog wel voor treinen die bestaan uit een locomotief met wagons zoals goederentreinen en locomotief-getrokken reizigerstreinen.

### 2.3.6 Gemengd seinstelsel NS'54/ATB-EG met ETCS Level 2 overlay

Voor de transitieperiode van NS'54/ATB-EG naar ERTMS is het onoverkomelijk dat sommige spoorlijnen dubbel worden uitgevoerd zodat zowel treinen met alleen ATB-EG aan boord als ETCS treinen gemengd over de

infrastructuur kunnen rijden in afwachting van de uitrusting van voldoende treinen naar ETCS. Een overlay van ETCS Level 1 op het seinstelsel NS'54 is betrekkelijk eenvoudig te realiseren als de LEU's worden aangesloten op de baansein. Voor meer functionaliteiten zoals informatie over de ingestelde rijweg achter het sein moeten de LEU's aangesloten worden op de interlocking. Bij een ETCS Level 2 overlay moet de interlocking worden aangesloten op zowel de gecentraliseerde RBC's als de decentrale baansein wat in feite inhoudt dat twee architectuur-technisch compleet verschillende seinstelsels volledig naast elkaar worden geïnstalleerd met als extra eis dat ze veilig samen moeten werken.

Op Amsterdam–Utrecht is een ETCS L2 overlay over NS'54/ATB-EG ontwikkeld en geïnstalleerd. Het betreft hier geen duale signalering waarbij twee treinbeïnvloedingssystemen onafhankelijk van elkaar opereren maar een gemengde vorm waarbij ETCS L2 past binnen de regels van NS'54/ATB-EG. Merk op dat ETCS L2 een volledig (cabine)seinstelsel is en niet slechts treinbeïnvloeding. In het bijzonder moeten ETCS L2 treinen rode lichtseinen van het NS'54 seinstelsel respecteren: elk einde van een ETCS L2 rijtoestemming correspondeert met een baansein (Zweers e.a., 2011). Een treindienstleider of ARI vraagt een rijweg aan zonder te moeten weten of die voor een ETCS of ATB-EG trein is. De interlocking stelt de rijweg in en meldt de ingestelde rijweg aan de RBC. Het RBC checkt of een ETCS trein aan de rijweg toegewezen kan worden en als dit zo is informeert het de interlocking en stuurt een rijwegtoestemming naar de trein. Als de interlocking geen terugmelding van het RBC krijgt wordt het relevante NS'54 lichtseinbeeld getoond en de ATB-code door de spoorstroomloop gezonden. Aanvankelijk zou bij terugmelding van het RBC alle baansein over de rijwegen tot aan het einde van de rijtoestemming gedoofd worden en daarvoor in de plaats een ERTMS sein getoond worden bestaande uit een witte verticale balk ten teken dat de ETCS cabinesignalering gevolgd moest worden (Ahlqvist en Hering, 2007). Een vereiste was echter dat falen van het witte licht geen consequenties mocht hebben voor de verkeersafwikkeling. Daarom is voor een andere optie gekozen: de conventionele sein blijven altijd getoond en in een wetswijziging werd vastgelegd dat een ETCS trein de lichtseinen mag negeren, op een rood sein na (V&W, 2010a). Uiteraard moet worden voorkomen dat een ETCS L2 trein een rijwegtoestemming en een ATB trein een conflicterende rijweg toegewezen krijgt via twee aparte wegen – ETCS cabinesignalering en NS'54 lichtseinen. Hiervoor wordt de Conditional Emergency Stop (ECS) functionaliteit van ETCS Baseline 2.3.0.d gebruikt (Zweers e.a., 2011). In feite is er een nieuw beveiligingssysteem ETCS L2/NS'54 ATB-EG met elektronische interlockings ontworpen waarbij ETCS L2 in dienst staat van ATB-EG. Dit is gepaard gegaan met hoge ontwikkelingskosten en vergaande restricties van de ETCS L2 functionaliteiten. De ETCS L2 overlay erft hier alle beperkende voorwaarden van het NS'54/ATB-EG systeem. Op de Hanzelijn wordt door een andere leverancier ook zowel NS'54/ATB-EG als ETCS Level 2 geïnstalleerd. Hiervoor is hetzelfde beveiligingsprincipe gehanteerd als op Amsterdam–Utrecht.

In andere landen is gekozen voor andere uitwerkingen bij dubbele systemen in de infrastructuur. Allereerst ligt het meer voor de hand om ETCS L1 te installeren naast een lichtseinstelsel als NS'54 omdat beide decentrale systemen zijn met gedistribueerde informatievoorziening langs de baan (sein, LEU's). Daarnaast mogen in (sommige) andere landen infrazijdige lichtseinen niet zomaar genegeerd worden: die moeten door

de interlocking gedoofd zijn voor ETCS treinen zodat machinisten geen tegenstrijdige (veiligheidskritische) informatie moeten verwerken (en op een andere locatie waar geen ETCS ligt ook per abuis lichtseinen negeren). Het doven van baanseinen betekent ook dat rode baanseinen niet meer leidend zijn voor cabinesignalering waardoor voor treinen met ETCS Level 2 capaciteitsverhoging gerealiseerd kan worden door een flexibele projectering van blokgrenzen («virtuele seinen»), zie § 5.4. In Duitsland is strijdige informatie van baanseinen en cabinesignalering momenteel onder discussie en dit zal er waarschijnlijk toe leiden dat de discrepantie niet geaccepteerd zal worden door de Eisenbahn-Bundesamt (EBA, de Duitse spoorwegautoriteit). Dat betekent dat lichtseinen gedoofd moeten worden, zoals in de jaren 1970 is gedaan bij de Duitse cabinesignalering LZB op de hogesnelheidslijn Würzburg-Fulda. Elektronische interlockings zijn voorbereid om lichtseinen te doven (donker i.p.v. licht) zodat een RBC informatie naar de interlocking kan sturen om dit commando uit te voeren. Niet alle relaisbeveiligingen kunnen dit zodat hier de snelheidsrestricties van ETCS gelijk moeten zijn aan die getoond door de baanseinen. Relaisinterlockings kunnen ook relatief eenvoudig aangepast worden.

### **2.3.7 ETCS L1 Limited Supervision en ERTMS Regional**

ETCS L1 Limited Supervision (LS) is geen volwaardige ERTMS applicatie, maar in Zwitserland ontwikkeld voor een snelle transitie naar ETCS interoperabiliteit waarbij de oude seinen en treinbeïnvloeding gehandhaafd blijft voor de rijtoestemming en bewaking (Mense en Feldt, 2010). Hierbij worden Eurobalises en Euroloops gebruikt voor de datacommunicatie naar het nationale treinbeïnvloedingssysteem (Signum/ZUB in Zwitserland) door gebruik te maken van het nationale ETCS datatelegram pakket 44. Dit pakket 44 verwijst naar een vrij veld (veld nr. 44) in de ETCS datatelegrammen van Eurobalises/Euroloops. ETCS L1 LS is geen cabinesignalering aangezien er geen rijtoestemmingen gegenereerd worden; de Driver Machine Interface (DMI) laat alleen de huidige snelheid zien. De machinist moet blijven rijden op de baanseinen ondersteund door het nationale treinbeïnvloedingssysteem. ETCS L1 LS geeft dus geen verbeteringen in capaciteit of machinistondersteuning. Alleen de maximum baanvaknsnelheid (nationale waarde) wordt bewaakt en de noodreminterventie werkt op de achtergrond als de trein met te grote snelheid op een rood sein afrijdt (Eichenberger, 2007). ETCS L1 LS maakt het dus mogelijk dat met de oude treinbeïnvloeding op ETCS (LS) infrastructuur kan worden gereden (zonder de normale voordelen van ETCS en met een extra programmering van de pakket 44 datatelegrammen). Hiervoor is dan wel nodig dat de boordapparatuur wordt voorzien van ETCS inclusief een interface voor de vertaling van het pakket 44 informatie naar de nationale treinbeïnvloeding. In zekere zin is dit een alternatief voor de installatie van ETCS met een STM voor de nationale treinbeïnvloeding. De specificaties van ETCS LS zullen onderdeel uitmaken van de toekomstige ERTMS Baseline 3.0.0.

ERTMS Regional is een volledig nieuw concept voor treinbeveiliging waarbij interlocking, RBC en verkeersmanagementsysteem (TMS, traffic management system) zijn geïntegreerd in een TCC (Traffic Control Centre) (UIC, 2008b; Winter, 2009, § 5.6.1). Alle communicatie met baanelementen en treinen vindt plaats via GSM-R radio. Hiervoor is bij ieder stuurbaar infrastructuurelement (wissels, spoorwegovergangen, beweegbare bruggen) een «Object controller» geïnstalleerd die via een tweezijdige GSM-R in verbinding staat met de TCC. Een verkeersleider kan de wissels

e.d. op afstand bedienen via de object controller en de TCC. Infrastructuurtechnisch is ERTMS Regional een ETCS L3 toepassing met vaste blokken en een radiogebaseerde interlocking waarbij (passieve) Eurobalises en stopmerkborden de blokgrenzen aangeven. De treinen zijn voorzien van standaard ETCS L3 apparatuur, d.w.z. dat ze beschikken over GSM-R en zodra dit beschikbaar komt een treinintegriteit managementsysteem (TIMS). Een TIMS is niet nodig voor vaste treinen bestaande uit één treinstel of locomotief maar voor gekoppelde treinen moet een TIMS garanderen dat de trein volledig is. Aangezien een TIMS nog niet beschikbaar is wordt voorlopig nog gebruik gemaakt van operationele procedures die moeten garanderen dat een spoor vrij is. Dit werkt alleen bij simpele spoorlijnen met lage frequenties, zoals enkelsporige lijnen met eenvoudige dubbelsporige stations. Sein en spoorvrijdetectie zijn geminimaliseerd. Bij storing is er geen terugvaloptie behalve regels en handmatige procedures. Grotere stations met «complexe» verkeerssituaties worden niet ondersteund.

ERTMS Regional is volop in ontwikkeling in Zweden voor lange enkelsporige regionale spoorlijnen met laagfrequent treinverkeer waar nu geen automatische treinbeïnvloeding is. Sinds 2010 is ERTMS Regional operationeel op de Zweedse pilotlijn Malung–Repbäcken. De specificaties van ERTMS Regional zullen onderdeel uitmaken van de toekomstige ERTMS Baseline 3.0.0.

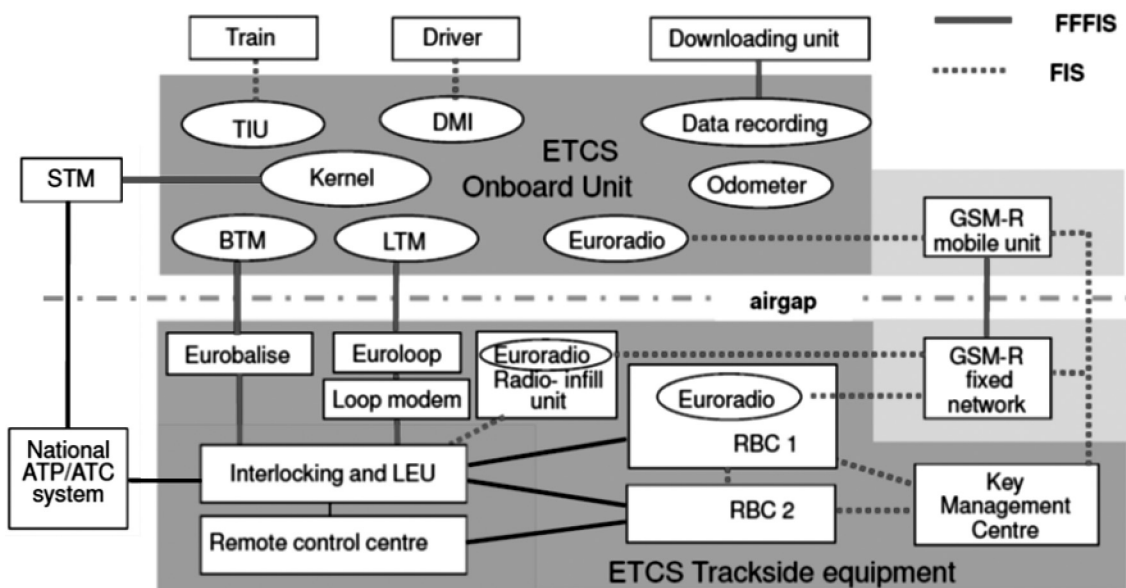
#### **2.4 Interoperabiliteit en interfaces**

De kern van ERTMS is standaardisatie en interoperabiliteit zodat een trein met ETCS boordapparatuur van een willekeurige leverancier kan rijden over (internationale) infrastructuur met ERTMS baanapparatuur geleverd door ook weer een willekeurige leverancier. Treinen hoeven dan niet meer bij de grens stil te staan voor een locomotiefwisseling, internationale spoorvervoerders kunnen overal in de EU komen zonder meervoudige beveiligingsapparatuur van ieder land afzonderlijk aan boord, en treinmaterieel kan over alle EU lidstaten uitgewisseld worden zonder dure ombouw van beveiligingsapparatuur. Daarnaast ontstaat er schaalvergroting en marktwerking in de levering van baan- en boordapparatuur zodat prijzen omlaag gaan. Voor de industrie heeft één gestandaardiseerd beveiligingssysteem voor de hele EU (en daarbuiten) ook enorme voordelen omdat het in de lucht houden van een groot scala aan nationale systemen grote kosten met zich mee brengt voor het actueel houden van niche kennis, een productielijn en een voorraad van onderdelen voor onderhoud, wijziging en vervanging. De schaalvoordelen en state-of-the-art status van ERTMS hebben ook geleid dat niet alleen in heel Europa ERTMS wordt ingevoerd maar ook daarbuiten. In Europa wordt ERTMS niet alleen geïmplementeerd in de 25 EU lidstaten met spoorwegen (de eilandstaten Malta en Cyprus hebben geen spoorvervoer meer) maar ook in andere Europese landen als Zwitserland, Noorwegen, Servië en Turkije. Buiten Europa worden ook steeds meer spoorbeveiligingssystemen ontwikkeld en geïmplementeerd op basis van de ERTMS specificaties, inclusief Noord Afrika (Algerije, Marokko), het Midden-Oosten (Saudi-Arabië), Azië (China, India, Taiwan, Zuid-Korea) en Midden-Amerika (Mexico) (Winter, 2009).

Technisch bestaat ERTMS uit een hoeveelheid componenten die met elkaar verbonden zijn via interfaces (Stanley, 2011). De verschillende leveranciers hebben de vrijheid om zelf de componenten te ontwerpen binnen de ERTMS specificaties die zijn ontwikkeld voor de interfaces.

Daarbij kunnen ze hun eigen kennis, ervaring en creativiteit kwijt om tot de beste oplossingen te komen. De componenten kunnen worden gezien als zwarte dozen waarvan de in- en uitvoer met elkaar communiceren via interfaces. Een minimum aantal van die interfaces zijn gestandaardiseerd, zie Figuur 8. Van de gespecificeerde interfaces zijn twee soorten te onderscheiden: Functionele interfacespecificaties (FIS) en *Form Fit Functionele interfacespecificaties* (FFFIS). In het laatste geval ligt alles vast tot en met het protocol en de gegevensuitwisseling waarmee componenten van verschillende leveranciers onderling uitwisselbaar zijn. Vanwege de ETCS interoperabiliteitseisen is dit het geval voor de baan-trein interfaces: in het bijzonder de LEU met de Eurobalise, de Eurobalise met de boordontvanger (BTM of LTM, Balise/Loop Transmission Module), en de communicatie tussen een nationaal STM met de ETCS rekenkern. Bij FIS liggen echter alleen de functionele specificaties vast, d.w.z. de logische gegevensoverdracht. Dit is bijvoorbeeld het geval bij de GSM-R interfaces en de trein interface (TIU) waarover de ETCS boordapparatuur toegang heeft tot het rem- en tractiesysteem van de trein. Die laatste interface hangt af van de interfaces van bestaand treinmaterieel en is typisch maatwerk. Aanvankelijk bestond er geen FFFIS voor communicatie tussen RBC's onderling wat al snel een probleem gaf vanwege de variëteit in oplossingen ontwikkeld door de verschillende leveranciers, bijvoorbeeld bij de Nederlands-Belgische grens op de HSL-Zuid waar de twee RBC's aan beide kanten van een andere leverancier waren. Daarop is ook een vaste specificatie voor een RBC-RBC interface ontwikkeld (vanaf ETCS Baseline 2.3.0).

**Figuur 8 Functionele structuur van ETCS en diens omgeving (Winter, 2009)**



Er zijn echter ook een aantal interfaces tussen ETCS componenten waar helemaal geen specificaties voor zijn. Dit betreft met name de interface tussen een interlocking en RBC en de interfaces tussen de verschillende onderdelen van de ETCS boordapparatuur. Interlockings zijn niet gestandaardiseerd en verschillen tussen landen door historisch gegroeide nationale regels. Aansluiten van een RBC aan een interlocking is dan ook maatwerk. Leveranciers van zowel (elektronische) interlockings als RBC's hebben wel standaard interfaces ontwikkeld tussen de eigen producten, maar infrastructuurmanagers willen vrij kunnen kiezen tussen leveranciers

van zowel een nieuwe interlocking als een RBC. Voor interlockings betekent dit kostbaar ontwikkelwerk voor iedere leverancier afzonderlijk zodat infrastructuurmanagers op kosten worden gejaagd. Binnen ERTMS wordt wel gewerkt aan geharmoniseerde specificaties en ontwerp van interlockings (EuroInterlocking van 1999–2008; INESS, Integrated European Signalling System vanaf 2007) die compatibel zijn met ERTMS, maar dit wordt erg bemoeilijkt doordat de wettelijke kaders, regels en voorschriften per land zoveel verschillen (Winter, 2009). Het gemis van interface specificaties voor interlocking-RBC interfaces vormt een groot knelpunt in de migratie van conventionele beveiligingssystemen naar met name ETCS L2. Bij migratie van conventionele beveiligingssystemen met baansein naar ETCS L1 speelt dit minder als LEU's worden aangesloten op de baansein. Als hierdoor de blokken van ETCS L1 gelijk blijven aan die van de oorspronkelijke baansein dan heeft dit wel restrictieve gevolgen voor de capaciteit.

De interfaces tussen de verschillende onderdelen van de ETCS boordapparatuur (de rekenkern, de transmissie- en radiomodules, de odometrie module die de verplaatsing en snelheid schat, de DMI en de juridische data recorder) zijn ook niet gespecificeerd. Voor de boordapparatuur lijkt het in eerste instantie voor de hand te liggen dat alle componenten worden geleverd door één leverancier zodat alles netjes op elkaar aansluit. Treinmaatschappijen hebben dan echter geen vrijheid meer in het kiezen van meerdere leveranciers voor hun treinen. Deelparken van treinen met boordapparatuur van verschillende leveranciers betekent dat onderhoud, wijzigingen en vervanging door meerdere leveranciers moet worden gedaan en dat gedurende de hele levensduur niet van leverancier kan worden gewisseld. Bovendien verminderen de schaalvoordelen van aanschaf van uniforme apparatuur voor de hele vloot. Het gemis van interface specificaties tussen de componenten van ETCS boordapparatuur vormt een groot knelpunt voor de ombouw van materieel naar ETCS. Daarom heeft een aantal Europese spoorwegmaatschappijen inclusief NS recentelijk de handen ineen geslagen voor de ontwikkeling van «plug-and-play» componenten voor ETCS boordapparatuur onder de naam *openETCS*, zie § 3.2.3.

Een interlocking is geen onderdeel van ERTMS en er zijn ook geen verplichte interface specificaties gedefinieerd tussen een interlocking en een RBC. Het type interface hangt daarom af van een aantal factoren zoals nationale regels, de leveranciers van de interlocking en het RBC, en de beschikbaarheid van interfaces in het RBC en de interlocking subsystemen. Het laatste is met name van belang voor bestaande operationele interlockings. ERTMS kan worden aangesloten op de conventionele (relais) interlockings, alhoewel daarvoor wel een interface moet worden ontwikkeld. Dit betekent dat voor ERTMS een bestaande interlocking niet per se hoeft te worden vervangen door een moderne elektronische interlocking. De ontwikkelingskosten van bijvoorbeeld een specifieke relaisinterlocking-RBC moeten wel worden vergeleken met vervanging door een nieuwe interlocking. Een nieuwe interlocking kan ook nieuwe functionaliteiten bieden toegespitst op ERTMS. De ontwikkeling van een interface die toegepast kan worden op een veel voorkomend type (relais of elektronische) interlocking is voordeliger dan voor een maatwerk interlocking waarvan er maar één bestaat omdat de ontwikkelingskosten dan verdeeld kunnen worden over het aantal interlockings waarbij het gebruikt wordt, of in een andere constructie: de ontwikkelingskosten worden eenmalig betaald bij het eerste project en is dan vervolgens beschikbaar bij ieder volgend project. Merk op dat bij ETCS L1 de LEU's

ook gekoppeld kunnen worden aan de baansein en niet per se direct gekoppeld hoeven te worden aan de interlocking.

In Nederland worden alle interlockings bediend vanuit VPT, een uniforme bedienlaag over alle beheerssystemen en interlockings. Om nieuwe interlockings te integreren in de bestaande architectuur moeten daarom ook interfaces worden ontwikkeld tussen interlockings en VPT (Van Gerrevink, 2008; Zweers e.a., 2011).

## 2.5 Railverkeersleiding

Railverkeersleiding is typisch hiërarchisch georganiseerd (Theeg en Vlasenko, 2009) en zo ook in Nederland. In Nederland zijn momenteel drie lagen te onderscheiden, zie Figuur 9. Treindienstleiders zijn verantwoordelijk voor het tijdig instellen van de rijwegen over emplacementen waarbij zij de interlockings bedienen via aanpassing van het procesplan rijwegen en ondersteund door de automatische rijweginstelling ARI. Ze monitoren daarbij het railverkeer in treindienstleidingsgebieden bestaande uit een aantal stations en de tussenliggende baanvakken. Kleine vertragingen lossen zij op middels voorafgesproken Treindienstafhandelingsdocumenten (TAD's) waarin regels staan voor vertraagde treinseries of specifieke treinummers. Grotere vertragingen en verstoringen geven zij door aan Verkeersleiders. Verkeersleiders monitoren over meerdere treindienstleidingsgebieden heen en nemen maatregelen bij grotere vertragingen en versperringen volgens voorafgesproken versperringsmaatregelen in samenspraak met de transportleiders van de regelcentra van de vervoerders die de logistiek van het rijdend materieel en personeel kloppend houden. De aangepaste dienstregeling geven zij weer door aan de treindienstleiders die het procesplan rijwegen daarop aanpassen. Op het hoogste niveau staat sinds kort het Operationeel Controle Centrum Rail (OCCR)<sup>1</sup> waar ProRail en vervoerders samen zitten en dat in actie komt bij calamiteiten en grotere verstoringen (OCCR, 2011). Het OCCR kan vergaande maatregelen nemen zoals de nooddienstregelingen met pendels na een weeralarm. De treindienstleiders en verkeersleiders zitten verdeeld over 13 verkeersleidingsposten over het land en het OCCR staat centraal in verbindingen met al die posten.

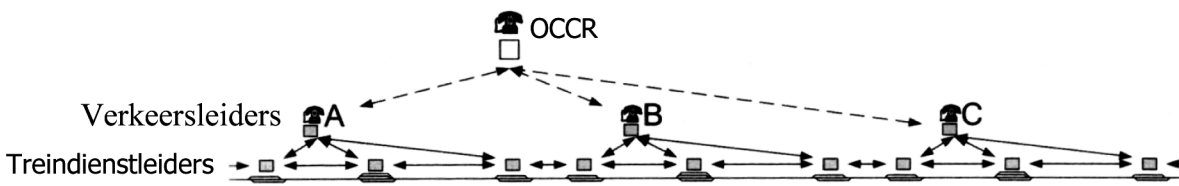
De verkeersleiding (incl. treindienstleiders en OCCR) maakt gebruik van VPT (Vervoer per trein). VPT is een communicatie- en informatiesysteem voor de planning en operationele beheersing van het railverkeer (Prins, 1998). Het bevat meerdere onderdelen waarvan VPT-Planning en VPT-Procesleiding het meest in het oog springen. VPT-Planning ondersteunt het ontwerp van de dienstregeling en de toedeling van de infracapaciteit, zowel de basisuurpatronen, het jaarplan (van het vroegere spoorboekje) en het dagplan met een 24 uren toedeling van treinen aan rijwegen in het zogenaamde Procesplan Rijwegen. Deze functionaliteiten worden binnenkort overgenomen door de nieuw ontwikkelde toepassing DONNA<sup>2</sup>. VPT-Procesleiding is een geïntegreerde interface boven de interlockings (van verschillende typen die allen op dezelfde manier worden bediend vanuit VPT) en wordt gebruikt door de treindienstleiders en verkeersleiders. VPT stamt uit begin jaren negentig en wordt intussen gemoderniseerd (BSL, 2008). Het is echter een weinig flexibel systeem en met name bij verstoringen biedt het te weinig functionaliteiten om snel en effectief te reageren. Recentelijk zijn er ideeën over een vereenvoudiging van de bijsturing, zie § 3.2.5.

<sup>1</sup> Zie <http://www.occr.nl/>.

<sup>2</sup> Zie <http://www.prorail.nl/Vervoerders/Capaciteit%20treinpaden/Donna/>.



**Figuur 9 Hiërarchie binnen de operationele railverkeersleiding**



Een voorbeeld van een moderne verkeersleidingsarchitectuur is het Zwitserse RCS (Rail Control System) ontwikkeld tussen 2005–2009 en operationeel vanaf april 2009. Het RCS heeft een aantal moderne functionaliteiten die voor een druk gebruikt spoor essentieel zijn: online dienstregelingsmanagement; netwerkwijde voorspelling van alle treindoorkomsten bij ieder sein en stations op basis van de actuele treinposities, het actuele procesplan rijwegen en een railverkeersmodel; automatische conflictdetectie; interactieve ondersteuning voor conflictoplossing; automatische conflictoplossing; en automatisch generatie van bedienopdracht op basis van de conflictoplossing (Völcker, 2010). VPT bevat geen enkele van deze functionaliteiten. Bovendien worden in Zwitserland dienstregelingen conflictvrij op rijwegniveau ontworpen terwijl het procesplan rijwegen in VPT niet getoetst is en kan worden op rijwegconflicten (behalve op normtijden). Voor de planning en operationele beheersing kan Zwitserland nog steeds als voorbeeld dienen.

## 2.6 Conclusies

De capaciteit van een gegeven infrastructuur en dienstregeling wordt verdeeld over vier verschillende benuttingsaspecten zoals weergegeven in de benuttingsbalans: de verkeersintensiteit, de heterogeniteit van het treinverkeer, de gemiddelde snelheid en het uitdempingsvermogen. Verbeteren van het ene aspect gaat ten koste van één of meer andere aspecten. De capaciteit kan verhoogd worden door aanpassing van de infrastructuur of dienstregeling, maar ook door het ontwerp en de techniek van de beveiliging.

ERTMS biedt een modern cabinesignaleringsysteem waarbij seinen langs de baan overbodig worden en de boordapparatuur in de trein op de hoogte is van hoe ver de trein mag doorrijden en waar snelheidsrestricties op de gegeven rijweg zijn. De boordapparatuur berekent en bewaakt een gedetailleerd dynamisch snelheidsprofiel, geeft de machinist gedetailleerde informatie hierover en grijpt zo nodig in als de machinist boven het berekende snelheidsprofiel uitkomt en niet reageert op de waarschuwingen. Met ERTMS zijn stoptonendsein (STS) passages daarom verleden tijd, kan iedere snelheden nauwkeurig bewaakt worden, en hoeft pas op het allerlaatste moment geremd afhankelijk van de actuele snelheid en de individuele materieelremkarakteristieken. Dit geldt voor alle ERTMS Levels. De verschillende levels geven aan hoe de baan-trein communicatie verloopt. Bij ERTMS Level 1 gaat de veiligheidscommunicatie puntsgewijs van baan naar trein via Eurobalises die tussen het spoor liggen. De positie van de trein wordt gedetecteerd met spoorvrijdetectie in de baan. Bij ERTMS Level 2 gaat de communicatie continu via GSM-R radio met een gecentraliseerd RBC die in verbinding staat met de interlocking. De GSM-R veiligheidscommunicatie is tweezijdig zodat de trein ook veilig de treinpositie aan de RBC door kan geven. Evengoed is hier ook nog spoorvrijdetectie nodig zodat de interlocking zeker weet dat spoorsecties vrij of bezet zijn. De reden hiervoor is dat niet gegarandeerd is dat een

trein volledig is, oftewel dat een treinstel of wagon is achter gebleven op een spoorsectie. Dit is het verschil met ERTMS Level 3 waar deze integriteitscheck wel failsafe wordt uitgevoerd. ERTMS Level 3 is echter nog niet beschikbaar.

ERTMS kan worden gecombineerd met een ander beveiligingssysteem zoals NS'54 met ATB-EG, waarbij ERTMS en ATB-EG treinen gemengd over het spoor kunnen rijden. Dit is met name relevant bij een transitiefase waar de infrastructuur voorzien wordt van ERTMS maar waar de treinen nog niet allemaal voorzien zijn van ERTMS. Voor deze duale signalering moeten wel concessies worden gedaan omdat de ERTMS cabinesignalering hogere snelheden kan toestaan dan de NS'54 baansein en in Nederland is in de wet vastgelegd dat een trein die onder ERTMS rijdt gele baansein mag negeren. Voor een rood baansein geldt dit niet waardoor de grotere flexibiliteit van de ERTMS «virtuele sein» aan banden is gelegd.

De centrale gedachte achter ERTMS is standaardisatie en interoperabiliteit van de baan-trein interface. Echter niet alle interfaces tussen subsystemen zijn (nog) formeel gespecificeerd, zoals tussen de verschillende onderdelen van de boordapparatuur en tussen interlockings en LEU (ETCS L1) of RBC (ETCS L2). Hierdoor ontwikkelen leveranciers ieder hun eigen oplossing die onderling niet uitwisselbaar zijn. Interlockings zijn erg landspecifiek vanwege historisch gegroeide nationale voorschriften, regels en gebruiken waardoor standaardisatie van interfaces tussen interlockings met RBC en LEU, en integratie in de verkeersleidingsarchitectuur, een nationale zaak is. Om te voorkomen dat diverse leveranciers verschillende incompatibele interfaces ontwikkelen voor een veelvoud aan ontwikkelingskosten kan de infrastructuurmanager diverse strategieën toepassen: landelijk aanbesteden van ERTMS in de infrastructuur aan één leverancier of eventueel aan twee leveranciers als de migratie onderverdeeld wordt in gebieden met respectievelijk ETCS L1 en ETCS L2. Een andere optie is om de diverse leveranciers te laten samenwerken om tot één landelijke standaard te komen. De boordapparatuur kan op de trein interface unit (TIU) na internationaal gestandaardiseerd worden zodat uitwisselbare plug-en-play onderdelen ontstaan onafhankelijk van de leverancier. Hiervoor hebben diverse spoorwegondernemingen, waaronder NS, zich verenigd in het openETCS project.

### 3 HUIDIGE STAND VAN ZAKEN ROND ERTMS

#### 3.1 Nederlandse ERTMS geschiedenis

Spoorvervoer is een veilige en schone vervoerswijze maar blijft in Europa qua marktaandeel achter bij het weg- en luchtvervoer. Om de spoorwegen te revitaliseren heeft de Europese Commissie een pakket aan maatregelen ontwikkeld met de bedoeling het langeafstandswegvervoer en het kortereafstandsluchtvervoer over te hevelen naar het spoor (EC, 2003a). Essentieel daarbij is dat de Europese lappendeken van regionale en nationale vervoersnetwerken omgevormd worden tot een goed geïntegreerd geheel. De Europese Gemeenschap heeft daarom het initiatief genomen voor het ERTMS-programma (European Rail Traffic Management System) met als drie hoofdstromen de standaardisering van besturing en seingeving (ERTMS/ETCS: European Traffic Control Systems), telecommunicatie (GSM-R) en railverkeersmanagement (ERTMS/ETML: European Traffic Management Layer). Doel is een bijdrage te leveren aan de vorming van een werkelijk geïntegreerd Europees spoorwegnet dat als platform kan dienen voor nieuwe producten en diensten die kunnen voldoen aan de immer groeiende verwachtingen van de consument, met name verwachtingen die tot op heden genegeerd zijn (EC, 2003b). De ERTMS standaard werd in eerste instantie ontwikkeld voor het Europese hogesnelheidsnetwerk en vervolgens voor het conventioneel spoor met als eerste prioriteit zes internationale goederencorridors waaronder Rotterdam–Genua waar de Betuweroute deel van uitmaakt. In 2007 moest iedere EU lidstaat een nationaal ERTMS implementatieplan indienen.

In Nederland is ERTMS rond de eeuwwisseling geïntroduceerd op een drietal nieuwbouw trajecten: de HSL-Zuid, de Betuweroute en bij de spoorverdubbeling van Amsterdam–Utrecht. In juli 2007 stuurt ProRail het rapport Implementatiestrategie ERTMS (ProRail, 2006b) voor het Nederlandse conventioneel spoor als plan van de spoorsector naar het Ministerie van Verkeer & Waterstaat (V&W). De bijgevoegde brief geeft als één van de aanleidingen om snel een besluit over ERTMS te willen maken dat het ATB-systeem zowel economisch als technisch aan vervanging toe is (ProRail e.a., 2007a). Het plan ambieert ETCS L3 als vervanger maar aangezien de ontwikkeling hiervan voorlopig is uitgesteld (op een regionale versie na) wordt ETCS L2 als voorkeur genoemd, met in de toekomst een eventuele snelle migratie naar Level 3. Het implementatieplan beoogt om het materieel al tussen 2009–2012 te voorzien van ETCS inclusief een STM-ATB voor de transitieperiode voor zolang er geen ETCS beschikbaar is waarna vanaf 2012 de infrastructuur voorzien wordt van ETCS L2 via natuurlijke vervanging. Het plan geeft aan dat zo snel mogelijk moet worden begonnen met voorbereidingen voor landelijke implementatie en dat acties noodzakelijk zijn om de business case te verbeteren. In augustus volgt een audit op het implementatieplan door Booz Allen Hamilton (2007) uitgevoerd in opdracht van ProRail (2007b), dat alle hoofdconclusies van de implementatiestrategie bevestigt. In september volgt een second opinion van Arcadis (2007) in opdracht van V&W dat echter veel hogere kosten schat voor ETCS, met name door ontwikkelkosten voor ETCS L2 wat is gebaseerd op ervaring met de corridor Amsterdam–Utrecht, alhoewel daar duale signalering is geïnstalleerd met veel bijkomende ontwikkelingskosten die niet nodig zijn als alleen ETCS L2 wordt aangelegd. Arcadis adviseert om niet grootschalig te investeren in ETCS L2 (of L1) maar terughoudend te zijn totdat alle onzekerheden en risico's van ETCS L2 weggenomen zijn of ETCS L3

beschikbaar komt. Alle bovenstaande stukken worden in september 2007 naar de Tweede Kamer gestuurd met een begeleidende brief van de minister over de stand van zaken (V&W, 2007). Gezien de onzekerheden stuurt de minister van V&W het implementatieplan als concept naar de Europese Commissie en geeft aan dat hij met de EC en de andere Europese lidstaten wilt praten om van elkaar te leren en de «best practices» te verkennen.

In juli 2008 stuurt de minister van V&W een brief naar de Tweede Kamer over de voortgang van ERTMS (V&W, 2008a). Hierin is te lezen dat V&W samen met de spoorsector een gefaseerde implementatiestrategie is overeengekomen, waarbij eerst het baanvak Amsterdam–Utrecht wordt voorzien van ERTMS en ook ERTMS op de Hanzelijn wordt aangelegd. In september 2008 voorziet de minister dat de spoorsector een uitgewerkt plan van aanpak voor Amsterdam–Utrecht beschikbaar heeft en afspraken gemaakt kunnen worden over de financiering daarvan, waarbij het EU-regime van 50% subsidie als uitgangspunt dient. Het ERTMS implementatieplan van de spoorsector zou voor eind 2010 geëvalueerd worden op basis van de praktijkervaringen opgedaan bij de HSL-Zuid, de Betuweroute, Amsterdam–Utrecht, de Hanzelijn en het Mistral vervangingsprogramma van beveiligingssysteem. In december 2008 volgt een brief van de minister van V&W aan de Tweede Kamer met een update over ERTMS (V&W, 2008b). Hierin is te lezen dat NS 100% subsidie van de overheid verlangt voor de inbouw van ETCS in het materieel, terwijl de V&W niet meer dan het gebruikelijke EU-regime van 50% wilt bijdragen. Deze patstelling zorgt voor uitstel van de voorkeur implementatiestrategie waarbij eerst al het materieel wordt omgebouwd alvorens te beginnen met installatie van ERTMS in de infrastructuur. V&W besluit daarom een MKBA te laten uitvoeren over de doelmatigheid van de voorgestelde implementatiestrategie en de rechtvaardiging van een hogere overheidsbijdrage dan 50%.

In januari 2010 volgt een ERTMS maatschappelijke kosten-baten analyse (MKBA) door Decisio in opdracht van V&W (Decisio, 2010). Decisio heeft hier naast ERTMS ook expliciet de kosten van interlockings meegenomen zodat het ministerie een idee zou krijgen over de totale vernieuwingskosten van het Mistral vervangingsprogramma in samenhang met ERTMS. Decisio concludeert dat er nog veel kennislacunes en onzekerheden rond de ERTMS implementatiestrategieën zijn en in het bijzonder de aansluiting op Mistral, de migratie van ATB-EG naar ERTMS en de kostenontwikkelingen van ERTMS. Decisio hanteert een puur economische aanpak en komt voor de verschillende varianten afhankelijk van de aannames waarmee wordt gerekend uit op licht positief tot ruim negatief met een grote bandbreedte. Aanbevolen wordt om specifieke knelpuntanalyses te doen om de mogelijkheden van ERTMS in kaart te brengen. Een aantal van die analyses staan in Appendix G van het Decisio (2010) rapport. Rond dezelfde tijd komt ProRail met een rapport waarin het bestaande NS'54/ATB-EG systeem wordt vergeleken met ERTMS L2 voor de corridor Utrecht–Den Bosch (ProRail, 2010a). Hieruit blijkt dat ERTMS L2 significante reistijd- en opvolgtijdwinsten faciliteert. Wat het rapport ook laat zien maar niet expliciet meldt is dat de dienstregeling met twee geplande goederentreinen per uur voor NS'54/ATB-EG maar net theoretisch haalbaar is *met kale rijtijden* (zonder de 5% rijtijdspeling) en duidelijk niet stabiel is met een baanvakbelasting van 91%. De geplande twee goederentreinen per uur kunnen dus helemaal niet rijden in de bestaande situatie. In de praktijk rijdt er eens per twee uur een goederentrein (volgens realisatiegegevens van ProRail die op verzoek beschikbaar zijn

gesteld) en dat is ook nodig om grote vertragingen te voorkomen. Met ERTMS L2 daarentegen wordt een baanvakbelasting van 75% gehaald wat wel een haalbare en stabiele dienstregeling betekent met twee goederentreinen per uur.

In april 2010 stuurt ProRail een brief naar V&W met een voorstel van de spoorsector voor de voorbereiding van landelijke invoering van ERTMS waarbij meer inzicht moet worden verkregen op de kosten, baten en risico's (ProRail, 2010d). Onderdeel van het plan is een ERTMS pilot op Amsterdam–Utrecht. V&W reageert daarop in een brief op augustus 2010 (V&W, 2010). In september 2010 volgt een brief van ProRail waarin een bijstelling van de strategie van Mistral en ERTMS wordt aangekondigd (ProRail, 2010e). ProRail had het Mistral vervangingsprogramma van interlockings nog een keer tegen het licht gehouden vanuit een kosten-baten perspectief waaruit bleek dat de kosten van elektronische interlockings enorm waren gestegen terwijl de kosten van relais waren gedaald. Tot dan toe werden bij Mistral oude interlockings vervangen door elektronische interlockings om voorbereid te zijn op ERTMS en omdat er was ingeschat dat die goedkoper zouden zijn dan B-relais technologie. ProRail concludeerde uit de analyse dat ERTMS alleen maatschappelijk rendabel is op corridors waar dit zoveel voordelen biedt dat dit leidt tot een positieve MKBA. Dit gold echter niet voor de drie Mistral corridors die op dat moment aanbesteed werden waardoor de aanbesteding werd stopgezet. ProRail kondigt in de brief verder aan dat zij alle Mistral corridors tegen het licht zouden houden om te kijken welke een positieve MKBA scoren. Voor de corridors waar dit niet voor geldt zullen de interlockings vervangen worden voor goedkopere (relais)interlockings. ERTMS projecten op de internationale EU corridors waar verplicht ERTMS moet komen gaan wel door. De pilot Amsterdam–Utrecht gaat nog steeds door om de technische en operationele haalbaarheid van ERTMS te onderzoeken.

Op 23 december 2010 stuurt de spoorsector een beschikkingsaanvraag naar I&M met het voorstel voor een ERTMS studie inclusief een proefbedrijf Amsterdam–Utrecht dat o.a. zal leiden tot een nieuw implementatievoorstel in 2013 (ProRail e.a., 2010cd; NS, 2010). In mei 2011 informeert de minister de kamer over deze beschikkingsaanvraag en meldt dat onderzocht wordt in hoeverre de aangenomen motie Slob c.s. (Tweede Kamer, 2010) van toepassing is en welke eisen de EU stelt van dergelijke staatsteun aan NS. Ook wordt gemeld dat intussen de Regeling spoorverkeer is aangepast zodat treinen met ERTMS aan boord met hogere snelheid mogen rijden dan de baansein en aangeven (I&M, 2011a). In augustus 2011 heeft de spoorsector nog geen goedkeuring van het ministerie ontvangen op de beschikkingsaanvraag. I&M is nog met ProRail bezig om de subsidie van de beschikkingsaanvraag te herschrijven (I&M, 2011b). Het tijdplan dat in de beschikkingsaanvraag wordt genoemd zal waarschijnlijk overeenkomstig worden bijgesteld (momenteel met acht maanden).

Voor Kijfhoek ligt een offerteaanvraag voor de implementatie van ETCS L1 bij Alstom als leverancier van ERTMS op de Betuweroute waar Kijfhoek onderdeel van uit maakt. Hiervoor geldt een subsidie van de EU als deel van een TEN corridor. Voor ERTMS op het traject Zevenaar–grens is een studie in het voorstadium met de bedoeling om de aanbesteding in 2012 op te starten. Verdere ERTMS projecten zijn nog niet in voorbereiding.

## 3.2 Recente ontwikkelingen in de spoorsector

Deze paragraaf is tot stand gekomen op basis van interviews en aanvullende documentatie. Appendix A geeft een lijst van de geïnterviewde personen. Voor de manier waarop de referenties zijn weergegeven, zie het einde van § 1.3.

### 3.2.1 Kosten van elektronische interlockings

ProRail ervaart dat momenteel de levenscycluskosten van moderne elektronische interlockings veel duurder zijn dan die van conventionele interlockings. Levenscycluskosten bestaan uit realisatiekosten, onderhoudskosten en wijzigingskosten. Dat laatste slaat op wijzigingen die in de beveiliging moeten worden doorgevoerd na aanpassingen van de infrastructuur, zoals het toevoegen of verwijderen van wissels en seinen. Dit kan voor moderne elektronische interlockings momenteel alleen gedaan worden door de leverancier die daarvoor volgens ProRail «de hoofdprijs» vraagt. ProRail heeft veel leergeld betaald met elektronische interlockings: ooit ingevoerd vanwege de veronderstelde eenvoudige wijzigbaarheid en de prijsstelling ten opzichte van relaisystemen, wat tot op de dag van heden geen werkelijkheid is geworden. De verplichte winkelnering (vendor lock-in) bij elektronische interlockings voor zowel onderhoud als wijzigingen heeft niet tot scherpe prijzen geleid; van marktwerking is tot dusver geen sprake. Dit geldt voor elke EBS (negen stuks), de EBI-Lock (Amsterdam–Utrecht), de SmartLock (Betuweroute en Hanzelijn), de SIMIS-W (HSL-Zuid) en de EBS+ in Deventer. Als voorbeeld van een vertienvoudiging van onderhoudskosten draagt ProRail de vernieuwing op Amsterdam–Utrecht aan: voor de oorspronkelijke conventionele interlocking bedroegen de onderhoudskosten 70 000 euro per jaar (voor 2 sporen), terwijl ze na de uitbreiding tot vier sporen en vervanging door een elektronische interlocking 1,1 miljoen euro per jaar bedragen. (ProRail, 2011e) Deze vergelijking gaat echter niet helemaal op omdat de situatie volstrekt anders is geworden: in de oude situatie werkten de tweesporige baanvakken tussen de stations op Amsterdam–Utrecht met een automatisch blokstelsel en hadden de tussenliggende stations een simpel ontwerp met eenvoudige configuratie van de interlockings. Na de uitbreiding is Amsterdam–Utrecht een viersporige bediende baan geworden die beveiligd is door acht decentrale interlockings en twee volledige sein- en treinbeïnvloedingsystemen.

