

VERGELIJKEND ONDERZOEK NAAR ERTMS INVOERING EN GEBRUIK SCENARIO'S

Afstudeerscriptie
Erwin G.T. Sloopjes BSc
7 oktober 2013
Definitief



UNIVERSITEIT TWENTE.

VERGELIJKEND ONDERZOEK NAAR ERTMS INVOERING EN GEBRUIK SCENARIO'S

ARCADIS
UNIVERSITEIT TWENTE

Afstudeerscriptie

Erwin G.T. Slootjes BSc

Opleiding: Civil Engineering and Management

Studentnummer: s0210544

Contact: erwin.slootjes@arcadis.nl

7 oktober 2013

Definitief

Begeleiders

ing. Martin Zweers, Arcadis

ing. André van Es, Arcadis

ing. Kasper M. van Zuilekom, Universiteit Twente

prof. dr. ir. Eric C. van Berkum, Universiteit Twente



UNIVERSITEIT TWENTE.

Voorwoord

De invoering van ERTMS is een zeer actueel onderwerp, tijdens de uitvoering van dit onderzoek waren er dan ook een aantal nieuwe ontwikkelingen. De meest in het oog springende daarvan was de proof of concept van ERTMS level 3. Er is tijdens een aantal testritten, verdeeld over vier nachten, bewezen dat het concept van level 3 werkt. Ik kreeg de kans bij deze testen aanwezig te zijn en heb vanaf de wal en vanaf de trein kunnen zien hoe het rijden onder level 3 in zijn werk gaat.

Meekijken was mogelijk door de betrokkenheid van mijn dagelijks begeleider, Martin Zweers, bij dit project. Mijn andere begeleider binnen Arcadis, André van Es, heb ik leren kennen als docent van de cursus Rail Transport aan de Universiteit Twente. Ik wil beiden bedanken voor de hulp en begeleiding tijdens het opstellen en uitvoeren van dit onderzoek.

Alle andere collega's wil ik bedanken voor de gezelligheid op kantoor en het beschikbaar stellen van hun tijd en kennis wanneer ik informatie of 'cijfertjes' nodig had voor dit onderzoek.

Vanuit de universiteit was het meneer Van Zuilekom die mij met opbouwende kritieken en goede ideeën met dit onderzoek geholpen heeft. Waarvoor bedankt.

Het doel van dit onderzoek is een aantal invoeringsstrategieën vergelijken en heeft geresulteerd in een structuur waarmee verschillende ombouwstappen gecombineerd kunnen worden. Besluitvorming rond de te nemen stappen voor invoering van ERTMS vindt plaats binnen de Railmap. De belangrijkste partijen hierin, ProRail, NS en IenM, zijn geraadpleegd via interviews.

De drie in dit onderzoek onderzochte invoeringsstrategieën zijn december 2012 vastgesteld en waren toen de meest waarschijnlijke. Na het uitkomen van de Railmap 1.0 in februari 2013 bleek de level 2 overlay variant achterhaald. Echter de NS gaf in een gesprek aan om verschillende redenen toch de voorkeur aan deze variant te geven. Dit gesprek vond plaats met Arjan Kal en Ed Siemonsma. Namen het ministerie van Infrastructuur en Milieu is er gesproken met Ronald van der Meijs en bij ProRail ben ik te woord gestaan door Henri van Houten en Frits van der Laan. Ik wil hen bij deze nogmaals bedanken voor de kritische blik naar mijn onderzoek en de inzichten in de overwegingen die beide organisaties maken wanneer het aankomt op de invoering van ERTMS op de OV SAAL corridor.

Rest mij u veel leesplezier te wensen.

Samenvatting

De toenemende vraag naar capaciteit heeft de regering doen besluiten de huidige treinbeveiligings- en beïnvloedingssystemen te vervangen door ERTMS (European Rail Traffic Management System). De keuze voor ERTMS wordt bepaald door Europese wetgeving. Van ERTMS bestaan in de basis drie verschillende versies (levels) die oplopend, door verschillende technieken, meer capaciteit bieden door gebruik te maken van steeds kortere blokken. De grootste capaciteit kan zodoende geboden worden wanneer gebruik gemaakt wordt van ERTMS level 3. Echter voor het afhandelen van met name goederentreinen zijn voor level 3 aanvullende maatregelen nodig die op dit moment nog niet beschikbaar zijn. Dit probleem kan overkomen worden door deze treinen te controleren met de huidige spoorstroomlopen, zo ontstaat het door Arcadis ontwikkelde level 3 met baangebonden treindetectie (btd).