Realisatiekosten zijn met name hoog doordat leveranciers ontwikkelingskosten moeten maken om aan te sluiten bij landspecifieke voorschriften en specificaties, en letterlijk aan te sluiten op andere systemen waarvoor (eenmalig) maatwerk interfaces moeten worden ontwikkeld, zoals voor het VPT procesleidingssysteem. Moderne elektronische interlockings moeten daarbij voldoen aan internationale standaarden, in tegenstelling tot een nationale standaard voor oude (relais) beveiligingen. In een *safety case* moet bewezen worden dat de interlocking ook daadwerkelijk goed geconfigureerd is waarbij voldaan moet worden aan de hoogste veiligheidseisen (Safety Integrity Level 4, SIL 4). Onder andere moet voor elektronische interlockings bewezen worden dat de interne data-tabellen kloppen wat veel test- en papierwerk kost. Ook na reconfiguratie van een interlocking corresponderend met een infrastructuurwijziging moet in een *safety case* opnieuw worden bewezen dat het opgeleverde systeem voldoet aan de SIL 4 eisen met weer een tijdsintensieve papierwinkel. Bij conventionele systemen als relaisinterlocking en VPI geldt ook dat ze aantoonbaar moeten voldoen aan dezelfde veiligheidseisen maar dit

proces is verregaand gestandaardiseerd. VPI (Vital Processor Interlocking) is een elektronische interlocking ontwikkeld begin jaren 1990 en is qua opzet vergelijkbaar met een relaisinterlocking. Relaischakelingen worden in VPI met een booleaanse (0/1) variabele gerepresenteerd waarmee het interlockingontwerp in een VPI gelijk is aan die van een relaisinstallatie. De kosten van een VPI zijn vergelijkbaar met die van relaisinterlockings mede doordat deze systemen door ingenieursbureaus kunnen worden geconfigureerd. De nieuwe generatie elektronische interlockings zijn anders opgebouwd en kunnen daarmee grotere gebieden beveiligen maar de configuratie van een interlockingontwerp is moeilijker. Het schaalvoordeel heeft echter nog niet geleid tot kostenreductie. Bij conventionele interlockings wordt bovendien gewerkt met standaard gecertificeerde oplossingen door erkende ingenieursbureaus met door de jaren opgebouwde kennis. Het bewijs van veiligheid van het systeem (volgens de nationale standaarden) kan daardoor veel sneller gedaan worden. (ProRail, 2011c)

De aanvankelijke (BB21) specificaties waren prestatiegericht waardoor vanuit de opdrachtgever minimaal is gestuurd op technische oplossingen. Achterliggende reden was dat hierdoor maximaal werd aangesloten bij oplossingen die de industrie als «standaard» aanbood. Dit leidde echter tot voor ProRail unieke type interlockings die duurder zijn in realisatie, beheer en bij latere wijzigingen aan de infrastructuur. Later is ProRail weer meer op de oplossingen gaan sturen (Hanzelijn). Dat is met «terugwerkende kracht» ook gebeurd op de Havenspoorlijn en Amsterdam-Utrecht. (ProRail, 2011c) De komende aanbestedingen voor interlockings zullen van technologisch gedreven naar een door levenscycluskosten-gedreven (economisch) proces gaan. De tender van het project Mistral (2009/2010) voor drie projecten bevatte voor het eerst toekomstige principe-wijzigingen aan de infrastructuur. Op deze wijze is getracht een toekomstige wijziging onder de tucht van aanbesteding/marktwerking te brengen. Helaas bleek dit niet voldoende om de levenscycluskosten voldoende laag te krijgen. De inschrijvingen van de drie partijen (Alstom, Bombardier, Siemens; een vierde partij voldeed niet aan de prekwalificatie-eisen en een vijfde trok zich terug na prekwalificatie) kwamen te hoog uit met de kosten voor ontwikkeling, levering, onderhoud en wijzigingen voor een levensduur van 25 jaar. Hierdoor is door de ProRail directie het besluit genomen de aanbesteding van Mistral te beëindigen; mede ingegeven door een herbezinning op ERTMS als gevolg van o.a. de nog te hoge levenscyclus kosten. (ProRail, 2011e)

Historisch heeft de spoorindustrie interfaces van ERTMS met elektronische interlockings ontwikkeld. In het verleden werd daarom verondersteld dat voor ETCS L2 de interlocking ook moest worden vervangen door een moderne elektronische interlocking. Het vervangingsprogramma Mistral richtte zich daarom in de tenders op elektronische interlockings. Berekeningen van ProRail (2009ab) wezen echter uit dat het goedkoper was om bij vervanging – in plaats van een elektronische interlocking met voorbereiding voor ERTMS – een zo goedkoop mogelijke interlocking aan te schaffen zonder voorbereiding op ERTMS en over te gaan op een nieuwe interlocking geschikt voor ERTMS als (na zo'n vijf jaar) ERTMS zou worden ingevoerd. (ProRail, 2011e)

In de Business Case «Vervanging en ERTMS (infrastructuur)» van 10 juni 2009 (ProRail, 2009ab) werd geconcludeerd dat conventionele (relais, VPI) interlockings veel goedkoper zijn dan moderne elektronische interlockings waarop Mistral zich tot dan toe had gericht om aan te kunnen sluiten bij

ERTMS. De Business Case is gebaseerd op de actuele kostprijzen oftewel het huidige kostenniveau voortgekomen uit de huidige wijze van contractering en aantal leveranciers (drie leveranciers per project contractering) voor de ERTMS projecten (Betuweroute, HSL-Zuid, Amsterdam–Utrecht, Hanzelijn, Havenspoorlijn) geëxtrapoleerd naar de komende 25 jaar, de verwachte levensduur van elektronische interlockings. Kostenontwikkelingen en andere contractvormen zijn hierbij niet meegenomen. ProRail geeft aan dat de cijfers in de Business Case overeenkomstig de laatste stand van zaken zijn. ProRail stelt o.a. op basis van de afgebroken aanbesteding in 2010 vast dat de kosten van moderne elektronische interlockings nog niet zijn gedaald. Daarnaast blijkt uit het relaisprijzen-overzicht, mede door het goed functioneren van het relaismanagementcontract, dat de kosten voor relaisinterlockings nog verder kunnen dalen. Het beeld van ProRail is dat relais nog zeer lang leverbaar zijn omdat daar goede relaismanagementcontracten voor zijn afgesloten. Daarbij is het reviseren van relais een belangrijk onderdeel. M.b.t. relais bestaat wel een risico dat op langere duur kennis en ervaring m.b.t. het ontwerpen van relaisschakelingen schaars kan worden. Dit behoeft in de komende tijd aandacht en is beheersbaar. (ProRail, 2011f)

De industrie geeft aan dat de specificaties iedere keer weer werden veranderd waardoor steeds weer ontwikkelingskosten moesten worden gemaakt. Aanvankelijk waren de specificaties bij BB21 gebaseerd op de ontwerpvoorschriften van relaisinterlockings waarbij in de loop der tijd zeven meer functionaliteiten kwamen. De Betuweroute was in feite een ontwikkelingsproject waarin de specificaties tijdens het project zijn aangepast. Voor de Hanzelijn waren ook weer nieuwe specificaties en wijzigingen t.o.v. de Betuweroute waardoor 33% extra ontwikkelingskosten ontstonden. Daarnaast is 1/3 van de de kosten van de Hanzelijn voor ERTMS (inclusief elektronische interlocking) en de resterende 1/3 voor de traditionele beveiliging (ATB-EG en treindetectie). In de laatste Mistral tender voor drie pilotprojecten ontstonden voor bijvoorbeeld Deventer–Apeldoorn ook weer 50% ontwikkelingskosten door veranderde specificaties. Deze aanvraag bestond uit een raamwerkcontract voor realisatie en onderhoud voor 25 jaar en een prijsopgave voor kleine wijzigingen en grote wijzigingen. (Alstom, 2011)

Bij de HSL-Zuid was voor het eerst een interface tussen RBC's van twee leveranciers nodig die moest worden ontwikkeld. Amsterdam–Utrecht was het eerste project waarbij een ETCS L2 overlay op NS'54/ATB-EG is ontwikkeld. Bovendien zijn de eerste drie projecten (HSL-Zuid, Betuweroute, Amsterdam–Utrecht) door verschillende leveranciers (Siemens, Alstom, Bombardier) gedaan die ieder voor zich de voor Nederland specifieke voorschriften en specificaties eigen moesten maken. Aan de andere kant zijn de verwachtingen over de beschikbaarheid van relais en aannemers die de kennis van verouderde relaistechniek bijhouden voor de volgende 50 jaar (de levensduur van relaisinterlockings) getemperd waardoor verwacht kan worden dat de onderdelen en experts in de komende 50 jaar flink duurder worden. Dit vormt ook een risico voor het onderhoud en wijzigingen van relaisinterlockings. Merk op dat in Nederland tot begin negentiger jaren van de vorige eeuw relaisbeveiligingen zijn geïnstalleerd en daarna is overgegaan op elektronische interlockings.

Als voorbeeld van een ongelukkig geformuleerde functionaliteit specificatie in de offerteaanvraag van ProRail noemt de industrie de specificatie van een Tijdelijke SnelheidsBeperking (TSB). Volgens de specificatie

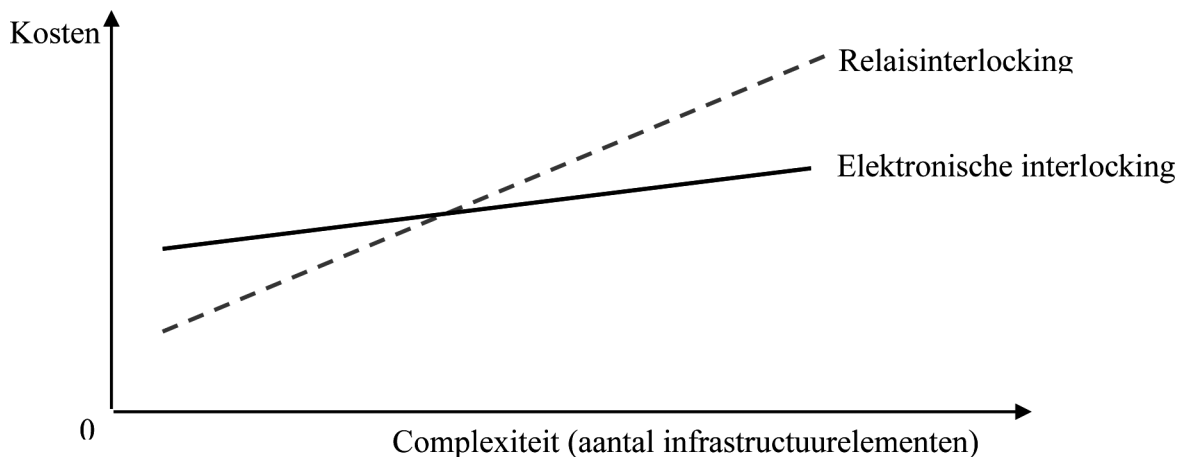


moest een TSB voor een stuk spoor te allen tijde ingesteld kunnen worden. Dat betekent echter dat een TSB ook ingesteld kan worden als een trein al op het betreffende stuk spoor zit waardoor de spoorbeschrijving van de rijtoestemming opeens wijzigt. Om deze situatie veilig af te dekken moeten nieuwe algoritmen worden ontwikkeld wat extra ontwikkelingskosten met zich meebrengt. Als een TSB echter alleen actief kan worden als er geen trein op het spoor is (c.q. nadat een trein het spoor is afgereden) dan is het standaard waardoor een standaardoplossing kan worden gebruikt. (Siemens, 2011)

Volgens de industrie wordt de safety case voor moderne elektronische interlockings na wijzigingen in de toekomst goedkoper en gaat richting de oudere (relais en VPI) interlockings doordat ook hier steeds meer gebruik kan worden gemaakt van reeds gecertificeerde onderdelen. Ook onderhoudskosten worden veel minder als alle kinderziekten zijn verdwenen en als de onderhoudsorganisatie verdeeld kan worden over meerdere projecten. Voor de laatste Mistral uitvraag moest een onderhoudsorganisatie van 7x24 uur continu bedrijf opgetuigd worden voor het stukje Apeldoorn–Deventer wat relatief een grote investering is. Bij meerdere projecten kan dezelfde onderhoudsorganisatie gebruikt worden waardoor de kosten enorm zakken. Bevestiging van de specificaties plus schaalvergroting van projecten en onderhoud levert minimaal 30% besparing op waardoor hetzelfde prijsniveau wordt bereikt als bij bestaande relaisbeveiliging. (Alstom, 2011) Een visie op een landelijk implementatieplan geeft zekerheid aan de sector die nu nog node ontbreekt. Schaalvergroting staat echter haaks op een stapsgewijze projectcontractering zoals in Mistral. In Duitsland maken toekomstige wijzigingen onderdeel uit van de raamwerkcontracten waardoor goedkopere prijzen ontstaan dan voor individuele wijzigingsprojecten.

De implementatie van moderne elektronische interlockings vergt andere ontwerpprincipes dan de conventionele interlockings. Een één-op-één vervanging van een relaisinterlocking door een moderne elektronische interlocking is duur en moet dan ook worden vermeden. De kracht van moderne elektronische interlockings is dat ze grotere gebieden tegelijk aankunnen. Eén gecentraliseerde moderne elektronische interlocking moet daarom meerdere relaisinterlockings tegelijk vervangen zodat bespaart wordt op de integrale levenscycluskosten. Figuur 10 geeft schematisch weer hoe de levenscycluskosten van elektronische en relaisinterlockings afhangen van de complexiteit gemeten in het aantal infrastructuurelementen (wissels en seinen). De vaste kosten van een moderne interlocking liggen hoger dan die van een relaisinterlocking, maar de marginale kosten voor ieder extra infrastructuurelement zijn veel lager. Voor grotere gebieden zijn de integrale levenscycluskosten van elektronische interlockings minder dan die van relaisinterlockings.

Figuur 10 Levenscycluskosten van interlockings als functie van complexiteit



Bij een migratie naar ERTMS zullen in het begin gebieden met NS'54/ATB en ETCS elkaar afwisselen waarbij treinen naadloos van ETCS naar ATB en v.v. moeten overschakelen. Hiervoor moeten transitiegebouwen worden die niet makkelijk te wijzigen zijn, zeker naarmate ze complexer zijn. Het ontwerp van een transitie van ATB naar ETCS L2 hangt af van timing doordat hier eerst een veilige verbinding met een RBC opgebouwd moet worden, waarna een rijtoestemming verzonden kan worden die dan nog verwerkt moet worden door de ETCS boordcomputer. De meeste problemen komen voor op de transitie waardoor deze intensief getest moeten worden wat alleen kan met dure veldtesten. In de loop der tijd zullen ETCS eilanden aan elkaar groeien wat gepaard gaat met hernieuwde aanpassingen. Daarom is het gunstiger om grote gebieden om te bouwen en het aantal transitiegebouwen gering te houden. Ook dit pleit voor een integrale vervanging van buurgebieden i.p.v. migratie van geïsoleerde emplacementen en baanvakken. (Siemens, 2011)

De nieuwe inzichten van de business case hebben voor ProRail mede geleid tot wijziging van de Mistral strategie voor de corridors die voor 2018 vervangen moeten zijn, waarbij een splitsing is tussen drie typen corridors: (1) corridors waar invoering van ERTMS verplicht is van de EU, (2) (PHS) corridors waar capaciteitsknelpunten bestaan die met ERTMS kunnen worden opgelost én waarvoor een positieve MKBA ERTMS bestaat, en (3) corridors waar het beveiligingssysteem aan vervanging toe is maar er geen capaciteitsknelpunten aan de orde zijn, zie Appendix E. In het laatste geval kan worden volstaan met technologie die niet is voorbereid op ERTMS (bv. relais of VPI's). De spoorsector heeft bij I&M een voorstel ingediend om te onderzoeken of op de PHS corridors capaciteitsknelpunten ontstaan die opgelost kunnen worden door ERTMS toe te passen, en of de Business cases daarvoor positief zijn. Voor de corridors waar het duurdere ERTMS L2 bij voorbaat niet nodig wordt geacht voor de langere termijn, wordt de keuze voor het type interlocking aan de markt over gelaten. Elektronische interlockings zijn dus niet meer een verplichting. De algemene hoofdlijn in de nieuwe strategie is: capaciteitsvraag – techniek keuze – marktordening. (ProRail, 2011f)

Volgens ProRail begint de Europese seinwezenindustrie ook te beseffen dat als ERTMS alleen kan worden ingevoerd in combinatie met een nieuwe elektronische interlocking, de huidige interlockings versneld moeten worden afgeschreven omdat ze nog niet aan het einde van hun

levensduur zijn. Deze kapitaalvernietiging werkt sterk negatief op de business case voor ERTMS. De industrie heeft daarom initiatief genomen om technische oplossingen te ontwikkelen zodat ETCS (zowel Level 1 als Level 2) kan worden gecombineerd met bestaande interlockings (zowel B-relais als elektronische). In Oostenrijk heeft ÖBB voor het nieuwe Brenner-project een interface laten ontwikkelen voor bestaande relais- en elektronische interlockings met een RBC. In Italië heeft RFI een gestandaardiseerde interface voorgeschreven tussen interlockings en RBC's. Deze voorbeelden zijn echter niet één op één vergelijkbaar met de Nederlandse situatie. (ProRail, 2011c) Ansaldo-STS heeft een gateway laten ontwikkelen voor een bestaande relaisinterlocking en een RBC op de corridor Saarbrücken–Kaiserslautern–Mannheim (Duitsland) dat gecertificeerd is door de Duitse Eisenbahn-Bundesamt (EBA). Ook Thales heeft een relais-RBC interface ontwikkeld voor een bestaande Siemens relaisinterlocking en een RBC van Thales op de Nürnberg–Ingolstadt–München corridor. Alstom heeft voor de nieuwe generatie VPI's een RBC interface ontwikkeld.

In Europees verband wordt gewerkt aan een standaardisatie van interlockings (INESS, Integrated European Signaling System) op verschillende niveaus: functioneel, dataformats, RAMS en interfaces. Komend jaar is een functionele standaard gereed maar de industrie lijkt hier niet erg mee te werken (vanwege belangen in nationale interlockings) wat wel een voorwaarde is van de EU. In Nederland vinden ook nieuwe ontwikkelingen plaats voor goedkopere interlockings. Movares ontwikkelt momenteel in een pilottraject een interlocking gebaseerd op PLC's (Programmable Logic Controllers). Een PLC is een microprocessor die zijn uitgangssignalen aanstuurt op basis van de ingangssignalen en een te programmeren interne logica. PLC's worden veel gebruikt in de procesindustrie en zijn relatief goedkoop. Het IPR (Intellectual Property Right) wordt overgedragen aan ProRail zodat dit principe door ProRail vrij is voor marktpartijen. De instandhouding en wijziging van de PLC interlockings kan dan in concurrentie gedaan worden door erkende onderhoudsaannemers of erkende ingenieursbureaus waardoor er gedurende de levenscyclus marktwerking blijft. Ook in Duitsland wordt hieraan gewerkt zodat met DB wordt afgestemd. Binnenkort wordt een PLC interlocking in Santpoort beproefd. In Zweden en Noorwegen zijn pogingen met PLC interlockings mislukt. (ProRail, 2011c) De vraag is of er op de markt wel ruimte is voor een nieuw type door ingenieursbureaus ontwikkelde interlocking die ook eerst gecertificeerd en beproefd moet worden, en wat de rol van ProRail daarin mag zijn. De industrie verwacht eerder dat het aantal seinwezenleveranciers omlaag gaat dan dat er plaats is voor nieuwe ondernemingen (Alstom, 2011).

De seinwezenindustrie heeft tooling ontwikkeld waarmee hun interlockings (grafisch) kunnen worden geprogrammeerd. Ze staan daarbij open om dit ter beschikking te stellen zodat in open concurrentie wijzigingen doorgevoerd kunnen voeren net als bij relais en VPI's. Voorwaarde daarbij is wel dat zij zelf ook in open concurrentie mee kunnen dingen. Momenteel staat ProRail dat echter niet toe omdat alleen onafhankelijke erkende ingenieursbureaus mee mogen dingen. Dit is voor de seinwezenleveranciers onacceptabel: zodra ze onderhoud en doorvoering van wijzigingen openstellen voor derden vallen ze zelf buiten de boot. Een oplossing voor de vendor lock-in problematiek van de seinwezenindustrie kan dus ook liggen in de erkenning van seinwezenleveranciers door ProRail om in open concurrentie mee te kunnen dingen in onderhoud en wijzigingen van hun eigen apparatuur. Ook is de seinwezenindustrie bij

uitstek geschikt om een basisontwerp van een interlocking te maken en te optimaliseren op basis van baanontwerp en prestatie-eisen die door ingenieursbureaus kunnen worden getoetst op de Nederlandse regelgeving rond algemene voorschriften (AV's) en ontwerpvoorschriften (OVS-en). De seinwezenindustrie heeft ook wereldwijde ervaring met migratietrajecten wat beter benut zou kunnen worden. (Alstom, 2011)

### 3.2.2 ERTMS infrastructuurkosten

De kosten van ERTMS worden overschaduwd door die van interlockings. Maar ook bij ERTMS heeft ProRail negatieve ervaringen bij onderhoud en wijzigingen door leveranciers. ProRail noemt als voorbeeld van gedwongen winkelnering binnen een strategisch contract de dure upgrade van de beveiliging van de HSL-Zuid (elektronische interlocking en ETCS) van Baseline 2.2.2 naar Baseline 2.3.0 (nog exclusief de RBC-RBC Gateway aan de grens). Bij de Betuweroute waren de realisatiekosten wel in de hand gehouden (kostenoverschrijding van enkele procenten; hier was een update niet aan de orde). (ProRail, 2011e) Deze vendor lock-in problematiek is een internationaal verschijnsel: in een Memorandum of Understanding tussen de Europese Commissie en de industrie van juli 2008 is opgenomen dat leveranciers software updates in contracten moeten opnemen als dat is gewenst (Winter, 2009, § 9.1.2). De huidige ETCS Baseline 2.3.0 wordt in 2015 geüpdatet naar ETCS Baseline 3.0.0 die een aantal extra functionaliteiten bevat. Bij investeringen die nu gedaan worden in de oude versie van bijvoorbeeld ETCS materieel apparatuur kan contractueel de upgrade naar de nieuwste software worden vastgelegd.

De engineering van ERTMS is complexer vergeleken met ATB. Dit komt omdat er een gedetailleerdere beschrijving van de infrastructuur moet worden aangeleverd (o.a. bloklengtes, boog- en hellingprofielen). De gegevens zijn wel binnen ProRail aanwezig maar tot nu toe nog niet «gekoppeld» aan de databases die worden gebruikt voor het ontwerp van treinbeveiligingsinstallaties. Binnen ProRail is daarom een haalbaarheidsonderzoek gestart (naar business case) om deze databases te koppelen. De verwachting is dat hierdoor flink kan worden bespaard op engineeringkosten van de ETCS leveranciers. Nu wordt per project het grootste gedeelte van de gegevens per tekening aangeleverd i.p.v. digitaal en moeten de benodigde aanvullende gegevens handmatig worden ingevuld. Een leverancier heeft aangegeven dat de helft van de engineering voor ERTMS gaat zitten in de vertaling van door ProRail aangeleverde tekeningen naar tabellen. Het bewijs dat ERTMS data-tabellen kloppen conform de aangeleverde tekeningen kost ook veel test- en papierwerk. Of het genoemde haalbaarheidsonderzoek wordt omgezet in een project hangt af van de kosten en baten. (ProRail, 2011c)

Een voorbeeld van kostenverhoging door ontwikkelingskosten voor ERTMS is de ontwikkeling van een RBC-RBC *Gateway* op de Nederlands-Belgische grens van de HSL-Zuid Rotterdam–Antwerpen (Gehrenbeck, 2007). Het Belgische en Nederlandse deel van de HSL-Zuid lijn<sup>3</sup> is door verschillende consortia gebouwd op basis van oude ETCS specificaties (Baseline 2.2.2) waarin de communicatie (protocol en taal) tussen verschillende RBC's alleen nog functioneel was gespecificeerd. De twee RBC leveranciers (Alcatel en Alstom) hadden ieder hun eigen RBC ontwikkeld met communicatielagen die niet met elkaar konden communiceren. Bij aanvang van beide projecten was dit probleem wel al erkend en een aantal oplossingen waren aangedragen en geanalyseerd. Een

<sup>3</sup> Het Belgische deel van de HSL-Zuid heet in België de L4.

mogelijke oplossing was om bij de grens een tussenstuk met ETCS L1 te bouwen waar treinen ook met 300 km/u overheen konden rijden. Deze oplossing werd echter verlaten omdat voor deze snelheid onder ETCS L1 een groot aantal actieve balises nodig zou zijn voor frequente updates van de rijtoestemming wat erg kostbaar werd. Een andere oplossing was de ontwikkeling van een gateway (poort) die tussen de twee RBC's kon worden geplaatst om de berichten te converteren. Deze nieuwe ontwikkeling zat echter niet in de contracten van de twee projecten. Er werd besloten om eerst gebruik te maken van ETCS L1 op 5 km spoor aan de Belgische kant dat sowieso als fallback werd geïnstalleerd waarbij dan wel een maximale snelheid van 160 km/u gold. In de tussentijd zou de discussie over de gateway doorgaan om toch met 300 km/u de grens over te kunnen. Uiteindelijk is door Alstom een gateway ontwikkeld tegen meerkosten. Een ander grensprobleem was de transitie tussen twee GSM-R netwerken dat ook nog niet in de toen geldende ETCS specificaties was opgelost. Door de tussenoplossing van het stuk ETCS L1 spoor kon dit probleem echter uitgesteld worden tot de nieuwe ETCS Baseline (2.3.0) uitkwam die voorzorg in een oplossing voor dit probleem. Deze grensproblemen hadden voorkomen kunnen worden als de HSL tussen Rotterdam en Antwerpen door één consortium zou zijn gebouwd. Een dergelijk project over twee landen heen zou echter waarschijnlijk tot andere (organisatorische) problemen hebben geleid. In Spanje rijden sinds 2006 overigens hogesnelheidstreinen met 300 km/u onder ETCS L1 over de nieuwe hogesnelheidslijn Madrid-Barcelona.

### **3.2.3 ETCS materiële kosten**

NS heeft officieel geen bezwaar tegen de invoering van ERTMS mits het geen financiële belasting met zich mee brengt. Daarom zijn er afspraken gemaakt met het Ministerie van I&M over de financiering van nader onderzoek en tests (ProRail NS KNV, 2010). Kosten en baten moeten worden afgewogen voor het hele spoorstelsel. De reden hiervan is dat ATB-EG goed functioneert en vooralsnog geen commercieel of systeemvoordeel van ERTMS gezien wordt. Capaciteitsverhoging kan iets opleveren maar dat is nog onduidelijk. (NS, 2011b)

Recentelijk maakt NS zich echter zorgen over de EMC (Elektromagnetische Compatibiliteit) problematiek in de treindetectie laag door toenemende elektromechanische trein-baan interferentie bij spoorstroomlopen die nodig zijn voor ATB-EG. De grenzen van het huidige systeem van detectie komen langzamerhand in zicht: vervanging op middellange termijn lijkt noodzakelijk. Het ontwerp van modern treinmaterieel (dat vol zit met hoogwaardige elektronica), de intensivering van de benutting van het spoor en de versterking van de 1 500 V bovenleidingspanning die daarvoor nodig is, gaan ten koste van het stabiele functioneren van detectie, treinbeveiliging en verkeersregelsysteem. Kort Volgen (seinverdichting) maakt dit probleem acuter. Zodra de vervanging van de detectie noodzakelijk wordt, betekent dat meteen ook dat daarmee de discussie over een vervanger voor ATB-EG relevant wordt zoals dat mogelijk ook geldt voor het huidige verkeersregelsysteem. De vraag dringt zich daarbij op of, en zo ja op welke wijze intensivering van het huidige systeem (ATB-EG, Kort Volgen) past in de langere termijn noodzaak tot vervanging van het huidige stelsel aan systemen. Blokverdichting met ATB kan voor de korte termijn een oplossing zijn voor absolute capaciteitsproblemen maar de toepassing ervan moet passen in een visie op de migratie naar een nieuw systeem op de langere termijn. Vasthouden aan ATB op de langere termijn levert immers ook allerlei risico's op zoals restricties op

technologische vernieuwingen opgelegd door Brussel of uit de hand lopende onderhouds- en vernieuwingskosten in de toekomst (koperdiefstal). Bovendien zal de industrie ATB als onbelangrijke niche niet ondersteunen en de kennis verdampen. Ook dit leidt onherroepelijk tot kostenverhogingen. Nederland moet dus migreren naar ERTMS waarbij alleen de vraag is wanneer en hoe. Er is nog wel vijf jaar nodig om de ERTMS migratie goed voor te bereiden en daarna zou begonnen moeten worden met simpele lijnen. Tot de migratie volledig voltooid is, moet ATB-EG in stand gehouden worden en dat zal al een hele opgave zijn. (NS, 2011a)

NS ziet geen heil in (definitieve) deelparken waarvan slechts een deel is voorzien van ETCS omdat dat leidt tot versnijdingsverliezen. In een eerder onderzoek naar de effecten van deelparken in het kader van het project Viersporigheid Amsterdam–Utrecht, is dat verlies al eens becijferd op 10%. Dat betekent de aanschaf van extra treinmaterieel, en dat is een kostenpost die hoger is dan de retrofit van het materieelpark zoals voorgesteld in de sectorstrategie. Tijdelijk werken met deelparken vergt weliswaar logistieke aanpassingen, mogelijk met negatieve consequenties voor de betrouwbaarheid van de dienstverlening aan de reiziger, maar is bij een snelle ombouw van het materieelpark beheersbaar. Tijdelijke tekorten kunnen bij een adequate voorbereiding bijvoorbeeld worden opgevangen door de huur van materieel. Het is economischer om alle NS treinen in korte tijd (seriematig) om te bouwen. Hiervoor is naar huidige schatting 250 miljoen Euro nodig. Daarbij bestaat de keuze om dat snel (in ongeveer twee jaar) te doen met extra onttrekking – hetgeen operationele problemen oplevert – of bij gepland onderhoud waardoor een langere periode van mogelijk tot 5 jaren nodig zijn om de ombouw te realiseren. De preferente methode moet op het juiste moment genomen worden en hangt in hoge mate af van de gekozen migratiestrategie. (NS, 2011a)

NS verwacht dat er voldoende tijd wordt genomen om een ombouw voor te bereiden om kinderziekten van technische en operationele aard te grotendeels te elimineren voor het nieuwe systeem wordt ingezet. Van technische aard zijn onder meer het oplossen van vraagstukken omtrent inbouwen, veilig koppelen en testen van de ETCS apparatuur in het treinsysteem (remsysteem, etc.) en certificering. Tevens moet goed geregeld worden dat de verdere ontwikkeling van het systeem door één system integrator wordt beheerst om compatibiliteitsproblemen tussen baan- en treininstallaties te voorkomen. Hoe belangrijk dat is hebben buitenlandse projecten, de HSL Zuid en de Betuweroute al bewezen. Die instelling is dan verantwoordelijk voor het configuratiemanagement van het gehele, geïntegreerde systeem (baan en trein). De goederenvervoerders hebben hier voldoende leergeld betaald doordat bij iedere wijziging aan de ERTMS infrastructuur op bijvoorbeeld Rotterdam–Genua door de diverse nationale infrastructuurmanagers ook de reeds gecertificeerde ETCS boordapparatuur opnieuw gecertificeerd en eventueel aangepast moest worden. NS ziet het niet zitten om haar treinen voor ieder stuk opgeleverde infrastructuur opnieuw te moeten certificeren. Er moet daarom standaardisatie komen van trein-baan interfaces en de ETCS datacommunicatie (telegrammen) waaraan de infrastructuurmanagers en vervoerders zich moeten houden. Ook de ERA (European Railway Agency) heeft deze aanbeveling recentelijk gedaan (ERA, 2011, § 4.2). (NS, 2011a)

Niet alle interfaces tussen de verschillende onderdelen van de ETCS boordapparatuur zijn formeel gespecificeerd. Sowieso bestaat de ERTMS specificatie grotendeels uit proza, alleen tekstueel beschreven. Ook is de

specificatie niet compleet: naar schatting ruim 20% van de benodigde functies ontbreken nog. Dat heeft ertoe geleid dat de verschillende leveranciers verschillende software specificaties en implementaties hebben ontwikkeld. Soms, denken de meeste vervoerders, doelbewust om de eigen markt af te schermen, deels ook als gevolg van onverwacht optredende problemen die moesten worden opgelost binnen de gecontracteerde deadlines. Omdat ERTMS projecten vaak onder grote tijdsdruk moeten worden gerealiseerd en de R&D kosten hoog zijn, is ETCS boordapparatuur vaak duurder dan vergelijkbare bestaande systemen en moeten bovendien alle subsystemen van iedere leverancier apart de kostbare en tijdsintensieve validatie en certificatieprocessen ondergaan (Winter, 2008, § 9.2.1). Dit wordt mede veroorzaakt door het feit dat de leveranciers allemaal apart hetzelfde, generiek product «ETCS» ontwikkelen waardoor de R&D kosten voor dat éne product wordt vermenigvuldigd met de hoeveelheid aanbieders die de markt kent. Kosten die de industrie wil verhalen op de afnemers. Hierdoor kan in feite alleen een totaalpakket bij één leverancier worden ingekocht waarna onderhoud afhankelijk wordt van die ene leverancier zodat een vendor lock-in ontstaat. De verwachting is echter dat de levensduur van het treinmaterieel en de boordapparatuur scheef gaat lopen zodat de vervoerders tussentijds bij wijzigingen en upgrades de mogelijkheid willen hebben om over te stappen naar andere leveranciers, zoals het geval is in de auto- en vliegtuigindustrie. (NS, 2011b)

De leveranciers ontwikkelen dus ieder apart leveranciersspecifieke ERTMS apparatuur die conform de Europese specificatie allemaal precies hetzelfde kunnen doen, maar onderling niet uitwisselbaar zijn. Daardoor is de afnemer, eenmaal een leverancier gekozen hebbende, voor onderhoud, en upgrades met handen en voeten aan die leverancier gebonden. Dat probleem kan worden opgelost door de industrie te bewegen hun systemen te engineeren volgens het «open source» principe dat ook door de Europese Commissie wordt gepropageerd. Hiermee worden de «black boxes» die de ETCS systemen van de diverse leveranciers tot nu toe zijn, als het ware geopend, transparant en daarmee uitwisselbaar. Om de kosten van de ETCS boordapparatuur terug te brengen naar die van de conventionele treinbeïnvloeding of zelfs lager en de systeemprestaties te verhogen, heeft het Duitse DB het initiatief genomen om bij aanbestedingen voor ETCS boordapparatuur het leveren van een open source oplossing op te nemen. In een recente aanbesteding voor de ombouw van 127 ICE treinen waarbij DB acht aanbiedingen kreeg, toonden de leveranciers de bereidheid hierin mee te gaan. De order is inmiddels gegund aan Alstom en voorziet het openen van het ETCS systeem bij de eerste upgrade naar baseline 3 in 2016. Bij oplevering in 2016 stelt Alstom de specificaties open voor andere partijen als referentie architectuur met open gestandaardiseerde interfaces tussen subsystemen onder de naam *openETCS*, vergelijkbaar met het open source software concept van Linux (Hase, 2010). Vanaf dat moment is er dus een Linux-achtige open specificatie voor de boordapparatuur van ETCS die volledig overeenstemt met de Europese richtlijnen hiervoor en die door andere partijen gebruikt kan worden bij de aanbestedingen voor hun ombouwprojecten. (NS, 2011b)

Het openen van een systeem heeft alleen zin als dit brede toepassing vindt en DB heeft daarom de samenwerking gezocht met andere spoorwegen. Intussen hebben NS en andere Europese spoorbedrijven (ATOC, SNCF, Trenitalia) zich middels een *Memorandum of Understanding*

bij het openETCS project aangesloten. Doel van dit samenwerkingsverband is:

1. door gebruik te maken van de gezamenlijke marktpositie een de facto standaard voor ETCS boordapparatuur te creëren waardoor de interoperabiliteit een duw in de rug krijgt;
2. de basis te leggen tussen plug and play boordapparatuur waardoor een open markt wordt gecreëerd;
3. om zo de kosten te verlagen en de kwaliteit van de geboden producten te verhogen.

Het is de bedoeling het intellectuele eigendom van het geopende systeem onder te brengen in een aparte organisatie die deze namens de samenwerkende spoorvervoerders beheert. (NS, 2011b)

In het openETCS project wordt een formele functionele specificatie van de software-eisen voor boordapparatuur gedefinieerd in overeenstemming met de ERTMS 3.0.0 systeemspecificaties. Formele talen wijken af van «proza» in die zin dat zij exact de logica vastleggen waardoor de functionele specificaties nog slechts eenduidig te interpreteren zijn. Dit zal dan vervolgens de basis zijn voor open functionele simulatiemodellen en software voor testomgevingen en het automatisch genereren van software code, waarmee de configuratie en safety case (verificatie en validatie van onderdelen en het hele systeem) van ETCS boordapparatuur veel goedkoper wordt. De intentie is ook dat er een nieuwe beheersorganisatie wordt opgericht die de periodieke updates en upgrades coördineert voortbordurend op het DB project. Uiteindelijk leidt dit tot plug-en-play boordsubsystemen waarbij de diverse onderdelen in concurrentie bij verschillende leveranciers besteld en onderhouden kunnen worden. NS acht deze in gang gezette ontwikkeling een voorwaarde voor succesvolle in- of ombouw van ETCS in het materieel. (NS, 2011b)

ProRail vertelt dat de huidige specificatie van de Train Interface Unit (TIU) vrij abstract is waardoor de implementatie van ERTMS met de diverse materieeltypen onvoldoende is gestandaardiseerd. De industrie (ERTMS en materieelbouwers) hebben inmiddels het initiatief genomen om deze TIU verder uit te detailleren met als doel de implementatie van ERTMS in materieel te vergemakkelijken (ProRail, 2011c).

Grote ombouwseries zijn goedkoper dan kleine series. Samenwerking tussen meerdere spoorondernemingen met materieel van hetzelfde type kan daarom ook tot kostenreductie leiden. Een goed voorbeeld is de Zweeds-Noorse samenwerking om een grotere vloot om te bouwen. Zweden en Noorwegen hebben samen een raamwerkcontract aanbesteed voor de hele levensduur (16 jaar) inclusief operationele en onderhoudsfasen. De materieelombouwtijd is gespecificeerd op maximum vijf werkdagen per tractie eenheid en het totale contract geldt voor ongeveer 2000 voertuigen. De infrastructuurmanagers Banverket (SE) en Jernebanverket (NO) betalen de ontwikkeling en materieelombouw voor de algemene bestaande materieeltypen (dus niet de vervoerders). Drie leveranciers hebben aan de tender meegedaan en in april 2008 heeft Bombardier de aanbesteding gewonnen voor concurrerende prijzen. De verwachte prijs voor de initiële order voor de inbouw van 220 voertuigen in het eerste jaar is ongeveer 30 miljoen Euro (eenheidsprijs 140 000 euro) en voor alle voertuigen ongeveer 200 miljoen Euro (100 000 Euro per voertuig). (Winter, 2009, p. 186)

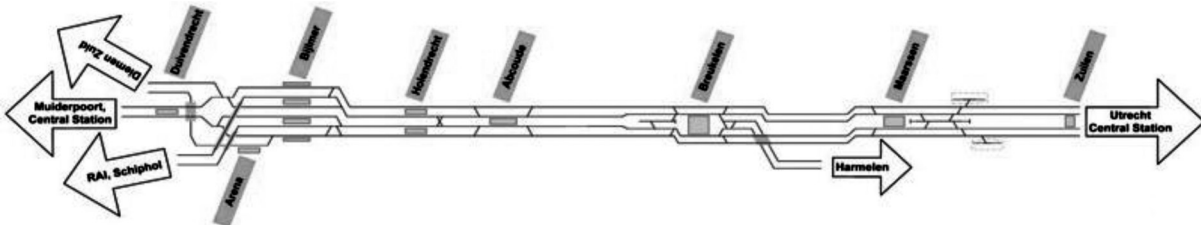


### 3.2.4 Proefbedrijf ERTMS Amsterdam–Utrecht

De spoorlijn Amsterdam–Utrecht is de eerste corridor in Nederland waar bestaand spoor voorzien is van ERTMS, alhoewel in combinatie met een spoorverdubbeling. Op dit traject wil de spoorsector een ERTMS proefbedrijf inrichten en uitvoeren om technische, operationele en bepaalde financiële risico's te reduceren tot een niveau waarop een verdere implementatie voor alle betrokken partijen acceptabel wordt (ProRail e.a., 2010d). Een belangrijk onderdeel van het operationele proefbedrijf is de toelating van materieel voorzien van ETCS L2 boordapparatuur op Amsterdam–Utrecht zodat dat materieel hier ook daadwerkelijk met ETCS L2 kan rijden, ook met 160 km/u waar materieel en dienstregeling dat toelaat. Hiervoor zijn baan-trein integratietesten nodig, ook voor materieel dat reeds is toegelaten op de Betuweroute en de HSL-Zuid. Daarnaast laat NS voor operationele testen met gemengd verkeer ETCS L2 inbouwen in verschillende materieeltypen: 10 SLT's (sprinters), 10 VIRM's (intercity's) en 4 ICE's, naast de ombouw van andere ICE's door DB.

Omdat momenteel nog weinig treinen voorzien zijn van ETCS is op deze corridor een duaal beveiligingssysteem geïnstalleerd, zie § 2.3.6. De ETCS L2 overlay is geïnstalleerd van Duivendrecht tot iets ten noorden van Utrecht Centraal, dus exclusief de grote emplacementen van Amsterdam en Utrecht, zie Figuur 11. Omdat ETCS treinen moeten stoppen voor rode seinen van het NS'54 seinstelsel kan hier geen blokoptimalisatie voor ETCS L2 worden toegepast met betrekking tot de betere projectiemogelijkheden van ETCS blokgrenzen/virtuele seinen t.o.v. de NS'54 lichtseinen op stations. Hierdoor blijven voordelen van ETCS L2 treinen beperkt tot een hogere baanvaknelheid van 160 km/u (tegen 140 km/u voor ATB-EG treinen) en uitgesteld remmen bij de baanseinen op het baanvak en de negen stations op de lijn inclusief de grotere knooppunten Bijlmer en Breukelen.

Figuur 11 De Amsterdam–Utrecht spoorlijn met gemengd ETCS L2/NS'54 ATB-EG seinstelsel (Zweers e.a., 2011)



In het operationeel proefbedrijf ERTMS Amsterdam–Utrecht willen ProRail en NS onder andere de capaciteitseffecten van ETCS L2 onderzoeken en de operationele procedures voor de ETCS L2 overlay in het reguliere vervoersproces beproeven. Deze doelen moeten terdege beschouwd worden binnen de beperkingen van het aangelegde beveiligingssysteem: hier ligt geen ETCS L2 maar een ETCS L2 overlay op NS'54/ATB-EG. Ook als op Amsterdam–Utrecht tijdens het proefbedrijf alleen ETCS treinen rijden is er nog geen sprake van puur ETCS L2 vanwege alle extra complexiteit en restricties. Dit proefbedrijf is dan ook geschikt voor experimenten met en conclusies over rijden met gemengd ATB-EG en ETCS treinen. Een empirisch onderzoek naar capaciteitseffecten van (puur) ETCS L2 onder reguliere operationele condities kan alleen gedaan worden op een (toekomstig) traject waar alleen ETCS L2 is/wordt geïnstalleerd inclusief blokoptimalisaties met virtuele seinen.

Voordat een proefbedrijf wordt gestart is het goed te kijken naar de prestaties op dit moment. Op de VL-post Amsterdam wordt aangegeven dat de nieuwe interlocking sinds de inbedrijfstelling nog veel onregelmatigheden genereert. Wekelijks komt een loc tot stilstand bij communicatie met een balise. Bij die «storingen» zit ook verkeerd gebruik van machinisten die een (verkeerd) ETCS level hebben ingeschakeld waardoor de balises de trein correct laat remmen. Vrijwel dagelijks vindt ook een «deadlock» situatie plaats. Hierbij ontstaat de mogelijkheid dat twee treinen op elkaar afrijden, tegenover elkaar tot stilstand komen en geen kant op kunnen behalve achteruit. Dit betreft verkeerd ingestelde rijwegen op ongebruikelijke routes zoals bij het nachtgat<sup>4</sup> waarbij treinen linkerspoor rijden om werkzaamheden mogelijk te maken. Treindienstleiders weten dit vaak te voorkomen door de automatische rijweginstelling uit te zetten en het systeem handmatig te bedienen. De treindienstleiders klagen dat ze in afwijkende situaties geen overzicht hebben door de viersporigheid en de zeven seinstappen (lees: seinen) die de interlocking vooruit instelt waardoor heel snel treinen achter elkaar staan. Hier wreekt ook dat de rijwegen in het procesplan niet getoetst worden op conflictvrijheid en deadlock situaties en de acht interlockings op Amsterdam–Utrecht doen dat ook niet. De treindienstleiders hebben ook geen ondersteuning om deadlock situaties tijdig te herkennen, een typische taak voor railverkeersmanagement (en dienstregelingsontwerp). In het verleden kwam deadlock niet voor: rijwegen werden tot op drie seinbeelden ingesteld en op de baanvakken was per definitie één richting ingesteld wat voorspelbaar gedrag oplevert. (ProRail, 2011g) De deadlock problematiek wordt door ProRail opgelost in de bedienlaag waar de mogelijkheden van de bediende baan in de interlocking worden beperkt zodat per saldo de functionaliteit voor veel kosten weer richting een vrije baan terug gaat (ProRail, 2011h).

Bovenstaande perikelen worden op de werkvloer in de VL-post uitgelegd als ERTMS problematiek, terwijl het gaat om niet goed geïnstrueerde machinisten en de toegenomen complexiteit van de bediende baan die niet ondersteund wordt door verkeersmanagement of dienstregelingsplanning op rijwegniveau zoals gebruikelijk is in bijvoorbeeld Duitsland en Zwitserland. Op Amsterdam–Utrecht zijn de gebruikers (machinisten, treindienstleiders) dus onvoldoende geïnstrueerd, getraind en ondersteund waardoor veel problemen ontstaan. Dit onderschrijft het belang van een integrale operationele systeemtest met alle actoren en training van het personeel. Voor een ERTMS proefbedrijf op dit traject moet de bestaande problematiek eerst opgelost zijn om serieuze lessen te kunnen trekken. Of anders gezegd, een (bescheiden) proefbedrijf had hier al veel eerder gehouden moeten worden.

### 3.2.5 Triple A en Robuust Spoor

Halverwege de jaren 2000 werd duidelijk dat ERTMS nog even op zich liet wachten en bovendien was er onzekerheid of ERTMS wel aan de verwachtingen voor capaciteitsverhoging kon voldoen. ProRail zocht daarom naar andere manieren om de capaciteit te verhogen die op de korte termijn zouden kunnen worden ingezet. Het antwoord werd gevonden bij het Prestatieanalysebureau (PAB) dat ProRail in 2006 had opgericht om met behulp van realisatiegegevens problemen in de dienstuitvoering op te sporen en die terug te koppelen naar verbeteringen in de dienstregeling (Weeda en Hofstra, 2008, 2009). Het Prestatieanalysebureau had laten zien dat op basis van realisatiegegevens van de treindienst en andere bronnen (bijvoorbeeld daadwerkelijke brugope-

---

<sup>4</sup> Nachtgat: Ingeplande periode in de late avond of in de nacht waarin geen treinen rijden omdat er onderhoud aan het spoor moet plaatsvinden.

ningstijden) het infrastructuurgebruik zodanig aangepast kon worden dat treinpaden beter ingelegd konden worden en veel «lucht» uit de dienstregeling gehaald kon worden. Hiermee konden de langere rijtijden die geïntroduceerd waren in de nieuwe dienstregeling van 2007 op vele plaatsen eenvoudig en significant verbeterd worden met soms enkele minuten, en dat met nagenoeg geen kosten. Hierop voortbordurend ontstond bij ProRail een andere aanpak om beter benutten mogelijk te maken door anders om te gaan met capaciteit: Anders plannen en uitvoeren, Anders verdelen van capaciteit, en Anders vergroten van capaciteit. Kortweg *Triple A* genoemd. In het Programma Hoogfrequent Spoor (PHS) zijn zoveel mogelijk Triple A maatregelen ingezet om knelpunten op te lossen (V&W, 2010; ProRail e.a., 2010a). (ProRail, 2011a)

Het anders omgaan met de planning en uitvoering komt rechtstreeks van de PAB analyses. Specifieke maatregelen die hieronder vallen zijn marges specifiek inzetten, conflicten oplossen in de uitvoering, be- en bijsturing optimaliseren, kruisende bewegingen verminderen, knooppunten ontvlechten, niet-benutte capaciteitsclaims verminderen, en publieke én interne dienstregeling hanteren. Onder het anders omgaan met de verdeling van capaciteit aan de verschillende vervoerders, verladere en onderhoud valt het verkennen en benutten van de oplossingsruimte, onder te verdelen in een differentiatie naar tijd, plaats (herrouteren) en milieubelasting, en stroomlijnen van frequenties en treinen door de knelpunten. Deze mogelijkheden worden ondersteund door specificatie van de capaciteitswensen, het inzetten van prijsmechanismen en het vinden van de juiste spelregels. (ProRail, 2011a)

Anders omgaan met de vergroting van capaciteit is sterk beïnvloed door de Japanse spoorpraktijk. Maatregelen voor capaciteitsverhoging zijn dynamisch verkeersmanagement (zoals flexibel perronspoorgebruik op Schiphol), seinen verplaatsen en bijplaatsen, stiller materieel in combinatie met maatregelen aan de baan, knooppunten aanpassen (langere perrons, minder wissels, vrij leggen van doorrijsporen), snelle inhalingen (inhaalsporen), ander type overwegen (inclusief verwijderen en vervangen door tunnels of viaducten), vergroten van de capaciteit op emplacementen (fysiek en milieutechnisch), en energievoorziening verhogen (hogere bovenleidingspanning). (ProRail, 2011a)

Zowel in Zwitserland als in Japan is te zien dat een treindienst met een hogere leveringsbetrouwbaarheid mogelijk is. Onderdeel van ProRail's werk is te leren van andere infrastructuurbeheerders. Zo heeft ProRail een top analist uitgezonden naar Japan om te leren van de Japanse aanpak en deze lessen te vertalen naar de Nederlandse praktijk en zijn specialisten naar Japan geweest voor werkbezoek. Naar aanleiding van de overlast van de verstoring in het treinverkeer als gevolg van de brand bij een verkeersleidingpost en de winterse omstandigheden heeft de minister NS en ProRail gevraagd om een voorstel voor het vereenvoudigen en meer betrouwbaar maken van de keten: infrastructuur, dienstregeling en de logistiek van treinmaterieel en personeel. Dit wordt Robuust Spoor genoemd. Flankerend beleid hierin is het minimaliseren van de oorzaken van verstoringen door robuuste infrastructuur (wisselsanering, onderhoudsregime), robuust materieel en een uitvoerbare planning (marge in de planning, onderhoudsplanning), alsmede het voorkomen van de olievlekwerking door verkeersstromen zoveel mogelijk in plaats te scheiden voor de gegeven lijnvoeringen en cross-platform overstappen, demping van vertragingen (Kort Volgen) en een snelle proactieve transparante bijsturing. Dit laatste wordt bewerkstelligd door werkplekken

inrichten naar verkeersstromen, bijsturen vanuit één plan door één persoon, en werken volgens een transparant uitvoeringskader gebaseerd op proactieve beslissingen. Hiermee wil ProRail de uitdagingen van de toekomst aangaan door over te stappen van het huidige complexe spoorstelsel gericht op flexibiliteit naar een vereenvoudigd spoorstelsel gericht op robuustheid. (ProRail, 2011h)

### 3.3 Internationale ontwikkelingen

In 2007 hebben alle EU landen een implementatieplan moeten indienen bij de Europese Commissie. Intussen hebben een aantal landen onlangs definitief besloten om het landelijke bestaande spoorstelsel te migreren naar ERTMS. Dit zijn België en Denemarken. De migratiestrategieën zijn totaal verschillend en hangen af van de specifieke omstandigheden in die landen. Er is echter één grote overeenkomst en dat is schaalvergroting om de migratiekosten te drukken.

#### 3.3.1 België

België wil in 2022 over het hele netwerk ETCS L1, L2 of L1 Limited Supervision (LS) geïmplementeerd hebben. Voor België zijn veiligheid en interoperabiliteit de belangrijkste aspecten voor de migratie van de bestaande beveiliging. In 2010 heeft zich een ernstig treinongeluk voorgedaan met 19 doden doordat een trein door een stoptonend sein reed en de in de trein geïnstalleerde treinbeïnvloeding (Memor) niet automatisch voor een rood sein remt. Na onderzoek uitgevoerd door een parlementaire commissie is besloten dat de veiligheid versneld moest worden verbeterd. Alle treinen worden daarom versneld voorzien van het treinbeïnvloedingssysteem TBL1+ dat gebruikt maakt van ERTMS hardware componenten en een *packet 44* oplossing wat verwijst naar een vrij veld (veld nr. 44) in de ETCS datatelegrammen van Eurobalises naar de boordapparatuur dat gebruikt wordt om het nationale treinbeïnvloedingssysteem TBL1 te voorzien van de benodigde data over de seintoestand. Deze oplossing is anders dan een STM (Specific Transmission Module) zoals het STM-ATB dat gebruikt maakt van nationale bakens of gecodeerde spoorstromen voor baan-trein dataoverdracht (i.p.v. Eurobalises).

Ook is een nieuw implementatieplan opgesteld voor versnelde migratie naar ERTMS. De implementatiestrategie van Infrabel is gebaseerd op een aantal inzichten. De voorkeur gaat uit naar ETCS L2. Op basis van de ervaringen met de hogesnelheidslijnen L3 en L4 is ETCS L2 maximaal 15% duurder dan L1. ETCS L2 is echter makkelijker te beheren dan ETCS L1. ETCS L1 is een gedistribueerd systeem met vele interfaces (naar alle LEU's), terwijl ETCS L2 minder interfaces heeft van de interlocking naar de RBC's. Hierdoor zijn voor het beheer van ETCS L2 minder kritische resources nodig (factor 2 à 3) van schaars en duur personeel. Daarnaast vindt Infrabel de ontwikkeling van een interface relaisinterlocking-RBC geen optie omdat dit ook erg duur is en relaisinterlockings niet lang meer mee gaan. Bestaande relaisinterlockings waarvan de levensduur niet binnenkort afloopt worden daarom aangesloten op ETCS L1. Op de kleinere lijntjes worden kosten bespaard door ETCS Level 1 Limited Supervision (LS) te installeren. ETCS LS is een overlay over de bestaande lichtseinen. De boordapparatuur kent de toestand van de baanseinen niet zodat de machinist zelf de seinen in de gaten moet houden en er naar handelen. De trein wordt slechts gedeeltelijk door ETCS bewaakt. Hiervoor is een risicoanalyse gedaan met een model dat het veiligheidsniveau

berekent met als referentiewaarde het veiligheidsniveau van bestaande lijnen. Hieruit blijkt dat met ETCS LS zo'n 5% STS-risico over blijft, tegen 20% met TBL 1+ en 70% als er niets wordt gedaan. Voor ETCS LS is de nieuwe ERTMS Baseline 3.0.0 vereist dat naar verwachting in 2013 beschikbaar komt (en de eerste implementaties van de industrie in 2015).

Het recente ERTMS migratieplan onderscheidt drie typen corridors met een eigen strategie.

1. Op de hoofdassen wordt ETCS L2 geïnstalleerd in combinatie met elektronische interlockings. Dit betreft in totaal 2000 km spoor. Hiervan beschikt 1 000 km over recente elektronische interlockings (SmartLock van Alstom) die niet vernieuwd worden maar voorzien van een interface met de RBC's. De andere 1 000 km heeft momenteel relaisinterlockings die vervangen moet worden door nieuwe elektronische interlockings. De ERTMS L2 migratie op de 2000 km hoofdassen wordt als één geheel aanbesteed, waarbij voor de helft dus ook elektronische interlockings wordt gevraagd en voor de andere helft een interface tussen de RBC's en bestaande interlockings.
2. Op de bijkomende assen wordt ETCS L1 of L2 geïnstalleerd afhankelijk van de bestaande interlockings en samenhang met de omgeving. Op corridors waar al ETCS L1 ligt worden ontbrekende delen ook van L1 voorzien (bijv. Brussel-Halle). Op corridors waar recentelijk relaisinterlockings zijn geïnstalleerd en waar veel ETCS L1 in de buurt ligt wordt ETCS L1 geïnstalleerd. Bij vervanging van oudere interlockings worden nieuwe elektronische interlockings geplaatst liefst met ETCS L2 en eventueel L1 als dat beter in de corridor past.
3. Op de kleinere assen wordt ETCS Level 1 Limited Supervision toegepast.

Daarnaast worden ERTMS projecten die tijdens de besluitvorming al opgestart waren afgemaakt in de oorspronkelijke opzet (bijvoorbeeld Leuven en Antwerpen Haven). De grote aanbesteding van de hoofdassen over heel België vindt dit jaar nog plaats waarvoor vijf inschrijvende leveranciers worden verwacht. Voor de bijkomende assen met bestaande interlockings en ETCS L1 is al een contract gegund aan Siemens. De LEU's worden hier met een generieke verbinding aan de baansein en gekoppeld, terwijl voor directe verbindingen van interlockings met de LEU's interfaces worden ontwikkeld door de eigen seiningenieurs van Infrabel. In totaal kost dit nieuwe plan 2 miljard Euro inclusief nieuwe elektronische interlockings, waarvan ongeveer 1 miljard Euro kosten zit voor vroegtijdige vervanging van interlockings. Het oude plan om alles te vernieuwen kostte 4 miljard.

Tot 2022 blijven de bestaande baansein en in gebruik waardoor voor ETCS L1 een capaciteitsverlies van ongeveer 10% wordt verwacht vergeleken met het oude systeem zonder automatische treinbeïnvloeding (waarbij treinen niet onder een veilige remcurve moeten blijven bij nadering van een rood sein), en voor ETCS L2 wordt nauwelijks capaciteitswinst verwacht. Nieuwe elektronische interlockings (bij ETCS L2) worden echter wel ontworpen met korte blokken voor een minimum opvolgtijd van 2 minuten (nu 3 minuten). Treinen met ETCS kunnen hierover maximaal 160 km/u rijden, terwijl treinen met conventionele beveiliging (lichtsein en met TBL1+) maximaal 130 km/u kunnen rijden. Na 2022 – als alle treinen ETCS aan boord hebben – worden de baansein en verwijderd en wordt bij vernieuwing alleen nog ETCS L2 met elektronische interlockings geïnstalleerd.

Infrabel ziet het beheer van beveiligingsinstallaties als core business voor een infrastructuurmanager. Infrabel heeft dan ook een eigen afdeling van seiningenieurs die binnen Infrabel worden opgeleid. In het verleden bouwde deze afdeling zelf alle relaisinstallaties (engineering, bedrading). Nu is er ook veel outsourcing maar de engineering wordt nog steeds door Infrabel zelf gedaan, ook voor elektronische interlockings (zoals de SmartLock), waarbij de installatie van de kastjes en kabels buiten worden uitbesteed aan installateurs (zonder specifieke kennis van het seinwezen). Een eis bij de aanbestedingen is dan ook dat de eigen ingenieurs zelf achteraf wijzigingen kunnen doen (reconfigureren en certificeren) en dus kennis hebben van de nieuwe installaties. Infrabel wil de know-how in huis houden en niet afhankelijk zijn van derden zodat ze een deel van het onderhoud en wijzigingen zelf kan blijven uitvoeren. Er is echter geen menskracht genoeg om alles zelf te doen zodat Infrabel ook is gaan outsourcen, maar de know-how wordt daarbij wel binnen Infrabel in stand gehouden.

De vervanging van het materieel is een zaak van de vervoerder NMBS die met veel oud materieel rijdt. Binnenkort stroomt veel nieuw materieel binnen dat met ETCS L1 en L2 is uitgevoerd. Het oudere materieel wordt omgebouwd naar alleen TBL1+ (dat is gebaseerd op ETCS componenten) waarvan veel voor 2020 buiten dienst gesteld zal worden wegens ouderdom.

### **3.3.2 Denemarken**

Denemarken wil in 2021 het hele spoornetwerk vernieuwd hebben met ETCS L2, nieuwe elektronische interlockings en state-of-the-art railverkeersmanagement. Alle beveiligingsapparatuur wordt vervangen ongeacht leeftijd of techniek en nieuwe operationele regels worden ingevoerd conform de Europese technische interoperabiliteit specificatie voor operations (TSI-OPE). Het Deense spoor heeft een (deels enkel-sporige) netwerk lengte van 2100 km en een spoorlengte van 3200 km. De huidige spoorbeveiliging is bijna overal aan het einde van de levensduur. Ongeveer 50% van het beveiligingssysteem is meer dan 50 jaar oud en bijna 80% is gebaseerd op relaistechniek van de jaren 1950/1960. Over de volgende 15 jaar zal ongeveer 60% van de beveiligingsapparatuur het einde van de levensduur bereiken.

De Deense migratiestrategie van integrale vernieuwing is ingegeven door een aantal karakteristieken in Denemarken: de hoge gemiddelde leeftijd van de beveiligingssystemen van de Deense infrastructuurmanager Banedanmark; het gebrek aan marktwerking door de unieke nationale regels, kleine markt en de corresponderende monopolistische marktsituatie; hoge kosten voor onderhoud, reserveonderdelen, doorvoeren van wijzigingen en veiligheidscertificering; verdwenen kennis van de oude technologie door pensionering; en gebrek aan functionaliteiten en potentiële ontwikkelingen van de spoorwegen.

De volledige vernieuwing betekent uiteraard kosten voor een deels voortijdige vervanging van installaties die nog niet aan het einde van hun levensduur zijn. Desondanks heeft een business case aangetoond dat in Denemarken integrale vernieuwing het beste scoorde op kosten, risico en baten, met name door schaalvoordelen en het creëren van een concurrerende marktsituatie. Er wordt uitgegaan van ERTMS Baseline 3.0.0 en zoveel mogelijk bestaande standaarden waarbij ook compleet nieuwe operationele regels worden ontwikkeld volgens de Europese TSI

Operations. Banedanmark heeft een consortium van vier internationale ingenieursbureaus opgericht die de tenders heeft voorbereid en toeziet op de prestaties en samenhang van de integrale vernieuwing.

Het landelijke spoornetwerk is opgedeeld in twee gebieden (oost en west) die apart aanbesteed worden zodat de vernieuwing binnen de gestelde termijn van twaalf jaar kunnen worden afgerond. De twee grote contracten bevatten integrale vernieuwing van de beveiligingsapparatuur met ERTMS/ETCS L2, elektronische interlockings en een geïntegreerd verkeersmanagementsysteem voor ieder gebied. De integrale vernieuwing in twee grote gebieden heeft een aantal voordelen: competitie tussen alle grote seinwezenleveranciers; verminderde problemen met apparatuur en interfaces doordat (per tender) één leverancier een volledig (compatibel) pakket van spoorbeveiligingsapparatuur levert; een laag percentage van de totale investering voor ontwerp en ontwikkelingskosten; een voordelige leercurve door het herhaaldelijk installeren van gelijksoortige apparatuur; en slechts één veiligheidsgoedkeuring per contract. Beide leveranciers hebben een optie op het andere gebied als de leverancier van het andere gebied de afspraken over de levering niet na kan komen.

Banedanmark heeft in een aantal maanden de functionele eisen voor veiligheid, prestaties en levenscycluskosten in aparte gesprekken met elk van vijf shortlisted gekwalificeerde leveranciers van ETCS technologie ontwikkeld en haalbare prestatie indicatoren afgestemd, inclusief betrouwbaarheidspercentages en maximale treinvrije perioden voor inbouw van nieuwe apparatuur in de baan (Eurobalises, assentellers) en baan-materieel testen. De prestatiegerichte contracten zijn inclusief technische ondersteuning en onderhoud van alle apparatuur over in eerste instantie tien jaar volgens prestatieafspraken, waarmee een efficiënte levering van de installaties en een goedkoper en efficiënt onderhoudsregime wordt beoogd. De leveranciers kunnen hun beste *final offers* indienen tot oktober 2011. Eind 2011 denkt Banedanmark de twee ERTMS contracten voor het landelijke net te kunnen gunnen. De levering van ETCS L2 boordapparatuur inclusief een nationale STM-DK wordt aanbesteed in één raamwerkcontract voor de hele Deense treinenvloot. Ook de beveiliging van het S-Bahn netwerk in Kopenhagen wordt volledig vernieuwd met radio gebaseerde treinbeveiliging (CBTC) die geschikt is voor automatische treinoperatie (zonder machinisten). De tender voor de S-Bahn is gewonnen door Siemens voor een bedrag van 252 miljoen Euro. De totale kosten voor de vier grote tenders zijn geschat op 2,4 miljard Euro waar bovenop 30% risicotoeslag wordt gereserveerd (volgens de Deense wetgeving) zodat het volledige programma in 12 jaar tijd voor een geschatte 3,2 miljard Euro gerealiseerd kan worden (Banedanmark, 2010).

De systeemspecificaties worden gezamenlijk verder ontwikkeld door de gekozen leveranciers, Banedanmark en het consortium van ingenieursbureaus zodat dezelfde operationele oplossingen gegarandeerd zijn over de verschillende contractgrenzen. In de periode tot 2016 wordt het materieel voorzien van de boordapparatuur en worden twee corridors van in totaal 300 km voorzien van ETCS L2 parallel met de oude apparatuur: Roskilde–Køge–Næstved (oost) en Fredrikshavn–Aalborg–Langå (west). Deze lijnen worden vervolgens intensief getest voordat ze volledig overgaan op de nieuwe beveiliging. Nadat voldoende betrouwbaarheid bereikt is en de veiligheid is toegekend op deze eerste lijnen wordt vanaf 2018 lijnsgewijs de rest van het spoornet voorzien van nieuwe apparatuur, eerst over de

hoofdassen en vervolgens de secundaire lijnen. Voor deze secundaire lijnen kan eventueel nog gekozen worden voor een goedkopere variant ERTMS Regional die momenteel in Zweden wordt beproefd, maar vooralsnog lijkt het het goedkoopste om de secundaire lijnen te laten meeliften op de marginale kosten van de volledige uitrol van ETCS L2. De uitrol eindigt in 2021 en valt samen met het einde van de levensduur van de oude treinbeïnvloeding.

### 3.4 MKBA ERTMS

Decisio heeft in 2010 een Maatschappelijke Kosten-Baten Analyse (MKBA) ERTMS uitgebracht (Decisio, 2010). Deze MKBA is gebaseerd op de cijfers uit de Business Case van ProRail (ProRail, 2009ab) en gaat uit van een integrale vervanging door ETCS L2, waarbij twee referentievarianten zijn onderscheiden: het nulalternatief waarbij relaisinterlockings worden geïnstalleerd bij natuurlijke vervanging van de treinbeveiliging ATB, en het nulplusalternatief waarbij dit moderne elektronische interlockings betreft. De verschillen tussen deze twee referentievarianten zijn aanzienlijk doordat de levenscycluskosten van elektronische interlockings en ERTMS door ProRail de helft hoger worden geschat dan relaisinterlockings met ATB-EG: maar liefst 2,5 miljard Euro extra. In de MKBA is met deze getallen verder gerekend alhoewel in een afzonderlijke paragraaf wel wordt opgemerkt dat de prijzen omlaag kunnen en zullen gaan (Decisio, 2010, § 3.1.3). In de Business Case (ProRail, 2009a) wordt in § 1.6 expliciet het volgende uitgangspunt genoemd: *«Er wordt uitgegaan van actuele kostprijzen en niet van prognoses, daarbij geldt dat het huidige kosten-niveau is voortgekomen uit de huidige wijze van contractering en aantal leveranciers (3 leveranciers, per project contractering). Welke kostenontwikkeling er bij de verschillende strategieën ten aanzien van aantal leveranciers en wijze van contracteren kan/zal zijn is niet binnen scope van dit onderzoek.»* In de managementsamenvatting is onder de conclusies ook te lezen: *«Het onderzoek geeft een gestileerde extrapolatie van de huidige ervaringscijfers met een beperkte validiteit voor prognoses. Er zijn geen gevoeligheidsanalyses toegepast op mogelijke (dalende) kostenontwikkelingen voor elektronische interlockings».* Uit § 3.2 van het huidige rapport blijkt dat de levenscycluskosten van elektronische interlockings voor de komende 25 jaar veel lager liggen dan de schatting van de Business Case (d.i. het huidige prijspeil) en volgens de industrie zelfs kunnen zakken tot het niveau van relaisinterlockings, mits de aanbestedingsstrategie wordt aangepast. De Business Case diende voornamelijk ter berekening van de beste vervangingsstrategie van de Mistral interlockings voor de korte termijn (eerste vijf jaar) waarbij de aannamen van de actuele kostprijzen te verdedigen is. Voor een MKBA voor de komende 25 jaar zijn deze cijfers echter geen reële basis.

In de Business Case wordt uitgegaan van een stapsgewijze vervanging van de beveiliging van «corridors». Het woord «corridor» is hier echter misleidend: een «corridor» is binnen Mistral een emplacement en/of baanvak tussen twee emplacementen en betreft dus relatief kleine projecten overeenkomend met één relaisinstallatie. Hieronder zullen we deze «corridors» aanduiden als «(Mistral) projecten» om misverstand te voorkomen met een meer ingeburgerd gebruik van corridor als een samenhangend traject van meerdere emplacementen en baanvakken zoals de SAAL corridor (Schipol–Amsterdam–Almere–Lelystad). In de Business Case worden ieder jaar contracten voor realisatie en onderhoud van drie Mistral projecten gegund met ieder een doorlooptijd van twee jaar van gunning tot oplevering. In eerste instantie gaat het om de



vervanging van de Mistral projecten die vóór 2018 vervangen moeten worden, zie Appendix E. Deze worden vervangen met ATB totdat het rollend materieel voldoende is voorzien van ETCS waarna de vervangingsprojecten worden gerealiseerd met ERTMS (in de varianten waarin ERTMS wordt geïnstalleerd). Op dat moment worden ook de reeds gerealiseerde projecten in wijzigingsprojecten met een frequentie van drie per jaar en met een doorlooptijd van twee jaar omgebouwd tot ERTMS. In totaal zijn er ongeveer 90 projecten, 15 voor de korte termijn (de huidige scope van het Mistral programma) en 75 voor de lange termijn. De tijdsplanning van projecten is op basis van de vervangingsmomenten waardoor veel ETCS eilanden met ATB transities ontstaan. De vervanging van het hele (hoofd) netwerk duurt op deze manier 30 jaar waarbij ieder jaar drie projecten worden opgeleverd. Het is onduidelijk of hier ook de regionale lijnen inbegrepen zijn: het implementatieplan van de spoorsector en de varianten die in de MKBA ERTMS zijn geëvalueerd gaan over het hoofdnets dat 75% van het spoornet omvat. De regionale lijnen (de overige 25% van het spoornet) worden volgens het implementatieplan van de spoorsector beveiligd met «ERTMS-componenten» die nog niet nader zijn ingevuld (ProRail, 2006; Decisio, 2010). De Business Case geeft echter ook een totaal bedrag voor heel Nederland door extrapolatie van de berekeningen voor het hoofdnets (d.i. het eindbedrag per variant voor het hoofdnets maal 4/3).

De Mistral vervangingsstrategie van drie projecten per jaar is niet efficiënt voor vervanging door moderne elektronische interlockings en ERTMS, zie § 3.2. Elektronische interlockings kunnen meerdere relaisinterlockings tegelijk vervangen waarmee de totale kosten omlaag gaan (zie Figuur 10). Voor de implementatie van ETCS L2 geldt dat eilandbedrijven binnen een ATB omgeving zoveel mogelijk moet worden voorkomen om het aantal transities van en naar ETCS L2 zo laag mogelijk te houden. Voor de migratie naar ERTMS is dus een corridorsgewijze strategie belangrijk waarbij hier met een corridor een samenhangend traject van spoorlijnen en emplacementen bedoeld wordt. In de Business Case worden de realisatiekosten van elektronische interlockings ruim twee keer zo hoog geschat als die van de relaisinterlockings, ook bij gebruik met ATB-EG. De ontwikkelingskosten van elektronische interlockings worden voor heel Nederland in combinatie met ATB-EG op 22 miljoen geschat en met ETCS L2 op 14 miljoen extra. Er kan vanuit worden gegaan dat het grootste deel van de ontwikkelingskosten al gedaan is door de leveranciers en in de eerste projecten, alhoewel de leveranciers aangaven dat nog steeds een groot deel van de offerteprijzen van de laatste aanbestedingen naar nieuwe ontwikkeling ging vanwege gewijzigde specificaties (33 á 50%). Bij het schatten van ontwikkelingskosten doet zich de moeilijkheid voor dat een deel daarvan abusievelijk wordt gezien als realisatiekosten. Bij extrapolatie van realisatiekosten worden deze ontwikkelingskosten dan ook vermenigvuldigd terwijl die eenmalig waren. Mogelijk zijn ook hier de ontwikkelingskosten onderschat en als realisatiekosten gerekend. Belangrijker is echter dat met een andere manier van aanbesteden schaalvoordelen gehaald kunnen worden.

Bij de onderhoudskosten is in de Business Case wel rekening gehouden met dalende kosten voor elektronische interlockings omdat deze «voor een groot deel bepaald worden door vaste kosten die nu nog over één of enkele installaties verdisconteerd moeten worden maar die, indien een leverancier meerdere installaties onder beheer krijgt, gespreid kunnen worden over meerdere installaties» (ProRail, 2009b). De uiteindelijke onderhoudskosten worden voor elektronische interlocking echter nog

steeds ruim drie keer zo hoog geschat als de huidige kosten voor relaisinterlockings. Bij de berekening is ProRail er vanuit gegaan dat het aantal interlockings in alle varianten gelijk is, terwijl moderne elektronische interlockings meerdere relaisinterlockings tegelijk kunnen vervangen. De gemiddelde kosten aan onderhoud van de elektronische interlockings (los van de buitenelementen) is dan een factor drie te hoog, als aangenomen wordt dat iedere elektronische interlocking gemiddeld drie relaisinterlockings vervangt. In de huidige Mistral filosofie worden interlockings één-op-één vervangen. Voor een effectief gebruik van moderne elektronische interlockings moet dit beleid worden aangepast zodat elektronische interlockings meerdere relaisinterlockings tegelijk kunnen vervangen waarna de onderhoudskosten per kilometer spoor van dezelfde orde zijn.

De onderhoudskosten van de buitenelementen worden voor ETCS en ATB-EG door ProRail ongeveer even hoog geschat met ETCS L1 iets hoger (4%) en ETCS L2 iets lager (18%). Het verschil in de onderhoudskosten van balises en seinen is relatief klein omdat de onderhoudskosten van seinen door de introductie van LED seinen al zijn verlaagd (ProRail, 2009b). Voor ETCS L2 worden voornamelijk eenvoudige Eurobalises gebruikt als ijkpunten voor de bepaling van de treinposities. Deze balises zijn onderhoudsarm en gebruiken nauwelijks energie. ETCS L1 gebruikt hiernaast ook actieve Eurobalises in combinatie met de LEU's.

Ronduit de grootste kostenpost voor alle varianten zijn de realisatiekosten van de buitenelementen (seinen/balises, detectie, stroomvoorzorging, en de bijbehorende bekabeling) die bij alle varianten nagenoeg gelijk zijn: ten opzichte van ATB-EG met relaisinterlockings (ruim 2 miljard Euro) zijn de buitenelementen voor ETCS L1 met relaisinterlockings 3% goedkoper en voor ETCS L2 met elektronische interlockings 5% duurder. (ATB-EG met elektronische interlockings komt met een extra 23% wel veel duurder uit.) Over deze kleine verschillen schrijft ProRail: «De buitenelementen verschillen niet veel per variant omdat voor de fysieke buitenelementen als grote kostendrijver het realiseren van kabelsleuven bepalend is. Het verschil in bekabeling bij detectie, stroomvoorzorging en ATB of ERTMS is niet onderscheidend.» (ProRail, 2009a) Het graven van kabelsleuven is dus veruit de grootste kostenpost voor het vervangen van de beveiliging. Vandaar dat rijkhalzend uitgezien wordt naar ETCS L3 waar de buitenelementen zijn verdwenen op passieve Eurobalises na.

In de Business Case wordt er vanuit gegaan dat spoorvrijdetectie bij ETCS met spoorstroomlopen blijft gebeuren net zoals bij ATB-EG. Echter onder ETCS kan ook gebruik gemaakt worden van assentellers. Assentellers hebben een hogere betrouwbaarheid en beschikbaarheid (in termen van storingsfrequentie), zijn onderhoudsruimer, en minder gevoelig voor weersomstandigheden (regen, bladeren, sneeuw) dan spoorstroomlopen (Theeg en Vlasenko, 2009). Andere voordelen van assentellers boven spoorstroomlopen zijn: minder kabels, lager stroomverbruik, speciale maatregelen voor retourstromen onnodig, roestrijden overbodig, flexibel te plaatsen met minder eisen aan de bovenbouw, en ze zijn goedkoper. Assentellers worden in steeds meer landen gebruikt i.p.v. spoorstroomlopen. In Duitsland worden sinds 1995 uitsluitend assentellers gebruikt voor alle nieuwe infrastructuur en vervanging (Theeg en Vlasenko, 2009). Spoorstroomlopen worden met name nog gebruikt als deze nodig zijn voor de treinbeïnvloeding zoals bij ATB-EG (vanwege de ATB-codes). Bij migratie naar ETCS zou ProRail moeten overwegen om over te gaan op assentellers. Ook in de MKBA noemt Decisio de vervanging van spoor-

stroomlopen door assentellers maar de baten zijn niet opgenomen in de MKBA. Enerzijds omdat Decisio de kosten van assentellers niet kent en anderzijds omdat assentellers niet noodzakelijk volgen uit een ERTMS implementatie (Decisio, 2010, p. 64). ERTMS maakt het gebruik van assentellers echter wel mogelijk zodat voor een optimale ERTMS implementatie het verschil in levenscycluskosten (realisatie en onderhoud) en baten onderzocht moet worden voor assentellers en spoorstroomlopen.

De Business Case schat de extra levenscycluskosten van elektronische interlockings ten opzichte van relaisinterlockings op 1,6 miljard Euro, waarvan iets meer dan de helft voor ontwikkeling en realisatie (R&D) en het andere deel voor onderhoud en wijzigingen. De levenscycluskosten van de RBC's worden geschat op nog eens 0,8 miljard Euro<sup>5</sup>. De totale extra levenscycluskosten (inclusief de buitenelementen) voor ETCS L2 met elektronische interlockings boven ATB-EG met relaisinterlockings zijn geschat op 2,5 miljard Euro. Dat is 49% meer dan ATB-EG met relaisinterlockings, of andersom gesteld kost ATB-EG met relaisinterlockings 33% minder dan de geschatte kosten voor ETCS L2 met elektronische interlockings. De levenscycluskosten van elektronische interlockings kunnen door een aantal maatregelen gereduceerd worden tot die van relaisinterlockings, waarmee dus 1,6 miljard Euro bespaard kan worden op de Business Case. In werkelijkheid betreft het hier deels geen echte besparing omdat de geschatte kosten voor elektronische interlockings in feite een bovengrens is die in werkelijkheid lager uit zal komen door de dalende prijs van elektronische interlockings waar geen rekening mee is gehouden. Bij de berekening is echter ook uitgegaan van een migratiestrategie die niet effectief is voor ETCS L2 met elektronische interlockings (maar gebaseerd is op een logische vervangingsstrategie van ATB-EG met relaisinterlockings). Deze migratiestrategie moet aangepast worden om de volledige reductie te incasseren. Van belang is daarbij: bevrozen van de specificaties voor ERTMS (die effect hebben op de functionaliteiten van de interlockings), grootschalige contracten voor de realisatie en onderhoud van elektronische interlockings, vervangen van grotere samenhangende gebieden door gecentraliseerde interlockings, grootschalige onderhoudscontracten (met lage marginale kosten per installatie), en prestatiegerichte contracten over de hele levenscyclus waarbij de leverancier verantwoordelijk is voor de realisatie en (operationeel) onderhoud inclusief updates en herconfiguraties na infrastructuurwijzigingen, zie § 3.2. In totaal komt ETCS L2 met elektronische interlockings dan  $2,5 - 1,6 = 0,9$  miljard Euro duurder uit dan ATB met relaisinterlockings. Hiervan is 0,8 miljard voor de RBC's en 0,1 miljard voor de buitenelementen, waarbij de lagere onderhoudskosten de helft van de andere extra kosten van de buitenelementen compenseren. In percentages is ETCS L2 daarmee 21,5% duurder dan ATB-EG (i.p.v. de 49% uit de Business Case). De levenscycluskosten van ETCS L1 met (relais)interlockings worden in de business case 9% duurder geschat dan ATB-EG met relaisinterlockings. Vergeleken met ETCS L1 is ETCS L2 dan 12,5% duurder wat overeenkomt met de schatting in België (maximaal 15%).

<sup>5</sup> De Business Case beschouwt de RBC's als deel van de elektronische interlockings voor ETCS L2 zonder scheiding van kosten. De extra levenscycluskosten van de elektronische interlockings zijn daarom net als door Decisio berekend als het verschil tussen ATB-EG met elektronische en ATB-EG met relaisinterlockings. De extra levenscycluskosten voor ETCS L2 (d.i. de RBC's) zijn berekend als het verschil tussen ETCS L2 met elektronische interlockings en ATB-EG met elektronische interlockings.

Als de levenscycluskosten van elektronische interlockings met de juiste migratie- en aanbestedingsstrategie gedaald zijn tot het niveau van relaisinterlockings, dan komt het verschil tussen het nulalternatief en het nulplusalternatief in de Decisio MKBA ERTMS te vervallen, waardoor de MKBA effectief wordt teruggebracht tot de cijfers van het nulplusalternatief zonder de extra kosten t.o.v. de nulvariant. Ervan uitgaande dat de overige cijfers van de MKBA juist geschat zijn komt de MKBA ERTMS voor

alle varianten positief uit. Voor de sectorstrategie berekent Decisio een positief resultaat van 125 miljoen Euro ten opzichte van de nulplusvariant, en een baten/kosten saldo van 1,01. De kosten kunnen hier nog verder zakken doordat ook de levenscycluskosten van ETCS L2 en de corresponderende buitenelementen baat hebben bij een aangepaste migratiestrategie, zoals het bevriezen van de specificaties van ERTMS (waarmee ontwikkelingskosten worden voorkomen) en door spoorvrijdetectie te realiseren met assentellers i.p.v. spoorstroomlopen. Ook zijn de materieelkosten van ETCS inbouw in de afgelopen jaren gezakt.

### 3.5 Conclusies

Voor ProRail en NS is de belangrijkste belemmering om tot een landelijke migratiestrategie te komen een sluitende business case: de kosten zijn nog te hoog en de baten onzeker. Daarbij is nog weinig onderzoek gedaan naar de baten omdat bij ieder project waar ERTMS vruchten op zou kunnen werpen dit niet mee is onderzocht. ERTMS wordt snel weggezet als te duur en voor de lange-termijn zodat het niet in aanmerking komt als kandidaat oplossingsrichting. Voorbeelden hiervan zijn snelheidsverhoging naar 160 km/u, voorkomen van STS-passages, aanpakken van knelpunten en capaciteitsproblemen (PHS). Alternatieve maatregelen om de bestaande techniek nog beter te benutten zijn onder de noemer Triple A gebracht en een verdere uitwerking onder de noemer Robuust Spoor. Het gaat hier met name om seinverdichting, versimpeling van het spoornetwerk en vereenvoudiging van de bijsturing ingegeven door het succes in Japan waar de infrastructuur, dienstregeling en het seinstelsel in de afgelopen veertig jaar stapsgewijs naar elkaar toe zijn gebracht en in combinatie met (duur) preventief onderhoud en moderne beslissingsondersteunende middelen in de trein en verkeersleidingscentra een opzienbarend hoge capaciteitsbenutting en punctualiteit is gehaald. Bij het selectief overnemen van een paar onderdelen uit het succesplaatje bestaat het risico dat essentiële punten en samenhang met andere onderdelen over het hoofd worden gezien. In tegenstelling tot bijvoorbeeld Zwitserland en ook Japan die essentiële beslissingsondersteunende middelen ontwikkelingen om dienstregelingsplanners, treindienst- en verkeersleiders en machinisten te helpen om hun vakmanschap goed te doen, kiest ProRail ervoor om het spoorstelsel te vereenvoudigen om beter bevatbaar te blijven voor de planning en bijsturing.

De kosten van ERTMS en nieuwe elektronische interlockings die de ERTMS (Level 2) functionaliteiten faciliteren waren erg hoog voor de ERTMS projecten die reeds afgerond of momenteel in aanbouw zijn. Het gaat hier echter stuk voor stuk om projecten waar ontwikkelingskosten nodig waren voor met name nieuwe interfaces en functionaliteiten wat per definitie leidt tot hoge investeringskosten. De verschillende projecten zijn daarbij door drie verschillende partijen gedaan die ieder voor zich de landspecifieke specificaties moesten implementeren binnen de landelijke voorschriften en regelgeving. Ook nieuwe (Mistral) tenders gaan steeds over aparte emplacementen en/of baanvakken waarbij steeds weer de specificaties zijn aangepast zodat ontwikkelingskosten een significant deel van de investeringskosten uitmaken. De investeringskosten gaan pas omlaag als de specificaties worden bevroren zodat een eenmaal ontwikkelde oplossing hergebruikt kan worden en ontwikkelingskosten verdwijnen. Hierbij is ook schaalgrootte van belang: bij meerdere gelijksoortige projecten (per leverancier) kunnen de ontwikkelingskosten verdeeld worden over de projecten. De huidige methode om de vervanging van de spoorbeveiliging in een klein gebied per stuk aan te

besteden aan wisselende partijen en met steeds aangepaste specificaties of functionaliteiten leidt inherent tot hoge kosten.

Een tweede hoge kostenpost zijn de jaarlijkse onderhoudskosten van de nieuwe ERTMS corridors. Ook hier wreekt zich de kleinschaligheid. De leveranciers moeten ieder apart een continu bemande onderhoudsorganisatie inrichten voor kleine gebieden met hoge vaste kosten. Bij meerdere corridors kan dezelfde onderhoudsorganisatie worden gebruikt waardoor de vaste kosten verdeeld worden. Als derde punt zijn de hoge wijzigingskosten van reconfiguraties en upgrades. Deze worden voor elektronische interlockings en ERTMS door de leveranciers gedaan en per wijziging wordt een contract afgesloten i.p.v. een raamwerkcontract waar zowel onderhoud als wijzigingen gedurende de hele levensduur in besloten ligt zoals in Duitsland goed werkt. Ook hier wreekt zich de kleinschaligheid in de omvang van onderhouds- en wijzigingscontracten. ProRail ziet hier een vendor lock-in waarbij ze aan een leverancier vast zitten voor regulier en operationeel onderhoud. Een eerste poging tot een raamwerkcontract in de laatste Mistral aanbesteding heeft niet gewerkt. Een andere oplossing om van de vendor lock-in af te komen is om het onderhoud en wijzigingen zelf te doen (zoals in België) of in concurrentie aan te besteden. De leveranciers staan hier open voor zoals ook de Belgische praktijk laat zien. Echter in Nederland mag aanbesteed onderhoud alleen gedaan worden door onafhankelijke erkende ingenieursbureaus waar de seinwezenindustrie niet aan voldoet. Zodra een leverancier het operationele en reguliere onderhoud van nieuwe beveiligingssystemen vrij geeft komt ze zelf niet meer in aanmerking om daar in open concurrentie op in te schrijven, ondanks de beschikbare expertise van de eigen systemen. In de komende tientallen jaren is veel werk te doen aan vervanging en/of migratie van beveiligingssystemen terwijl er een tekort is aan ervaren ingenieurs. Het speelveld kan vergroot worden door de seinwezenindustrie in open concurrentie toe te laten naast de nu onafhankelijke erkende ingenieursbureaus. Dit voorkomt de vendor lock-in en leidt tot betere marktwerking met een concurrerend prijsniveau.