Er vanuit gaande dat level 3 puur het einddoel is, is level 3 btd slechts een tussenstap. Andere invoeringsstrategieën gaan uit van level 2 als tussenstap. Level 2 werkt nog met baangebonden treindetectie, in de vorm van assentellers, en biedt op dit moment de hoogste capaciteit. Voordat level 2 ingevoerd wordt kan als extra tussenstap level 2 overlay ingevoerd worden. Hiermee blijft het omgebouwde baanvak ook toegankelijk voor treinen die nog niet van ETCS (European Train Control System) voorzien zijn. ERTMS kan een hogere capaciteit bieden dan de huidige systemen door de mogelijkheid tot uitgesteld remmen en het gebruik van kortere blokken waardoor het spoor achter een gepasseerde trein sneller vrijgegeven wordt. Het doel van dit onderzoek is een indicatie geven van de verhouding van level 3 btd ten opzichte van de initiële plannen op het gebied van capaciteit en financiën.

Het aantal invoeringsstrategieën dat vergeleken wordt is beperkt tot de drie meest waarschijnlijke. De NS geven de voorkeur aan level 2 overlay. ProRail geeft de voorkeur aan level 2 puur. De kosten en opbrengsten van deze twee zijn afgezet tegen de invoeringsstrategie via level 3 btd. De uitwerking van deze drie wordt geïllustreerd aan de hand van een het Almeerse deel van de OV SAAL (Openbaar Vervoer - Schiphol – Amsterdam – Almere – Lelystad) corridor. Op deze verbinding rijden nu in een halfuur dienstregeling 10 treinen per uur per richting. Op de middellange termijn (2016-2020) worden dit 12 treinen per uur per richting in een kwartierdienstregeling en na 2030 zal er een tien minutendienstregeling gereden gaan worden met in totaal 18 treinen per uur per richting.

Het doel van dit onderzoek is dan ook: *Vergelijken welke ERTMS invoeringsstrategie tijdens de overgangperiode naar ERTMS level 3 op elk moment tegen geringe kosten de gewenste capaciteit kan bieden.* Een belangrijke kostenpost vormen de ombouwkosten. Daarnaast zijn er de onderhouds- en storingskosten die afhankelijk zijn van het aantal in dienst zijnde systemen. Tegenover de kosten staan de opbrengsten. Kortere rijtijden kunnen gekwantificeerd worden. De mogelijkheid tot het rijden van een frequentere dienstregeling is als kwalitatief aspect meegenomen.

Het uitwerken van de ombouwkosten heeft vorm gekregen in stroomschema's. Het toevoegen en verwijderen van systemen kan niet zondermeer plaatsvinden, er moet rekening gehouden worden met de interactie met andere systemen en met het feit dat tijdens het ombouwen de treinen moeten kunnen blijven rijden. In de stroomschema's zijn de volgende systemen, indien van toepassing, opgenomen: RBC (Radio Block Centre), interlocking, balises, assentellers, spoorstroomlopen, seinen, ATB signaal, GSM-R optimalisatie en ETCS in treinen installeren. Op dit punt wordt aan de hand van het aantal activiteiten in elke ombouwstap al zichtbaar welke ombouwstap meer of minder inspanning vergt en, daaraan gerelateerd, zal kosten.

Bij het uitwerken van de ombouwstappen is voor testwerkzaamheden aangegeven of er schaduwtesten uitgevoerd kunnen worden of dat er 's nachts tijdens buitendienststellingen getest moet worden. Een belangrijke keuze die in een aantal deelprocessen gemaakt moet worden is bij welke fabrikant de systemen aangeschaft worden. Wanneer alle systemen bij één fabrikant gekocht worden bestaat de kans op 'vendor lock in'. Wanneer men niet van één fabrikant afhankelijk wil zijn zullen er eigen systemen of interfaces ontwikkeld moeten worden. Dit heeft als nadeel dat dit tijd en geld kost en een potentieel punt van storingen is.