Doordat de kosten van elektronische interlockings niet daalden is ProRail gaan onderzoeken of er goedkopere oplossingen zijn. Allereerst zijn dat de relaisbeveiligingen die goedkoop zijn in aanschaf, onderhoud en aanpassingen, maar niet direct te koppelen aan een RBC zodat voor gebruik met ERTMS een interface moet worden ontwikkeld waarvan de kosten nog onduidelijk zijn. Een moderner alternatief is een PLC-beveiliging die in opdracht van ProRail ontwikkeld wordt en waarvan de rechten na ontwikkeling bij ProRail komen te liggen zodat onderhoud en wijzigingen in concurrentie kunnen worden gedaan door erkende ingenieursbureaus. Dit is echter een geheel nieuwe toepassing van PLC's en de interlockings opgebouwd uit PLC's moeten nog gecertificeerd worden waarin veel kosten en risico's gaan zitten. Een PLC-interlocking kan wel gekoppeld worden aan ERTMS. Het lijkt vreemd dat interlockings opgebouwd uit fysieke componenten (relais, PLC's) goedkoper kunnen zijn dan elektronische (computer) interlockings waar de beveiligingslogica eenvoudig met software kan worden geconfigureerd. Debet hieraan is vooralsnog de safety case waarin voor elektronica moet worden bewezen dat de software code correct is en de data-tabellen kloppen met de tekeningen. Hierin zijn ook ontwikkeling doordat ook bij elektronische interlockings steeds meer gebruik gemaakt kan worden van eerder gecertificeerde onderdelen. De infrastructuurgegevens en/of interlockings-ontwerpen worden ook nog steeds als tekeningen aangeleverd in plaats van digitaal waardoor veel engineeringswerk gaat zitten in het omzetten

van de tekeningen naar tabellen. ProRail zou hier ook een kostenreductie kunnen bewerkstelligen.

Zoals in het vorige hoofdstuk gezien (§ 2.4 en § 2.6) zijn in ERTMS alleen interfaces formeel gespecificeerd die relevant zijn voor baan-trein interoperabiliteit. Interfaces tussen interlockings en ERTMS zijn echter vrij te ontwerpen door de leveranciers waarbij de specificaties ook afhangen van de gewenste functionaliteiten van de infrastructuurmanager en evenzo is de uitwisseling van componenten van de boordapparatuur niet gegarandeerd. Als dit niet goed beheerst wordt door respectievelijk ProRail en NS ontstaat een veelvoud aan extra ontwikkelingskosten. NS heeft zich aangesloten bij het openETCS project dat Europese standaardisatie van boordapparatuur nastreeft. ProRail worstelt echter nog met de functionele specificaties waardoor bij ieder ERTMS project alsmede bij de vervanging van interlockings steeds opnieuw ontwikkelingskosten ontstaan.

In een business case concludeerde ProRail in 2009 op basis van het toenmalige prijspeil dat de levenscycluskosten van elektronische interlockings fors hoger zijn dan die voor relaisinterlockings, waardoor een migratie naar ETCS L2 van het hoofdnet 49% duurder uitkomt ten opzichte van ATB-EG met relaisinterlockings, een verschil van 2,5 miljard Euro. In 2010 wordt de Mistral vervangingsstrategie gewijzigd mede op basis van de business case. ERTMS wordt voorlopig alleen zeker geïmplementeerd op de internationale corridors waar dit door de EU verplicht is. Voor andere corridors wordt afgewogen of er een capaciteitsprobleem is waar ERTMS een oplossing voor zou kunnen bieden, waarna een positieve business case moet volgen om over te gaan op ERTMS. Emplacementen en spoorlijnen waar de beveiliging vervangen moet worden maar waar ERTMS niet noodzakelijk lijkt voor het oplossen van knelpunten worden vervangen door goedkopere interlockings die niet voorbereid zijn op ERTMS. Bij ProRail leeft duidelijk geen urgentie om te migreren naar ERTMS waarbij door de kleinschalige manier van aanbesteden in combinatie met slecht specificatiemanagement de kosten hoog blijven. ProRail heeft nog een steile leercurve te gaan omtrent ERTMS. De keuze voor een juiste migratiestrategie en technische oplossingen vereist een coöperatieve aanpak samen met de seinwezenindustrie om te komen tot een duidelijke visie op de toekomst van ERTMS in Nederland die momenteel nog ontbreekt.

De MKBA ERTMS van Decisio uit 2010 was ook gebaseerd op de cijfers van de business case van ProRail. De onzekerheid over Mistral ten opzichte van relaisinterlockings versus elektronische interlockings leidde tot een MKBA saldo met een brandbreedte van ruim een half miljard in de min tot een half miljard in de plus (in netto contante waarde), en een baten-kosten ratio van zeer negatief tot enigszins positief. De cijfers van de business case waren echter niet geschikt voor prognoses voor de lange termijn zoals ook aangegeven in de business case. De levenscycluskosten van elektronische interlockings kunnen met de juiste migratie- en aanbestedingsstrategie 1,6 miljard Euro dalen tot het niveau van relaisinterlockings. De levenscycluskosten van ETCS L2 met elektronische interlockings komen dan 0,9 miljard Euro duurder uit dan ATB-EG met relaisinterlockings, oftewel 21,5% i.p.v. de 49% in de Business Case. Van belang is: bevroren van de specificaties voor ERTMS (en daarmee voorkomen van ontwikkelingskosten), grootschalige contracten voor de realisatie en onderhoud van elektronische interlockings en ERTMS, vervangen van grotere samenhangende gebieden door gecentraliseerde

interlockings, grootschalige onderhoudscontracten (met lage marginale kosten per installatie), en prestatiegerichte contracten over de hele levenscyclus waarbij de leverancier verantwoordelijk is voor de realisatie en (operationeel) onderhoud inclusief updates en herconfiguraties na infrastructuurwijzingen. Het verschil tussen het nulalternatief en het nulplusalternatief in de Decisio MKBA ERTMS komt dan te vervallen, waardoor de MKBA effectief wordt teruggebracht tot de cijfers van het nulplusalternatief zonder de extra kosten t.o.v. de nulvariant. Ervan uitgaande dat de overige cijfers van de MKBA juist geschat zijn komt de MKBA ERTMS voor alle varianten positief uit. Voor de sectorstrategie berekent Decisio een positief resultaat van 125 miljoen Euro ten opzichte van het instandhouden van ATB-EG, en een baten/kosten saldo van 1,01. De kosten kunnen hier nog verder zakken doordat de bovenstaande maatregelen niet alleen invloed hebben op de prijs van de interlockings maar ook op die van ERTMS. Daarnaast zijn bijvoorbeeld de materielekosten van ETCS inbouw in de afgelopen jaren verder gezakt en kunnen de levenscycluskosten van de buitenelementen voor ETCS L2 omlaag door voor spoorvrijdetectie assentellers te installeren i.p.v. spoorstroomlopen.

In andere landen is intussen wel overgegaan op een snelle landelijke migratie van ERTMS. Denemarken heeft het spoornet opgesplitst in twee gebieden die apart aanbesteed zijn waarbij alle beveiligingssysteem worden vervangen door elektronische interlockings met ETCS L2 inclusief een nieuw verkeersmanagementsysteem, terwijl ook de levering van ETCS boordapparatuur is aanbesteed als één geheel. Hierdoor worden incompatibiliteitsproblemen tot een minimum beperkt. De interfaces tussen de apparatuur van de twee leveranciers op de grensgebieden worden in samenhang ontwikkeld. België is ook overgegaan op een landelijke migratie naar ERTMS, waarbij op de hoofdassen ETCS L2 wordt geïnstalleerd, deels aansluitend op bestaande elektronische interlockings (van Alstom) en deels vervanging door nieuwe elektronische interlockings, en op de nevenassen zowel ETCS L1 (door Siemens) als ETCS L2 afhankelijk van de levensduur van bestaande relaisinterlockings (van Siemens) en inpassing in de omgeving zodat samenhangende gebieden met ETCS L1 dan wel ETCS L2 ontstaan. Bij vervanging van interlockings wordt bij voorkeur gekozen voor elektronische interlockings met ETCS L2. Op de kleinere assen wordt ETCS L1 Limited Supervision toegepast wat in België ook een forse verbetering van de veiligheid betekent (maar geen betere prestaties). De functionele specificaties zijn in zowel België als Denemarken vooraf goed doorgesproken met de relevante seinwezenleveranciers zodat de infrastructuurmanagers bij de aanbestedingen niet voor onverwachte ontwikkelingskosten komen te staan.

## 4 CAPACITEITSSTUDIE UTRECHT–DEN BOSCH

### 4.1 Inleiding

De potentie van ERTMS op de capaciteitsverhoging van het spoor kan worden doorgerekend met behulp van casussen. Zo heeft de internationale unie van spoorwegen UIC twee rapporten uitgebracht over de capaciteitseffecten van ERTMS op concrete spoorlijnen (UIC, 2008a) en knooppunten (UIC, 2010), en ook ProRail heeft een rapport geschreven met een vergelijking tussen NS'54 en ERTMS/ETCS Level 2 voor de spoorlijn Utrecht–Den Bosch (ProRail, 2010a). Deze studies richtten zich op de theoretische capaciteitseffecten in de dienstregeling. Verstoringen en vertragingen hebben echter een negatief effect op infracapaciteit. Juist hier kan de potentie van ERTMS volledig benut worden door middel van een dynamisch railverkeersmanagementsysteem in combinatie met de verbeterde informatie en communicatiemiddelen van ERTMS.

Dit hoofdstuk beschrijft de resultaten van een casus voor de spoorlijn Utrecht–Den Bosch, waarin de capaciteitseffecten worden doorgerekend inclusief het effect bij verstoorde situaties. Voor deze casus is de aan de TU Delft ontwikkelde software ROMA ingezet (D'Ariano, 2008; Corman, 2010). ROMA is een tool voor dynamisch railverkeersmanagement die een optimale herplanning van het treinverkeer berekend bij actuele verstoringen en vertragingen. ROMA is een microscopische tool wat inhoudt dat het in detail de treindynamica en railinfrastructuur modelleert, inclusief de treinbeveiliging en het seinstelsel. Voor de modellering is gebruik gemaakt van het sectiegewijs vrijgeven van rijwegen op de emplacementen zoals beschreven in Corman e.a. (2010). Hiermee kan de tool ook worden ingezet voor een capaciteitsanalyse waarbij de treinen allen conflict-vrij rijden en de volgtijden zo worden bepaald dat de treinpaden elkaar precies raken in de zogenaamde kritieke blokken (UIC, 2004; Hansen en Pachel, 2008). De tool is eerder ingezet voor studies met het bestaande NS'54 seinstelsel met ATB-EG. De software kan eenvoudig uitgebreid worden naar andere seinstelsels en automatische treinbeïnvloedingsystemen zoals ETCS wat in deze studie is gedaan.

Als casus is de spoorlijn Utrecht–Den Bosch genomen, inclusief station Den Bosch (tot aan Vught aansluiting). Dit is een onderdeel van het Programma Hoogfrequent Spoor (PHS) waar capaciteitsproblemen worden verwacht voor de bestaande infrastructuur. Bovendien staan delen van deze lijn op de nominatie voor invoering van ERTMS. De ProRail studie ging over dezelfde lijn tot aan de aankomst in Den Bosch, zodat we konden aansluiten bij de daar ontwikkelde uitgangspunten (ProRail, 2010b) en projectieregels voor virtuele seinen voor ETCS (ProRail, 2010c). ProRail keek naar de situatie 2009, terwijl hier de dienstregeling 2011 en 2020 (PHS) worden doorgerekend.

### 4.2 Bloktijdtheorie en baanvakbelasting

In deze paragraaf wordt in het kort uitgelegd hoe de plaatjes (bloktijd diagrammen) en getallen (minimum opvolgtijden en baanvakbelasting) in dit hoofdstuk te berekenen en interpreteren zijn. Voor een iets uitgebreidere simpele uitleg van deze begrippen, zie Goverde en Veeneman (2011). Voor een gedetailleerde uitleg van de bloktijdtheorie, zie Hansen en Pachel (2008), en specifiek voor ERTMS, zie (Winter, 2009, § 8.4).



Om te voorkomen dat een trein achterop een stilstaande of langzaam rijdende voorganger botst, is het spoor opgedeeld in blokken waar maar één trein tegelijk in mag zitten. In het NS'54 blokstelsel wordt ieder blok beveiligd door een sein voor het blok. Als het blok bezet is dan staat dit sein op rood en mag een trein het blok niet inrijden. Omdat een trein niet zo maar stil staat wordt via de voorgaande seinen aangegeven dat de trein moet remmen. Als het voorgaande blok langer is dan de remweg voor de toegelaten snelheid bij binnenkomst van dat blok dan staat het voorgaande sein op geel en moet de trein remmen tot 40 km/u en rekening houden met een stop voor een rood sein. Bij kortere blokken wordt al een sein eerder met snelheidsindicatie aangegeven dat de trein snelheid moet minderen. Hieruit kan afgeleid worden wat de minimale afstand tussen twee treinen moet zijn zodat de tweede trein ongehinderd kan doorrijden: de tweede trein kan ongehinderd doorrijden als hij net op zichtafstand voor het sein met de snelheidsbeperkende opdracht is wanneer de eerste trein juist het blok is uitgereden en heeft vrijgemaakt. Bij lange blokken is dat de zichtafstand voor het gele voorsein. De afstand tussen de voorkanten van de twee treinen is dan de som van de zichtafstand, de lengtes van de twee blokken tussen de twee treinen, en de treinlengte van de eerste trein. Tussen twee treinen moet dus minimaal twee vrije blokken zitten (en bij korte blokken nog meer) om ongehinderd te kunnen volgen.

De bloktijd van een blok is gedefinieerd als de tijd dat een blok gereserveerd is voor een trein vanaf de zichtafstand voor het voorsein tot de vrijgave van het blok. De bloktijd is dus niet alleen de rijtijd over een blok maar wordt voorafgegaan door een zicht- en reactietijd (rijtijd over de zichtafstand) en toenaderingstijd (rijtijd van voorsein tot hoofdsein), en wordt afgesloten met een ontruimingstijd (rijtijd over de treinlengte om het blok vrij te maken) en een schakeltijd voor het omzetten en vrijgeven van wissels en seinen. In de plaatjes in dit hoofdstuk wordt de rijtijd in het blok donker gekleurd en de tijdscomponenten ervoor en erna lichter. Bij cabinesignalering met remcurvebewaking is de toenaderingstijd gegeven door de rijtijd over de treinspecifieke remafstand, die afhangt van de snelheid maar onafhankelijk is van voorgaande blokafstanden. Door de bloktijden over de achtereenvolgende blokken op de route van iedere trein te tekenen ontstaat een «bloktijddiagram» waaruit precies is af te lezen op welke tijden een blok bezet is door welke trein, zie bijvoorbeeld Figuur 12. De achtereenvolgende bloktijden van een trein vormen een «bloktijdtrap» in het bloktijddiagram.

De bloktijdtrappen zijn een soort tetrisblokjes waarmee eenvoudig de baanvakbelasting te bepalen is: duw de tetrisblokjes van alle treinen in een cyclus tegen elkaar aan en je hebt de minimum opvolgtijden tussen alle opeenvolgende treinen gevonden. Baanvakbelasting is gedefinieerd als de verhouding tussen de minimale cyclustijd om een reeks treinen conflictvrij volgens de dienstregelingsvolgorden en snelheden over een baanvak te laten rijden en de geplande tijd. De minimum cyclustijd tijd volgt uit de compressiemethode: duw alle bloktijdtrappen binnen een cyclus zo dicht mogelijk tegen elkaar aan zonder dat hinder ontstaat. Dit geeft het zogenaamde gecomprimeerde bloktijddiagram, zie Figuur 12. De minimale cyclustijd is dan het verschil tussen de vertrektijd van de eerste trein in twee opeenvolgende cycli. Voor een uurpatroondienstregeling is de beschikbare tijd een uur. De minimum cyclustijd moet dan dus minder zijn dan een uur om een maakbare dienstregeling te krijgen, corresponderend met een baanvakbelasting lager dan 100%. De baanvakbelasting hangt af van de heterogeniteit van de treinen (IC, sprinter, goederentrein)

en de maximum snelheid. Voor een stabiele dienstregeling moet echter ook voldoende buffertijd overblijven om vertragingsoverplanting van de ene naar de andere trein te voorkomen, zie § 2.2. De buffertijd is het verschil tussen de geplande en minimum cyclustijd. De UIC-capaciteitsnorm beveelt een baanvakbelasting voor gemengd treinverkeer zoals op Utrecht–Den Bosch aan van 60% met tijdelijk hogere waarden van 75% in de spits (UIC, 2004). In Nederland worden een waarde van 80% als toelaatbaar geaccepteerd (Railned, 1996).

### 4.3 Beschrijving casus Utrecht–Den Bosch

Voor de casus is alleen de richting van Utrecht naar Den Bosch doorgerekend. Ten opzichte van 2009 hebben Sprinters in 2011 een extra stop in Houten Castellum (Htnc) en heeft Houten een aangepaste sporenlayout. Voor PHS is er volledige viersporigheid tussen Utrecht Centraal en Houten met nog een extra stop voor Sprinters in Utrecht Vaartsche Rijn (Utvr) waardoor Sprinters en Intercity's tot aan Houten parallel kunnen rijden. Het stuk van Den Bosch tot aan Vught Aansluiting is in onze studie opgenomen om te zien of de treinen na Den Bosch wel passen. Het bleek dat dit deel in alle scenario's niet kritiek was. Specifieke gegevens over de modellering van infrastructuur en materieel staan in Appendix C.

In 2011 zijn tien treinen per uur gepland: 4 IC's, 2 Sprinters van Utrecht naar Den Bosch, 2 Sprinters van Utrecht naar Geldermalsen (–Tiel) en 2 goederentreinen over het hele traject waarvan er één tussendoor moet stoppen in Geldermalsen. Voor PHS 2020 zijn 14 treinen per uur gepland: 6 IC's, 6 Sprinters waarvan er 2 doorrijden naar Den Bosch en 2 goederentreinen.

Voor zowel 2011 als 2020 zijn een aantal varianten doorgerekend:

- ATB-EG: de bestaande situatie van het NS'54 seinstelsel met ATB-EG
- ATB-EG KB: NS'54/ATB-EG met korte blokken zoals ETCS L2
- ETCS L1: ETCS L1 met de bestaande NS'54 blokken (en lichtseinen)
- ETCS L1 KB: ETCS L1 met korte blokken zoals ETCS L2
- ETCS L2: ETCS L2 met korte blokken
- ETCS L1 160: ETCS L1 met bestaande blokken en een baanvaknelheid van 160 km/u, en
- ETCS L2 160: ETCS L2 met korte blokken en een baanvaknelheid van 160 km/u.

De resultaten van de capaciteitsberekeningen voor variant ETCS L1 KB (met dezelfde korte blokken als ETCS L2) zijn gelijk aan die van ETCS L2 omdat bij capaciteitsberekeningen wordt uitgegaan van conflictvrije treinpaden, zodat deze resultaten niet apart zijn genoemd in de tabellen hieronder. Voor een Duitse implementatie van ETCS L1 met lichtseinen geldt dit overigens niet omdat daar een ETCS L1 trein ook al bij een voorsein voor een rood sein moet afremmen (UIC, 2010). In Nederland mogen niet-rode baanseinen genegeerd worden zodat ETCS L1 en L2 treinen beide in dezelfde mate kunnen profiteren van uitgesteld remmen. Er ontstaat wel verschil bij verstoringen waar ETCS L2 continu updates van de rijtoestemmingen geeft terwijl ETCS L1 treinen moeten blijven afremmen tot vlak voor het sein waar ze pas weer een nieuwe rijtoestemming kunnen oppikken van een Eurobalise. Bij de verstoringsanalyse wordt deze variant dan ook apart meegenomen. Merk op dat de kosten van korte blokken voor ETCS L1 wel aanzienlijk hoger zijn dan voor ETCS L2 omdat onder ETCS L1 bij iedere blokgrens een LEU en actieve Eurobalise moet worden geïnstalleerd. Dit geldt ook voor de variant

ATB-EG met korte blokken waar voor ieder extra blok een extra lichtsein moet worden geïnstalleerd: deze variant is opgenomen om de verbetering te tonen van alleen toepassen van korte blokken (met ATB-EG), waarbij nog niet geprofiteerd kan worden van uitgesteld remmen door ETCS L1/L2 cabinesignaling.

Per variant bestaat de capaciteitsanalyse uit twee onderdelen: berekening van de baanvakbelasting voor conflictvrije treinpaden en simulatie van een verstoorde situatie met vertraagde treinen. Details over de opzet van de simulaties staan in Appendix C. Voor de berekeningen is uitgegaan van 5% rijtjidspeeling voor reizigerstreinen en 0% voor goederentreinen volgens de normen van ProRail. Bij de baanvakbelastingsberekening worden ook de rijtijden en minimum opvolgtijden berekend. Deze worden apart in een paragraaf beschouwd.

#### 4.4 Infrastructuur en dienstregeling 2011

In 2011 rijden vier Intercity's (de 800 en 3500 series) over het hele traject van Utrecht naar Den Bosch, twee Sprinters van Utrecht naar Den Bosch (de 16000 serie) en twee Sprinters van Utrecht tot Geldermalsen (de 6000 serie). Tabel 1 toont de dienstregeling 2011 in de vorm van een basisuurpatroon (BUP). De tijden geven de minuten binnen ieder uur aan. Bijvoorbeeld de IC van de 800 serie vertrekt 8 minuten over het hele uur en arriveert in Den Bosch 28 minuten later op 36 minuten over het hele uur. Er zijn ook twee goederenpaden gepland over het hele traject waarvan er één onderweg moet stoppen in Geldermalsen en de andere daar door rijdt. De goederentreinen stoppen niet in Utrecht en Den Bosch. De baanvaksnelheid is 130 km/u, terwijl de goederentreinen maximaal 80 km/u rijden. In de volgende paragrafen worden voor de verschillende varianten achtereenvolgens de rijtijden, minimum opvolgtijden en baanvakbelasting vergeleken, en de resultaten van de vertraginganalyse getoond.

Tabel 1 Dienstregeling basisuurpatroon 2011 (inclusief goederenpaden)

	IC 800	Spr 16000	IC 3500	G	Spr 6000	IC 800	Spr 16000	IC 3500	G	Spr 6000
Ut V	08	12	23	25	27	38	42	53	55	57
Utl		17			32		47			02
Htn		21			36		51			06
Htnc		23			38		53			08
Cl		30			45		00			15
Gdm A		35			50		05		18	20
Gdm V		39					09		23	
Zbm		46					16			
Ht A	36	56	51	03		06	26	21	46	

Ut = Utrecht, Utl = Utrecht Lunetten, Htn = Houten, Htnc = Houten Castellum, Cl = Culemborg, Gdm = Geldermalsen, Zbm = Zaltbommel, Ht = 's-Hertogenbosch

##### 4.4.1 Rijtijden

Tabel 2 geeft de berekende rijtijden voor de verschillende treinen inclusief 5% rijtijdtoeslag. De rijtijden zijn gesplitst in een deel van Utrecht tot Geldermalsen en een deel van Geldermalsen naar Den Bosch. Als voorbeeld heeft de Intercity 14 minuten en 19 seconden nodig voor doorkomst in Geldermalsen. In de tabel kunnen afwijkingen van 1 á 2 seconden komen door afrondfouten in de berekeningen. Met ETCS L1 op de bestaande infrastructuur zijn een aantal significante rijtijdwinsten te

halen. De Sprinter Ut–Gdm heeft met 43 s een significant kortere rijtijd gekregen en tussen Gdm–Ut komt daar nog eens 20 s rijtijdwinst bij, zodat Utrecht–Den Bosch met een minuut sneller kan. De IC heeft voor Den Bosch een kleinere rijtijdwinst van 14 s, en ook de goederentreinen hebben daar 13 s rijtijdwinst. De grotere winst voor de Sprinter komt doordat deze vaker stopt en juist bij een stop kunnen rijtijdwinsten gehaald worden door langer met een hogere snelheid door te rijden. ETCS L2 kan door kortere blokken eerder optrekken waardoor de rijtijdwinst nog iets verder toeneemt. Vergeleken met ATB-EG kan de IC onder ETCS L2 over Ut–Ht 31 s sneller, de Sprinter in totaal 70 s, en de goederentreinen 23 s. Onder ATB-EG met korte blokken kan de Sprinter 13+6=21 rijtijdwinst halen, 50 s minder dan onder ETCS L2. De IC en goederentreinen kunnen onder ATB-EG met korte blokken tot Geldermalsen geen rijtijdwinst halen en tot Den Bosch 4 tot 7 seconden.

**Tabel 2 Rijtijden Utrecht–Den Bosch dienstregeling 2011 met 5% rijtijdtoeslag (2 goederenpaden) [mm:ss]**

Trein	Route	ATB-EG	ATB-EG KB	ETCS L1	ETCS L2	ETCS L1 160	ETCS L2 160
IC	Ut–Gdm	14:19	14:20	14:19	14:20	12:41	12:35
Sprinter	Ut–Gdm	20:25	20:12	19:42	19:36	18:53	18:47
G (stop)	Ut–Gdm	21:13	21:13	21:12	21:12	21:12	21:12
G (door)	Ut–Gdm	20:53	20:53	20:53	20:53	20:53	20:53
IC	Gdm–Ht	12:27	12:20	12:13	11:55	10:18	10:05
Sprinter	Gdm–Ht	14:50	14:44	14:30	14:11	13:17	12:59
G (stop)	Gdm–Ht	18:18	18:13	18:05	17:55	18:05	17:55
G (door)	Gdm–Ht	17:33	17:29	17:20	17:11	17:20	17:11

Ut = Utrecht, Gdm = Geldermalsen, Ht = 's-Hertogenbosch

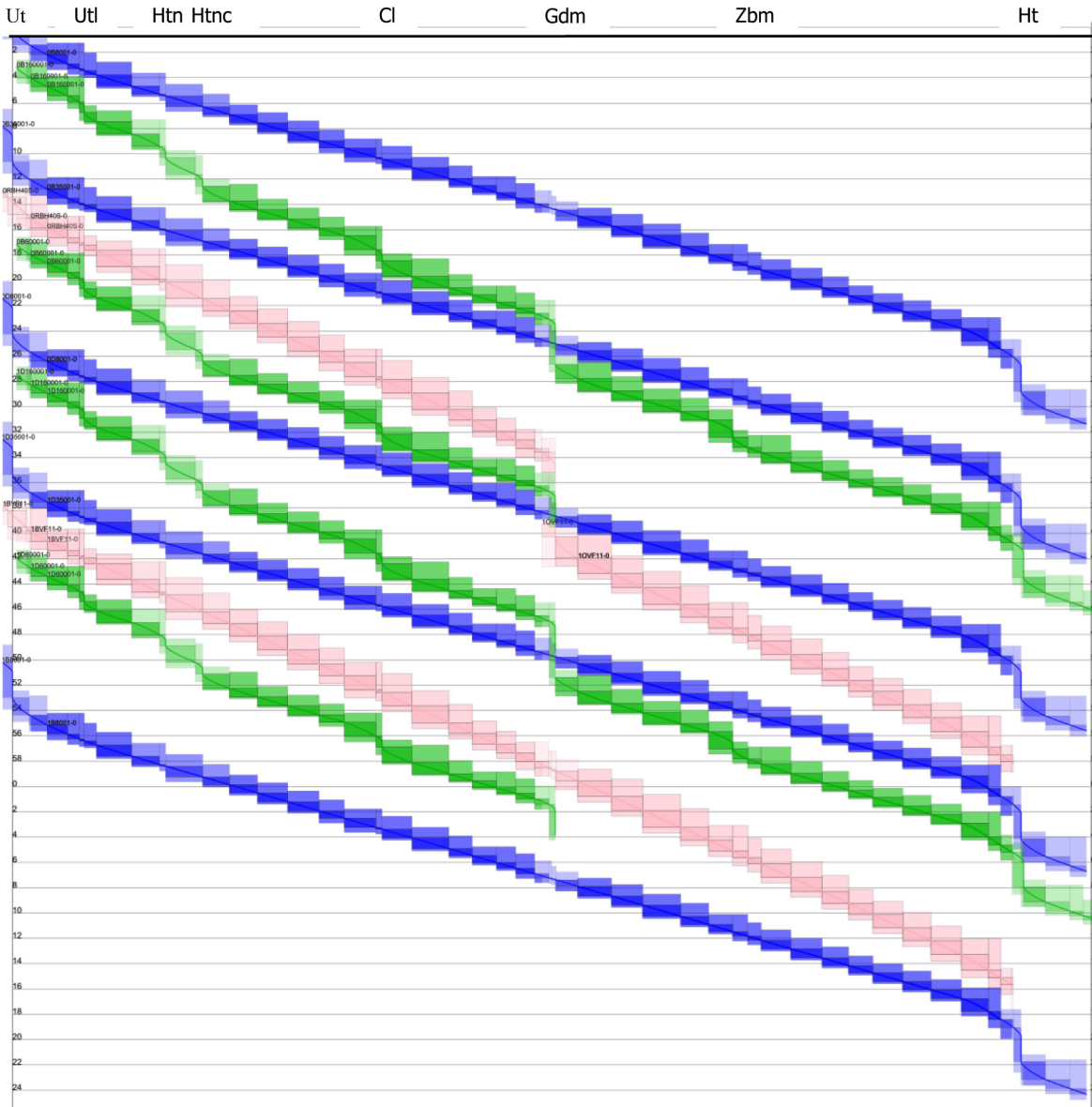
Onder ETCS mogen treinen 160 km/u rijden. Dit levert significante rijtijdwinsten op voor de reizigerstreinen met in totaal vier minuten voor de Intercity (4:06 voor ETCS L2, 3:47 voor ETCS L1) en ruim drie minuten voor de Sprinter tot aan Den Bosch (3:29 voor ETCS L2, 3:05 voor ETCS L1).

#### 4.4.2 Minimum opvolgtijden

Figuur 12 toont het gecompliceerde bloktijddiagram van de dienstregeling 2011 voor NS'54/ATB-EG. Intercity's zijn blauw gekleurd, Sprinters groen en goederenpaden roze. Het bloktijddiagram begint bovenaan met een intercity en vervolgens is ieder volgend treinpad zo ver mogelijk naar boven gedrukt totdat de bloktijdtrappen elkaar raken. Het blok waar twee opeenvolgende treinpaden elkaar raken is het kritieke blok voor de opvolging van die twee treinen en bepaalt de minimum opvolgtijd. De Sprinter die na de Intercity vertrekt heeft een kritiek blok net na Utrecht. De Sprinter kan niet eerder na de Intercity vertrekken anders overlappen de blokken elkaar wat betekent dat de Sprinter voor een geel sein moet remmen. De corresponderende minimum opvolgtijd van de Sprinter na de Intercity is 3:07. De tweede Intercity moet een heel eind na de Sprinter vertrekken anders komt hij te vroeg langs Geldermalsen waar de IC de Sprinter inhaalt. Het laatste blok voor Geldermalsen is het kritieke blok voor de opvolging van de tweede IC na de Sprinter met een bijbehorende minimum opvolgtijd van 7:30. Merk op dat deze minimum opvolgtijd bij vertrek vanuit Utrecht wordt bepaald door het rijtijdverschil tussen Utrecht en Geldermalsen (6:06) en de minimum opvolgtijd bij aankomst van de Intercity na de Sprinter in Geldermalsen (1:24). Op deze manier zijn alle minimum opvolgtijden te vinden tot aan de eerste Intercity van het volgende uur (de laatste trein in het diagram). Deze Intercity heeft een

kritiek blok vlak voor Den Bosch met de tweede goederentrein waardoor de IC niet eerder uit Utrecht kan vertrekken. Vervolgens kan de hele cyclus zich op deze manier blijven herhalen. Het tijdsverschil tussen de eerste trein en laatste trein van het bloktijddiagram (d.i. de eerste IC's van twee opeenvolgende uren) geeft de minimum cyclustijd die nodig is voor deze conflictvrije opvolging van treinen. De baanvlakbelasting is die minimum cyclustijd gedeeld door de geplande tijd (60 minuten), zie de volgende paragraaf.

**Figuur 12 Gecomprimeerde dienstregeling voor 2011 met NS'54/ATB-EG**



Tabel 3 geeft de minimum opvolgtijden voor de verschillende opvolgingen bij Utrecht, Geldermalsen en Den Bosch voor alle varianten. De minimum opvolgtijden zijn gedefinieerd als het tijdsverschil van de aankomsten/vertrekken in de gecomprimeerde dienstregeling. De belangrijkste getallen zijn vetgedrukt. Deze corresponderen met de kritieke opvolgtijden waar de bloktijdtrappen elkaar raken, zoals de vertrekop-

volging van de IC en de Sprinter uit Utrecht. De minimum opvolgtijd in normaal gedrukte getallen bevat een rijtijdverschil, zoals de aankomstopvolging van de Sprinter en IC in Geldermalsen. De schuingedrukte getallen bevatten daarnaast een hoop lucht doordat de opvolging verder uit elkaar gedrukt wordt door een derde trein elders. Dit kan gebeuren doordat de dienstregeling inhalingen in Geldermalsen bevat en een aantal treinen niet verder rijdt dan Geldermalsen. Een voorbeeld hiervan is de minimum opvolgtijd bij aankomst in Den Bosch tussen de eerste Sprinter en de derde IC. Deze IC wordt tot aan Geldermalsen opgehouden door achtereenvolgens de eerste goederentrein en de tweede Sprinter. Als deze twee treinen er niet waren dan kon de IC met een veel kleinere minimum opvolgtijd achter de Sprinter in Den Bosch binnenkomen. Nu zit er echter een «gat» tussen Geldermalsen en Den Bosch die de IC alleen zou kunnen beslechten als hij na Geldermalsen sneller zou kunnen rijden.

**Tabel 3 Minimum opvolgtijden Utrecht–Den Bosch dienstregeling 2011 (2 goederenpaden) [mm:ss]**

Opvolging	Locatie	ATB-EG	ATB-EG KB	ETCS L1	ETCS L2	ETCS L1 160 km/u	ETCS L2 160 km/u
IC-Spr	Ut vertrek	<b>3:07</b>	<b>3:05</b>	<b>2:12</b>	<b>2:13</b>	<b>2:12</b>	<b>2:13</b>
Spr-IC	Ut vertrek	7:30	7:16	6:32	6:20	7:18	7:18
IC-G(stop)	Ut vertrek	<b>2:49</b>	<b>2:46</b>	<b>1:39</b>	<b>1:37</b>	<b>1:39</b>	<b>1:37</b>
G(stop)-Spr	Ut vertrek	3:41	3:40	3:04	3:09	3:52	3:58
G(door)-Spr	Ut vertrek	4:07	4:06	3:33	3:39	4:24	4:30
IC-Spr	Gdm aankomst	9:13	8:57	7:35	7:29	8:24	8:25
Spr-IC	Gdm aankomst	<b>1:24</b>	<b>1:24</b>	<b>1:09</b>	<b>1:04</b>	<b>1:06</b>	<b>1:06</b>
IC-G(stop)	Gdm aankomst	9:43	9:39	8:32	8:29	10:10	10:14
G(stop)-Spr	Gdm aankomst	<b>2:29</b>	<b>2:13</b>	<b>1:10</b>	<b>1:09</b>	<b>1:09</b>	<b>1:09</b>
G(door)-Spr	Gdm aankomst	<b>3:15</b>	<b>2:59</b>	<b>1:58</b>	<b>1:58</b>	<b>2:00</b>	<b>2:00</b>
IC-Spr	Gdm vertrek	<b>1:42</b>	<b>1:42</b>	<b>1:34</b>	<b>1:34</b>	<b>1:25</b>	<b>1:25</b>
Spr-IC	Gdm vertrek	11:55	11:35	9:21	9:05	11:13	11:03
IC-G(stop)	Gdm vertrek	<b>1:42</b>	<b>1:42</b>	<b>1:34</b>	<b>1:34</b>	<b>1:31</b>	<b>1:31</b>
G(stop)-IC	Gdm vertrek	9:25	8:51	8:14	7:57	10:07	9:47
Spr-G(door)	Gdm vertrek	<i>7:15</i>	<i>7:11</i>	<i>6:13</i>	<i>6:10</i>	<i>8:00</i>	<i>8:04</i>
IC-Spr	Ht aankomst	4:05	4:06	3:51	3:50	4:24	4:19
Spr-IC	Ht aankomst	<i>9:32</i>	<i>9:11</i>	<i>7:04</i>	<i>6:49</i>	<i>9:29</i>	<i>9:17</i>
IC-G(stop)	Ht aankomst	7:33	7:35	7:26	7:34	8:03	8:13
G(stop)-IC	Ht aankomst	<b>3:34</b>	<b>2:58</b>	<b>2:22</b>	<b>1:57</b>	<b>2:20</b>	<b>1:57</b>
Spr-G(door)	Ht aankomst	<i>10:14</i>	<i>10:15</i>	<i>9:19</i>	<i>9:28</i>	<i>12:16</i>	<i>12:32</i>
G(door)-IC	Ht aankomst	<b>3:34</b>	<b>2:58</b>	<b>2:22</b>	<b>1:57</b>	<b>2:20</b>	<b>1:57</b>

**Vet: kritieke opvolgtijden**, normaal: opvolgtijd bevat rijtijdverschil, *cursief: opvolgtijd omvat derde trein*

Er zijn negen kritieke minimum opvolgtijden per variant (vetgedrukt in Tabel 3) die hier verder worden toegelicht. ATB-EG met korte blokken heeft op een aantal opvolgingen significante maar matige opvolgtijdwinsten: bij aankomst in Geldermalsen van de Sprinter na de goederentreinen is 16 s gewonnen, en bij aankomst in Den Bosch van de IC na de goederentreinen is 36 s gewonnen. Voor ETCS L1 zijn echter overal significante opvolgtijdwinsten behaald, met name bij vertrek uit Utrecht van de IC na de Sprinter (55 s) en goederentrein (70 s), bij de aankomst in Geldermalsen van de Sprinter na de goederentreinen (79 en 77 s), en bij aankomst in Den Bosch van de IC na de goederentreinen (72 s). Voor ETCS L2 is bij die aankomstopvolgingen in Den Bosch ruim anderhalve minuut (97 s) gewonnen. De grootste verbetering van de korte blokken met ATB-EG zijn de opvolgtijden van de IC na de goederentreinen bij aankomst in Den Bosch waar 17% verbetering is gehaald, voor ETCS L1 met gewone blokken is hier een dubbele verbetering van 34% en voor ETCS L2 bijna een verdriedubbelde verbetering van 45% gehaald. Voor de ETCS varianten is de grootste verbetering gescoord bij de aankomst van de Spinter in Geldermalse na de stoppende goederentrein met meer dan

een halvering van de opvolgtijd (53% verbetering voor ETCS L1 en 54% voor ETCS L2), terwijl hier voor ATB-EG met korte blokken 11% verbetering te zien is.

De kritieke minimum opvolgtijden bij ETCS voor 160 Km/u zijn vergelijkbaar met die onder 130 km/u. Wel zijn de rijtijdverschillen hier veel groter bij met name de opvolgingen met de goederentreinen (die met max 80 km/u blijven rijden). De minimum opvolgtijden van ETCS met 160 km/u (inclusief die rijtijdverschillen bevatten) zijn over het algemeen vergelijkbaar met ATB-EG voor 130 km/u, wat aangeeft dat de capaciteitswinst door korte blokken en uitgesteld remmen weer grotendeels opgeslokt wordt door de hogere snelheden. Of andersom gezegd: de capaciteitswinst van ETCS is hier omgezet in hogere snelheden.

#### 4.4.3 Baanvakbelasting

Tabel 4 toont de baanvakbelasting voor Utrecht–Den Bosch voor de dienstregeling 2011 met twee geplande goederenpaden (eerste rij). De waarde voor de bestaande beveiliging NS'54-ATB-EG is met 88,3% erg hoog en geeft een forse overschrijding van de UIC-norm van 75% voor een stabiele dienstregeling. In de praktijk betekent dit dat de twee goederenpaden per uur over de dag niet haalbaar zijn. Ook voor korte blokken is de baanvakbelasting met 85,3% nog veel te hoog. Onder ETCS L1 echter is de baanvakbelasting 74,5% wat wel een acceptabele kwaliteit levert voor het treinverkeer inclusief twee goederenpaden per uur. Onder ETCS L2 daalt de baanvakbelasting nog verder naar 72,8%. Hieruit volgt dat onder ETCS de bestaande dienstregeling met twee geplande goederenpaden goed mogelijk is, maar onder de bestaande treinbeveiliging zullen snel problemen ontstaan. In de praktijk rijdt per dag echter maar één goederentrein per twee uur (gegevens van ProRail na navraag) waardoor extra capaciteit ontstaat voor de reizigerstreinen. Dit is dus ook echt nodig voor een stabiele dienstuitvoering. Goederentreinen verschillen nog al van elkaar afhankelijk van gewicht, lengte en locomotief. Een gevoeligheidsanalyse voor een slechter remmende goederentrein (gemiddelde remming van 0,25 m/s<sup>2</sup>) toont geen significante verschillen (Tabel 4, rij 4).

**Tabel 4 Baanvakbelasting Utrecht–Den Bosch dienstregeling 2011 met 5% rijtijdtoeslag [%]**

Situatie	ATB-EG	ATB-EG KB	ETCS L1	ETCS L2	ETCS L1 160	ETCS L2 160
2 G/u (normaal)	88,3	85,3	74,5	72,8	87,6	86,4
1 G/u	76,0	73,6	63,1	61,4	71,4	70,6
0 G/u	68,9	67,0	56,7	55,0	60,1	59,8
2 G/u (langzame G)	88,2	85,2	74,9	73,2	88,0	86,8
2 G/u en vertragingen	89,0	85,6	74,3	73,0	–	–

Tabel 4 laat ook zien dat de baanvakbelasting snel afneemt als één respectievelijk nul goederenpaden per uur worden gebruikt (rij 2 en 3) wat wordt verklaard door het afnemen van de heterogeniteit, zie § 2.2. ATB-EG ligt met 76,0% voor één goederenpad per uur nog steeds boven de UIC-norm, maar met korte blokken is de norm wel haalbaar met 73,6%. Voor nul goederenpaden per uur is de baanvakbelasting zeer acceptabel met 68,9% (en 67,0% voor korte blokken). Voor ETCS L1 en L2 is de baanvakbelasting met één en nul goederenpaden per uur zeer laag waardoor ruimte ontstaat voor snelheidsverhoging naar 160 km/u. De resulterende baanvakbelastingen liggen dan nog steeds ruim onder die van ATB-EG (met of zonder korte blokken), en zelfs onder alle baanvakbelastingen met twee goederentreinen per uur. De heterogeniteit is nu door

de hogere maximale snelheid wel toegenomen maar dat wordt meer dan gecompenseerd door het verwijderen van een goederentrein. Voor twee goederenpaden per uur is onder ETCS de baanvakbelasting bij 160 km/u wel te hoog en vergelijkbaar met het huidige NS'54/ATB-EG. Het rijtijdsverschil tussen met name de IC en de goederentrein die nog steeds maximaal 80 km/u rijdt wordt nu zo groot dat de IC veel later uit Utrecht moet vertrekken om voor Den Bosch niet achter de goederentrein te komen, zie Figuur 12.

De waarden in Tabel 4 zijn iets hoger dan de ProRail studie (voor de 2009 dienstregeling vindt ProRail 91% en 75% voor de NS'54/ATB-EG en ETCS L2 waarden in de eerste rij) (ProRail, 2010a), alhoewel de conclusies hetzelfde zijn (maar niet expliciet genoemd in het ProRail rapport). De lagere waarden in de ProRail studie komen enerzijds door een iets andere dienstregeling (met één Sprinterstop minder) en infrastructuur rond Houten. Anderzijds doordat de baanvakbelasting in de ProRailstudie is berekend met kale rijtijden, dus zonder de 5% rijtijdtoeslag die in de dienstregeling minimaal wordt ingezet. Gebruikelijk is echter om uit te gaan van de planrijtijd bestaande uit de minimum (technische) rijtijd plus de rijtijdtoeslag (UIC, 2004). Rijtijdtoeslag kan gedeeltelijk gebruikt worden om (primaire) vertragingen op te vangen of te verminderen. De toeslag is echter ook bedoeld om slechtere omstandigheden dan die gebruikt bij de rijtijdberekeningen op te vangen. In rijtijdberekeningen worden aannames gedaan zoals rijden met maximum snelheden, milde weersomstandigheden, voldoende bovenleidingspanning, verwaarlozing gradiënten, etc. De rijtijdtoeslag is bedoeld om slechtere omstandigheden in de dienstuitvoering op te vangen, zoals fluctuaties in treinmassa, weersomstandigheden (wind, slecht zicht, gladde rails), lagere bovenleidingspanning, slechtere spoortoestand, en machinistengedrag zoals (iets) onder de maximum snelheid rijden en langzamer optrekken/afremmen. In Nederland wordt minimaal 5% rijtijdtoeslag toegepast (plus een extra marge door afronding naar minuten) die dus niet (altijd) volledig ingezet kan worden voor vertragingsvermindering. Vandaar dat rijtijdtoeslag niet zomaar gelijkgesteld kan worden aan buffertijd in de dienstregeling. Evengoed zijn de baanvakbelastingcijfers ook met kale rijtijden onacceptabel hoog voor de bestaande situatie, en zijn die van ETCS wel acceptabel zodat op basis van de ProRail studie dezelfde conclusies gemaakt kunnen worden.