De interlocking is het centrale deel in de treinbeveiligings- en beïnvloedingsystemen. De interlocking stuurt de seinen, wissels en het ATB signaal aan en krijgt input vanuit de spoorstroomlopen. In de trein bevindt zich ook een deel van het ATB systeem. Dit deel pikt het ATB signaal op en controleert of de trein niet sneller rijdt dan volgens het signaal toegestaan en grijpt indien nodig in. Wanneer ERTMS ingevoerd wordt moet er in de meeste gevallen een nieuwe elektronische interlocking neergezet worden die kan omgaan met de nieuwe (virtuele) blokdeling. Daarnaast is er een RBC nodig voor het versturen van de rijtoestemmingen en het ontvangen van de positierapporten van de treinen. De treinen bepalen hun positie met behulp van balises (radio bakens) in het spoor. In de trein wordt het ATB systeem vervangen door een ETCS computer en een display in de cabine waarop de machinist de maximum snelheid en de lengte van de rijtoestemming kan aflezen.

ERTMS level 2 bevat geen seinen en ATB signalen meer, er is nu volledig overgestapt op cabine signalering en de treinbeïnvloeding wordt verzorgd door de ETCS computer. Om de extra capaciteit die level 2 biedt te benutten moet blokverkorting toegepast worden. De goedkoopste manier om de treindetectie aan de kortere blokken aan te passen is met assentellers. Bij level 3 maken alle treinen gebruik van autolokalisatie. Elke trein rapporteert de positie van zijn voorkant en achterkant via het RBC aan de interlocking. Er zijn geen baangebonden systemen meer aanwezig. Enkel de balises die de treinen informeren over hun positie. Door gebruik te maken van korte virtuele blokken kunnen alle treinen op bijna remwegafstand achter elkaar aan rijden.

Goederentreinen kunnen, door het ontbreken van een controlesysteem, ongemerkt een wagon verliezen. Door het ontbreken van baangebonden treindetectie bij level 3 ontstaat hierdoor een ontoelaatbaar groot veiligheidsrisico. Een oplossing voor het laten passeren van deze zogenaamde niet-integere treinen wordt gevormd door het in dienst houden van de huidige spoorstroomlopen die dan enkel gebruikt worden wanneer een niet-integere trein passeert.

Kosten worden gegenereerd tijdens de ombouwprocessen door aanschaf en installatie van systemen. De kostenposten worden afgeleid uit de stroomschema's en voor elk proces moet het aantal en de prijs per stuk ingevuld moeten worden. Wanneer de systemen in gebruik zijn zijn er de onderhoudskosten. Hiervoor zijn de aantallen en prijs per jaar bepaald, waarbij geen rekening is gehouden met de levensduur van systemen waardoor mogelijk vervangingskosten genegeerd zijn. Kosten ontstaan ook tijdens storingen, de storing moet verholpen worden en omdat de treinen niet kunnen rijden worden de vervoerders ook gedupeerd. Voor het berekenen van de storingskosten moet bekend zijn het aantal objecten in het studiegebied, de storingsfrequentie per stuk per jaar, de reparatiekosten en de gemiddelde duur van de bijbehorende stremming en de daaraan gerelateerde kosten.

Als opbrengsten worden gezien de verbeteringen ten opzichte van de huidige situatie. De rijtijdwinsten zullen echter om logistieke redenen in de praktijk niet altijd geïncasseerd kunnen worden. Daarnaast maakt de hogere capaciteit die ERTMS biedt het mogelijk een frequentere dienstregeling te rijden. Capaciteit is feitelijk een ja/nee vraag. Het is wel of niet mogelijk om per uur het gewenste aantal treinen in een gewenste volgorde te laten rijden. Om de rijtijden en de capaciteitsbezetting van de verschillende

beveiligingssystemen bij de verschillende dienstregelingen te bepalen zijn er met behulp van MatLab enkele simulaties uitgevoerd. Omdat het spoor voor de beveiliging is onderverdeeld in blokken wordt per blok bepaald wanneer de bezetting start en eindigt. Het resultaat is een blokdiagram. Wanneer dit voor alle treinen gemaakt is kan de bezettingsgraad bepaald worden.

Om de kosten en opbrengsten van de verschillende invoeringsstrategieën op een correcte wijze te vergelijken is er een liquiditeitsanalyse uitgevoerd worden, hierin wordt rekening gehouden met de financieringskosten en de spreiding van uitgaven en inkomsten over de tijd. Het resultaat is een netto contante waarde, via dit getal kunnen de verschillende invoeringsstrategieën op een eenvoudige manier met elkaar vergeleken worden.

Deze berekening wordt uitgevoerd in een Excel model waarin eenvoudig alle aantallen en kostprijzen aangepast kunnen worden. In het model kunnen de keuzes die gemaakt worden tijdens het invoeringsproces eenvoudig aangepast worden evenals de jaartallen waarin de ombouwstappen plaatsvinden en wanneer welke dienstregeling gereden wordt. Voor de drie invoeringsstrategieën zijn de invoeringstermijnen dan ook zo ingesteld dat de gewenste dienstregelingen steeds uitgevoerd kunnen worden met zo laat mogelijk infrastructurele uitbreidingen.

Voor het studiegebied blijkt, vanzelfsprekend, dat de huidige dienstregeling uitgevoerd kan worden onder het huidige beveiligingssysteem. Wanneer gerekend wordt met een rijtijdspeeling van 30 seconden per trein bedraagt de bezettingsgraad dan 85%. Dit is gelijk aan het aanbevolen maximum om een stabiele dienstuitvoering te kunnen garanderen. De huidige dienstregeling onder level 3 resulteert in een bezettingsgraad van 63%. Voor het rijden van de kwartierdienstregeling is het nodig ten minste ERTMS level 2 in te voeren. Het is niet mogelijk op de bestaande infrastructuur, ongeacht het beveiligingssysteem, een tien minuten dienstregeling te rijden. De rijtijdwinsten zijn beperkt, echter door de grote hoeveelheid reizigers per richting vertaalt dit zich in een significant bedrag.

Wanneer het rekenmodel wordt toegepast op andere spoorlijnen blijkt dat het na het ombouwen van een lijn, zowel voor regionale lijnen als voor lijnen in de Randstad, niet veel verschil maakt of de knooppunten van level 2 overlay voorzien worden of dat het materieel van ETCS+STM voorzien wordt zodat het knooppunten nog niet met ERTMS uitgerust hoeven te worden.

Geconcludeerd kan worden dat de meest geschikte strategie voor invoering van ERTMS op de OV SAAL corridor de invoeringsstrategie via level 3 btd is. Hiermee wordt vanaf de eerste ombouwstap de hoogste capaciteit geboden en de totale kosten zijn het laagst wanneer deze invoeringsstrategie gekozen wordt.

Op het punt van capaciteit bleek zoals verwacht dat level 3 het beste resultaat laat zien. Level 2 overlay kan goedkoper ingevoerd worden (afhankelijk van het type interlocking) dan level 3 btd, echter de totale route naar level 3 is wat betreft de ombouwkosten het goedkoopst wanneer met level 3 btd gestart wordt.

Ook op de andere onderzochte lijnen laat level 3 btd het beste resultaat zien. Uitzondering hierop vormen de regionale spoorlijnen waar door de aanwezigheid van assentellers weinig verschil is met level 2.

Deze conclusie moet gezien worden in de context van de initiëring van dit onderzoek waaruit moest blijken hoe level 3 btd zich verhoudt tot level 2 en level 2 overlay. De ingevulde kosten betreffen de directe kosten en in de financiële eindvergelijking ontbreken de indirecte kosten. De gewenste vergelijking laat echter een duidelijk beeld zien.