#### **4.4.4 Vertragingsanalyse**

Een vertragingsanalyse onder het gedefinieerde vertragingsscenario laat zien dat de dienstuitvoering stabiel blijft (Tabel 4, laatste rij). Deze «baanvakbelasting» is bepaald als de minimum cyclustijd van de eerste cyclus van treinopvolgingen inclusief primaire vertragingen en verlaagde snelheden door restrictieve (gele en rode) seinbeelden. De minimum cyclustijd is bepaald door de resulterende bloktijdtrappen te comprimeren. Deze maat kan vervolgens worden vergeleken met de oorspronkelijke baanvakbelasting. De prestatie indicatoren voor alle varianten staan in Tabel 5, waarbij de getallen de gemiddelden zijn over 50 simulatie runs. Voor ETCS L1 zijn nu twee varianten doorgerekend: een variant met de bestaande blokafstanden en een variant ETCS 1 KB met de korte blokken van ETCS L2. Alle waarden die hiervoor zijn gerapporteerd voor ETCS L2 gelden ook voor ETCS L1 met korte blokken omdat treinen conflictvrij rijden, maar bij verstoringen ontstaan er verschillen doordat ETCS L1 later wordt geïnformeerd over seinverbeteringen. Onder ETCS L1 moeten treinen aan het einde van de rijtoestemming blijven remmen voordat ze



een nieuwe rijtoestemming kunnen oppikken bij een Eurobalise. ETCS L2 krijgt via de RBC direct een betere rijtoestemming door. Merk op dat korte blokken bij ETCS L1 wel duurder is dan bij ETCS L2 omdat onder ETCS L1 bij ieder blok een LEU geïnstalleerd moet worden.

**Tabel 5 Resultaten vertraginganalyse Utrecht–Den Bosch dienstregeling 2011 (gemiddelden over 50 realisaties)**

Prestatie indicator	ATB-EG	ATB-EG KB	ETCS L1	ETCS L1 KB	ETCS L2
Baanvakbelasting eerste cyclus [%]	89,0	85,6	74,3	73,4	73,0
Punctualiteit (3 min) [%]	89,6	89,7	91,6	91,5	91,6
Maximum vertraging [s]	995	989	947	943	935
Gemiddelde vertraging [s]	59,9	58,4	49,2	48,4	47,6
Maximum volgvertraging [s]	626	615	583	575	562
Gemidddele volgvertraging [s]	22,3	21,0	14,8	14,2	13,4

Tabel 5 laat zien dat onder NS'54/ATB-EG de gemiddelde baanvakbelasting in de eerste cyclus ophoogt doordat treinen gehinderd worden waardoor rij- en bloktijden toenemen, maar ze blijven onder de 100% (onder de gegeven vertragingparameters). Onder ETCS L1 gaat de gemiddelde baanvakbelasting echter iets omlaag onder het vertragingsscenario. Dit is te verklaren doordat bij lagere snelheden ook de remafstand van ETCS-treinen afneemt wat een stabiliserend effect heeft. De vertragingen onder ATB-EG met korte blokken zijn iets minder dan bij ATB-EG voor de bestaande blokken. De vertragingen bij ETCS L1 met bestaande blokken zijn echter fors lager, en dit verbetert nog verder voor ETCS L1 met korte blokken en zet nog verder door voor ETCS L2. De punctualiteit is gemeten over alle treinen in het gebied en is onder de ETCS varianten 2 procentpunt hoger dan onder de ATB-EG varianten.

#### 4.5 PHS infrastructuur en dienstregeling 2020

De geplande PHS dienstregeling in 2020 heeft op Utrecht–Den Bosch zes Intercity's, zes Sprinters waarvan er vier niet verder rijden dan Geldermalsen, en twee goederenpaden. Ten opzichte van 2011 is een extra halte voor de Sprinters in Utrecht Vaartsche Rijn (Utvr) tussen Utrecht Centraal en Utrecht Lunetten. In de voorkeursvariant die door ProRail beschikbaar is gesteld zijn geen inhalingen gepland tussen Houten en Den Bosch, behalve van de goederentrein. Tussen Utrecht en Houten liggen vier parallelle sporen waardoor Intercity's eenvoudig Sprinters kunnen inhalen. Na Houten komen de vier sporen bij elkaar voor de dubbelsporige lijn naar Den Bosch (met mogelijke inhalingen in Geldermalsen).

Bij de bepaling van het bloktijdendiagram blijkt al snel dat geen conflictvrij uurpatroon mogelijk is met twee goederentreinen. Ook met één goederentrein ontstaan conflicten in het uurpatroon als een strakke regelmaat van de vertrekken in Utrecht voor de IC's en Sprinters wordt nagestreefd.

##### 4.5.1 Rijtijden

De rijtijden in Tabel 6 voor de PHS dienstregeling 2020 geven dezelfde conclusies als bij de 2011 dienstregeling. Korte blokken met ATB-EG geven alleen een kleine significante verbetering van in totaal 16 s voor de Sprinters van Utrecht tot aan Den Bosch. Bij ETCS L1 met bestaande blokken halen de Sprinters een rijtijdwinst van 1 minuut (63 s) en bij ETCS L2 is dit anderhalve minuut (85 s). De IC haalt bij ETCS L2 een halve minuut rijtijdwinst (30 s) en de goederentreinen ook (24 s), terwijl dit bij ETCS L1 beperkt is tot 14 s. De rijtijd van de Sprinter profiteert het meest

van ETCS op het traject met veel stops, terwijl de IC's en goederentreinen ook een kleine winst halen voor Den Bosch. Snelheidsverhoging tot 160 km/u leidt tot fors kortere rijtijden voor de Sprinters (3:05 voor ETCS L1, 3:25 voor ETCS L2) en IC's (3:57 voor ETCS L1, 4:15 voor ETCS L2). Procentueel geeft ATB-EG met korte blokken minder dan 1% rijtijdswinst voor alle treinen van Utrecht naar Den Bosch, ETCS L1 geeft 3% rijtijdswinst voor de Sprinter en ETCS L2 geeft 4% winst voor de Sprinter, 2% voor de IC en 1% voor de goederentrein. Snelheidsverhoging leidt tot 15% rijtijdswinst voor de IC (14,5% voor ETCS L1; 15,6% voor ETCS L2) en 9% voor de Sprinters (8,4% voor ETCS L1; 9,3% voor ETCS L2).

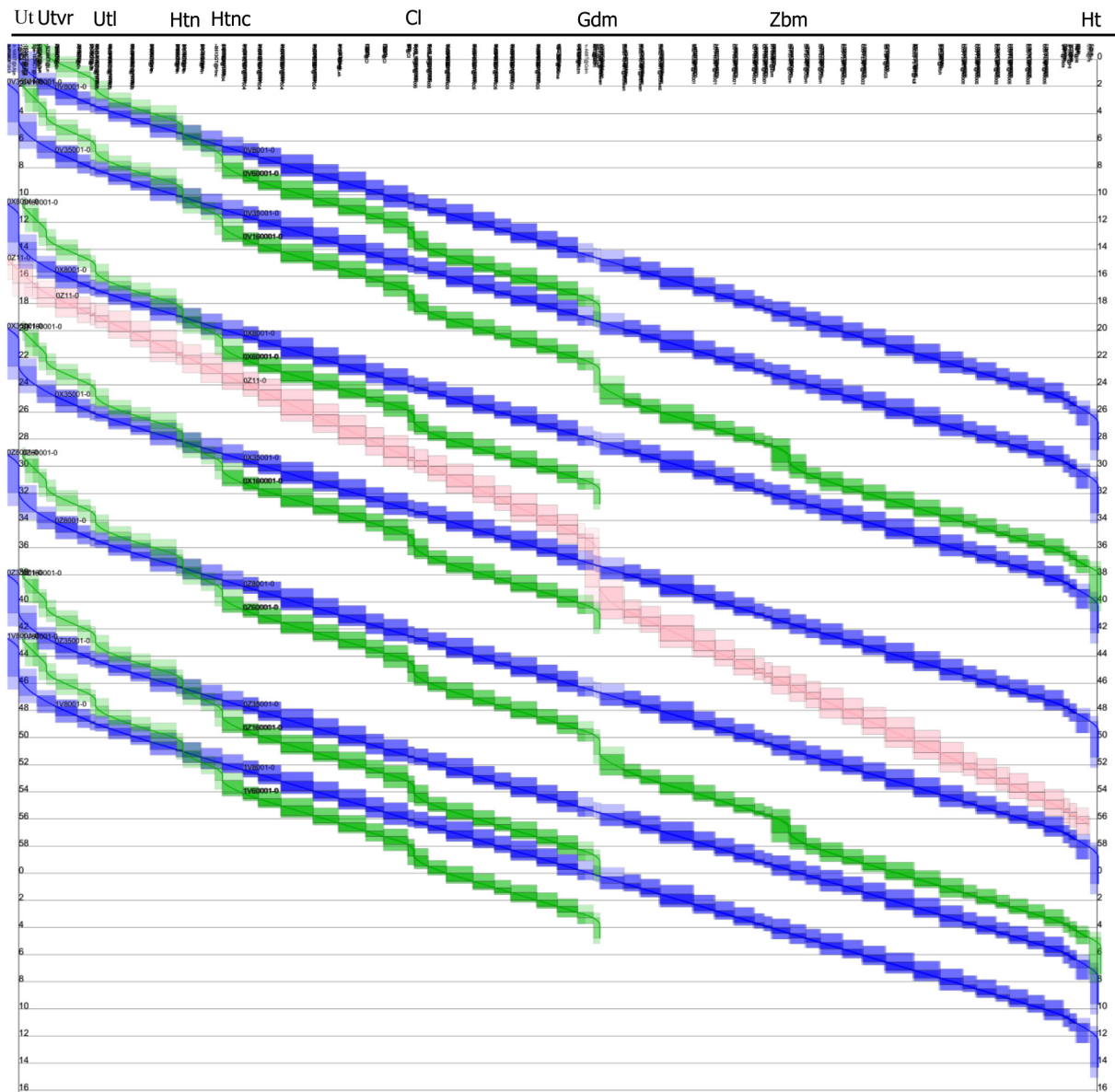
**Tabel 6 Rijtijden Utrecht–Den Bosch dienstregeling 2020 PHS met 5% rijtijdsupplement (1 goederenpad) [mm:ss]**

Trein	Route	ATB-EG	ATB-EG KB	ETCS L1	ETCS L2	ETCS L1 160 km/u	ETCS L2 160 km/u
IC	Ut–Gdm	14:38	14:39	14:38	14:39	12:55	12:50
Sprinter	Ut–Gdm	21:50	21:39	21:07	21:03	20:18	20:14
G (stop)	Ut–Gdm	21:13	21:13	21:12	21:12	21:12	21:12
IC	Gdm–Ht	12:41	12:36	12:27	12:10	10:27	10:14
Sprinter	Gdm–Ht	14:49	14:44	14:29	14:11	13:16	13:00
G (stop)	Gdm–Ht	18:18	18:13	18:05	17:55	18:05	17:55

#### 4.5.2 Minimum opvolgtijden

Tabel 7 toont de minimum opvolgtijden bij het PHS dienstregelingspatroon voor de situatie met één goederenpad. De situatie met twee goederentreinen per uur bleek niet haalbaar, zie § 4.5.3, zodat verder is gerekend met één goederentrein per uur. De negatieve minimum opvolgtijd tussen IC en Sprinter bij vertrek vanaf Utrecht ontstaat door de viersporigheid tot aan Houten. De Sprinter kan in feite eerder vertrekken dan de IC en wordt dan voor Houten ingehaald waar de IC voor de Sprinter invoegt op het tweesporige traject naar Den Bosch. Het eigenlijke kritieke blok ligt bij de samenvoeging na Houten Castellum waarvan de minimum opvolgtijden ook zijn gegeven in Tabel 7. Figuur 13 toont ter illustratie het gecompliceerde bloktijd-diagram van de PHS 2020 dienstregeling met één goederenpad voor ETCS L1 (met bestaande blokafstanden). De structuur van deze dienstregeling is anders dan die van 2011. Met name haalt de IC hier de Sprinter in Geldermalsen niet in zoals bij de 2011 dienstregeling. De kritieke opvolgingen liggen dus ook ergens anders.

**Figuur 13 Gecomprimeerde dienstregeling voor PHS 2020 met ETCS L1 (1 goederenpad)**



Voor de dienstregeling 2020 met één goederenpad per uur zijn zeven kritieke opvolgingen per variant, zie Tabel 7 (vetgedrukt) die we hier gedetailleerder bekijken. De algehele trend is identiek aan de dienstregeling 2011 (Tabel 3). ATB-EG met korte blokken geeft enige opvolgtijdwinst van een halve minuut bij aankomst in Den Bosch van de IC na de Sprinter (33 s, 18%) en na de goederentrein (38 s, 17%). Voor ETCS L1 geldt hier respectievelijk 50 s (27%) en 73 s (33%) winst, en voor ETCS L2 geldt 50 s (27%) en 101 s (46%). De minimum opvolgtijden bij de invoeging na Houten Castellum zijn al erg klein, maar toch kan daar met ETCS winst behaald worden voor de Sprinter na de IC (14 s c.q. 14% voor ETCS L1, 23 s c.q. 23% voor ETCS L2) en de goederentrein na de Sprinter (42 s c.q. 25% voor ETCS L1, 47 s c.q. 28% voor ETCS L2). Ook bij aankomst in Geldermalsen van de goederentrein na de IC kan onder ETCS 24 s (30%) winst behaald worden en dat geldt ook voor de IC na de Sprinter bij aankomst in Geldermalsen onder ETCS L2 (28%). Met 160

km/u wordt onder ETCS ook opvolgtijdwinsten gehaald t.o.v. ATB-EG die op sommige locaties nog beter zijn dan onder ETCS met 130 km/u en op andere locaties iets slechter.

**Tabel 7 Minimum opvolgtijden Utrecht–Den Bosch dienstregeling 2020 PHS (1 goederenpad) [mm:ss]**

Opvolging	Locatie	ATB-EG	ATB-EG KB	ETCS L1	ETCS L2	ETCS L1 160 km/u	ETCS L2 160 km/u
IC-Spr	Ut vertrek	- 2:52	- 2:43	- 2:40	- 2:46	- 2:57	- 3:07
Spr-IC	Ut vertrek	8:37	8:25	7:41	7:25	7:38	7:24
Spr-G(stop)	Ut vertrek	5:39	5:32	4:36	4:27	4:40	4:48
G(stop)-IC	Ut vertrek	7:55	7:54	7:30	7:29	9:15	9:20
IC-Spr	Htnc invoeging	<b>1:38</b>	<b>1:39</b>	<b>1:24</b>	<b>1:15</b>	<b>1:14</b>	<b>1:06</b>
Spr-G(stop)	Htnc invoeging	<b>2:48</b>	<b>2:45</b>	<b>2:06</b>	<b>2:01</b>	<b>2:11</b>	<b>2:34</b>
IC-Spr	Gdm aankomst	4:25	4:17	3:49	3:38	4:26	4:17
Spr-IC	Gdm aankomst	<b>1:25</b>	<b>1:25</b>	<b>1:12</b>	<b>1:01</b>	<b>1:19</b>	<b>1:04</b>
Spr-G(stop)	Gdm aankomst	4:25	4:17	3:49	3:38	4:26	5:46
G(stop)-IC	Gdm aankomst	<b>1:20</b>	<b>1:20</b>	<b>0:56</b>	<b>0:56</b>	<b>0:58</b>	<b>0:58</b>
IC-Spr	Gdm vertrek	5:25	5:17	4:49	4:38	5:26	5:17
Spr-IC	Gdm vertrek	5:11	4:38	4:15	4:14	5:02	4:59
IC-G(stop)	Gdm vertrek	<b>1:45</b>	<b>1:45</b>	<b>1:36</b>	<b>1:36</b>	<b>1:26</b>	<b>1:26</b>
G(stop)-IC	Gdm vertrek	9:16	8:38	8:04	7:43	10:01	9:39
IC-Spr	Ht aankomst	7:33	7:25	6:51	6:39	8:15	8:03
Spr-IC	Ht aankomst	<b>3:03</b>	<b>2:30</b>	<b>2:13</b>	<b>2:13</b>	<b>2:13</b>	<b>2:13</b>
IC-G(stop)	Ht aankomst	7:22	7:22	7:14	7:21	9:04	9:07
G(stop)-IC	Ht aankomst	<b>3:39</b>	<b>3:01</b>	<b>2:26</b>	<b>1:58</b>	<b>2:23</b>	<b>1:58</b>

#### 4.5.3 Baanvakbelasting

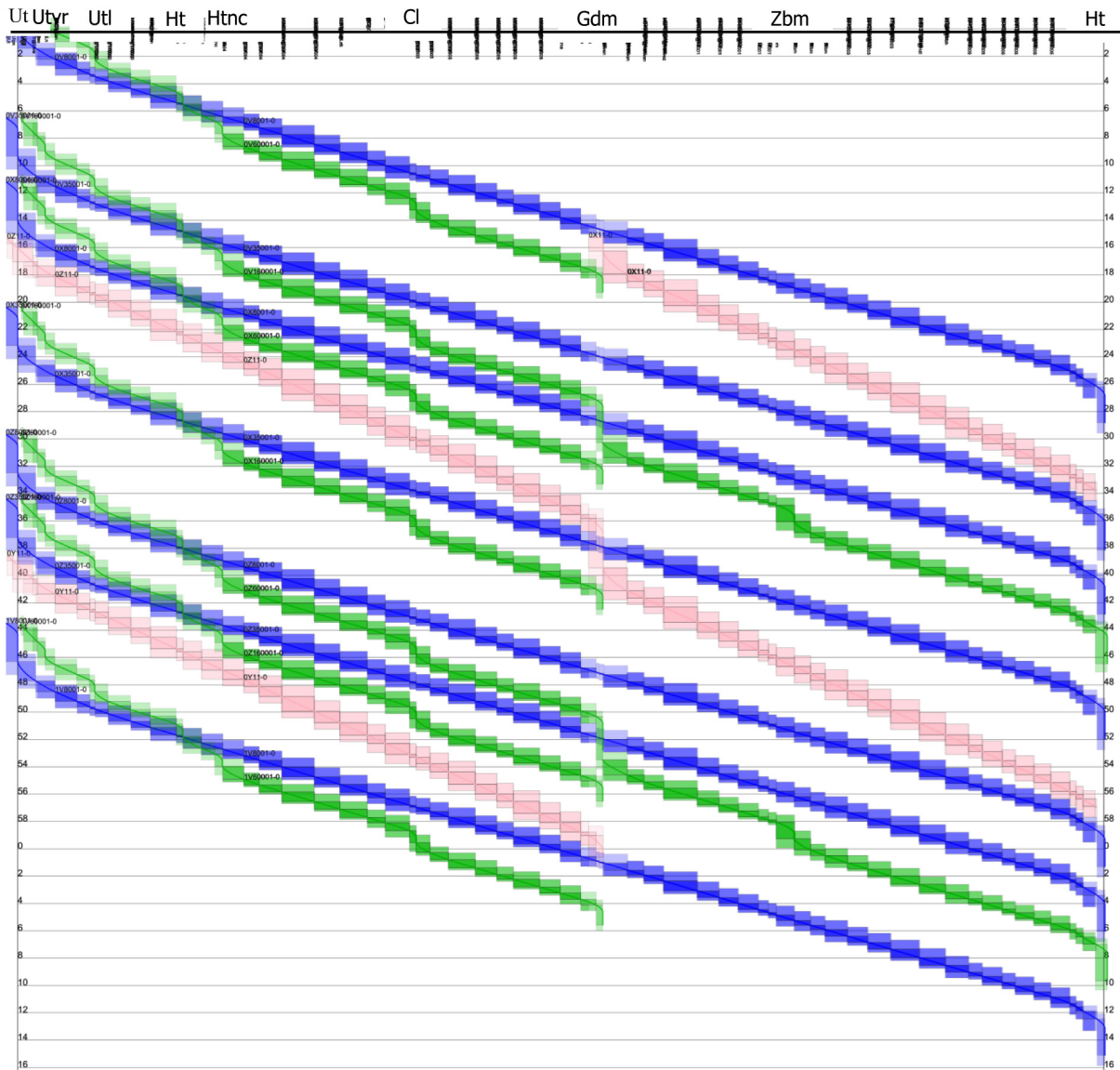
Tabel 8, eerste regel, toont de baanvakbelastingcijfers voor de PHS voorkeursvariant met twee goederenpaden. Onder ATB-EG is dit dienstregelingspatroon duidelijk niet mogelijk: de baanvakbelasting ligt ruim boven de 100%, ook voor korte blokken. Onder ETCS past het patroon wel binnen een uur met een baanvakbelasting van 93,8% voor ETCS L1 en 91,% voor ETCS L2, maar dit levert ook geen stabiele dienstregeling op zodat dit in de praktijk ook niet haalbaar zal zijn. Bij één goederenpad per uur is de baanvakbelasting onder ATB-EG met 91,1% nog steeds te hoog volgens de UIC-norm en zijn diverse conflicten te zien als de IC's en Sprinters ieder een strakke regelmatig van tien minuten aan moeten houden. De vertraginganalyse laat ook zien dat bij vertragingen de baanvakbelasting fors stijgt naar 97,5% zodat inderdaad een onstabiele situatie ontstaat. ATB-EG met korte blokken voldoet met een baanvakbelasting van 87,2% ook niet aan de UIC-norm, alhoewel de vertraginganalyse laat zien dat met dynamisch verkeersmanagement het verkeer stabiel kan blijven: de capaciteitsbenutting daalt hier licht naar 87,0% onder het gegeven storingscenario. Met ETCS L1 daalt de baanvakbelasting naar 78,8% wat nog steeds formeel niet voldoet aan de UIC-norm (maar wel aan de Railed-norm) en ETCS L2 komt met 75,9% in de buurt van de UIC-norm. De ETCS varianten zijn ook bij vertragingen stabiliserend met een verbeterde doorstroming van de langzamer rijdende treinen met kortere remafstanden zoals de verlaging van de baanvakbelasting met twee procentpunten voor beide ETCS varianten laat zien. Alleen als er geen goederentreinen rijden kan een 2x6 dienstregelingspatroon wel onder NS'54/ATB-EG en zeer ruim onder ETCS L1 en L2. Baanvaksnelheidsverhoging tot 160 km/u is geen probleem zonder goederentreinen maar bij één goederenpad wordt het krap en voor twee goederentreinen per uur is een dienstregeling niet meer haalbaar en vergelijkbaar met ATB-EG onder 130 km/u.

**Tabel 8 Baanvakbelasting Utrecht–Den Bosch dienstregeling 2020 (PHS) met 5% rijtijdtoeslag [%]**

Situatie	ATB-EG	ATB-EG KB	ETCS L1	ETCS L2	ETCS L1 160 km/u	ETCS L2 160 km/u
2 G/u (normaal)	108,0	103,4	93,8	91,0	109,3	107,5
1 G/u	91,1	87,2	78,8	75,9	90,6	88,8
0 G/u	74,3	71,1	63,7	60,6	71,5	69,8
2 G/u met inhaling Gdm	92,3	89,4	80,3	77,2	92,9	91,3
1 G/u met inhaling Gdm	77,2	74,4	66,7	64,0	75,8	74,4
0 G/u met inhaling Gdm	62,1	59,4	52,9	50,6	58,3	57,1
1 G/u en vertragingen	97,5	87,0	76,8	74,8	–	–

Omdat de gewenste goederenpaden niet haalbaar zijn bij het voorkeurs uurpatroon, is gekeken of een andere opzet van het uurpatroon mogelijk is. Dit heeft geleid tot een nieuw patroon waarbij de IC's zowel de twee goederentreinen als de twee Sprinters die doorrijden naar Den Bosch inhalen in Geldermalsen, zie Figuur 14. De resulterende baanvakbelastingcijfers staan ook in Tabel 8. Nog steeds is dit uurpatroon met twee goederentreinen duidelijk niet haalbaar voor NS'54/ATB-EG met een baanvakbelasting van 92,3% c.q. 89,4% met korte blokken. Ook bij ETCS L1 wordt met 80,3% de normen niet gehaald. Voor ETCS L2 is de baanvakbelasting 77,2% wat voldoet aan de Railned-norm. Voor één goederentrein per uur voldoet ATB-EG nog steeds niet aan de UIC-norm behalve met korte blokken (77,2% c.q. 74,4%). De ETCS varianten zitten dan echter ruim in hun jasje en ook snelheidsverhoging naar 160 km/u is dan bij ETCS L2 met 74,4% mogelijk binnen de UIC-norm, terwijl ETCS L1 dan net iets boven de UIC-norm uitkomt (75,8%). Zonder goederentreinen zijn alle varianten mogelijk waarbij onder ETCS met hogere snelheden kan worden gereden. Vergelijken we de ETCS varianten zonder inhaling en die mét inhaling en 160 km/u dan zien we ongeveer dezelfde cijfers. De inhaling van de Sprinters onderweg maakt een snelheidsverhoging naar 160 km/u mogelijk bij gelijkblijvende (en zelfs lagere) baanvakbelasting.

**Figuur 14 Gecomprimeerde dienstregeling 2020 PHS met ETCS L2 en inhalingen in Geldermalsen**



PHS met twee goederenpaden per uur op Utrecht–Den Bosch is onder ETCS L2 dus mogelijk, terwijl snelheidsverhoging naar 160 km/u in de dienstregeling alleen haalbaar wordt vanaf één goederenpad per uur doordat de IC's de goederentreinen niet in kunnen halen tussen Geldermalsen en Den Bosch. Om toch twee goederentreinen per uur mogelijk te maken moet een extra inhaalbaarheid worden gecreëerd rond Zaltbommel. Deze maatregel is ook nodig bij ATB-EG onder 130 km/u. Korte blokken met ATB-EG zijn niet genoeg om een haalbare dienstregeling te maken onder het PHS regime. Onder ETCS L2 kunnen het gewenste aantal treinen (6/6/2) net rijden waarbij een dynamisch railverkeersmanagementsysteem wel nodig is om vertragingen in de hand te houden. Extra infrastructuurmaatregelen in de vorm van een inhaling bij Zaltbommel is nodig om een baanvaknelheid van 160 km/u onder ETCS L2 in de dienstregeling uit te kunnen baten. Overigens kan een verhoging van de baanvaknelheid wel nuttig zijn bij het inhalen van vertragingen en zeker op momenten dat er geen goederentrein rijdt.

#### 4.5.4 Vertragsanalyse

Tabel 9 toont de resultaten van de vertragsanalyse van de dienstregeling 2020 PHS voor één goederentrein en zonder de inhaling in Geldermalsen van de Sprinter door de IC. De trend is duidelijk dat van ATB-EG tot aan ETCS L2 de vertragsdemping steeds beter wordt. Onder het geanalyseerde vertragsscenario levert ATB-EG met korte blokken 4,3 procentpunt betere punctualiteit op en de ETCS varianten zitten daar nog een procentpunt boven.

**Tabel 9 Resultaten vertragsanalyse Utrecht–Den Bosch 2020 PHS (1 goederentrein) (gem. over 50 realisaties)**

Prestatie indicator	ATB-EG	ATB-EG KB	ETCS L1	ETCS L1 KB	ETCS L2
Baanvakbelasting eerste cyclus [%]	97,5	78,0	76,8	74,4	74,8
Punctualiteit (3 min) [%]	89,6	93,9	94,9	94,9	95,0
Maximum vertraging [s]	643	643	626	626	622
Gemiddelde vertraging [s]	59,7	49,8	44,5	44,0	43,5
Maximum volgvertraging [s]	544	531	512	508	499
Gemidddele volgvertraging [s]	21,7	11,9	9,8	9,4	9,0

#### 4.6 Conclusies

ERTMS geeft verbeteringen in rijtijd, minimum opvolgtijden en baanvakbelasting ten opzichte van het bestaande NS'54/ATB-EG. Met name de vaak stoppende Sprinter heeft baat bij ETCS met één en anderhalve minuut rijtijdwinst voor ETCS L1 en L2, respectievelijk. Onder ETCS L2 halen de IC en goederentrein ook een halve minuut rijtijdwinst. Opvallend is de hoge rijtijdspeling van 18% (zes minuten) voor de Sprinters over het hele traject Utrecht–Den Bosch (exclusief haltering in Geldermalsen) waardoor de geplande rijtijd vier minuten hoger is dan met een normale toeslag van 5% mogelijk is. Onder ETCS met 160 km/u kunnen forse rijtijdwinsten gehaald worden van vier minuten (15%) voor de IC en 3 à 3½ minuut (9%) voor de Sprinter. Met korte blokken is onder ATB-EG tot 18% vermindering van minimum opvolgtijden mogelijk. Met ETCS kunnen veel lagere minimum opvolgtijden worden gehaald tot aan 54% lager ten opzichte van ATB-EG.

Over de negen onderzochte varianten (2012 en 2020 zonder/met inhaling in Geldermalsen voor 2, 1 en 0 goederenpaden per uur) is de gemiddelde verbetering van de baanvakbelasting bovenop NS'54/ATB-EG 12% (procentpunt) voor ETCS L1 en 14,4% voor ETCS L2, tegen 3% voor ATB-EG met korte blokken. Als ATB-EG met korte blokken gezien wordt als een geoptimaliseerde variant van ATB-EG dan geeft ETCS L1 en L2 een gemiddelde verbetering van 9% c.q. 11,4% boven ATB-EG geoptimaliseerd. Daarnaast zorgt ERTMS voor een stabiele doorstroming in verstoorde situaties waar door vertragingen conflicten ontstaan. Volgvertragingen kunnen door de grotere buffertijden, kortere toenaderingstijden – vanwege kortere remafstanden bij lagere snelheden – en de kortere blokken beter in de hand gehouden worden waardoor de baanvakbelasting zelfs verbetert. Dit geeft een stabiele situatie met betere demping van vertragingen in verstoorde situaties onder ETCS L2.

In het ProRail rapport waarin NS'54/ATB-EG vergeleken wordt met ETCS L2 wordt opgemerkt dat wel rij- en opvolgtijdwinst worden behaald maar dat capaciteitswinst afhangt van marktwensen (ProRail, 2010a). Daarmee wordt bedoeld dat een betere baanvakbelasting niet altijd is te vertalen in extra treinpaden omdat die ook moeten passen in de verdere dienstre-

geling. Deze laatste conclusie gaat hier echter niet op. Ook in de ProRail studie was in de bestaande situatie van 2009 de dienstregeling met twee goederentreinen niet haalbaar met een baanvakbelasting van 91% (en 88% met geoptimaliseerde blokken) die ver boven de UIC norm ligt (en eigenlijk nog hoger omdat geen rekening is gehouden met rijtijdtoeslag), terwijl dit met ETCS L2 wel haalbaar werd (75%). Implementatie van ETCS L2 betekent dus direct een haalbare inpassing van de twee goederenpaden die daarvoor niet mogelijk waren.

Ook in de 2011 dienstregeling (met een extra Sprinter stop in Houten Castellum) blijkt dat ETCS nodig is om twee goederenpaden per uur mogelijk te maken. Op dit moment rijdt er gemiddeld eens per twee uur een goederentrein (data van ProRail), maar in de toekomst wordt een verhoging van het aantal goederentreinen verwacht zodat de geplande goederenpaden geclaimd gaan worden. Op dit moment is de extra ruimte die ontstaat doordat goederentreinen niet rijden echter broodnodig om vertragingen van reizigerstreinen op te vangen. De hoge baanvakbelasting zou ook de grote rijtijdspeling voor de Sprinters kunnen verklaren. In feite moet met twee goederenpaden per uur het baanvak Utrecht–Den Bosch overbelastbaar verklaard worden. Dit is met uitzondering van een geplande infra-uitbreiding in 2014 aan de noordzijde van Den Bosch niet het geval (ProRail, Network Statement 2012, Appendix 11).

De PHS dienstregeling met zes IC's, zes Sprinters en twee goederenpaden is onder NS'54/ATB-EG zeker niet haalbaar zonder infrastructuurmaatregelen. Onder ETCS L2 wordt een dienstregeling haalbaar met één goederentrein per uur. Bij een andere dienstregelingsopzet waarbij de twee doorgaande Sprinters naar Den Bosch en de twee goederentreinen zich in Geldermalsen laten inhalen door de IC's is onder ETCS L2 een dienstregeling haalbaar met baanvakbelasting 77,2%. Om dit stabiel te houden onder vertragingen is wel een dynamisch railverkeersmanagementsysteem nodig. Korte blokken met ATB-EG zijn niet genoeg om een haalbare dienstregeling te maken onder het PHS regime met twee goederentreinen. Alleen bij maximaal één goederentrein per uur wordt een haalbare dienstregeling onder ATB-EG mogelijk met inhaling van Sprinters in Geldermalsen en toepassing van seinoptimalisering. Bij één goederentrein per uur wordt onder ETCS een dienstregeling met 160 km/u mogelijk.

Om onder ATB-EG toch twee goederentreinen per uur mogelijk te maken moet een extra inhaalbaarheid worden gecreëerd rond Zaltbommel zodat de IC de goederentrein kan inhalen. In dat geval zou onder ETCS L2 behalve twee goederentreinen per uur ook de baanvaksnelheid verhoogd kunnen worden naar 160 km/u waarmee rijtijdwinsten voor Sprinters en IC's van respectievelijk drie en vier minuten mogelijk worden.



## 5 BATEN VAN ERTMS

### 5.1 Inleiding

De voordelen van ERTMS zijn in eerste plaats interoperabiliteit en de hoogste veiligheid. Veiligheid is gegarandeerd door de remcurvebewaking waardoor treinen niet door rood kunnen rijden. Dit in tegenstelling tot menig bestaand Europees treinbeïnvloedingssysteem dat wel een waarschuwingssignaal geeft als de trein op een rood sein afrijdt zonder afdoende te remmen maar niet ingrijpt of pas ingrijpt na het passeren van een rood sein. Het Nederlandse ATB-EG valt onder die eerste categorie (geen ingreep na STS-passage). Pas enkele jaren terug is ATB-EG uitgebreid met een extra vangnet voor treinen die met 40 km/u op een rood sein afrijden en niet genoeg afremmen, ATB-vv. Dit geldt overigens alleen voor die seinen waarvoor extra bakens tussen het spoor zijn geïnstalleerd. ATB-vv is echter geen oplossing voor andere problemen met ATB-EG, zie § 5.3 hieronder. Dat betekent dat ERTMS ook in Nederland een betere veiligheid geeft dan het bestaande ATB-EG of ATB-vv.

De andere baten volgen uit de state-of-the-art functionaliteiten waarop ERTMS is gebaseerd: cabinesignalering met remcurvebewaking en snelheidsbewaking van alle snelheden. Hierdoor ontstaan rijtijdwinsten en opvolgtijdwinsten. In het geval van ETCS L2/L3 komt daar nog tweezijdige continue veilige communicatie tussen trein en «wal» bij, waardoor nog verdere mogelijkheden ontstaan door betere informatievoorziening tussen trein en verkeersleidingsposten. Voor de infrastructuurmanager zijn er tenslotte nog kosten- en onderhoudsverbeteringen doordat baanseinen niet meer nodig zijn, en voor ETCS L2/L3 zijn ook geen koperdraden langs het spoor meer nodig. Dit hoofdstuk geeft een overzicht van de belangrijkste baten van ERTMS voor Nederland ten opzichte van de bestaande situatie.

### 5.2 Interoperabiliteit

Voor veel landen is interoperabiliteit een (economische) reden om over te gaan op ERTMS. Vanwege de interoperabiliteit hebben internationale treinen voorzien van ETCS toegang tot het spoor zonder extra kosten te moeten maken voor een verplicht nationaal treinbeïnvloedingssysteem of aan de grens moeten wisselen van locomotief en machinist.

Eén Europese standaard betekent ook schaalvoordelen en marktwerking bij de aankoop van nieuw materieel. Ook Europese leasemaatschappijen van treinmaterieel komen binnen handbereik waar spoorondernemingen treinmaterieel kunnen leasen bij tijdelijke materieeltekorten of na het winnen van een tender voor het treinvervoer in een nieuw gebied. De tijd tussen aankoop van nieuw materieel en de levering ervan kan oplopen tot enkele jaren. In de tussentijd kan behoefte zijn naar tijdelijk materieel. Bij het winnen van een nieuwe concessie voor spoorvervoer is de nieuwe spooronderneming niet afhankelijk van het overnemen van oud materieel van de vorige exploitant of een concurrent, of het moeten laten ombouwen van materieel elders. Dit verhoogt de flexibiliteit van aanbestedingen van het spoorvervoer en van spoorondernemingen in het algemeen bij bijvoorbeeld een plotselinge verhoging van reizigersaantallen (zoals na de invoering van de OV-studentenkaart) of onverwacht grote uitval van materieel bij bijzondere weersomstandigheden.

Ook kosten van infrastructuurmanagers voor vervanging en onderhoud van beveiligingssystemen gaan op termijn omlaag als deze in internationale concurrentie ingekocht kunnen worden. Immers het bijhouden van nationale systemen is voor de industrie een kostbare aangelegenheid. Een internationale standaard betekent minder nichemarkten waarvoor de kennis paraat gehouden moet worden. Momenteel zijn nog niet alle onderdelen van het beveiligingssysteem en de interfaces ertussen gestandaardiseerd maar daar wordt hard aan gewerkt, zie § 2.4 en § 3.2. In het bijzonder zijn interlockings geen onderdeel van ERTMS en zijn geen gestandaardiseerde interfaces gespecificeerd tussen ERTMS en interlockings. Op de korte termijn betekent dit dat ontwikkelingskosten gemaakt moeten worden om aan te sluiten bij de nationale specificaties, regelgeving en voorschriften. Hiervoor is een strategische visie nodig om deze kosten eenmalig te laten zijn. In de verre toekomst worden wellicht ook interlockings gestandaardiseerd. ERTMS is de eerste stap op het gebied van standaardisatie die zich richt op (cabine)signalering en treinbeïnvloeding en de communicatie die daarvoor nodig is. Infrastructuurmanagers moeten ieder voor zich een strategisch migratieplan ontwikkelen om te profiteren van deze Europese ontwikkelingen, zie Hoofdstuk 6.

### 5.3 Veiligheid

ATB-EG reageert niet bij een snelheid onder de 40 km/u. Dit is een bewuste ontwerpkeuze geweest waarbij van uitgegaan is dat een machinist met 40 km/u op zicht rijdt en zelf op tijd kan stoppen voor een rood sein. Een maximum snelheid van 40 km/u wordt aan de ATB-boordapparatuur doorgegeven door de afwezigheid van een ATB-code in de spoorstroomlopen, of andersom gezegd, bij afwezigheid van een ATB-code in een spoorstroomloop geldt een maximum snelheid van 40 km/u. Op (complexe) emplacementen werd hiermee een grote technische vereenvoudiging bereikt doordat geen ATB-code nodig is over de spoorstroomlopen van de ingestelde rijwegen. Echter ook het passeren van een rood sein onder de 40 km/u wordt niet gedetecteerd omdat achter een rood sein hetzij ook geen ATB-code is dan wel een ATB-code op een ingestelde rijweg die bedoeld is voor een andere trein. Een STS-passage kan grote gevolgen hebben zoals een botsing met een andere trein (frontaal, achterop of in de flank afhankelijk van de situatie) en schade aan de infrastructuur zoals het kapot rijden van een wissel die in een andere richting was ingesteld. Recentelijk is een vangnet ontwikkeld, ATB-vv, die in deze gevallen (bij snelheden onder de 40 km/u) wel controleert of de trein voldoende remt vlak voor een rood sein en zo nodig ingrijpt met een snelremming.

Een ander nadeel van het Nederlandse NS'54 snelheidsseinstelsel is dat de seinen niets zeggen over de rijweg en afstand tot het volgende sein waardoor (gele) seinbeelden soms dubbelzinnig interpreteerbaar zijn (Van den Top, 2000). Hierdoor kunnen STS passages ontstaan als een machinist een langere rijweg had verwacht en niet meer op tijd kan remmen wanneer hij ziet dat de trein over een wissel een andere richting op gaat dan verwacht. Ook kunnen machinisten hierdoor juist voorzichtiger gaan rijden waardoor de rijwegen langer dan noodzakelijk worden bezet met langere opvolgtijden tot gevolg.

Bij cabinesignalering zoals ETCS en ook ATB-NG is er geen onzekerheid over remafstanden aangezien die in de cabine bekend zijn en volledig bewaakt worden. De machinist ziet in de cabine continu hoever de rijtoestemming rijkt en wat het bijbehorende dynamische snelheidsprofiel

is en kan daarmee zijn optimale rijstrategie toepassen. Naast deze optimale informatie in de cabine zorgt ETCS via remcurvebewaking dat de trein vóór een stoptonein tot stilstand komt. De actuele snelheid wordt continu vergeleken met het dynamische snelheidsprofiel dat aan boord berekend wordt op basis van de actuele remkarakteristieken van de trein, de spoorgeometrie en de maximum snelheden over de hele route tot aan het einde van de rijwegtoestemming. Zodra de treinsnelheid de toegestane berekende snelheid overschrijdt volgt een waarschuwing en eventueel een remingreep. Dit is geheel anders dan bij ATB-EG. De ATB-EG boordapparatuur controleert of de machinist reageert op een remopdracht bij een seinpassage en of de ingezette remming voldoet aan een remcriterium. Er wordt echter niet gecontroleerd of de machinist in voldoende mate remt. Dat wordt aan het vakmanschap van de machinist overgelaten. In feite wordt door de ATB gecontroleerd of de remkraan in een bepaalde minimale toegestane stand staat. In een concreet geval bij Nieuwerkerk aan de IJssel naderde een trein met 130 km/h een geel sein. De (aspirant) machinist stelde vlak voor het passeren van het sein remstand 1 in omdat hij wilde remmen voor de stop in Nieuwerkerk aan de IJssel, waarmee werd voldaan aan het remcriterium en ATB niet ingreep. Vervolgens reed de trein met een aanvangssnelheid van ongeveer 100 km/u na het volgende (groen knipperend) sein een 40 km/u (1:9) wissel in. De eigenschap van ATB-EG om niet de verlangde remintensiteit te kunnen aangeven door het ontbreken van meerdere remcriteria is conform de specificaties (IVW, 2010). Met ETCS is een dergelijke situatie onmogelijk.

Een heel ander aspect van veiligheid is de werkplekbeveiliging van werkers aan de baan. Om werken aan het spoor mogelijk maken moet de werkzone door de treindienstleider uit dienst worden genomen en overgedragen aan de Leider Werkplekbeveiliging. Voor de Betuweroute is een Handheld Terminal (HHT) ontwikkeld waarmee de Leider Werkplekbeveiliging «in het veld» de werkzone over kan nemen van de treindienstleider. Vanaf dat moment kan de treindienstleider geen wissels meer bedienen of rijwegen inleggen en kunnen meerdere Leiders Lokale Veiligheid ook met een HHT de werkzone blokkeren voor teruggave waarna een werkploeg veilig het spoor kan betreden. Na de werkzaamheden kan alleen de Leider Lokale Veiligheid diens blokkering van de werkzone weer met de HHT verwijderen waarna de Leider Werkplekbeveiliging de werkzone met diens HHT weer terug kan geven aan de treindienstleider. De HHT communiceert via GSM-R met de RBC die weer in contact staat met de interlocking. Deze mobiele werkplekbeveiliging maakt flexibel onderhoud mogelijk waardoor buitendienststellingen voor onderhoud korter kunnen worden.