Naast de in dit onderzoek belangrijke financiële en operationele aspecten speelt ook de verbeterde veiligheid een rol bij de keuze voor invoering van ERTMS. Een aantal elementen waar nog ruimte is voor verbetering zijn o.a. de remcurve, de trein integriteitscontrole en de GSM-R verbinding. Met nauwkeurige weergegevens en voorspellingsmodellen kunnen mogelijk locatie specifieke remcurven gegenereerd worden waarmee voorkomen wordt dat treinen doorschieten als gevolg van gladde sporen. Voor het controleren van de treinintegriteit zijn technische mogelijkheden beschikbaar, echter financiële en organisatorische kwesties verhinderen een snelle oplossing. Het voor ERTMS essentiële GSM-R netwerk moet mogelijk robuuster gemaakt worden en op een aantal grote emplacementen is waarschijnlijk de capaciteit niet toereikend.

Summary

The growing demand for capacity made the government decide to replace the existing signalling and train protection systems by ERTMS (European Rail Traffic Management System). The choice for ERTMS is obliged by European law. There are basically three levels of ERTMS. From 1 to 3 each provides more capacity by using different techniques to allow shorter blocks. The biggest capacity is therefore provided by ERTMS level 3. However, cargo trains cannot be handled by level 3 without the implementation of additional systems which are not available yet. To overcome this problem these trains could be monitored by using the legacy track circuits. This is the level 3 with legacy train detection (ltd) system as developed by Arcadis.

Assuming that level 3 is the final goal, level 3 ltd is only a temporary situation. Other implementation strategies have level 2 as intermediate step. Level 2 still uses track bound train detection, i.e. axle counters, and provides at this moment the highest capacity. Before implementing level 2 an extra intermediate step can be level 2 overlay. With overlay the line remains open to trains not equipped for ERTMS. ERTMS can provide a higher capacity because it allows for delayed braking and the use of shorter blocks means that the track behind a passing train is released faster. The goal of this research is to give an indication of the performance of level 3 ltd compared to the initial plans in the fields of capacity and finance.

The implementation strategies under consideration are the three most likely ones. Dutch Railways (NS) prefer level 2 overlay and the Dutch infrastructure manager (ProRail) prefers level 2. The costs and benefits of these systems are compared to those of level 3 ltd. The effects of all systems are illustrated by applying them in a case study: The city of Almere, part of the busy SAAL corridor (Schiphol airport – Amsterdam – Almere – Lelystad). This route is now operated with a half hour interval schedule with 10 trains per hour per direction in total. Between 2016 and 2020 this should increase to 12 trains per hour per direction driving in a 15 minute interval schedule and should increase further to a 10 minute interval schedule with 18 trains per hour per direction after 2030.

The goal of this research is therefore: *Compare which ERTMS implementation strategy can provide the needed capacity with the least costs at any time during the transition period to ERTMS level 3.* An important source of costs is the rebuilding costs. In addition there are the yearly maintenance and failure costs which depend on the number of systems in operation. Opposing the costs are the benefits. Shorter running times can be quantified. The possibility to run a more frequent schedule is considered to be a qualitative benefit.

The rebuilding costs are detailed with the aid of flow charts. Adding and removing systems cannot be done without considering the interaction with other systems and the fact that the train service has to continue during the rebuilding process. The flow charts contain, when applicable, the following systems: RBC (Radio Block Centre), interlocking, balises, axle counters, track circuits, signals, ATP-signal, GSM-R optimisation and the installation of ETCS (European Train Control System) in trains. At this point the number of actions required already gives an indication of the amount of work and the related costs of each rebuilding step.

By detailing the rebuilding process it is indicated if tests can be performed as shadow test or if it is necessary to execute them during night time train free periods. An important choice in some processes is the choice of manufacturer. When retrieving all systems from one single manufacturer there is a risk of

vendor lock in. When this dependency is undesirable one has to develop its own systems or interfaces. This can however be time consuming and costly as well as a source for interruptions.