#### **5.4 Optimalisering infrastructuur en dienstregeling**

De keuze van het beveiligingssysteem heeft behalve de directe invloed op de treinsturing ook indirecte gevolgen voor het ontwerp van infrastructuur, dienstregeling en railverkeersmanagement. Met name de karakteristieken van het seinstelsel en de automatische treinbeïnvloeding bepalen de dimensionering en effectiviteit van de blokken (seinafstanden). De keuze voor baangebonden lichtseinen betekent een enorm verlies aan flexibiliteit in het plaatsen van de seinen en dus de locatie van blokgrenzen. Een machinist moet lichtseinen duidelijk en tijdig kunnen waarnemen en het seinbeeld moet herkenbaar zijn in relatie tot de ingestelde rijweg. Daarnaast gelden voorwaarden voor de plaatsing van seinen bij wissels en andere dwangpunten, seinbeeldrelaties tussen

opvolgende seinen, en relaties met andere parallelle seinen waarbij het relevante sein direct duidelijk moet zijn. Dit geeft strenge eisen aan de ontwerpvoorschriften voor de plaatsing van lichtseinen (ProRail, 2006a). Bij cabinesignalering zoals ETCS en ook ATB-NG speelt waarneembaarheid niet: in de cabine zijn de rijtoestemming en snelheidsgrenzen bekend en die worden volledig bewaakt. Blokgrenzen kunnen bij cabinesignalering daarom zeer flexibel geplaatst worden wat het ontwerp van de infrastructuur en de optimalisering van bloklengtes enorm vereenvoudigt.

De projectering van blokgrenzen op de infrastructuur heeft gevolgen voor dienstregelingsontwerp en infrastructuurcapaciteit. Korte blokken zorgen voor een grotere capaciteit doordat treinen korter achter elkaar kunnen rijden. Bovendien kan de minimum opvolgtijd nog verder worden verkleind door uitgesteld remmen. Zoals in hoofdstuk 4 gezien kunnen de minimum opvolgtijden met ETCS significant omlaag waardoor snellere opvolgingen van treinen mogelijk zijn. Dit geeft meer mogelijkheden voor het dienstregelingsontwerp zoals betere overstaptijden doordat treinen sneller achter elkaar binnen kunnen komen en weer kunnen vertrekken. Evenzo worden snellere inhalingen onder ETCS mogelijk waarbij een stilstaande Sprinter nauwelijks langer hoeft te wachten dan de halteertijd voor het uit- en instappen van reizigers.

## **5.5 Rijtijdwinsten door snelheidsverhoging**

Met ETCS is het mogelijk om hogere snelheden te bewaken waarbij drie verschillende gevallen zijn te onderscheiden: maximum baanvaknelheid, uitgesteld remmen en snelheden die tussen de ATB-EG snelheidsstappen vallen. In alle drie de gevallen zijn significante rijtijdwinsten te behalen afhankelijk van de situatie.

### **5.5.1 Maximum baanvaknelheid**

ATB-EG laat snelheden tot 140 km/u toe zoals is beschreven in de Europese TSI (EC, 2006). ETCS kan snelheden bewaken tot aan 500 km/u en legt daarmee geen beperking op de daadwerkelijk toegelaten maximum snelheid van de baan en het materieel. In het bijzonder kunnen met ETCS hogere snelheden bewaakt worden dan met ATB-EG, waarbij de infrastructuur uiteraard wel hogere snelheden moet toestaan. Een snelheid hoger dan 140 km/u is met name interessant voor lange-afstandstreinen (IC's, hoge snelheidstreinen) en minder geschikt voor stoptreinen die door korte halteafstanden nauwelijks aan een hogere snelheid toekomen. Hoofdstuk 4 heeft laten zien dat puur verhogen van de baanvaknelheid kan leiden tot een hogere baanvakbelasting, maar dat in combinatie met inhaal mogelijkheden op de juiste plekken wel degelijk een betere capaciteitsbenutting verkregen kan worden met kortere rijtijden. Snelheidsverhoging moet dus in samenhang met dienstregelingsontwerp worden beschouwd en kan dan leiden tot significante kwaliteitsverbeteringen. Ook kan een hogere snelheid helpen om een vertraagde trein sneller terug te laten komen in het geplande treinpad. In combinatie met snelheidsadviesing levert een hogere baanvaknelheid meer flexibiliteit om een trein te sturen bij verstoringen.

In potentie zijn vier baanvakken geschikt voor snelheidsverhoging naar 160 km/u of hoger: Amsterdam–Utrecht, Den Haag–Schiphol, Bodelmunt–Eindhoven en Weesp–Lelystad, alsmede de Hanzelijn (Lelystad–Zwolle) die momenteel in aanleg is. In een Branche-brede studie (ProRail e.a.,

2010b) naar ATB Code 147 is gebleken dat die baanvakken wel aangepast zouden moeten worden (maar elk in verschillende mate) op bijvoorbeeld verkanting, hart-op-hart afstand van sporen, bovenleiding (van vaste naar bewegende bovenleiding vanwege het dynamisch gedrag daarvan) en extra toe te voegen elektrisch vermogen aan de bovenleiding. Er is berekend dat deze aanpassingen voor alle vier baanvakken 53 ( $\pm$  8) miljoen Euro kost, exclusief de aanpassing van Code 147 in ATB-EG en de treinen (ProRail, 2011e). Het grootste deel van deze kosten zit in infrastructuur aanpassingen: energievoorziening, bovenleiding en bovenbouw (34,5 miljoen Euro, inclusief 16 mio aan investeringen die sowieso gedaan moeten worden). De kosten van aanpassing van de beveiliging zijn hiermee vergeleken relatief gering. Ook bij frequentieverhoging zoals in PHS zou het vermogen van de bovenleiding uitgebreid moeten worden. Die uitbreiding kan op twee manieren: het bijplaatsen van onderstations of overgaan op 25 kV/50 Hz wisselspanning. In het laatste geval moet ATB-EG vervangen worden aangezien de gecodeerde spoorstroomlopen van ATB-EG niet compatibel zijn met 25 kV/50 Hz wisselspanning. Overgaan op 25 kV/50 Hz betekent automatisch migreren naar ETCS, of andersom gezegd migratie naar ETCS maakt 25 kV/50 Hz bovenleidingspanning mogelijk.

In een aantal studies is bekeken of snelheidsverhoging van 140 naar 160 km/u op korte termijn mogelijk gemaakt kan worden op geschikte baanvakken zonder al te veel kosten door aanpassing van ATB-EG (Arcadis, 2007; ProRail e.a., 2010b; TU Delft, 2010). NS is met name gecharmeerd van de Code 147 variant. Deze ATB-code is in ATB wel gedefinieerd maar niet gebruikt. Door deze code in ATB-EG toe te wijzen aan een snelheid van 160 km/u kan ook deze snelheid bewaakt worden. Een dergelijke aanpassing aan een nationaal treinbeïnvloedingssysteem is door de EU echter niet toegelaten omdat het hier gaat om een verbetering van de functionaliteit wat in strijd is met de Europese wetgeving (EC, 2006), aangezien dit een snelle overgang op ETCS in de weg kan staan. Bij gewenste verbeteringen aan de treinbeïnvloeding moeten de lidstaten overgaan op het nieuwe gestandaardiseerde Europese ETCS. Bij navraag door het Ministerie I&M aan de Europese Commissie heeft de EC in een brief bevestigd dat zij niet akkoord gaan met een dergelijke wijziging (EC, 2008). Overigens mogen aanpassingen ter verbetering van de veiligheid wel doorgevoerd worden, zoals bij ATB-vv het geval was.

### **5.5.2 Uitgesteld remmen**

De seingeving in NS'54 is vaak sterk vereenvoudigd, vooral omwille van kostenbesparing of plaatsbaarheid van seinen. Vooral in stationsgebieden geldt vaak een integrale lage snelheid van aankomst tot en met vertrek. Het seinstelsel NS'54 kan geen onderscheid aanduiden in de ingestelde rijweg achter een sein en in de plaats waar de snelheid in een rijweg moet zijn bereikt. Daarom moet de meest beperkende wisselsnelheid bereikt zijn bij het voorafgaande lichtsein. Onder ERTMS kunnen ook in stationsgebieden de relevante snelheidsbeperkingen over elke rijweg aan de trein worden gepresenteerd. Hierdoor hoeft de trein niet langzamer te rijden of eerder te remmen dan voor de individuele trein en zijn individuele rijweg noodzakelijk is.

### 5.5.3 Snelheidsbeperkingen tussen ATB-EG snelheidsstappen

De maximum snelheid op een baanvak of emplacement hoeft niet overal te gelden. Op deelstukken kan een lagere snelheid gelden vanwege het spoorontwerp (verkanting, boogstraal, afbuigende wissels) of speciale omstandigheden (werkzaamheden, slechte toestand van de infrastructuur). Vanwege veiligheidsredenen is de praktijk bij ProRail om bij snelheidsbeperkingen aan te sluiten bij snelheden die door ATB kunnen worden bewaakt. Op het hoofdspoor met ATB-EG geeft dit onnodig lage snelheidsbeperkingen doordat ATB-EG maar vijf snelheden kan bewaken: 40, 60, 80, 130, 140 km/u. Als op een stuk spoor bijvoorbeeld niet harder dan 100 km/u mag worden gereden dan wordt een snelheidsbeperking van 80 km/u ingevoerd die dan bewaakt wordt door ATB-EG. Op een afstand van 5 km geeft dit al een rijtijdverlies van 45 seconden en dit is niet eens een extreem voorbeeld! Een snelheidsbord van 100 km/u zou ook mogelijk zijn maar die snelheid kan dan niet bewaakt worden, waardoor niet gegarandeerd is dat een machinist die snelheid aanhoudt en ATB-EG pas bij 130 km/u ingrijpt. In veel landen kent de treinbeïnvloeding geen maximum snelheidsbewaking: het is de taak van de machinist om zich aan de snelheid te houden. ATB-EG is niet geschikt om (alle) snelheden te bewaken en alleen ten koste van forse capaciteitsbeperkingen en rijtijdverlies kan het daar toch voor worden gebruikt. Merk op dat deze beperkingen niet gelden voor ATB-NG die alle snelheden met stappen van 10 km/u bewaakt.

ETCS bewaakt alle snelheden in stappen van maximaal 5 km/u. Hierdoor zijn geen restricties meer in snelheidsbeperkingen of het ontwerp van infrastructuur (wat betreft boogstralen of type wissels). Op een emplacement hoeft ook geen integrale snelheidsbeperking van 40 km/u meer te gelden omdat ETCS alle snelheidsveranderingen op de rijweg van een trein weet, aan de machinist toont en bewaakt. Iedere trein krijgt dan individueel een snelheidsprofiel afhankelijk van zijn rijweg.

Een tijdelijke snelheidsbeperking (TSB) vanwege bijvoorbeeld onderhoudswerkzaamheden op het parallelle spoor kan met ERTMS eenvoudig worden doorgegeven en bewaakt op de tijden dat de TSB van toepassing is, en direct weer opgeheven als er geen reden meer voor is. Nu wordt er nog gewerkt met borden langs de baan en speciale procedures om een TSB tijdig aan te vragen en kenbaar te maken aan machinisten. Met ETCS kan veel flexibeler en effectiever worden omgesprongen met TSB's en onnodige snelheidsbeperkingen worden voorkomen, vergelijkbaar met de dynamische snelheidsbeperkingen op matrixborden boven snelwegen. De TSB wordt eenvoudig doorgegeven aan de ETCS boordcomputer die het verwerkt in het te bewaken snelheidsprofiel. Eventueel kan een tekstbericht meegestuurd worden die de machinist op de hoogte brengt dat er een tijdelijke snelheidsbeperking van kracht is.

### 5.6 Opvolgtijdwinsten (Kort Volgen)

In Hoofdstuk 4 hebben we gezien dat ETCS kortere opvolgtijden mogelijk maakt door een combinatie van factoren: uitgesteld remmen onafhankelijk van blokgrenzen, remmen met individuele treinspecifieke remcurves en een flexibele projectering van blokgrenzen (virtuele seinen) zodat blokken sneller vrij worden gemaakt. Naast de mogelijkheden bij het ontwerp van dienstregelingen zoals al beschreven in § 5.4, geeft sneller volgen ook betere bijstuurmogelijkheden.

ProRail onderzoekt momenteel andere maatregelen om kort volgen mogelijk te maken. Het project OV SAAL Korte Termijn was voor ProRail aanleiding om de studie Kort Volgen op te starten. Dit project is geïnitieerd door toename van het vervoer per spoor met de komst van de Hanzelijn en de groei van Almere. Gegeven dat de financiële middelen voor een algehele viersporigheid op deze corridor ontbreken, is de vraag opgekomen of er mogelijkheden zijn de railinfrastructuur beter te benutten. In de zomer van 2010 heeft ProRail een verkennend onderzoek gedaan, waaruit gebleken is dat binnen de huidige regelgeving en grenzen van het totale systeem, het beter benutten van het Nederlandse spoornetwerk bijna niet mogelijk is. Hierdoor ontstond de vraag of de regelgeving en de grenzen van het huidige systeem kunnen worden aangepast zodat wel voldoende capaciteit gecreëerd kan worden. (ProRail, 2011i)

In de studie Kort Volgen van ProRail wordt nu onderzocht welke maatregelen en/of pakketten van maatregelen denkbaar zijn om deze regelgeving en grenzen aan te passen, waardoor de capaciteit voor dezelfde infrastructuur vergroot wordt. Bij het vinden van deze maatregelen en/of pakketten van maatregelen zijn wel een aantal randvoorwaarden meegegeven waaraan voldaan moet worden. Het geheel van maatregelen (maatregelpakket) dient:

- (Deels) te worden gefaciliteerd binnen huidig seinstelsel NS'54,
- (Deels) te worden gefaciliteerd binnen het huidige treinbeïnvloedings-systeem ATB-EG,
- Te worden gefaciliteerd binnen de huidige energievoorziening van 1500 V,
- Te worden gefaciliteerd zonder ingrijpende civiele veranderingen,
- Niet te leiden tot een minder betrouwbaar systeem,
- Een implementatie van ERTMS op termijn niet te bemoeilijken,
- Voor 2016 realiseerbaar te zijn,
- Binnen budget en met verlaging van de levenscycluskosten gerealiseerd te kunnen worden,
- Te voldoen aan de veiligheidsverantwoording.

Op basis van de verkregen inzichten in het project Kort Volgen en de uitkomsten van de capaciteitsonderzoeken wordt door het Project Kort Volgen advies uitgebracht naar (on)mogelijkheden om de regelgeving aan te passen en/of grenzen van het systeem te verruimen, met als doel de capaciteit op de railinfrastructuur te vergroten. (ProRail, 2011i)

De minimaal haalbare opvolgtijden tussen twee treinen zijn zeer bepalend voor de capaciteit van het spoorsysteem. De gedachte is dat treinen elkaar tijdens de rit niet zullen hinderen en op basis daarvan kan worden vastgesteld hoe snel treinen na elkaar kunnen vertrekken dan wel binnenkomen. Het vaststellen van de bepalende opvolgtijden is complexe materie. Er zijn meerdere aspecten die hier namelijk van invloed op zijn. De kern van de opvolgtijd wordt bepaald door het remvermogen, het rempercentage, van de trein. In de meest optimale situatie wordt de opvolgtijd alleen door deze eigenschap bepaald en kleiner kan deze niet worden. Er zijn echter andere aspecten die de minimale opvolgtijd nadelig kunnen beïnvloeden. Hierbij kan gedacht worden aan veiligheidsmarges, of andere toeslagen op de remwegen, kenmerken van de infra lay-out, kenmerken van de technische systemen, planningsmarges en commerciële eisen en wensen. Het doel van het project Kort Volgen is dan ook zoveel als mogelijk opvolgtijdverlies door bovengenoemde aspecten te reduceren en de kern, het rempercentage, zo klein mogelijk te maken. Om

dit te kunnen bewerkstelligen is het van belang precies te weten welke aspecten de opvolgtijd beïnvloeden om te kunnen vaststellen welke maatregelen genomen kunnen worden om deze opvolgtijd te reduceren. In het project Kort Volgen is deze analyse uitgevoerd en zijn de mogelijke maatregelen vastgesteld. Deze maatregelen zijn in zeven stappen ingedeeld leidend van rempercentage tot commerciële opvolgtijden:

1. Rempercentages, afhankelijk van de materieeltoelating
2. Remwegen, afhankelijk van remformules
3. Remafstanden, afhankelijk van toeslagen op de remweg
4. Theoretische minimum opvolgtijden, afhankelijk van spooreigenschappen
5. Technische minimum opvolgtijden, afhankelijk van technische systemen, projecteringsregels van de infrastructuurelementen, projectering (ontwerpvisie netwerk), en spoorgebruik
6. Planmatige opvolgtijden, afhankelijk van de dienstregeling, en
7. Commerciële opvolgtijden, afhankelijk van markteisen. (ProRail, 2011i)

Binnen het project Kort Volgen van ProRail wordt nadrukkelijk gekeken naar de mogelijkheden om kort volgen mogelijk te maken binnen de bestaande NS'54/ATB-EG beveiliging. Van Luipen (2011) noemt als meest significante maatregelen die kort volgen (onder NS'54/ATB-EG) dan mogelijk maken: seinverdichting (korte blokken), verkorting van de wettelijke remwegen waarbij de gedachte is dat modern materieel sneller kan remmen dan in de tijd waaruit de remtabellen stammen, en scherpte in de uitvoering met betere beslissingsondersteuning. Het laatste punt komt in de bovengenoemde zeven stappen niet duidelijk naar voren maar is belangrijk omdat kort volgen ook sneller kan leiden tot remmen voor restrictieve seinen waarmee rij- en bloktijden juist langer worden wat een averechts effect heeft. Kort volgen betekent dat treinen dichter achter elkaar zitten waardoor het risico van een STS-passage hoger wordt. Aan de ene kant neemt de kans toe dat treinen op een rood sein afrijden en daarmee ook de kans op een STS-passage. Aan de andere kant is de kans dat er daadwerkelijk een trein achter een rood sein zit ook hoger waardoor de impact na een STS-passage ook toeneemt. Het verhoogde risico van Kort Volgen neemt nog verder toe met de maatregel om de wettelijke remwegen te verkorten aangezien dan de kans dat een machinist niet op tijd kan remmen nog verder oploopt. Kort Volgen betekent dus een belangrijke wijziging in werkwijze, techniek en het gebruik van de techniek. Dit kan alleen coherent en veilig gebeuren door een stapsgewijze invoering weerspiegeld door de praktijk van de Japanse spoorsector (Van Luipen, 2011). Dit staat op gespannen voet met de randvoorwaarde dat Kort Volgen voor 2016 realiseerbaar moet zijn. ATB-vv kan het risico van het invoeren van Kort Volgen kleiner maken maar ook ATB-vv is alleen een vangnet en kan niet garanderen dat een trein niet door een rood sein schiet.

Binnen Kort Volgen zijn diverse uitwerkingen niet haalbaar gebleken. Belangrijkste uitdaging is het gemengd rijden van goederen- en reizigers-treinen. Het NS'54 seinstelsel ziet niet welke trein op een sein afrijdt dus de seinbeelden gaan uit van de worst-case situatie, oftewel een goederentrein met een lange remweg. Hierdoor moeten ook reizigerstreinen voortijdig remmen bij seinen. Een mogelijke variant is het verbieden van goederentreinen en eventueel ander slecht remmend materieel op bepaalde baanvakken of routes waar Kort Volgen wordt toegepast. Het zal organisatorisch een grote uitdaging zijn om te garanderen dat geen enkele trein met het «verkeerde» materieel op een Kort Volgen route komt waar dan niet-veilige seinbeelden gelden. Bovendien discrimineert deze



oplossing het goederenvervoer wat op gespannen voet staat met een niet-discriminatoire verdeling van de infrastructuurcapaciteit zoals geëist door de EU.

Eén van de huidige varianten die nog wordt onderzocht op haalbaarheid (en veiligheid) gaat uit van Kort Volgen voor reizigerstreinen aangevuld met ETCS voor goederentreinen. Deze oplossing voor Kort Volgen betekent dat naast investeringen in Kort Volgen ook ETCS moet worden geïmplementeerd. Voor individuele ETCS overlay projecten is dit goedkoper dan alle reizigerstreinen te voorzien van ETCS. Voor meerdere Kort Volgen projecten samen kunnen de meerkosten echter wel eens zodanig hoog worden dat het goedkoper is om alle reizigerstreinen van ETCS te voorzien. Indien alle treinen al zouden zijn voorzien van ETCS dan is kort volgen (met ETCS) eenvoudig en beter mogelijk. De remafstanden worden dan per trein bepaald met materieelafhankelijke remcurves waarbij de inzet van de remming ook nog eens onafhankelijk zijn van de blokgrenzen. (ProRail, 2011c) In bovenstaande variant met NS'54/ATB-EG voor reizigerstreinen en ETCS voor goederentreinen zou op de plekken met Kort Volgen geen rekening meer gehouden hoeven worden met goederentreinen, waardoor met aangepaste remwegen zou kunnen worden gewerkt en betere seinbeelden ontstaan. Alle goederentreinen die op die Kort Volgen plekken komen moeten dan wel *verplicht* de baanseinene negeren omdat die een *beter* seinbeeld geven dan de cabinesignalering, in tegenstelling tot het in het algemeen betere seinbeeld van de ETCS cabinesignalering t.o.v. het conventionele NS'54/ATB-EG. Dit geeft grote veiligheidsrisico's en betekent in feite dat hier de dual signalling van ETCS en NS'54/ATB-EG met Kort Volgen niet ingevoerd zou kunnen worden zonder dat de interlocking de seinen langs de baan dooft voor een trein die onder ETCS rijdt. Oudere interlockings kennen deze functionaliteit niet waardoor invoering een erg dure grap wordt. Bovendien geldt ook hier dat er geen garantie is dat een goederenloc zonder ETCS op een Kort Volgen baanvak zou kunnen komen.

In Duitsland is het concept van korte blokken 20 jaar geleden ontwikkeld in samenhang met het cabinesignalering en treinbeïnvloedingssysteem LZB (*Linienförmige Zugbeeinflussung*) onder de naam Hochleistungsblock (Wegel, 1992). LZB heeft echter remcurvebewaking net als ETCS en ATB-NG en behelst een nagenoeg continue positiebepaling, snelheidscontrole en veilige afstandsbewaking. Treinen uitgerust met LZB kunnen en mogen uitgesteld remmen waarmee een groot nadeel van Kort Volgen met ATB-EG wordt voorkomen. Door de hoge investeringen en operationele kosten die zeer korte blokken met zich meebrengen is het Hochleistungsblock met uitzondering van de spoorlijn Karlsruhe–Basel echter nauwelijks toegepast (Winter, 2009, p. 216). Kort Volgen met ATB-EG is minder effectief en door gebruik van baanseinene nog duurder waardoor het onwaarschijnlijk is dat de rekensom in Nederland anders zal uitkomen.

De eerste twee randvoorwaarden om Kort Volgen te faciliteren onder het bestaande NS'54/ATB-EG staan dus op gespannen voet met de laatste drie randvoorwaarden van realisatie op korte termijn tegen lage kosten en zonder verhoogde veiligheidsrisico's. Dit pleit voor een versnelde invoering van ETCS als alternatief om kort volgen te realiseren op een betrouwbare, veilige, duurzame, structurele en consistente wijze. De inzichten die in het project Kort Volgen zijn opgedaan kunnen worden gebruikt voor het verder uitwerken van de projecteringsregels voor de optimalisatie van de blokgrenzen (virtuele seinen) van ETCS L1/L2.

## 5.7 Capaciteitsbenutting

In Hoofdstuk 4 is een gedetailleerde capaciteitsanalyse gedaan. Duidelijk is dat ERTMS een significant positief effect op de baanvakbelasting heeft. Deze effecten worden in eerste bereikt door materieel specifiek uitgesteld remmen waardoor de minimum opvolgtijden significant afnemen. In tweede instantie hebben korte blokken een positief effect op het sneller vrijmaken van een blok waarmee de minimum opvolgtijden nog verder afnemen.

Een hogere capaciteitsbenutting onder ERTMS boven die van NS'54/ATG-EG kan op diverse manieren uitgebaat worden: allereerst zorgt ERTMS ervoor dat dienstregelingspatronen mogelijk worden die onder NS'54/ATB-EG niet mogelijk zijn. Een voorbeeld is de bestaande situatie op Utrecht–Den Bosch waar twee goederenpaden per uur zijn gepland maar wat niet haalbaar is als deze goederenpaden ook daadwerkelijk worden geclaimd. Met ERTMS zijn die twee goederenpaden wel ieder uur mogelijk. Oftewel ERTMS maakt extra treinpaden mogelijk.

Ten tweede maken kortere rijtijden dienstregelingen haalbaar die onder de bestaande situatie erg krap zitten. Op enkelsporige baanvakken bijvoorbeeld heeft ERTMS door kortere rijtijden en overkruistijden, zeker in combinatie met hogere baanvaksnelheden, een positief effect op de capaciteitsbenutting omdat het hier met name van belang is dat treinen zo snel mogelijk over een enkelsporig baanvak rijden en het zo snel mogelijk vrijmaken voor de tegentrein. Op dubbelsporige lijnen met gemengd verkeer werkt een hogere baanvaksnelheid averechts op de baanvakbelasting bij een onveranderde dienstregeling omdat daarmee de heterogeniteit toeneemt. Echter in combinatie met extra inhalingen onderweg kan een hogere baanvaksnelheid wel degelijk zonder al te grote toename van de capaciteitsbenutting toegepast worden. Voor het inhalen van vertragingen kan een hogere baanvaksnelheid (voor intercity's) zonder meer helpen om sneller terug te keren naar het geplande treinpad.

Ten derde kan de betere capaciteitsbenutting onder ERTMS er voor zorgen dat treinen met een strakke regelmaat kunnen rijden, waar onder de bestaande situatie een semireguliere dienst wordt aangeboden. Bijvoorbeeld een 15 minuten treindienst i.p.v. een alternerende 10–20 minuten treindienst.

Als vierde punt geeft ERTMS betere prestaties bij vertragingen doordat treinen dichter op elkaar kunnen zitten vanwege de remcurves die bij lage snelheden veel korter zijn dan bij hoge snelheden. In combinatie met korte blokken ontstaat een betere doorstroming bij lagere snelheden waardoor vertragingen sneller uitdempen. Dit heeft een stabiliserend effect op vertragingen.

## 5.8 Energiezuinig rijden

De goede informatievoorziening van ETCS L2 treinen biedt mogelijkheden voor dynamische informatie- en advies systemen voor machinisten. De cabinesignalering in de trein geeft de actuele positie, snelheid en het dynamisch snelheidsprofiel tot aan het einde van de rijtoestemming waarbinnen de trein moet blijven. Op basis van deze informatie kan de machinist de snelheid van de trein zo regelen dat onnodig remmen en optrekken wordt voorkomen. Dit zijn standaard ERTMS functionaliteiten. ERTMS heeft geen specificaties voor het geven van snelheidsadviesinfor-

matie aan machinisten, maar de ERTMS functionaliteiten kunnen wel gebruikt worden als platform voor implementatie van een dergelijke functionaliteit.

Door toevoeging van dienstregelingsinformatie aan de trein is alle informatie aanwezig is om een machinist advies te geven om energiezuinig rijden mogelijk te maken. Hiervoor kan een optimaal snelheidsprofiel worden berekend gegeven de doeltijd en -snelheid op het volgende dienstregelingspunt en het dynamisch snelheidsprofiel waar de trein binnen moet blijven. Op basis hiervan kan informatie getoond worden zoals de actuele afwijking van het optimale treinpad om de dienstregeling te realiseren. Ook kan hiermee een dynamisch snelheidsadvies getoond worden zoals de actuele doelsnelheid, een advies om snelheid te vermeerderen, te verminderen of uit te rollen (tractie uitschakelen), of grafisch het hele actuele optimale snelheidsprofiel over tijd of plaats. De dienstregelingsinformatie kan ook dynamisch aangeleverd worden vanuit de verkeersleidingspost (of het procesplan rijwegen) via de RBC zodat de informatie en/of het advies gebaseerd is op de actuele dienstregeling. Hiervoor zijn diverse applicaties ontwikkeld en in ontwikkeling waarbij ERTMS nieuwe mogelijkheden biedt (RSSB, 2009).

ProRail heeft het dynamische informatiesysteem Routelint ontwikkeld dat informatie geeft over vrije blokken verderop en vertragingen van voorliggende en kruisende treinen waardoor machinisten beter kunnen anticiperen op de omgeving. Na een proef op een treinserie heeft NS eind 2010 besloten Routelint niet landelijk in te voeren omdat de beoogde minimale energiebesparing niet werd gerealiseerd en prioriteit aan andere projecten met ProRail werd gegeven. Ook is de Routelint informatie van en naar de trein erg duur door de Gateways bij zowel NS als ProRail (NS, 2011a). In 2007 is in het kader van de Railforum Innovatiecup onder de naam «Integrale groene golf» een dynamisch informatiesysteem voor machinisten ontwikkeld waarin ERTMS en Routelint zijn gecombineerd (Sierts e.a., 2007). Dit idee heeft de RailForum Innovatiecup 2007 gewonnen met een concrete uitwerking en business case.

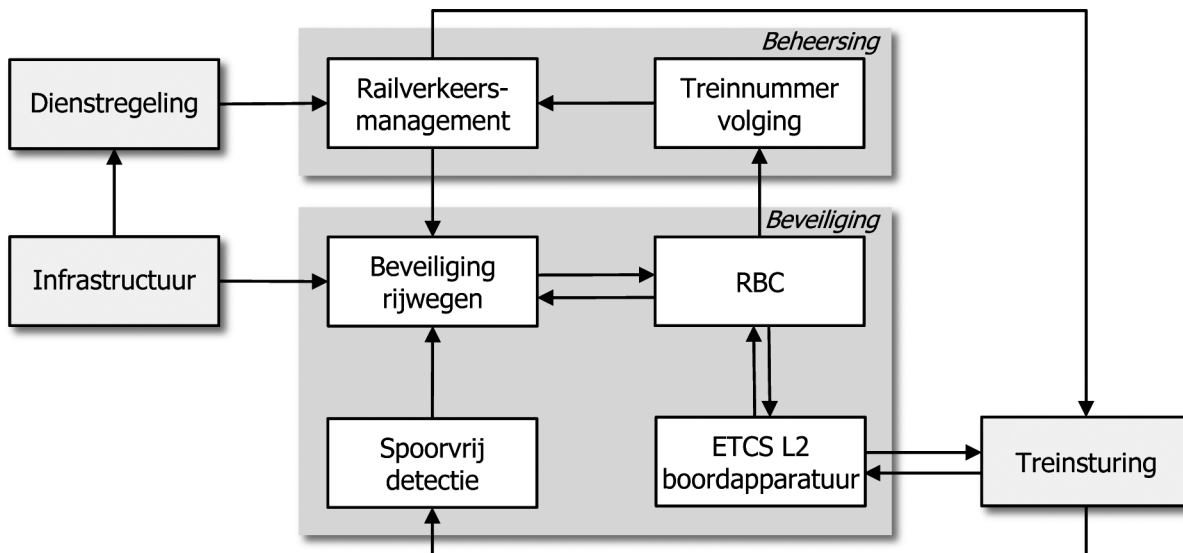
Nog een stap verder gaat een dynamisch real-time railverkeersmanagementsysteem dat het treinverkeer in een heel gebied monitort en dynamisch coördineert door conflictdetectie en herplanning van de treinpaden zodat conflicten vermeden worden. De treinen krijgen dan real-time dienstregelingsupdates of adviessnelheden vanuit de verkeersleidingspost. Internationaal zijn meerdere projecten bezig waarbij aansluiting op ERTMS een standaardisatie mogelijkheid biedt. In Zwitserland berekent een verkeersmanagementsysteem adviessnelheden en geeft die door aan ETCS treinen in de Lötschberg basistunnel. In Zweden is het CATO (Computer Aided Train Operation) project in ontwikkeling gebaseerd op ERTMS met alle hierboven genoemde functionaliteiten (Transrail, 2011). Bombardier heeft de EBI Drive 50 rijstijlmanager ontwikkeld op basis van GPS dat geïntegreerd is in de ETCS cabinesignalering DMI (Driver Machine Interface) (RSSB, 2009). In Duitsland is binnen het FreeFloat project een machinistadviesstelsel in ontwikkeling dat gebruik maakt van ERTMS en GSM-R. Dit FreeFloat systeem geeft de bandbreedte aan van de minimum en maximum toegelaten afwijking van de dienstregeling, alsmede actueel snelheidsadvies zoals «uitrollen» en «maximum snelheid».

## 5.9 Verkeersmanagement

ERTMS kan diverse innovatieve stappen bewerkstelligen die nodig zijn om het Nederlandse spoor tot de modernste standaard te brengen, zie Figuur 15 voor ETCS L2. Het plaatje voor ETCS L3 is gelijk behalve dat de spoorvrijdetectie dan vervalt en de positie van zowel kop als staart van de trein veilig aan de interlocking doorgegeven kan worden via de RBC. In vergelijking met Figuur 1 zijn er een aantal essentiële verbindingen veranderd<sup>6</sup>. Allereerst valt in de beveiliging op dat de ETCS L2 boordcomputer kan communiceren met de rijwegbeveiliging (interlocking) via de radioverbinding met de RBC. Hierdoor kan bijvoorbeeld de trein zelf rijwegen aanvragen wanneer dat nodig is en kunnen rijwegen veilig worden ingetrokken via de tweeweg communicatie waardoor meer flexibiliteit onderstaat en de trein volwaardige «agenten» worden die communiceren via het verkeersmanagement.

Ten tweede is er een directe link met het verkeersmanagement i.p.v. de statische dienstregeling. Op de trein is nu altijd de actuele dienstregeling aanwezig waar de laatste wijzigingen van de treindienstleiders in verwerkt is. Deze link kan lopen via de ETCS cabinegebruikersinterface maar is in essentie non-vital informatie, d.w.z. dat storingen in deze functionaliteit geen veiligheidsconsequenties hebben. Samen met de actuele positie en snelheid kan nu in de trein de actuele rijtijdspeeling tot aan het volgende doorkomstmoment worden berekend (zoals in het Japanse Navi-systeem) waarmee de machinist optimale informatie heeft om de snelheid zo te sturen dat de trein precies op het juiste moment op het volgende doorkomstmoment is. Ook kan met deze informatie het optimale energiezuinige snelheidsprofiel worden berekend waarmee aan de machinist advies gegeven kan worden over de optimale snelheid en uitrolmoment (zoals het Duitse ESF-EBuLa systeem).

**Figuur 15 Structuur van een railverkeerssysteem onder ERTMS met ETCS L2**



<sup>6</sup> Het RBC komt niet in plaats van de seinen maar is een nieuw onderdeel in de beveiligingslaag tussen de trein en de interlocking. De baangebonden lichtseinen zijn wel vervallen al kunnen die optioneel (lokaal) nog toegepast worden.

Ten derde worden de treinposities niet meer door de spoorwegdetectie via de treinummersvolging aan de verkeersleiding doorgegeven, maar direct vanuit de trein via een treinummersvolgsysteem (een interface die ook kan worden vervuld door het huidige treinummersvolgsysteem TROTS). De nauwkeurigheid, precisie en betrouwbaarheid van de treinposities gaat hiermee significant omhoog. De actuele treinposities

zijn met ETCS L2 op de tweede nauwkeurig bekend en bovendien ook de actuele treinsnelheden, inclusief stopmeldingen. Stopmeldingen op locaties anders dan perronsporen geven ongeplande stops aan die kunnen duiden op problemen met de trein of (vaker) conflicterende rijwegen waardoor een trein moest stoppen. Voor de monitoring en prestatieanalyse is dit essentiële informatie waardoor locatiespecifiek en direct actie kan worden ondernomen zonder dat een machinist contact hoeft op te nemen met een treindienstleider.

Ten laatste is railverkeersleiding nu railverkeersmanagement gaan heten om aan te geven dat hier ook innovatieslagen zijn gemaakt: doordat in de railverkeersleidingsposten veel nauwkeurigere informatie binnenkomt inclusief snelheden van treinen kan de verkeersleiding (incl. treindienstleiders) worden ondersteund met applicaties voor het voorspellen van conflicten – inclusief deadlock, verbroken reizigersaansluitingen en logistieke relaties – en het berekenen van effectieve en realiseerbare bijstuurmaatregelen – zoals treinvolgorde veranderingen over conflicterende rijwegen, verkorten of verlengen van rij- of halteertijden, en alternatieve rijwegen (zoals het Zwitserse RCS). De machinisten worden automatisch geïnformeerd over de laatst doorgevoerde maatregelen met bijvoorbeeld nieuwe doelsnelheden op specifieke punten en kunnen daar vervolgens rekening mee houden. Ook de extra ERTMS functionaliteiten kunnen vanaf het railverkeersmanagement bediend worden zoals het toepassen van een tijdelijke snelheidsbeperking (TSB) op alleen die momenten dat het nodig is en zonder organisatorische rompslomp zoals het plaatsen van TSB bordjes langs de baan en ver vooraf aankondigen aan machinisten.

Ook voor Nederland zijn railverkeersmanagementsystemen met conflict-detectie en conflictoplossing in ontwikkeling, zoals TMS en ROMA die beide zijn gebaseerd op hetzelfde wiskundige model dat is ontwikkeld in het EU Combine2 project dat zich richtte op een nieuwe generatie railverkeersmanagementsystemen (Giannettoni en Savio, 2004). ROMA is daarop aan de TU Delft wetenschappelijk verder ontwikkeld op extra functionaliteiten en toepassingen, en op betere en snellere algoritmen om online steeds grotere gebieden aan te kunnen (D'Ariano, 2008; Corman, 2010). Het TMS is verder ontwikkeld binnen de bestaande ICT omgeving van ProRail waarbij interfaces met bestaande (simulatie) systemen zijn ontwikkeld en pilots zijn uitgevoerd (Mazzarello en Ottaviani, 2007). Beide systemen kunnen geavanceerde bijsturingsmaatregelen berekenen voor gegeven vertragingen met een optimale combinatie van aangepaste vertrektijden, volgordeveranderingen, alternatieve routeringen en snelheidsadviezen zodat de volgvertragingen worden geminimaliseerd. In Hoofdstuk 4 is ROMA ingezet bij de capaciteitsanalyse van Utrecht–Den Bosch. Een belangrijke voorwaarde voor de online inzet van deze systemen is een koppeling met online gegevensstromen van actuele treinposities en treinsnelheden. Treinposities zijn op verkeersleidingsposten beschikbaar via het TROTS treinnummervolgsysteem, maar treinsnelheden zijn nog niet beschikbaar. ERTMS biedt in één klap alle benodigde gegevens en de communicatiemogelijkheden tussen trein en verkeersleidingspost om de ontwikkelde prototypes daadwerkelijk in te zetten. Dit geeft verkeersleiders de nodige beslissingsondersteuning waarmee het procesplan rijwegen actueel gehouden kan worden met conflictvrije en deadlockvrije treinpaden, ook op «complexe» infrastructuur.

## 5.10 Conclusies

Migratie naar ERTMS kent diverse baten ten opzicht van de huidige situatie, met als belangrijkste baten

- Interoperabiliteit,
- Verhoogde veiligheid door remcurvebewaking en snelheidsbewaking,
- Rijtijdwinsten door snelheidsverhoging, vanwege
  - verhoging van de baanvaksnelheid,
  - treinspecifiek uitgesteld remmen waardoor langer met hogere snelheid kan worden doorgereden,
  - snelheidsbewaking van alle snelheden, waardoor snelheidsverlaging naar de grove ATB-EG snelheidsstappen niet meer nodig is,
- Opvolgtijdwinsten en overkruistijdwinsten door
  - treinspecifiek uitgesteld remmen waardoor de toenaderingstijd en bezettijd van het blok verminderen,
  - korte blokken mogelijk gemaakt door een flexibelere projectering van blokgrenzen (virtuele seinen) in de infrastructuur waardoor blokken eerder worden vrijgegeven,
- Verhoogde capaciteitsbenutting door
  - kortere minimum opvolg- en overkruistijden,
  - kortere rijtijden,
  - hogere snelheden in combinatie met snelle inhalingen,
- Optimalisering van de dienstregeling door
  - kortere minimum opvolg- en overkruistijden,
  - kortere rijtijden,
  - snelle inhalingen,
- Verhoogde demping van vertragingen door
  - korte blokken
  - kortere remwegen bij lagere snelheden.

De real-time tweezijdige radioverbinding met de RBC's bij ETCS L2/L3 resulteert in diverse extra mogelijkheden, zoals

- Energiezuinig rijden door betere informatievoorziening over de rijtoestemming aan de machinist,
- Dynamisch railverkeersmanagement doordat de verkeersleiding beschikt over positie- en snelheidsgegevens van alle treinen en real-time informatie naar de treinen kan worden gestuurd zoals de actuele (geoptimaliseerde) dienstregeling en snelheidsadvies,
- Flexibele en daarmee kortere buitendienststellingen voor onderhoud door mobiele werkplekbeveiliging met Handheld Terminals.

## 6 IMPLEMENTATIESTRATEGIE ERTMS

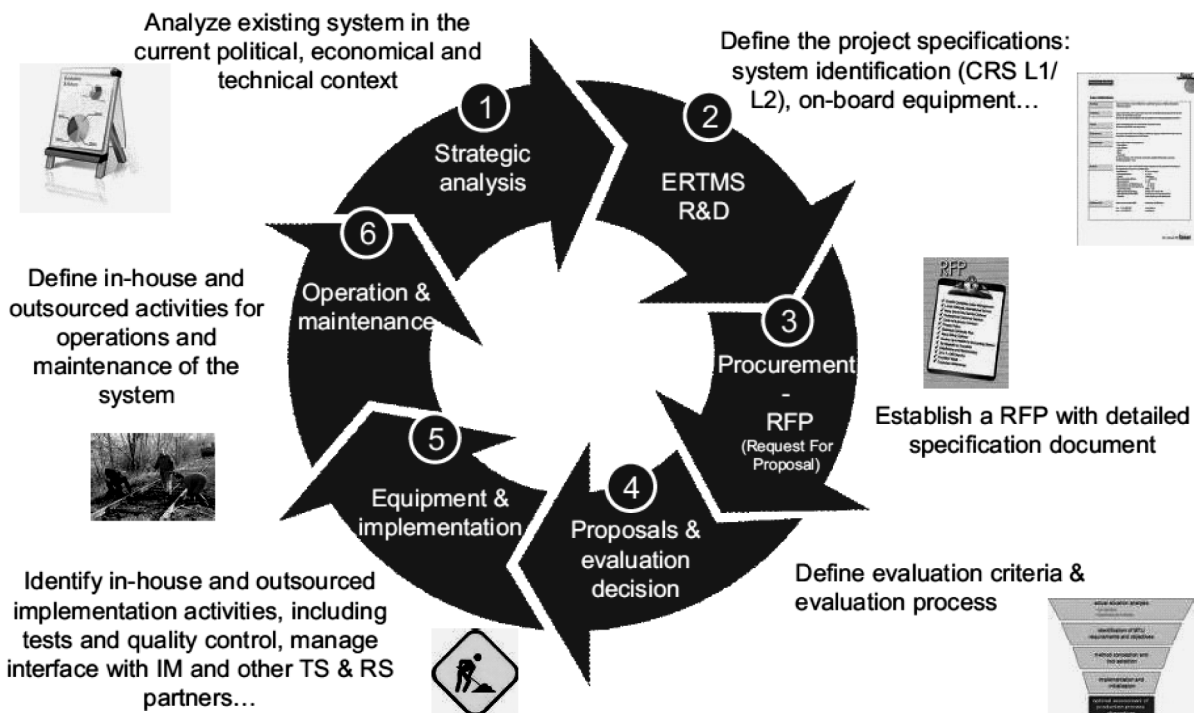
### 6.1 Levenscycluskosten

Technische systemen hebben een eindige levensduur waarna ze vervangen moeten worden en dit is ook het geval met beveiligingssyste-  
men. De levenscyclus van een technisch systeem kent diverse fases die  
vanaf het begin integraal moeten worden beschouwd (Blanchard, 2008):

- de ontwikkeling,
- de realisatie,
- de exploitatie met regulier onderhoud inclusief upgrades en operatio-  
neel onderhoud
- vervanging.

Voor moderne elektronische beveiligingssystemen geldt een levenscyclus van ongeveer 25 jaar. Gedurende die 25 jaar zijn allerlei ontwikkelingen zodat aan het einde van de levensduur opnieuw gekeken moet worden door welke technologie het oude systeem vervangen kan worden. Voor spoorwegbeveiliging gaat het dan om de spoorvrijdetectie, interlockings, en baan- en treinapparatuur voor het seinsysteem en de treinbeïnvloeding. Bij een groot spoornet zitten de beveiligingssystemen voor de verschillende emplacementen en spoorlijnen allen in een verschillende fase van hun levenscyclus wat de introductie van een heel nieuw systeem zoals ERTMS i.p.v. NS'54/ATB bemoeilijkt.