The interlocking is the central part of all signalling and train protection systems. The interlocking operates the signals, switches and ATP systems after receiving input from the track circuits. A part of the ATP system is installed inside the train. This part reads the ATP signal and checks wheatear the train runs faster than allowed by the signal. In that case the system will stop the train automatically. Implementing ERTMS requires in most cases the installation of a new electronic interlocking that can handle the new (virtual) block arrangement. Furthermore a RBC is needed for the communication of movement authorities to the trains and for receiving their position reports. The trains determine their position by reading balises (radio beacons) which are located inside the tracks. Inside the train the ATP system is replaced by an ETCS computer and display in the driver cab from which the driver can read the maximum speed and the length of his movement authority.

ERTMS level 2 does not use line side signals and ATP signals any more, but relies completely on cab signalling and the train protection is performed by the ETCS computer. To use the greater capacity that level 2 can provide the block arrangement has to be altered to reduce the length of each block. The cheapest method to adopt the track vacancy proving systems to this new block layout is by using axle counters.

With level 3 all trains use auto localisation. Each train reports its front and rear end position to the interlocking via the RBC. There are, apart from the balises that inform the trains about their position, no track bound systems in operation any more. By using short virtual blocks trains can drive at almost braking distance behind each other.

Cargo trains can lose a wagon without notice because of the absence of an adequate train integrity control system. Because of the absence of a track bound vacancy proving system this results in an impermissible large safety risk. A solution for passing these so-called not-integer trains is maintaining the legacy track circuits to secure the passage of only these not-integer trains.

During the rebuilding processes costs are generated by the purchase and installation of systems. The cost items are derived from the flow charts and for each item the number of elements and the price apiece has to be registered. During the use of each system there are maintenance costs. To calculate the total maintenance costs the number of items and the costs apiece per year are required. Because the age of each system is ignored the replacement costs are not incorporated. System failures are another cause of costs. The failure has to be repaired and because of interrupted service there are also costs for the train operators. Calculating the total failure costs therefore requires data about the number of objects in the study area, the failure frequency apiece per year, the repair costs and the average duration of the service interruption and the costs related to that.

Revenues are defined as the improvements compared to the current situation. Running time benefits however may, for logistical reasons, not be used in practice. Apart from this ERTMS provides a higher capacity which enables a timetable with more trains. Capacity is basically a yes or no question. It is either possible or not to run a certain number of trains in a particular order in an hour. To calculate the running times and the capacity consumption simulations have been executed in MatLab. For interlocking reasons the track is divided into blocks. After determining the start and end time of the occupation of each block a blocking time diagram can be drawn. When these diagrams are made for all trains the total capacity occupation can be calculated.

To process the costs and revenues of each implementation strategy in a correct manner a liquidity analysis is performed. This takes into account the financing costs and the moment in time when the costs and revenues occur. The result is a net present value, via this number the implementation strategies can be compared easily.

The calculation is made in Excel and allows for easily changing the amount of items and all related prices. The choices that can be made in each rebuilding process are also implemented in the calculation model as well as the possibility to change the years in which each rebuilding step is executed and when which timetable is offered. For the three implementation strategies under consideration the years are set in such a way that the desired timetables can be offered with infrastructural expansions as late as possible.

In the study area the current timetable can, of course, be performed in combination with the current signalling system. When a running time tolerance of 30 seconds is used the capacity consumption is 85%. This exactly the maximum as advised to guarantee a stable operation. When operating the current timetable under ERTMS level 3 the capacity consumption is only 63%. For driving in a 15 minute interval schedule it is necessary to implement at least level 2. Operating a 10 minute interval schedule is not possible on the current infrastructure, regardless of the signalling system. The running time revenues are small but because of the large number of passengers it translates to a significant amount of money.

When the calculation model is applied to other rail lines it appears that after rebuilding the lines, regional lines or lines in the Randstad, there is little difference between building level 2 overlay at the junctions or fitting the trains with ETCS+STM and thereby avoiding the need to fit the junctions with ERTMS at all.

It can be concluded that the most suitable strategy for implementing ERTMS on the SAAL corridor is the implementation strategy via level 3 ltd. This strategy offers the best capacity from the start and has the lowest total costs.

Level 3 shows the best results when it comes to capacity, as expected. Level 2 overlay can be implemented cheaper (depending on the type of interlocking chosen) than level 3 ltd, but the total route to level 3 is, when it comes to rebuilding costs, cheaper when the first step is level 3 ltd.