**Figuur 16 Levenscyclusbenadering en ERTMS modulaire kostenstructuur (UIC, 2009)**



Figuur 17 toont een levenscyclusbenadering van de implementatie van ERTMS met de diverse kostencomponenten (UIC, 2009). Implementatie van een nieuwe ontwikkeling zoals ERTMS begint met een analyse van het bestaande systeem (NS'54/ATB) in de huidige politieke, economische en technische context. In dit geval gaat het om Europese regelgeving, geeft Europese standaardisatie economische voordelen als grootschaligheid en

internationale marktwerking en kan in een business case een gedetailleerde MKBA of levenscycluskostenanalyse uitgevoerd worden, en is ATB-EG een verouderd systeem dat in vergelijking met een state-of-the-art systeem als ERTMS beduidend minder presteert op het gebied van veiligheid en capaciteitsbenutting. Als tweede stap moeten de klantspecificaties (Customer Requirement Specifications, CRS) worden gespecificeerd waarbij besluiten moeten worden gemaakt omtrent de gewenste toepassing (Level 1 of Level 2) en de functionaliteiten. In stap 3 wordt besloten wat aanbesteed wordt en hoe (integraal pakket, materieel en infrastructuur apart, infrastructuur in delen, welk type interlockings worden toegestaan, etc) en wordt de offerteaanvraag voorbereid met gedetailleerde specificaties, prestatieindicatoren en contractvorm, en vindt de aanbesteding plaats. In stap 4 maken de leveranciers op basis van de specificaties een offerte en dienen die in. Vervolgens worden de offertes op basis van vooraf vastgestelde criteria beoordeeld en wordt het contract gegund aan één van de partijen. In stap 5 bouwt de leverancier aan wie het project gegund is op basis van de specificaties de diverse subsystemen waarbij eventueel onderdelen worden uitbesteed. Hier vindt eventueel ook ontwikkeling plaats als niet alle klantspecificaties gestandaardiseerd zijn. Vervolgens wordt het systeem geïmplementeerd inclusief systeemtesten, safety case en certificering. Stap 6 is de exploitatie van het systeem inclusief regulier onderhoud, upgrades, en operationeel onderhoud (reconfiguraties). Hiervoor moeten vantevoren besluiten zijn gemaakt wie het onderhoud en reconfiguraties bij infrastructuraanpassingen doet. Aan het einde van de levenscyclus wordt het bestaande systeem weer geanalyseerd en start een nieuwe cyclus waar het systeem wordt vervangen.

De voorbereiding van specificaties is een wezenlijke ingenieursactiviteit. Voor grootschalige systemen zoals treinbeveiliging waarbij meerdere leveranciers van componenten en subsystemen betrokken zijn is de kans groot dat veel specificaties worden gegenereerd en toegepast in de verschillende fases van het systeemontwerp en ontwikkelingsproces. Als dit gebeurt op een onafhankelijke basis dan zijn conflicterende specificaties en implementaties onvermijdelijk en is het bovendien erg lastig om te bepalen welke van de specificaties de voorkeur heeft om het conflict te beslechten. Daarnaast is het belangrijk dat alleen de «wat's» worden gespecificeerd en niet de «hoe's». Het laatste geval kan leiden tot hoge kosten doordat dit precies vastlegt hoe een leverancier iets moet doen in plaats van dat de leverancier zijn eigen expertise, ervaring en opgebouwde standaardonderdelen kan inzetten voor goedkopere oplossingen met dezelfde in- en uitvoer. Specificaties moeten zo worden opgesteld dat ze de prestatievereisten (performance requirements) omvatten, oftewel *wat is vereist* in plaats van *hoe het te doen*. (Blanchard, 2008)

## 6.2 ERTMS migratie

Invoering van ERTMS betekent wijzigingen aan zowel de baan- als treinapparatuur die niet compatibel zijn met de oude apparatuur zodat een migratiestrategie bedacht moet worden waarbij over een transitieperiode ook dubbel uitgevoerde systemen gebruikt worden. Voor ERTMS zijn hier twee mogelijkheden: dubbele systemen in de trein of dubbele systemen in de infrastructuur. In het eerste geval gaat het dan om ETCS boordapparatuur met een STM ATB (Specific Transmission Module ATB) waarmee een trein kan rijden op zowel ATB infrastructuur als op infrastructuur dat al gemigreerd is naar ETCS. In het tweede geval gaat het om duale



signalering in de baan zoals op Amsterdam–Utrecht. Hier kunnen ATB treinen op ATB en de lichtseinen blijven rijden en ETCS treinen op de cabinesignalering. Als een ETCS trein met STM ATB een spoor oprijdt waar beide systemen operationeel zijn wordt automatisch ETCS gekozen aangezien dat de beste prestaties geeft alhoewel een machinist ook handmatig het andere systeem kan kiezen.

De eerste afweging van een migratiestrategie splitst zich dan ook met name toe op de vraag of eerst al het materieel moeten worden voorzien van ETCS naast ATB waarna de infrastructuur geleidelijk kan worden gemigreerd, of andersom. Dit betekent ook dat de migratie een spoorwegbreed proces is van zowel de infrastructuurmanager als de spoorwegondernemingen. Duale signalering in de baan is erg duur omdat de infrastructuur dan voorzien wordt van twee volledige functionerende beveiligingssystemen die ook nog met elkaar rekening moeten houden. Dubbele systemen in de trein is dan ook het natuurlijke migratiescenario, waarbij «dubbel» in de praktijk betekent dat de trein voorzien is van ETCS boordapparatuur met daaraan toegevoegd een STM ATB die de ATB-codes van de spoorstroomlopen over de baan oppikt en die vertaalt naar ETCS boodschappen die dan verder worden verwerkt door de ETCS boordcomputer.

Zodra (voldoende) treinen voorzien zijn van ETCS kan de infrastructuur ook voorzien worden van ETCS en in werking gesteld worden zonder NS'54/ATB. De bestaande systemen blijven dan nog wel in de infrastructuur zitten als terugval optie totdat bewezen is dat ETCS betrouwbaar functioneert waarna de seinen en ATB-apparatuur afgebroken kunnen worden, voor zover ze niet ook gebruikt worden voor het nieuwe systeem (lichtseinen, spoorvrijdetectie).

Bij een nieuwe ontwikkeling als ERTMS duurt het even voordat deze massaal wordt geïmplementeerd. Een nieuwe technologie begint met onderzoek en ontwikkeling (Research & Development). Vervolgens worden de eerste systemen geïmplementeerd in ontwikkelprojecten waarbij de systeemspecificaties tegen het licht worden gehouden en onvolkomenheden moeten worden opgelost middels nieuwe ontwikkelingen. Bij ERTMS Baseline 2.2.0 ontbrak bijvoorbeeld de interfacespecificatie van de overdracht tussen twee RBC's. Iedere leverancier ontwikkelde dan een eigen RBC met communicatieprotocollen zodat de eigen RBC's met elkaar kunnen communiceren. Op het moment dat een trein echter over moet gaan tussen de RBC's van twee leveranciers ontstaan problemen. Dit was bijvoorbeeld het geval op de Belgisch-Nederlandse grens van de HSL-Zuid waar aan beide kanten een andere leverancier de ERTMS infrastructuur aanlegde. Onderdeel van het HSL-Zuid project moest dan ook zijn om hier een oplossing voor te bedenken wat nieuwe ontwikkelingskosten met zich mee bracht.

Na de ontwikkelingsfase volgt de introductie van ERTMS op meerdere emplacementen en spoorlijnen waar nieuwe uitdagingen ontstaan zoals de koppeling van ERTMS met nieuwe en bestaande interlockings. Nieuwe interlockings kunnen anticiperen op extra functionaliteiten die ERTMS kan bieden maar die niet aanwezig waren in het oude seinstelsel en treinbeïnvloeding, zoals omgaan met tijdelijke snelheidsbeperkingen. Hiervoor moeten de interlockings dan wel eventueel aangepast worden. Er moeten dan dus besluiten worden genomen over welke ERTMS functionaliteiten

ondersteund moeten worden en vervolgens moeten eventueel eenmalig ontwikkelingskosten gemaakt worden om interlockings daarop geschikt te maken.

In eerste instantie kan ERTMS ingevoerd worden in combinatie met de natuurlijke vervanging van interlockings die aan het einde van hun levensduur zijn. Wel is hierbij van belang dat er een samenhang moet zijn tussen de sein- en treinbeïnvloedingssystemen in naburige gebieden. Een enkel baanvak dat voorzien wordt van ERTMS op een spoorlijn waar verder ATB-EG ligt is erg verwarrend voor machinisten. Daarom is het aan te bevelen om ERTMS corridorsgewijs in te voeren, waar hier met een corridor een aantal emplacementen verbonden met een spoorlijn wordt bedoeld. Bijvoorbeeld Amsterdam–Utrecht–Den Bosch–Eindhoven. Bij de keuze van zo'n corridor moet ook gekeken worden naar de resterende levensduur van alle interlockings en baanapparatuur over de emplacementen en baanvakken op de corridor. Die kunnen allen verschillend zijn. In het ideale geval dat alle systemen over de hele corridor aan vervanging toe zijn kunnen nieuwe interlockings met ERTMS integraal over de corridor worden geïnstalleerd. In het meer realistische scenario dat dit niet het geval is moet een afweging gemaakt worden of dan toch alles integraal vervangen wordt waardoor extra kosten ontstaan door vroegtijdige afschrijving van apparatuur, of dat deels bestaande systemen gekoppeld worden aan ERTMS. In dit laatste geval moeten speciale interfaces ontwikkeld worden tussen bestaande interlockings en ERTMS apparatuur (LEU's of RBC's voor respectievelijk ETCS L1 en L2) wat ook eenmalig extra kosten met zich meebrengt. Hierbij moet een kostenbatenanalyse gemaakt worden omdat het ontwikkelen van een interface tussen ERTMS en bestaande interlockings ook veel kan kosten en over het algemeen geen gebruik gemaakt kan worden van extra ERTMS functionaliteiten, tenzij de bestaande interlockings daar ook op aangepast (kunnen) worden. Die analyse kan verschillend uitpakken afhankelijk van het type bestaande interlocking en de gewenste functionaliteiten. Bij bijvoorbeeld capaciteitsknelpunten kan vervanging van een relaisinterlocking gewenst zijn voor een moderne elektronische interlocking die ERTMS L2 aanstuurt. Voor regionale lijnen met voldoende capaciteit kan aansluiting van ERTMS L1 op de bestaande baanseinen een optie zijn zonder aanpassing van de interlocking.

Als ERTMS eenmaal geïntroduceerd is op een corridor kan het snel gaan door het herhalen van zetten voor andere corridors totdat het hele netwerk gemigreerd is naar ERTMS. Hierbij is de volgorde van corridors van belang dat afhangt van prioriteiten en wensen zoals interoperabiliteit op internationale corridors, capaciteitsvergroting op drukke corridors met knelpunten, of prestatieverbeteringen op corridors met krappe dienstregelingen (snelheidsverhoging, snel volgen/overkruisen). De keuze van ETCS L1 dan wel ETCS L2 kan integraal voor het heel landelijke netwerk gemaakt worden, maar ook per corridor of deelcorridor. Hierbij kunnen verdere principe afwegingen meespelen zoals de ontwikkeling van verkeersmanagementsystemen die baat hebben bij tweezijdige veilige communicatie via RBC's.

## 6.3 ERTMS migratiestrategieën voor Nederland

### 6.3.1 Aanbevelingen aan infrastructuurmanagers

De ERTMS projecten die tot nu toe in Nederland zijn gedaan waren voornamelijk ontwikkelprojecten waarbij ontwikkelingskosten gemaakt zijn voor de implementatie van nationale specificaties alsmede nieuwe interfaces en functionaliteiten. Voor een migratie is nodig dat de specificaties bevroren worden zodat een gestandaardiseerd systeem uitgerold kan worden over de diverse corridors en geen nieuwe ontwikkelingskosten meer gemaakt worden (of alleen met bewuste afweging als specifieke situaties daar om vragen).

Daarnaast worden de kosten gedrukt door grootschaligheid waarbij leveranciers in een aanbesteding op grotere gebieden tegelijk kunnen meedingen. De grootschaligheid garandeert dat ontwikkelingswerk voor de bevroren specificaties eenmalig aan het begin gedaan wordt waarna de ontwikkelde oplossingen hergebruikt kunnen worden tijdens de uitrol van ERTMS over de corridors. De eenmalige ontwikkelingskosten worden dan uitgesmeerd over het hele project. Daarnaast gaat de safety case ook makkelijker en sneller nadat de eerste installaties zijn goedgekeurd. Bij de safety case in navolgende installaties kan de leverancier dan terugvallen op eerder geaccepteerde oplossingen. Als derde punt kunnen de vaste kosten van onderhoud uitgesmeerd worden over het onderhoud van meerdere installaties. Het onderhoud, inclusief regulier onderhoud, upgrades en herconfiguraties na infrastructuuraanpassingen, moet in een raamwerkcontract als geheel aanbesteed worden om kosten te drukken. Het raamwerkcontract zou in de toekomst aanbesteed kunnen worden aan erkende ingenieurbureaus én de leveranciers zelf. In eerste instantie is het aan te bevelen om de realisatie en onderhoud als geheel prestatiegericht aan te besteden in een raamwerkcontract. Op deze manier worden leveranciers gestimuleerd om onderhoudsarme apparatuur te leveren. Het onderhoud kan hierbij over de hele levenscyclus worden vergeven of in delen. In het laatste geval moet contractueel vastgelegd worden dat onderhoud ook door derden mogelijk moet zijn waarvoor de noodzakelijke tooling voor (her)configuratie van het systeem beschikbaar moet komen.

Bij aanbesteding van de vervanging van een interlocking, wel of niet in samenhang met ERTMS, moet de infrastructuurmanager zich beperken tot de (bevroren) functionele systeemspecificaties in een prestatiegericht contract. In het bijzonder hoeft ProRail niet te specificeren welk type interlocking gebruikt moet worden (elektronisch, relais, PLC) maar wel of die bijvoorbeeld geschikt moet zijn voor ERTMS en welke functionaliteiten daarbij ondersteund dienen te worden. Dergelijke specificaties moeten eenmalig bepaald worden en daarna bevroren. Om niet voor verrassingen te komen staan bij een aanbesteding moeten die specificaties van tevoren goed doorgesproken worden met de diverse leveranciers die in Nederland actief zijn zodat duidelijk is waar nog ontwikkelingswerk zit en wat standaard is. Een specifieke formulering kan het verschil betekenen tussen een standaardoplossing en maatwerk. Maatwerk moet zoveel mogelijk worden vermeden als gestandaardiseerde oplossingen al beschikbaar zijn.

Voorkomen moet worden dat meerdere leveranciers interfaces gaan ontwikkelen tussen dezelfde systemen. Als meerdere gebieden aanbesteed worden dan moet de infrastructuurmanager er voor zorgen dat geen dubbelwerk wordt gedaan maar dat wordt samen gewerkt naar een nationale standaardisatie voor bijvoorbeeld de interface met een

specifiek type interlocking. De infrastructuurmanager kan er ook voor kiezen één aanbesteding te doen zodat één leverancier alle (compatibele) apparatuur kan leveren. Eventueel kan hier onderscheid worden gemaakt in bijvoorbeeld aparte contracten voor ETCS L1 en ETCS L2 en/of aparte contracten voor koppeling van ETCS L1/L2 op bestaande interlockings per type interlocking.

Bij aanbesteding van ERTMS in samenhang met bestaande interlockings kan ook worden volstaan met vaste systeemspecificaties in een prestatiegericht contract. De leverancier kan zelf besluiten of een interface naar een bestaande interlocking mogelijk en voordeliger is of dat een volledig nieuwe interlocking nodig is om de specificatie- en prestatieafspraken in het contract voor de beste prijs aan te bieden vanuit levenscycluskosten overwegingen. De verwachting is dat de industrie het voordeligst uitkomt met reeds ontwikkelde en (steeds meer) gecertificeerde elektronische interlockings. Bij prestatiegerichte contracten is de leverancier verantwoordelijk voor de systeemprestaties over de levenscyclus. Nieuwe toepassing van bestaande technologie op failsafe spoorbeveiliging zoals PLC-beveiligingen is risicovol. De verantwoordelijkheid en risico's van de veiligheid en prestaties van dergelijke systemen mag niet bij ProRail liggen maar via prestatiegebonden contracten bij de opdrachtnemer. Grotere gebieden tegelijk aanbesteden biedt ook meer mogelijkheden aan partijen om met betere offertes te komen. Drie aparte aanbestedingen van buurgebieden betekent drie aparte systemen, terwijl bij een integrale aanbesteding ook grotere interlockings ingezet kunnen worden die het gebied centraal gaan beveiligen. Als voorbeeld zou Alstom bij individuele kleine emplacementen en baanvakken VPI inzetten, maar als het als een geheel aanbesteed wordt zal eerder gekozen worden voor de SmartLock die effectiever over grotere gebieden ingezet kan worden dan een aaneenschakeling van VPI's. Hier spelen ook onderhoudsoverwegingen een rol en de kosten van één centrale ruimte voor de vestiging van interlockings tegen meerdere vestigingen die allemaal apart voorzien moeten zijn van optimale klimaatcondities en backupsystemen.

### **6.3.2 Aanbevelingen aan spoorwegondernemingen**

Nieuw materieel moet standaard met ETCS L1/L2 en een STM ATB geleverd worden zodat het over heel Nederland ingezet kan worden. Ombouw van bestaand materieel moet zo snel mogelijk gebeuren waarbij de verschillende materieeltypen integraal aanbesteed moeten worden, per materieeltype (SLT's, VIRM's, etc.), of als geheel. Gunning van ombouw van één materieeltype aan verschillende leveranciers moet vermeden worden om zo groot mogelijke orders te krijgen tegen een gunstig tarief. Gezamenlijke aanbesteding van verschillende spoorondernemingen die gedeeltelijk hetzelfde materieeltype gebruiken is aanbevolen, eventueel ook internationaal. Aansluiting bij standaardisatie van de ETCS boordapparatuur zoals in openETCS is aanbevolen maar het tijdspad dat nodig is voor de ontwikkeling en organisatie daarvan moet wel passen in de algehele migratiestrategie.

Oud materieel dat tegen het einde van zijn levensduur zit zou op termijn geïsoleerd op corridors kunnen gaan rijden waar ATB voorlopig niet afgebroken wordt (waarbij ook de onderhoudsdepots bereikbaar moeten blijven). Dit bespaart ombouwkosten die juist voor oud materieel substantieel kan zijn. Eventueel kan materieel uiteindelijk vervroegd afgeschreven worden. De juiste strategie hierin moet via een kosten-baten analyse gevonden worden.

### 6.3.3 Aanbevelingen aan de overheid

Invoering van ERTMS is Europees beleid om te komen tot interoperabele internationale corridors en een Europese markt voor gestandaardiseerde compatibele spoorwegbeveiliging. De EU heeft zich in eerste instantie gericht op invoering van ERTMS op internationale hogesnelheidslijnen en goederencorridors. De eerste betreft voornamelijk nieuwbouw terwijl het bij goederencorridors voornamelijk gaat over aanpassing van conventioneel spoor (met de Betuweroute als uitzondering). Intussen hebben alle lidstaten een landelijk implementatieplan ingediend bij de EU en is de EU zich aan het beraden hoe verdere landelijke invoering gestimuleerd kan worden. Wachten op verdere verplichtingen vanuit de EU heeft echter geen zin: migratie van ERTMS op EU corridors is een feit en daarbij kan aangesloten worden voor een verdere uitrol. Een landelijke uitrol wordt bemoeilijkt zolang het materieel nog niet in voldoende mate beschikt over ETCS boordapparatuur. Daarin ligt een taak voor de overheid. Voorkomen moet worden dat bij vervangingsprojecten van beveiligingssystemen in de infrastructuur die op de korte termijn op de nominatie staan (Mistral) besluiten worden genomen die op de lange termijn kapitaalvernietiging betekenen. Nieuw geïnstalleerde interlockings hebben een levenscyclus van minimaal 25 jaar. Negeren van EU beleid op dit moment betekent hoogstwaarschijnlijk dat de nieuwe installaties binnen de levensduur vervroegd afgeschreven moeten worden. Ook op dit moment is de variërende ouderdom van interlockings een probleem bij het uitstippelen van een goede migratiestrategie. Landen als Denemarken en België hebben onlangs besloten om landelijk over te gaan op ERTMS waarbij een deel van de bestaande systemen vervroegd afgeschreven worden. Het betreft dan met name relaisbeveiligingen die alleen met hoge investeringskosten (van interfaces) geschikt gemaakt zouden moeten worden voor ETCS L2. Vervanging van oude relaisinstallaties waartoe in het Mistral programma wordt besloten moet een toekomstige migratiestrategie niet in de weg staan maar juist faciliteren.

De overheid kan bij een nieuwe concessie eisen stellen aan het treinmaterieel zoals de aanwezigheid van ETCS L1/L2 boordapparatuur binnen een bepaalde termijn. Tegelijkertijd kan de overheid de infrastructuurmanagers aansturen om een landelijke migratie van ERTMS te bewerkstelligen. Zolang infrastructuurmanagers vanuit de overheid worden aangestuurd met een jaarlijks budget waarbij ze moeten letten op korte termijn kosten is het moeilijk om grote lange termijn verplichtingen aan te gaan die nodig zijn om goede contracten af te sluiten voor een landelijke migratie van ERTMS. In plaats daarvan is het op de korte termijn lucratiever om bestaande techniek met kleine stapjes te optimaliseren waarbij tegen de grenzen van de mogelijkheden wordt gewerkt. Dit kan op een gegeven moment zelfs leiden tot een vergaande versobering van infrastructuur en verkeersmanagement waartoe nu al stappen toe worden ondernomen.

Als infrastructuurmanagers ervan uit kunnen gaan dat treinen voorzien zijn van ETCS dan worden al snel kostenbesparingen gerealiseerd die de investeringskosten van ETCS inbouw in alle treinen in Nederland overstijgt doordat geen dubbele beveiligingssystemen in de infrastructuur meer hoeven te worden aangelegd. Daarnaast kunnen de infrastructuurmanagers effectief gebruik maken van ERTMS als middel voor het oplossen van knelpunten en veiligheidsproblemen. Nu wordt nog veel onderzoek en ontwikkeling gedaan om de bestaande techniek zo ver mogelijk op te rekken om daarmee bestaande problemen en uitdagingen

op te lossen (snelheidsverhoging, STS-passages, Kort Volgen, machinist-informatie, nauwkeurig volgen van treinposities, monitoring van vertragingsoorzaken, dynamisch verkeersmanagement, energiezuinig rijden). Zolang treinen niet voldoende beschikken over ETCS blijven individuele ad-hoc oplossingen op de korte termijn goedkoper. Op het moment dat een landelijke uitrol van ERTMS besloten is kunnen alle R&D investeringen zich richten op de toekomst en innovaties bewerkstelligen die optimaal gebruik maken van de geoptimaliseerde communicatie- en capaciteitsmogelijkheden van ERTMS.

#### **6.4 Landelijke ERTMS migratiestrategie in Nederland**

De keuze tussen ETCS L1 en ETCS L2 is geen uitgemaakte zaak. ETCS L1 biedt economische voordelen boven ETCS L2 in een transitiefase en daarbuiten. ETCS L2 is met name interessant voor drukke spoorlijnen en knelpunten waar real-time informatievoorziening aan de machinist vanuit de verkeersleidingspost cruciaal is voor de beheersing van het treinverkeer. Dit moet samengaan met betere beslissingsondersteuning op de verkeersleidingspost voor het actueel houden van conflictvrije rijwegplannen zodat treinen niet juist in knelpunten moeten wachten op conflicterende treinen. Ongeplande stops betekenen langere bloktijden en dus een groter capaciteitsgebruik terwijl dat juist in knelpunten niet gewenst is. ETCS L2 is vooralsnog wel duurder en minder makkelijk aan te sluiten op bestaande (relais)interlockings.

Voor Nederland is de volgende migratiestrategie kansrijk:

1. Het treinmaterieel moet zo snel mogelijk worden voorzien van ETCS L1/L2 met STM-ATB.
2. Op de drukke (PHS) hoofdcorridors wordt ETCS L2 geïnstalleerd in combinatie met elektronische interlockings en waar mogelijk aangesloten op bestaande (elektronische) interlockings,
3. Op de nevencorridors komt ETCS L1 aangesloten op bestaande interlockings; bij natuurlijke vervanging wordt gekozen voor ETCS L1 of L2 afhankelijk van de samenhang met buurgebieden, gewijzigde verkeersdruk en kostenpeil van ETCS L2,
4. Op regionale corridors waar nu ATB-NG ligt komt ETCS L1 bij natuurlijke vervanging van interlockings waarbij buurgebieden mogelijk vervroegd overgaan op ETCS als een groter gebied integraal over kan gaan in een gecentraliseerde interlocking.

Op de drukke hoofdcorridors kan optimaal gebruik gemaakt worden van de nieuwe mogelijkheden van ETCS L2 door introductie van een dynamisch railverkeersmanagementsysteem ter ondersteuning van treindienstleiders en/of verkeersleiders met real-time informatievoorziening en advies aan machinisten zodat het treinverkeer optimaal blijft doorstromen bij verstoringen en energiezuinig rijden ondersteund kan worden met actuele dienstregelingsinformatie zodat conflicten worden voorkomen. Op regionale lijnen kan in afwachting van natuurlijke vervanging zo nodig al eerder capaciteitsverhoging met rijtijdwinsten en minimum opvolgtijdwinsten bereikt worden door uitgesteld remmen en mogelijk snelheidsverhoging toe te staan onder ATB-NG, net zoals nu al is gerealiseerd tussen Gouda en Alphen aan de Rijn. Op termijn is ETCS Regional mogelijk een optie voor de regionale lijnen. Die nieuwe ontwikkeling zou daarom nauwlettend gevolg kunnen worden.

Het tijdsplan van de migratie hangt af van de resterende levensduren van de interlockings over heel Nederland. Op basis hiervan kan van tevoren een migratieplan gemaakt worden en integrale gebieden voor de hele doorlooptijd aanbesteed worden. De migratie kan in drie grote tenders aanbesteed worden:

1. Inbouw van ETCS L1/L2 en STM-ATB in al het treinmaterieel,
2. Implementatie van ETCS L2 op de hoofdcorridors en op nevencorridors waar natuurlijke vervanging samenvalt met de migratieperiode en de geografische ligging aansluit bij de hoofdcorridors met ETCS L2,
3. Implementatie van ETCS L1 op bestaande interlockings van nevencorridors bij knelpunten, bij natuurlijke vervanging van interlockings op nevenlijnen waar ETCS L2 niet opportuun is, en bij natuurlijke vervanging van interlockings op de regionale lijnen.

Mogelijk moet de implementatie van ETCS L2 op de hoofd- en nevencorridors verdeeld worden over twee tenders als één tender te groot wordt en de gewenste migratiesnelheid niet gehaald kan worden. Bij de voorbereidingen van de aanbestedingen samen met de mogelijke leveranciers kan ook onderzocht worden waar vroegtijdige vervanging leidt tot kostenbesparingen door bijvoorbeeld inpassing in een logische uitrolstrategie en centralisatie van interlockings over grotere gebieden. Vanwege de kosten moet zo veel mogelijk duale signalering in de infrastructuur worden voorkomen, vandaar dat het materieel zo snel mogelijk geschikt moet worden gemaakt om op ETCS te rijden. In een transitiefase kan nieuwe ETCS infrastructuur bereden worden door deelparken van treinen waarin al ETCS is geïnstalleerd. Oplevering van ETCS infrastructuur hangt daarom samen met de voortgang van de ETCS inbouw in het materieel. NS'54/ATB-EG kan als back-up in de baan blijven liggen totdat zeker is dat ETCS betrouwbaar functioneert waarna de oude apparatuur kan worden afgebroken. Bij de voorbereidingen moet goed overlegd worden met de mogelijke seinwezenleveranciers in Nederland zodat kennisopbouw plaats vindt bij ProRail en NS, de specificaties geconsolideerd worden, en een goede inschatting gemaakt kan worden van de kosten van de diverse mogelijkheden.

Bij de bepaling van de migratiestrategie is een overzicht nodig van het type en de (resterende) levensduur van alle bestaande interlockings. Bij de TU Delft zijn momenteel alleen de noodzakelijke vervangingsmomenten van de Mistral emplacementen en baanvakken bekend (ProRail, 2005), zie Bijlage E. Deze corridors hebben prioriteit in de tijdsplanning van de migratiestrategie, samen met de internationale EU corridors waar ERTMS op korte termijn verplicht wordt. Idealiter wordt ETCS op deze corridors operationeel als (voldoende) materieel voorzien is van ETCS zodat dubbele systemen in de infrastructuur worden voorkomen. Goede afspraken en project management op spoorsectorbreed niveau is essentieel om te voorkomen dat dure infrastructuur of de functionaliteiten daarvan ongebruikt blijft door het uitblijven van geschikt materieel.

Op basis van Mistral laten zich twee hoofdcorridors kwalificeren om als eerste te migreren naar ETCS L2, beide aansluitend op Amsterdam–Utrecht:

- Naarden–Bussum–Hilversum–Utrecht–Amersfoort–Apeldoorn–Deventer–Almelo–Hengelo–Enschede, en
- Utrecht–Den Bosch–Eindhoven–Weert–Roermond.

Apeldoorn–Deventer en Deventer–Almelo moesten aanvankelijk al in respectievelijk 2008 en 2009 worden vervangen, zodat deze corridor de hoogste prioriteit heeft, zie Bijlage E. Utrecht–Eindhoven maakt deel uit van PHS. De deelcorridor Utrecht–Den Bosch moest oorspronkelijk in 2013 vervangen worden (Mistral, 2005), en ETCS L2 is hier noodzakelijk om de toename van het aantal treinen voor PHS op te vangen zoals de casus in Hoofdstuk 4 laat zien. Daarnaast maakt het deel van de Betuweroute tot aan Utrecht (en Amsterdam Haven) deel uit van een internationale goederencorridor die van de EU verplicht van ERTMS moet worden voorzien.

Daarnaast zijn er een aantal samenhangende regionale en neven Mistral corridors waar ETCS L1 geïnstalleerd kan worden, en eventueel ETCS L2 als dat kostentechnisch beter is. De corridors zijn geordend naar prioriteit volgens het uiterste vervangingsmoment zoals genoemd in Mistral (2005):

- Zevenbergen–Roosendaal–grens
- Den Dolder–Baarn–Amersfoort (eventueel ETCS L2 in samenhang met Blauwkapel–Amersfoort)
- Nijmegen–Blerick
- Vught/Gilzen Rijen–Tilburg–Boxtel (eventueel ETCS L2 in samenhang met Utrecht–Eindhoven)
- Roermond–Sittard–Maastricht/Heerlen (eventueel ETCS L2 in samenhang met Utrecht–Eindhoven–Roermond)
- Budel–Weert
- Uitgeest–Zaandam.

Zevenbergen–Roosendaal–Belgische grens moest oorspronkelijk in 2010 vervangen worden zodat deze in prioriteit bovenaan staat. Merk op dat de meeste van deze corridors (inclusief de hoofdcorridors) momenteel op de nominatie staan om vervangen te worden door conventionele interlockings met ATB zonder voorbereiding op ERTMS, zie Appendix E.

Naast deze Mistral corridors moet ETCS L2 ook overwogen worden op de OV-SAAL corridor (Schiphol–Amsterdam–Almere–Lelystad) vanwege capaciteitsproblemen bij de geplande frequentieverhoging aansluitend op PHS. Momenteel wordt bestudeerd of voldoende capaciteitsverhoging gehaald kan worden met Kort Volgen, zie § 5.6. Met ETCS kan een hogere capaciteitsbenutting gehaald worden zodat ook dit alternatief onderzocht zou moeten worden. Als ETCS L1 een optie is dan zou dat op bestaande interlockings aangesloten kunnen worden. Waarschijnlijker is ETCS L2 nodig in samenhang met een railverkeersmanagementsysteem dat het treinverkeer effectief over de knelpunten stuurt met snelheidsadviezen. Mogelijk moeten dan de bestaande interlockings op deze corridor vervroegd afgeschreven worden om ETCS L2 met alle functionaliteiten mogelijk te maken. De kosten hiervoor moeten worden vergeleken met alternatieve maatregelen die nodig zijn om de gewenste dienstregeling te kunnen uitvoeren (frequentie en regelmaat), zoals viersporigheid. De OV-SAAL corridor sluit aan op de Hanzelijn waar al ETCS L2 (en NS'54/ATB-EG) wordt aangelegd. Het is daarom sowieso belangrijk dat reizigers-treinen op de OV-SAAL gaan rijden met ETCS aan boord zodat gebruik gemaakt kan worden van snelheidsverhoging op de Hanzelijn tot 160 km/u. (In principe kan onder ETCS L2 op de Hanzelijn 200 km/u worden gereden maar daar is geschikt materieel voor nodig: het huidige materieel (SLT's en VIRM's) heeft een maximumsnelheid van 160 km/u.) Dit geeft een kwaliteitsimpuls voor de treinen van en naar het Noord-Oosten.



Voor het tijdsplan moet rekening gehouden worden met voorbereidingstijd voor het opzetten van een ERTMS expertisecentrum, het formuleren van de (definitieve) specificaties van de ETCS infrastructuur en de ETCS boordapparatuur inclusief een STM ATB-NG (waarmee op zowel ATB-EG als ATB-NG spoor gereden kan worden), de ontwikkeling van een standaard trein-interface (TIU) tussen de ETCS boordcomputer en het treinsysteem (remsysteem, etc.) van de verschillende treintypes (VIRM, SLT), en uitwerking van een nieuwe migratiestrategie. Voor deze werkzaamheden samen met de ervaringen van het operationeel proefbedrijf Amsterdam–Utrecht is al een beschikkingaanvraag ingediend bij het Ministerie van I&M (ProRail NS KNV, 2010d; NS, 2010). Het wachten is nog op akkoord van I&M dat er zo snel mogelijk moet komen om verdere vertraging te voorkomen. Deze voorbereidingen zijn eind 2013 á 2014 afgerond (afhankelijk van de begindatum), waarna in twee jaar al het materieel (of voldoende materieel) kan worden omgebouwd zodat in 2015 begonnen kan worden met de installatie van ERTMS op de eerste Mistral corridors waarvan de vervangingsmomenten kritiek zijn. De aanbestedingen van ERTMS aan de infrastructuurzijde (incl. elektronische interlockings waar nodig) moeten dan in 2004 plaats vinden. Met deze tijdsplanning en de juiste volgorde van corridors is het mogelijk om ERTMS als capaciteitsvergroterend middel in te zetten binnen het Programma Hoogfrequent Spoor (PHS) zodat synergie tussen Mistral en PHS bereikt wordt.

## 7 CONCLUSIES

### 7.1 Antwoord op de onderzoeksvragen

#### 7.1.1 Hoofdvraag: Wat zijn de potentiële kosten en baten van ERTMS voor Nederland?

De kosten van ERTMS hangen af van de gewenste levels en functionaliteiten. Een simpele implementatie van ERTMS kan verkregen worden door implementatie van ETCS L1 met aansluiting van de LEU's (Lineside Electronic Units) op de baansein en zonder aanpassing van interlockings. De baten zijn dan

1. Interoperabiliteit,
2. Hogere veiligheid door remcurvebewaking (voorkomen STS-passages),
3. Snelheidsbewaking van alle snelheden, ook snelheden die nu niet gedekt zijn door ATB-EG,
4. Bewaking van hogere baanvaksnelheid tot 160 km/u (mits de baan daarvoor geschikt is) waarmee rijtijdwinsten en/of snellere inhaling van vertraging mogelijk worden,
5. Uitgesteld remmen volgens individuele materieelspecifieke remcurve waarmee rijtijd- en opvolgtijdwinsten mogelijk worden,
6. Betere demping van volgvertragingen bij verstoringen en vertragingen.

LEU's kunnen ook direct aangesloten worden op interlockings zodat niet alleen één seinbeeld bekend is maar de volledige rijtoestemming tot aan het eerstvolgende rode sein inclusief de spoorbeschrijving tot aan het einde van de rijtoestemming. Voor bestaande interlockings moet daarvoor eenmalig per type interlocking een interface worden ontwikkeld. Ook kan gekozen worden om een nieuwe interlocking te installeren waar die aansluitingsmogelijkheid al in zit. Die keuze hangt af van de resterende levensduur van de bestaande interlocking en de ontwikkelingskosten van de interface die afhangen van het type interlocking en het aantal van dit type interlockings waarbij de interface toegepast gaat worden (marginale kosten). De plaatsing van de LEU's en bijbehorende Eurobalises zijn dan niet meer afhankelijk van de bestaande baansein. De extra baten boven bovenstaande zijn dan

7. Berekening van dynamisch snelheidsprofiel aan boord over de hele rijtoestemmingsafstand zodat overal zo lang mogelijk met de hoogst toegelaten snelheid gereden kan worden,
8. Kortere blokken met virtuele seinen waarmee lagere minimum opvolgtijden mogelijk worden,
9. Verwijderen van (de meeste) baansein waardoor kostenbesparing gerealiseerd wordt en waarna blokken nog verder kunnen worden geoptimaliseerd door het vervallen van de waarneembaarheidsvoorschriften van baansein.

Als gekozen wordt voor ERTMS L2 dan zijn de investeringskosten voor de ontwikkeling van een interface voor bestaande interlockings hoger, zodat ook vaker gekozen zal worden voor een nieuwe moderne elektronische interlocking. Daarentegen is het beheer van een gecentraliseerd RBC minder intensief dan de gedistribueerde LEU's zodat bespaard kan worden op duur personeel (intern of via outsourcing). Tussen het spoor zijn alleen passieve Eurobalises voor de herijking van treinposities nodig samen met spoorvrijdetectie. Seinen en actieve Eurobalises alsmede

- koperdraden langs het spoor zijn niet meer nodig. Extra baten boven bovenstaande zijn bij ETCS L2
10. Lagere beheersingskosten,
  11. Verwijderen van koperdraden langs het spoor die gevoelig zijn voor koperdiefstal,
  12. Verdere optimalisatie van blokken op emplacementen door flexibele projectering van virtuele seinen vlak voor wissels e.d., waarmee minimum opvolgtijden verder omlaag gaan,
  13. Tweezijdige veilige real-time communicatie tussen treinen en interlockings via de RBC,
  14. Tweezijdige veilige real-time communicatie tussen treinen en verkeersleidingspost,

De laatste twee baten bieden een hoop extra functionaliteiten. Voor de tweezijdige communicatie tussen treinen en interlockings zijn dat bijvoorbeeld het veilig herroepen van rijwegen door de interlocking en het veilig aanvragen van rijwegen door de trein. Voor de bilaterale communicatie tussen treinen en verkeersleidingspost kan gedacht worden aan het flexibel doorgeven van tijdelijke snelheidsbeperkingen, actuele dienstregelingsgegevens, en snelheidsadviezen van geavanceerde dynamische railverkeersmanagementsystemen. De kosten hangen hierbij af van de functionaliteit en de manier waarop de informatie in de cabine gebruikt of getoond wordt. Tekstberichten zijn zonder noemenswaardige kosten door te geven en te tonen op de DMI (Driver Machine Interface). Voor geavanceerdere informatie- of adviessystemen in de trein kunnen ontwikkelingskosten voor de DMI en/of extra software nodig zijn. Voor dynamisch railverkeersmanagement gelden additionele ontwikkelings- en realisatiekosten voor software en koppeling van een centrale computer met de datastromen. Deze kosten vallen naar verwachting in het niet vergeleken met de extra kosten die dergelijke functionaliteiten zouden vergen als er geen beschikking is over de veilige communicatiemogelijkheden van ERTMS L2. ERTMS L2 maakt allerlei innovaties mogelijk die in de toekomst toegevoegd kan worden. Een voorbeeld van een reeds ontwikkelde innovatieve toepassing is

15. Veilige real-time communicatie tussen interlocking en mobiele veiligheidsfunctionarissen.

Bij het laatste kan gedacht worden aan de Handheld Terminal die voor de Betuweroute is ontwikkeld en die gebruikt wordt voor flexibele werkplekbeveiliging door een veiligheidsfunctionaris in het veld. Hierdoor kunnen buitendienststellingen voor onderhoud effectiever en korter zijn.

### **7.1.2 Onderzoeksvraag 1: Wat kan ERTMS bijdragen aan capaciteitsverhoging?**

ERTMS kan significant bijdragen aan capaciteitsverhoging zoals de casus Utrecht–Den Bosch heeft laten zien. De baanvakbelasting verbeterd gemiddeld met 12 procentpunt voor ETCS L1 (met bestaand bloklengtes) en 14,4% voor ETCS L2, waarbij is gemiddeld over de negen bekeken varianten (0, 1 of 2 goederenpaden per uur, voor 2011 en 2020 met/zonder inhaling). Voor de bestaande dienstregeling zijn twee goederenpaden per uur gepland maar die zijn volstrekt niet haalbaar onder het huidige beveiligingssysteem. Sterker nog, het structureel *niet* rijden van een goederentrein per uur is noodzakelijk om de reizigersdienstregeling stabiel te houden. Zodra de twee goederenpaden echt structureel geclaimd gaan worden zoals gepland moet het baanvak direct overbelast verklaard worden. Met ETCS L1 daarentegen voldoet de dienstregeling

2011 met twee goederentreinen per uur aan de normen waarbij dan nog geeneens blokoptimalisatie heeft plaats gevonden. Met ETCS L2 zit het baanvak weer ruim in zijn jasje, zonder dure infrastructuuruitbreidingen.

De PHS dienstregeling Utrecht–Den Bosch met twee goederentreinen is onder het bestaande beveiligingssysteem zeker niet mogelijk ondanks de viersporigheid tot aan Houten. Ook na aanpassing van de dienstregeling waarbij de IC de doorgaande Sprinters en goederentreinen inhaalt in Geldermalsen is de baanvakbelasting ontoelaatbaar. Daarentegen zorgt ETCS L2 in combinatie met inhalingen in Geldermalsen wel voor een haalbare dienstregeling met een baanvakbelasting van 77,2%. Voor een stabiele dienstregeling is met een dergelijk hoge baanvakbelasting wel een railverkeersmanagementstelsel nodig. Verhoging van de baanvak-snelheid naar 160 km/u kan alleen tegen additionele infrastructuurmaatregelen (inhaalsporen bij Zaltbommel) of als er maximaal één goederentrein per uur rijdt. Sprinters en IC's hebben dan respectievelijk drie en vier minuten kortere rijtijden.

Het succes van ERTMS op verhoging van de capaciteitsbenutting komt in eerste instantie door de cabinesignalering met remcurvebewaking en snelheidsbewaking van alle snelheden, en in tweede instantie bij ETCS L2 door de continue ontvangstmogelijkheid van nieuwe rijtoestemmingen.

Capaciteitsverhoging ontstaat door een combinatie van functionaliteiten:

- Effectief uitgesteld remmen met materieel-specifieke remcurves zodat treinen zo lang mogelijk met de hoogst toelaatbare snelheid door kunnen rijden met rijtijd- en minimum opvolgtijdwinsten,
- Kortere blokken, mogelijk omdat remafstanden onder ERTMS onafhankelijk zijn van blokgrenzen, die een snellere opvolging mogelijk maken en daarmee ook kortere minimum opvolgtijden,
- Effectieve inhalingen door IC's door de korte minimum opvolgtijden,
- Hogere baanvaksnelheden in combinatie met inhalingen op de juiste plekken, en
- Een stabiele doorstroming bij vertragingen waarbij de baanvakbelasting nog verder verbeterd door het gebruik van rijtijdtoeslagen en kortere remwegen bij lagere snelheid.

Deze functionaliteiten speelden allemaal een rol in de casus Utrecht–Den Bosch. Niet in de casus maar ook van belang voor verdere verhoging van de capaciteit zijn

- De betere projectiemogelijkheden van blokken onder ETCS L2 tot zelfs vlak voor een wissel doordat de waarneembaarheid van baanseinenverval door de cabinesignalering,
- Bewaking van snelheidsstappen die onder ATB-EG niet bewaakt kunnen worden (met name alle snelheden tussen 80 km/u en 130 km/u).

Daarnaast maakt ETCS L2 effectief railverkeersmanagement mogelijk doordat de actuele posities en snelheden van alle treinen nauwkeurig bekend zijn waardoor effectief bijgestuurd kan worden. Een dergelijk verkeersmanagementsysteem is ook in de casus gebruikt bij de simulatie van vertragingen. Voor ATB-EG en ETCS L1 gaf dit eigenlijk te positieve resultaten voor de vertraginganalyses omdat hier de actuele snelheden niet bekend zijn. De resultaten van de vertraginganalyses laten echter de potentie zien van de beschikbaarheid van deze gegevens voor een effectieve bijsturing en betere doorstroming bij vertragingen.

### **7.1.3 Onderzoeksvraag 2: Hoe is de verhouding tussen kosten en opbrengsten?**

Beveiligingssystemen hebben net als andere technische systemen een eindige levensduur waarna het systeem vervangen moet worden. Dit leidt tot een levenscycluskostenbenadering waarbij de kosten van beveiligingsystemen onderverdeeld kunnen worden in

- Ontwikkelingskosten
- Realisatiekosten,
- Onderhoudskosten (incl. regulier onderhoud en upgrades),
- Wijzigingskosten bij infrastructuuraanpassingen (reconfiguraties),
- Vervangingskosten.

In de implementatiestrategie van ERTMS in Nederland uit 2006 wordt uitgegaan van een landelijke migratie op het hoofdnet naar ETCS L2 met elektronische interlockings. Op dit moment wordt de beveiliging nog voor 70% verzorgd door relaisinterlockings. In de business case «Vervanging en ERTMS» van 2009 schatte ProRail op basis van het toenmalige prijspeil de realisatiekosten van een moderne elektronische interlocking echter op bijna drie keer die van een relaisinterlocking voor de beveiliging van hetzelfde gebied. Onderhoudskosten werden geschat op vier keer die van relaisinterlockings na een transitieperiode met nog veel hogere kosten omdat leveranciers een onderhoudsorganisatie moeten optuigen voor relatief weinig installaties. Ook wijzigingskosten werden vier keer zo hoog geschat. Als gevolg van deze kostenschattingen zouden de levenscycluskosten van ETCS L2 met elektronische interlockings bijna de helft duurder worden dan die van ATB-EG met relaisinterlockings. Voor een landelijke migratie van ETCS L2 zou dat neerkomen op 2,5 miljard Euro extra (voor het hoofdnet). Deze schattingen zijn vervolgens gebruikt door Decisio in de MKBA ERTMS van 2010. Vanwege de hoge kosten van elektronische interlockings heeft Decisio twee nulvarianten gedefinieerd: ATB-EG met relaisinterlockings en ATB-EG met elektronische interlockings. Het gevolg was een MKBA saldo met een enorme bandbreedte van ruim een half miljard in de min tot een half miljard in de plus (netto contante waarde).

Een analyse van de uitgangspunten van de business case leert echter dat de gehanteerde berekeningen voor ETCS L2 met elektronische interlockings grove bovengrenzen zijn waarbij geen rekening is gehouden met dalende kostprijzen van elektronische interlockings en waarbij de huidige manier van aanbesteden aangehouden is die niet efficiënt is voor een migratie naar ETCS L2 met elektronische interlockings. In het bijzonder is een moderne elektronische interlocking geschikt om meerdere relaisinterlockings (of gelijkwaardige conventionele interlockings) tegelijk te vervangen. Door een relaisinterlocking één-op-één te vervangen door een moderne installatie ontstaan hogere kosten: de vaste kosten van een elektronische interlocking liggen hoger dan die van een relaisinstallatie tegen lagere marginale kosten voor ieder extra infrastructuurelement (wissel, sein). De business case gaat uit van een migratiestrategie van drie relaisinstallaties per jaar die ieder apart worden aanbesteed, waarna de migratie per project in twee jaar gebeurt van gunning tot oplevering. Deze strategie sluit aan op een gelijkwaardige vervanging van installaties maar is niet effectief voor een migratie naar ERTMS. Een elektronische interlocking kan en moet meerdere relaisinterlockings vervangen om effectief te zijn. Hierdoor moeten grotere samenhangende gebieden tegelijk worden aanbesteed. Daarnaast ontstaan ook extra kosten als ERTMS eilanden ontstaan met transities tussen ATB-EG en ETCS L2. Het

aantal van deze transitie moet zo veel mogelijk beperkt worden wat ook pleit voor de aanbesteding van grotere samenhangende gebieden.

De projecten waar het prijspeil voor elektronische interlockings in de business case op was gebaseerd (HSL-Zuid, Betuweroute, Amsterdam-Utrecht, Hanzelijn, en de eerste drie Mistral aanbestedingen) zijn ook niet representatief omdat al deze projecten een substantieel deel aan ontwikkelingskosten hadden door steeds gewijzigde specificaties. Ontwikkelingskosten zijn per definitie hoog en moeten zo snel mogelijk omlaag gebracht worden door het toepassen van standaardoplossingen die in eerdere projecten zijn ontwikkeld. Ook de safety case is voor nieuwe systemen een kostbare zaak omdat niet kan worden teruggevallen op reeds gecertificeerde oplossingen. Naarmate meer systemen worden gecertificeerd wordt ook de safety case van nieuwe projecten makkelijker en goedkoper. Een andere hoge kostenpost voor moderne elektronische interlockings en ERTMS zijn de kosten voor upgrades en reconfiguraties na infrastructuurwijzigingen door de leveranciers. In het buitenland wordt hier slimmer op in gespeeld met raamwerkcontracten waarin de kosten van het hele onderhoud inclusief wijzigingen van de infrastructuur voor de hele levenscyclus contractueel worden vastgelegd.

De levenscycluskosten van moderne elektronische interlockings kunnen zakken naar het niveau van conventionele (relais)interlockings door een aantal maatregelen:

- Bevriezen van specificaties voor ERTMS (en daarmee voorkomen van ontwikkelingskosten),
- Aanbesteden van grotere samenhangende gebieden (met centrale interlockings i.p.v. meerdere interlockings voor kleine gebieden met ieder hun eigen project- en locatiekosten),
- Grootschalige implementatie van ERTMS en daarvoor geschikte interlockings door effectieve uitrol van vergelijkbare installaties (i.p.v. kleine individuele projecten zoals nu met Mistral wordt gedaan),
- Gebruik maken van bestaande (relais)interlockings voor ERTMS L1,
- Grootschalige onderhoudscontracten (met lage marginale kosten per installatie),
- Prestatiegerichte contracten over de hele levenscyclus waarbij de leverancier verantwoordelijk is voor de realisatie en (operationeel) onderhoud.

Hierbij komt dat niet overal ETCS L2 geïmplementeerd hoeft te worden. ETCS L2 is met name interessant op knelpunten en drukke gebieden waarbij op termijn ook effectief dynamische railverkeersmanagementsystemen ingezet moeten worden om het intense treinverkeer te beheersen en vertragingvoortplanting te voorkomen. Op minder drukke spoorlijnen of gebieden waarin recentelijk nog de interlockings zijn vervangen kan ook ETCS L1 worden geïnstalleerd waarbij gebruik gemaakt kan worden van bestaande interlockings (met mogelijk minder functionaliteiten).

Met deze nieuwe inzichten vervalt het verschil van 1,6 miljard Euro in levenscycluskosten tussen elektronische interlockings en relaisinterlockings. De levenscycluskosten van ETCS L2 inclusief interlockings komt dan 0,9 miljard Euro hoger uit dan ATB-EG, oftewel 21,5% i.p.v. de 49% uit de business case. Hiermee vervalt ook de nulvariant met relaisinterlockings van de MKBA ERTMS van Decisio alsmede het kostenverschil tussen de twee nulvarianten en de grote bandbreedte van het MKBA saldo. De MKBA ERTMS komt dan voor alle varianten positief uit. Voor de sectorstrategie berekent Decisio een positief resultaat van 125 miljoen

Euro (netto contante waarde) ten opzichte van het instandhouden van ATB-EG, en een baten/kosten saldo van 1,01. De kosten kunnen hier nog verder zakken doordat de genoemde maatregelen ook een positief effect hebben op de levenscycluskosten van ETCS L2, de materieelkosten van ETCS inbouw in de afgelopen jaren gezakt zijn en bijvoorbeeld de levenscycluskosten van de buitenelementen voor ETCS L2 omlaag kunnen door spoorvrijdetectie te implementeren met assentellers i.p.v. spoorstroomlopen die voor ATB-EG essentieel zijn. Assentellers bieden een betere detectie, zijn goedkoper en hebben geen last van weersomstandigheden (bladeren, regen, sneeuw). ETCS L1 wordt door ProRail 9% duurder geschat dan ATB-EG zodat dit ook zeker een alternatief is. Een gemengde strategie met ETCS L2 op hoofdcorridors met veel treinverkeer en knelpunten waar conflicten en vertragingen zoveel mogelijk moet worden voorkomen door dynamisch railverkeersmanagement, en ETCS L1 op nevencorridors en regionale corridors biedt verdere mogelijkheden om te komen tot een optimale migratiestrategie.

## 7.2 Aanbevelingen

Het onderzoek in dit rapport heeft geleid tot een lijst van aanbevelingen. Naast de aanbevelingen genoemd in Hoofdstuk 6 over de migratiestrategie volgen hieronder een aantal concrete aanbevelingen. Voor implementatie van ERTMS en vervanging van beveiligingssystemen in het algemeen worden de volgende aanbevelingen gedaan.

1. ProRail moet het voortouw nemen bij de oprichting van een ERTMS Expertisecentrum waarin alle spoorsector partijen deelnemen. In dit expertisecentrum moet kennis over ERTMS worden opgebouwd en geborgd.
2. ProRail moet de gewenste functionaliteiten en specificaties voor interlockings en ERTMS consolideren, zodat ontwikkelingskosten eenmalig gemaakt worden waarna de ontwikkelde oplossingen hergebruikt kunnen worden. Er moet zoveel mogelijk worden aangesloten bij internationale standaarden, zodat standaardoplossingen kunnen worden toegepast i.p.v. maatwerk. Bij de vastlegging van de specificaties moet de seinwezenindustrie worden betrokken zodat vóór de aanbesteding duidelijk is wat al gestandaardiseerd is en wat nog ontwikkelingskosten vergt. Nieuw ontwikkelingswerk moet bewust worden vergeleken met alternatieve standaard ERTMS oplossingen.
3. Bij aanbestedingen van interlockings en ERTMS moet worden gestreeft naar schaalvergroting zodat vaste kosten worden verdeeld en grotere gebieden tegelijk kunnen worden gemigreerd met gecentraliseerde interlockings en minder transities tussen ETCS en ATB-EG. Bij typisch nationale aangelegenheden moet worden gestreeft naar nationale standaardisatie en voorkomen van dubbelwerk door meerdere leveranciers.
4. Ontwikkeling, realisatie, beheer en onderhoud (incl. upgrades en wijzigingen) moeten integraal worden aanbesteed via prestatiegerichte raamwerkcontracten voor de hele levenscyclus. Eventueel kan contractueel het beheer en onderhoud worden vastgelegd voor een deel van de levenscyclus (bijvoorbeeld 10 jaar), waarna het aanbesteed moet kunnen worden. Voor dit laatste is nodig dat de leverancier specificaties vrijgeeft voor het doen van onderhoud door derden.
5. Leveranciers moeten zelf ook de mogelijkheid hebben om mee te dingen naar (verlenging van) het onderhoudscontract. Hiervoor moet ProRail de eis van onafhankelijke erkende ingenieursbureaus laten vervallen en vervangen voor een nieuwe lijst van erkende organisaties

- inclusief de seinwezenindustrie. Praktisch gezien zouden hierbij concurrerende seinwezenpartijen uitgesloten kunnen worden.
6. Bij de vervanging van ATB-EG door ERTMS moeten spoorstroomlopen vervangen worden door assentellers.
  7. ERTMS kan ook ingezet worden als middel om PHS mogelijk te maken. In het bijzonder is op Utrecht–Den Bosch een PHS dienstregeling met zes IC's, zes Sprinters en twee goederentreinen per uur zeker niet haalbaar met de bestaande beveiliging zonder verdere infrastructuuruitbreiding. Bij een dienstregelingsopzet met een inhaling van de Sprinters en goederentreinen in Geldermalsen door de IC's is onder ETCS L2 een dienstregeling mogelijk met een baanvakbelasting van 77,2%. Om dit stabiel te houden is wel een dynamisch railverkeersmanagementsysteem nodig.

Voor innovatie op het gebied van planning en verkeersleiding worden de volgende aanbevelingen gedaan:

8. Voor de planning en dienstuitvoering moet overgegaan worden op een interne dienstregeling op secondeniveau (of deci-minuutniveau) zodat infrastructuurcapaciteit effectiever benut wordt. De toedeling van infrastructuurcapaciteit dient hierbij ondersteund te worden met een toets op conflictvrijheid op rijwegniveau d.m.v. bloktijd diagrammen.
9. Het VPT-systeem van ProRail moet gemoderniseerd worden met essentiële ondersteuningstools voor treindienstleiders en verkeersleiders. In het bijzonder moet het Procesplan Rijwegen actueel gehouden worden met realistische rijtijdberekeningen op basis van de actuele rijkaracteristieken van reizigers- en met name goederentreinen (tractie-eenheid, lengte, gewicht), inclusief een feasibility check en aanpassing van het plan bij conflicterende treinpaden en deadlocks. Ook het inleggen van extra treinpaden of aanpassen van (goederen-)treinpaden door de verkeersleiding dient ondersteund te worden door rijtijdberekeningen en een feasibility toets op inpasbaarheid, met daarbij een aanpassing van conflicterende treinpaden zodat een conflictvrij en deadlockvrij (zeer korte-termijn) actueel plan ontstaat. Hiervoor is automatische conflictdetectie nodig en betrouwbare rijtijdvoorspellingen die gevisualiseerd worden in dynamische tijdwegdiagrammen.
10. Machinisten moeten actuele informatie ontvangen over aanpassingen in het actueel Procesplan Rijwegen zodat zij kunnen anticiperen op deze wijzigingen en voorkomen wordt dat treinen gepland op rode seinen afrijden.
11. Op drukke (PHS) corridors moet een railverkeersmanagementsysteem het treinverkeer actief bijsturen op basis van actuele posities en snelheden van de treinen zodat rijwegconflicten en ongeplande stops zoveel mogelijk worden voorkomen. Hiervoor is ETCS L2 noodzakelijk.



## REFERENTIES

- Ahlqvist, P., Hering, M. (2007). «Gemischte Signalisierung-Konventionelle Signalisierung und ERTMS auf einer Strecke». *Signal + Draht*, 99(3), pp. 15–18.
- Alstom (2011). *Gespreksnotitie Parlementair Onderzoek Spoor 16-08-2011*. TU Delft, Delft.
- Albrecht, T. (2008). «Energy-Efficient Train Operation». In: Hansen, I.A., Pahl, J. (eds.), *Railway Timetable & Traffic: Analysis, Modelling, Simulation*, Eurailpress, Hamburg, pp. 83–105.
- Arcadis (2007). *Second Opinion ERTMS Implementatieplan en 160 km/u*. Rapport aan V&W met kenmerk 141244/EA7/0V0/000149/kvr, 5 september 2007.
- Bailey, C. (ed.) (1995). *European Railway Signalling*. IRSE, A&C Black, Londen.
- Banedanmark (2010). *The Signalling Programme: A total renewal of the Danish signalling infrastructure*. Second edition, March 2010.
- Banedanmark (2011). *Gespreksnotitie Parlementair Onderzoek Spoor 17-08-2011*. TU Delft, Delft.
- Blanchard, B.S. (2008). *System Engineering Management*. 4<sup>th</sup> edition, Wiley, Hoboken.
- Booz Allen Hamilton (2007). *ProRail ERTMS Implementation Strategy Due Intelligence*. Final report (v5), BAH, London, 27 July 2007.
- BSL (2008). *Market Assessment for ProRail ICT-Systems in Traffic Control*. BSL Management Consultants of Lloyd's Register, Nederlandse Mededingingsautoriteit (NMA), Den Haag, juni 2008.
- Corman, F. (2010). *Real-time Railway Traffic Management: Dispatching in complex, large and busy railway networks*. Proefschrift, TRAIL Thesis Series T2010/14, TU Delft, Delft.
- Corman, F., D'Ariano, A., Pranzo, M., Hansen, I.A. (2011). «Effectiveness of dynamic reordering and rerouting of trains in a complicated and densely occupied station area». *Transportation Planning and Technology*, 34(4), pp. 341–362.
- Corman, F., Goverde, R.M.P. D'Ariano, A. (2009). «Rescheduling dense train traffic over complex station interlocking areas». In: R.K. Ahuja e.a. (eds.), *Robust and online large-scale optimization: models and techniques for transportation systems*, LNCS 5 868, Springer, Berlin, pp. 369–386.
- D'Ariano, A. (2008). *Improving Real-Time Train Dispatching: Models, Algorithms and Applications*. Proefschrift, TRAIL Thesis Series T2008/6, TU Delft, Delft.
- Decisio (2010). *Social Cost Benefit Analysis of implementation strategies for ERTMS in the Netherlands*. Final report, 8 January 2010.

EC (2003a). *Europa op de tweesprong: De behoefte aan duurzaam vervoer*. Europese Commissie, Europese Gemeenschappen, Brussel.

EC (2003b). *Het Europese spoorwegnet weer vitaal maken: Naar een geïntegreerd Europees spoorwegnet*. Europese Commissie, Europese Gemeenschappen, Brussel.

EC (2006). Beschikking van de Commissie van 28 maart 2006 betreffende de technische specificaties van het subsysteem besturing en seingeving van het conventionele trans-Europese spoorwegsysteem (2006/670/EC). Europese Commissie, Europese Gemeenschappen, Brussel.

EC (2008). Brief met kenmerk JFC/aws D (2008). Europese Gemeenschappen, Brussel, 2 juli 2008.

Eichenberger, P. (2007). «Kapazitätssteigerung durch ETCS». *Signal + Draht*, 99(3), pp. 6–14.

ERA (2011). Report on the certification of ERTMS equipment. European Railway Agency, Report ERA/REP/2011-08/ERTMS, version 1.0, 14 April 2011.

Fenner, W., Naumann, P., Trinckauf, J. (2003). *Bahnsicherungstechnik: Steuern, Sichern und Überwachen van Fahrwegen und Fahrgeschwindigkeiten im Schienenverkehr*. Publicis Corporate Publishing, Erlangen.

Gehrenbeck, J.-J. (2007). «Cross-border operation at 300 km/h». *Signal + Draht*, 99(3), pp. 32–35.

Giannettoni, M., Savio, S. (2004). «The European project COMBINE 2 to improve knowledge on future rail Traffic Management Systems». In: Allen, J. e.a., *Computers in Railways IX*, WIT Press, Southampton, pp. 695–704.

Goverde, R.M.P. (2010). «A delay propagation algorithm for large-scale railway traffic networks». *Transportation Research Part C*, 18(3), pp. 269–287.

Goverde, R.M.P., Veeneman, W. (2011). «Ligt het allemaal aan die blaadjes op de rails?». In: H. van Lint, V. Marchau (red.), *De file, dat ben je zelf*, Publicatieburo Bouwkunde, Delft, pp. 121–145. <http://www.defiledatbenjezelf.nl>

Hansen, I.A., Pachi, J. (eds.) (2008). *Railway Timetable & Traffic: Analysis, Modelling, Simulation*, Eurailpress, Hamburg.

Hase, K.-R. (2010). *A new approach for ETCS onboard units based on open source principles*. openETCS, februari 2010.

Hofstra, K. (2010). *Onze man in Japan: Verzamelde columns van Klaas Hofstra*, ProRail Prestatie Analyse Bureau Verkeersleiding.

I&M (2011a). ERTMS-traject Amsterdam–Utrecht. Brief met kenmerk IENM/BSK-2011/50498 aan de Tweede Kamer, 27 mei 2011.

I&M (2011b). *Gespreksnotitie Parlementair Onderzoek Spoor 19-07-2011*. TU Delft, Delft.

Infrabel (2011). *Gespreksnotitie Parlementair Onderzoek Spoor 25-08-2011*. TU Delft, Delft.

IVW (2010). *Trein met te hoge snelheid door wissel te Nieuwerkerk: Onderzoek naar voorval te Nieuwerkerk aan de IJssel op 14 februari 2009*. Inspectie Verkeer en Waterstaat, Utrecht, 4 januari 2010.

Mazzarello, M, Ottaviani, E, (2007). «A Traffic Management System for Real-time Traffic Optimisation in Railways». *Transportation Research Part B*, 41(2), pp 246–274.

Mense, O., Feldt, H. (2010). «Vorschlag zur Einführung von ETCS Level 1 Limited Supervision bei der DB AG». *Signal + Draht*, 102(9), pp. 6–13.

Middelraad, P. (2000). *Voorgeschiedenis, Ontstaan en Evolutie van het NS-Lichtseinstel*. NS Railinfrabeheer, Utrecht.

NS (2010). Operationeel proefbedrijf ERTMS Amsterdam–Utrecht: Bijlage bij de Beschikkingaanvraag. Versie 1.1, 20 december 2010.

NS (2011a). *Gespreksnotitie Parlementair Onderzoek Spoor 28-07-2011*. TU Delft, Delft.

NS (2011b). *Gespreksnotitie Parlementair Onderzoek Spoor 09-08-2011*. TU Delft, Delft.

NSR (2011). *Handboek Machinist*. NS Reizigers, Juni 2011.

OCCR (2011). *Wegwijzer OCCR*. Versie 0.4, 15 maart 2011.

ProRail (2005). *Mistral: Vervanging en modernisering*. Werkhypothese, december 2005.

ProRail (2006a). *Algemeen voorschrift AV 133.1: Plaatsing en toepassing van seinen volgens Hoofdstuk II Seinreglement*. Versie 002, 2 juni 2006.

ProRail (2006b). *Implementatiestrategie ERTMS: Onderbouwing van de strategische keuzes met businesscase*. Rapport kenmerk 20 585 767, versie 1.0, 24 augustus 2006.

ProRail (2007b). *Audit-rapportage Booz Allen Hamilton m.b.t. implementatiestrategie ERTMS*. Brief met kenmerk 20718464/SpO aan V&W, 23 augustus 2007.

ProRail (2009a). *Business Case: Vervanging en ERTMS (Infrastructuur)*. Documentnummer 807335, 10 juni 2009.

ProRail (2009b). *Financiële analyse: Bijlage 1 bij Business Case Mistral Integrale Vervanging & ERTMS*. ProRail AKI, Versie 1.0, 10 juni 2009.

ProRail (2010a). *Technische vergelijking tussen NS'54 ATB-EG en ERTMS Level 2*. Document met kenmerk EDMS 2472676, 26 januari 2010.

ProRail (2010b). *Capaciteitseffecten ERTMS Level 2: Methodiek voor het berekenen van rij -en opvolgtijden in NS'54 ATB-EG en ERTMS Level 2*. Document met kenmerk EDMS 2 156 897, versie 1.0, 15 januari 2010.

ProRail (2010c). *Capaciteitseffecten ERTMS Level 2: Projecteringsregels ERTMS level 2 tbv het vaststellen van de capaciteitseffecten*. Intern document met kenmerk EDMS 2 156 905, versie 2.0, 26 januari 2010.

ProRail (2010d). *Sectorvoorstel voor de voorbereiding van landelijke invoering van ERTMS*. Brief met kenmerk 2 159 834 aan V&W, 9 april 2010.

ProRail (2010e). *Bijstelling van de strategie an [sic] Mistral en ERTMS*. Brief met kenmerk 2 565 033 aan V&W, 14 september 2010.

ProRail (2011a). *Gespreksnotitie Parlementair Onderzoek Spoor 30-06-2011*. TU Delft, Delft.

ProRail (2011b). *Gespreksnotitie Parlementair Onderzoek Spoor 01-07-2011*. TU Delft, Delft.

ProRail (2011c). *Gespreksnotitie Parlementair Onderzoek Spoor 18-07-2011*. TU Delft, Delft.

ProRail (2011d). *Gespreksnotitie Parlementair Onderzoek Spoor 21-07-2011*. TU Delft, Delft.

ProRail (2011e). *Gespreksnotitie Parlementair Onderzoek Spoor 22-07-2011*. TU Delft, Delft.

ProRail (2011f). *Gespreksnotitie Parlementair Onderzoek Spoor 15-08-2011*. TU Delft, Delft.

ProRail (2011g). *Gespreksnotitie Parlementair Onderzoek Spoor VL Post 15-08-2011*. TU Delft, Delft.

ProRail (2011h). *Gespreksnotitie Parlementair Onderzoek Spoor 29-08-2011*. TU Delft, Delft.

ProRail (2011i). *Ambtelijke reactie op toegezonden tekstdelen*. Document met kenmerk 2919342, 20 september 2011.

ProRail, NS, BRG (2007a). *Implementatiestrategie ERTMS*. Brief met kenmerk 20 715 864 aan V&W, 16 juli 2007.

ProRail, NS, KNV (2010a). *Eindrapportage PHS capaciteitsanalyse*. Kenmerk ProRail#2153955, 9 april 2010.

ProRail, NS, KNV (2010b). *Snelheidsverhoging 160 km/u: Variant code 147*. Kenmerk 100415/BS/PR, Versie 11, 15 april 2010.

ProRail, NS, KNV (2010c). *Beschikkingaanvraag ERTMS studie*. Brief met kenmerk 2 678 887 aan I&M, 23 december 2010.

ProRail, NS, KNV (2010d). *Beschikkingaanvraag: Onderzoek naar een bredere implementatie van ERTMS op de Nederlandse hoofdweginfrastructuur*. Kenmerk EDMS 2 540 987, versie 9, 23 december 2010.

Prins, M. (1998). *Het vervoersproces van planning tot uitvoering*. NS Verkeersleiding, versie 1.0, april 1998.

Schaafsma, A.A.M. (2001). *Dynamisch railverkeersmanagement: Besturingsconcept voor railverkeer op basis van het Lagenmodel Verkeer en Vervoer*. Dissertatie, TU Delft, Delft.

Siemens (2011). *Gespreksnotitie Parlementair Onderzoek Spoor 15-06-2011*. TU Delft, Delft.

Sierst, A., Wiersema, W., Lindhout, Th. (2007). *Economisch spoorverkeer met de integrale groene golf*. Inzending Railforum Innovatiecup 2007, 1 november 2007.

Stanley, P. (ed.) (2011). *ETCS for Engineers*. Institution of Railway Signal Engineers (IRSE), Eurailpress, Hamburg.

Theeg, G., Vlasenko, S. (eds.) (2009). *Railway Signalling & Interlocking: International Compendium*. Eurailpress, Hamburg.

Transrail (2011). *CATO System Requirements Specification*. Document BVF2R3.3\_070110, Transrail, Sundyberg, Zweden.

TU Delft (2010). *Een onderzoek naar verschillende opties voor systemen die 160 km/uur mogelijk maken*. Rapport, 5 maart 2010.

Tweede Kamer (2010). «Vaststelling van de begrotingsstaat van het Infrastructuurfonds voor het jaar 2011: Amendement van het lid slob c.s. Ter vervanging van dat gedrukt onder nr. 9». *Kamerstuk 32 500 A 65*, 15 december 2010.

UIC (2004). *UIC Code 406: Capacity*. UIC, Parijs, 1 september 2004.

UIC (2008a), *Influence of ETCS on the line capacity: Generic study*. UIC, Parijs, 21 maart 2008.

UIC (2008b). *ERTMS Regional: Functional Requirements Specification*. UIC, Parijs, versie 3.08, 31 december 2009.

UIC (2009). *ERTMS Implementations Benchmark: Final Report*. Versie F3, 8 september 2009.

UIC (2010), *Influence of the European Train Control System (ETCS) on the capacity of nodes*. UIC, Parijs, versie 1.1, 14 mei 2010.

Van den Top, J. (2010). *Modelling Risk Control Measures in Railways: Analysing how designers and operators organise safe rail traffic*. Dissertatie, TU Delft, Delft.

Van Gerrevink, L. (2008). «Efficient testing of complex interlocking interfaces between HSL-Zuid and ProRail». *European Rail Technical Review (RTR)*, 2008(1), pp. 11–15.

Van Leur, M. (1994). «NS introduces a new generation automatic train protection». In: Murthy, T.K.S. e.a. (eds.), *Computers in Railways IV, vol. 2: Railway Operations*, WIT Press, Southampton, pp. 319–324.

Van Luipen, J.J.W. (2011). *Veilig en betrouwbaar invoeren van Kort Volgen: Transitiepaden naar de toekomst*. Scriptie Master of Business in Rail Systems (MBR), Delft TopTech.

V&W (2007). *ERTMS implementatieplan, motie Slob c.s. ( 29 644, nr. 34 ) over een «systeemsprong» voor de infrastructuur*. Brief met kenmerk VenW/DGP-2007/6541 aan de Tweede Kamer, 21 september 2007.

V&W (2008a). *Voortgang ERTMS en onderzoek in gebruikname Amsterdam–Utrecht*. Brief met kenmerk VenW/DGP-2008/5196 aan de Tweede Kamer, 11 juli 2008.

V&W (2008b). *ERTMS*. Brief met kenmerk VenW/DGMO-2008/4763 aan de Tweede Kamer, 12 december 2008.

V&W (2010a). «Regeling tot wijziging van de Regeling spoorverkeer in verband met de vaststelling van ETCS-gebruiksvoorschriften en de aanpassing van tabellen voor P/G-kranen en seinen». *Staatscourant*, nr. 10451, 7 juli 2010.

V&W (2010b). *Reactie op sectorvoorstel voor de voorbereiding van landelijke invoering van ERTMS*. Brief met kenmerk VENW/BSK-2010/77377 aan ProRail, 3 augustus 2010.

V&W (2010c). *Rapportage en voorkeursbeslissing over het Programma Hoogfrequent Spoor (PHS)*. Juni 2010.

Völcker, M. (2010). *SBB's implementation of interactive traffic control: A current and future view of the SBB–Rail Control System*. Presentatie voor IT10.Rail, 21–23 januari, 2010.

Weeda, V.A., Hofstra, K.S. (2008). «Performance analysis: Improving the Dutch railway service». In: J. Allen *et al.*, *Computers in Railway XI*, WIT Press, Southampton.

Weeda, V.A., Hofstra, K.S. (2009). «De praktijk centraal: Hogere capaciteit en punctualiteit op bestaand spoor». *Colloquium Vervoersplanologisch Speurwerk (CVS)*, Antwerpen, 19–20 november 2009.

Weeda, V.A., Touw, B., Hofstra, K.S. (2010). «Japan op Nederlands spoor: eenvoud loont (sneller, vaker, veiliger, stiller, goedkoper)». *Colloquium Vervoersplanologisch Speurwerk (CVS)*, Roermond, 25–26 november 2010.

Wegel, H. (1992). «Der Hochleistungsblock mit Linienförmiger Zugbeeinflussung (HBL)». *Die Deutsche Bahn*, 68(7), pp. 735–739.

Winter, P. (ed.) (2009). *Compendium on ERTMS*. UIC, Eurailpress, Hamburg.

Zweers, M., Bronsema, F., Wulfse, M. (2011). «Amsterdam–Utrecht: ERTMS L2 as an overlay to conventional signalling». *Signal + Draht*, 103(4), pp. 23–28.

## A LIJST VAN AFKORTINGEN

ARI	Automatische RijwegInstelling
ATB	Automatische TreinBeïnvloeding
ATB-EG	Automatische TreinBeïnvloeding-Eerste Generatie
ATB-NG	Automatische TreinBeïnvloeding-Nieuwe Generatie
ATB-E	Automatische TreinBeïnvloeding-Eenvoudig
ATB-vv	Automatische TreinBeïnvloeding-verbeterde versie
BTM	Balise Transmission Module
BUP	BasisUurPatroon
DB	Deutsche Bahn (Duitse Spoorwegen)
CBTC	Communication Based Train Control
CI	Culemborg
DK	Denemarken
DMI	Driver-Machine Interface
EBI Lock	Elektronische interlocking van Bombardier
EBS	Elektronische Beveiliging SIMIS (SIMIS = SicHERes Mikrocomputer Siemens)
EC	Europese Commissie
ERA	European Railway Agency
ERTMS	European Rail Traffic Management System
ESF-EBuLa	EnergieSparende Fahrweise-Elektronischer BUchfahrplan and Langsamfahrstellen (DB)
ETCS	European Train Control System
ETCS L1	ETCS Level 1
ETCS L2	ETCS Level 2
ETCS L3	ETCS Level 3
ETCS LS	ETCS Limited Supervision
EU	Europese Unie
FFFIS	Form Fit Functional Interfacespecificatie
FIS	Functionele InterfaceSpecificatie
G	Goederentrein
Gdm	Geldermalsen
GSM	Global System for Mobile communications
GSM-R	GSM-Railways
HHT	HandHeld Terminal
HSL	HogeSnelheidsLijn
Ht	's-Hertogenbosch
Htn	Houten
Htnc	Houten Castellum
IC	InterCity (treindienstsoort)
ICE	InterCityExpress (treindienstsoort)
ICT	Informatie- en CommunicatieTechnologie
I&M	Ministerie van Infrastructuur en Milieu
km	kilometer
km/u	kilometer per uur
LEU	Lineside Electronic Unit (voor ETCS L1)
LTM	Loop Transmission Module
LZB	LinienZugBeeinflussung, Duits treinbeïnvloedingsstelsel
m	meter
MA	Movement Authority (rijtoestemming)
Mistral	Migratie Strategie TReinbeveiliging integraAL
MKBA	Maatschappelijke Kosten-Baten Analyse
MMI	Mens-Machine Interface
NO	Noorwegen
NS	Nederlandse Spoorwegen
NS'54	Lichtseinstelsel van de spoorwegen in Nederland sinds 1954
NSR	NS Reizigers
OCCR	Operationeel Controle Centrum Rail
PHS	Programma Hoogfrequent Spoor

RBC	Radio Block Centre (voor ETCS L2/L3)
PLC	Programmable Logic Controllers
R&D	Research & Development
RCS	Rail Control System (uit Zwitserland)
ROMA	Railway traffic Optimization by Means of Alternative graphs, TU Delft software
SE	Zweden
SIL	Safety Integrity Level, SIL 4 betekent een beschikbaarheid beter dan 99,99%
SLT	Sprinter Light Train (treinmaterieeltype)
SMB	StopMerkBord
Spr	Sprinter (treindienstsoort)
SRS	System Requirements Specification
STM	Specific Transmission Module
STM-ATB	Specific Transmission Module-ATB (STM voor Nederlands treinbeïnvloedingssysteem)
STS	Stop Tonend Sein
TBL	Transmisie Trein-Locomotief, Belgisch treinbeïnvloedingssysteem
TCC	Traffic Control Centre (voor ERTMS Regional)
TEN	Trans-European transport Network
TIU	Train Interface Unit
TMS	Traffic Management System
TROTS	TRein Observatie & Tracking Systeem
TSB	Tijdelijke SnelheidsBeperking
TSI	Technische Specificatie Interoperabiliteit, Europese standaard
TU Delft	Technische Universiteit Delft
UIC	Union Internationale des Chemins de fer, internationale spoorwegunie
Ut	Utrecht Centraal
Utr	Utrecht Vaartsche Rijn
V&W	Ministerie van Verkeer & Waterstaat
VIRM	Verlengd InterRegioMaterieel (treinmaterieeltype)
VPI	Vital Processor Interlocking (van Alstom)
VPT	Vervoer Per Trein
Zbm	Zaltbommel



## **B LIJST VAN GEÏNTERVIEWDE PERSONEN**

### **ProRail**

- David Beemdelust
- Gerard Grimbergen (coördinator)
- Saskia Groot (coördinator)
- Justus Hartkamp (coördinator)
- Henri van Houten
- Frits van der Laan
- Lars van Lierop
- Lex Moscou
- Bart Smolders
- Erik Steeghs
- Chris Verstegen
- Maarten van der Werff
- Peter Wink

Daarnaast hebben Leo Lodder, Dick Middelkoop en Jos Velzeboer van ProRail de data beschikbaar gesteld voor de kwantitatieve analyse van de casus Utrecht–Den Bosch.

### **Externe partijen**

- Otto van Rooy (Ministerie van I&M, Directoraat-generaal Mobiliteit)
- Jean-Paul Schaaïj (Ministerie van I&M, Directoraat-generaal Mobiliteit)
- Ernst Cramer (NS, coördinator)
- Jos Holtzer (NSR)
- Tjeu Smeets (NS)
- Bob Janssen (Siemens)
- Ton van Rijn (Alstom)
- Claus Nymark (Banedanmark, Denemarken)
- Ivan Thielemans (Infrabel, België)

## C SPECIFICATIES VAN DE CASUS UTRECHT-DEN BOSCH

### C.1. Infrastructuur

Voor de casus uit Hoofdstuk 4 zijn infrastructuurgegevens en materieelgegevens gebruikt uit FRISO, een microscopische simulatietool die ProRail heeft laten ontwikkelen en daar intern wordt gebruikt. De infrastructuurgegevens bestaan uit een nauwkeurige weergave van alle spoorsecties, wissels, snelheidsborden en seinen over de hele sporenlayout van Utrecht tot en met Vught Aansluiting voor de bestaande situatie (2011) en de verwachte situatie in 2020. Voor ETCS L2 is zoveel mogelijk aangesloten bij de blokgrenzen en projecteringsregels van de ProRail studie (ProRail, 2010c). Dat rapport bevatte echter niet de specificaties van alle blokgrenzen. Als algemene ontwerpregel is voor ETCS L2 een bloklengthe van 700 m aangehouden, waarbij de blokgrenzen werden geprojecteerd op de grens van de dichtstbijzijnde spoorsectie (met spoorvrijdetectie).

Voor de treinen zijn de perronsporen aangenomen zoals in Tabel 10 overeenkomend met de ProRail studie (ProRail, 2010a). De dienstregelingen van 2011 en 2020 zijn door ProRail beschikbaar gesteld, waarbij de 2020 dienstregeling de PHS voorkeursvariant is.

**Tabel 10 Gebruik perronsporen dienstregeling Utrecht-Den Bosch 2011 en 2020**

Treinsoort	Utrecht	Gelder-malsen	Den Bosch
IC	15	5	6
Sprinter	19	4b	9
Goederentrein met stop in Geldermalsen	16	6	10
Goederentrein zonder stop in Geldermalsen	16	5	10

Voor de berekening van de bloktijden zijn voor NS'54/ATB-EG de volgende waarden verondersteld: zicht- en reactietijd 9 s, rijweginstelling- en schakeltijd op emplacementen 14 s, schakeltijd op de vrije baan 2 s. Voor ETCS is de reactiesysteemtijd 10 s, rijweginstelling- en schakeltijd op emplacementen plus cabinesignaleringsreactietijd 15 s en schakeltijd op de vrije baan plus cabinesignaleringsreactietijd 3 s.

### C.2. Materieel

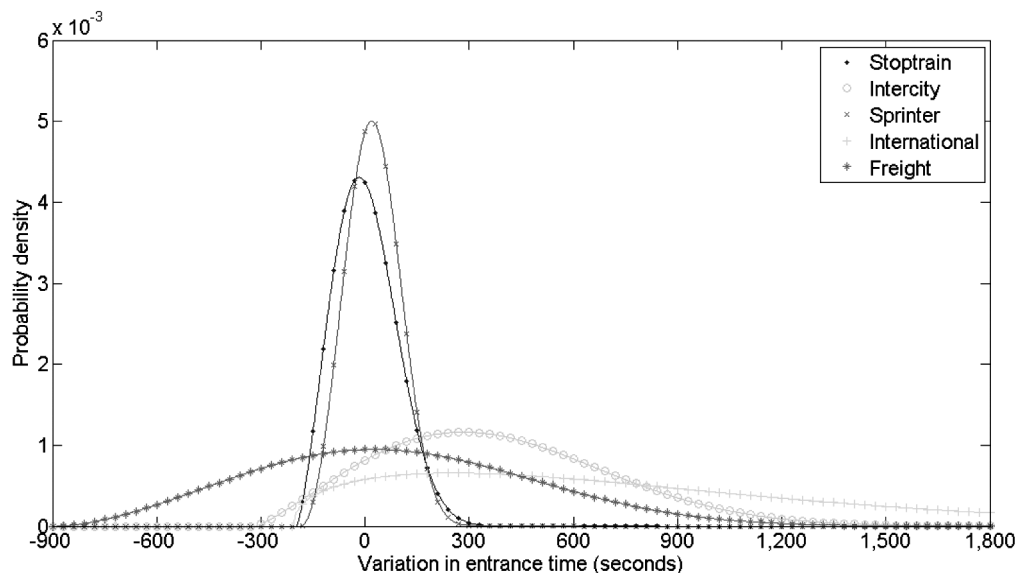
Voor de Intercities is VIRM-IV materieel aangenomen en voor Sprinters SLT materieel. De karakteristieken van het VIRM materieel zijn door ProRail beschikbaar gesteld en die van het SLT materieel door NS. Voor goederentreinen is een lengte van 550 m aangehouden, een remkarakteristiek van  $0,3 \text{ m/s}^2$  (met een gevoeligheidsanalyse voor  $0,25 \text{ m/s}^2$ ), en een stuksgewijze lineaire acceleratiekarakteristiek van  $0,2 \text{ m/s}^2$  voor snelheden van 0 km/u tot 60 km/u en  $0,18 \text{ m/s}^2$  voor snelheden tussen 60 en 80 km/u.

### C.3. Vertragingsscenario's

De vertragingen worden gemodelleerd door initiële vertragingen bij binnenkomst in het netwerk voor alle treinen volgens drie-parameter Weibull verdelingsfuncties waarvan de parameters zijn geschat op basis

van gelogde data bij Utrecht Centraal, gedifferentieerd naar de drie verschillende treintypen (IC's, Sprinters, goederentreinen) zoals beschreven in Corman e.a. (2011), zie Figuur 18. De resultaten zijn gemiddeld over 50 simulaties volgens een Monte Carlo simulatie opzet. De vertraginginstanties hebben een maximum vertraging van 14 minuten, een gemiddelde van 30,9 seconden en 12% van de vertragingen zijn groter dan 3 minuten. Voor de conflictoplossing zijn de railverkeersmanagementsalgoritmen in ROMA gebruikt. Voor samenvoegingen en kruisingen is de First-Come-First-Served (FCFS) regel gebruikt.

**Figuur 18** Verdelingsfunctie van de afwijking bij binnenkomst in het netwerk



## D OVERZICHT SEIN- EN TREINBEÏNVLOEDINGSSYSTEMEN IN NEDERLAND

(bron: Netwerkverklaring 2011)

**Figuur 19** Geïnstalleerde sein- en treinbeïnvloedingssystemen, ATB lijnen zijn met het NS'54 seinstelsel (bron: Netwerkverklaring 2011)



## E MISTRAL CORRIDORS

Het Mistral programma voorziet in de vervanging en modernisering van relaisinterlockings die aan het einde van hun levensduur zijn en alleen voor 2018 vervangen dienen te zijn. Aanvankelijk was de bedoeling dat de Mistral corridors vervangen werden door moderne elektronische interlockings die voorbereid zijn op ERTMS. Naar aanleiding van de laatste Business Case van ProRail (2009ab) zijn de Mistral corridors momenteel verdeeld in drie groepen, zie § 3.2.1, zoals weergegeven in Tabel 11. De jaartallen in deze tabel zijn de jaartallen waarin de betreffende corridor vervangen moest zijn volgens de oorspronkelijke opgave in ProRail (2005). Overigens is de naam corridor misleidend: binnen Mistral worden hiermee zowel baanvakken tussen twee stations als emplacementen mee bedoeld.

**Tabel 11 Mistral corridors ingedeeld naar de huidige vervangingsstrategie**

---

**Corridors die met conventionele beveiliging (zonder ERTMS) kunnen worden vervangen**

---

- Apeldoorn–Deventer (2008)
  - Sittard–Maastricht (2015)
  - Den Dolder–Baarn–Amersfoort (2011)
  - Amersfoort–Apeldoorn (2017)
  - Deventer–Almelo (2009)
  - Almelo–Hengelo–Enschede (2017)
  - Sittard–Heerlen (2016)
  - Roermond–Sittard (2015)
  - Nijmegen–Blerick (2012)
  - Hilversum–Blauwkapel (2010)
  - Naarden–Bussum (2010)
  - Eindhoven–Weert (2015)
- 

**Corridors die wachten op besluitvorming over ERTMS**

---

- Budel–Weert–Haelen (2015)
  - Zevenbergen–Roosendaal–Grens (2010)
  - Houten Castellum–Meteren (2013)
  - Meteren–Den Bosch (2013)
  - Vught–Tilburg (2014)
  - Gilze Rijen–Tilburg–Boxtel (2014)
  - Uitgeest–Zaandam (2016)
  - Blauwkapel–Amersfoort (2011)
- 

**Corridors die zijn/worden vervangen binnen andere projecten of vervallen**

---

- Blauwkapel–Lunetten (2013)
  - Lunetten–Houten Castellum (2013)
  - Delft (2014)
  - Den Bosch (2013)
  - Moordrecht–Nieuwkerk (2017)
  - Hoek van Holland–Maassluis–Vlaardingen (2014)
  - Zevenaar (2013)
-