Also on the other investigated lines the best results come from level 3 ltd. The regional lines are an exception to this, due to the presence of axle counters level 2 and level 3 ltd become very similar.

This conclusion should be read in the context of the goal of this research which was to compare level 3 ltd to level 2 and level 2 overlay. The filed costs represent only direct costs, indirect costs are not included in the financial comparison. The desired comparison however shows a clear picture.

Apart from the for this research important financial and operational benefits also the improved safety plays a role in the decision to implement ERTMS. Some elements can be improved a little bit further though. With accurate weather data and prediction models it should be possible to generate location specific braking curves to avoid the risk of trains overshooting the end of a movement authority due to slippery tracks. There are technical solutions for the train integrity problem but financial and organisational problems prevent a fast implementation. The GSM-R network, which is essential to ERTMS, has to be made more robust and on some large yards the capacity may not be sufficient.

Inhoud

Voorwoord	5
Samenvatting	6
Summary	10
1 Inleiding	16
2 Projectcontext	18
2.1 Doelen	18
2.2 Technische achtergronden.....	19
2.2.1 Huidige situatie / NS'54 met ATB-EG.....	20
2.2.2 ERTMS level 2	22
2.2.3 ERTMS level 3	23
2.2.4 ERTMS level 2 overlay	24
2.2.5 ERTMS level 3 baangebonden treindetectie	25
2.3 Krachtenveld analyse.....	26
2.3.1 Ministerie van Infrastructuur en Milieu	27
2.3.2 Nederlandse Spoorwegen.....	28
2.3.3 ProRail.....	30
2.3.4 Conclusie.....	32
2.4 Afbakening	33
3 Onderzoeksopzet	36
3.1 Doelstelling.....	36
3.2 Hoofdvraag.....	36
3.3 Deelvragen.....	36
3.4 Onderzoeksstructuur	37
4 Systeemconfiguraties en ombouwstappen	38
4.1 Systeemconfiguraties.....	39
4.1.1 Huidige situatie.....	39
4.1.2 Level 2 overlay	40
4.1.3 Level 2	46
4.1.4 Level 3 btd	54
4.1.5 Level 3	56
4.1.6 ETCS en GSM-R	59
4.2 Overzicht.....	62
4.3 Belangen tijdens uitvoering ombouwstappen	66
4.4 ProRail infraconcepten.....	67
5 Kosten	69
5.1 Ombouw baan.....	69
5.2 Onderhoud baan.....	71

5.3	Kosten bij wijzigingen infra.....	73
5.4	Storingen.....	74
5.5	Ombouw treinen.....	75
5.6	Onderhoud treinen.....	76
6	Opbrengsten	77
6.1	Theorie	77
6.1.1	Capaciteit	77
6.1.2	Rijtijden	81
6.2	Simulaties.....	82
6.2.1	Input	82
6.2.2	Uitwerking beveiligingssystemen	83
6.2.3	Berekening	86
6.3	Vermeden investeringen.....	87
6.4	Andere voordelen van ERTMS	88
7	Rekenschema	89
7.1	Modelstructuur	89
7.2	Opbouw spreadsheets.....	91
7.2.1	Tabblad "Schuifknoppen"	91
7.2.2	Tabblad "Resultaten"	92
7.2.3	Tabbladen "Input ombouw 'systeem A' - 'systeem B'"	92
7.2.4	Tabblad "Input onderhoud"	93
7.2.5	Tabblad "Input storingen"	94
7.2.6	Tabblad "Input opbrengsten"	94
7.3	Kosten berekening / Liquiditeitsanalyse.....	95
7.3.1	Disconteringsvoet	96
7.4	Toepasbaarheid in de praktijk	96
7.4.1	Stakeholders	96
7.4.2	Adviseurs.....	97
8	Uitwerking OV SAAL	100
8.1	Fasering.....	100
8.1.1	Planning aantal treinen	100
8.1.2	Planning ombouwstappen.....	102
8.2	Kosten.....	103
8.2.1	Ombouw baan.....	103
8.2.2	Onderhoud baan.....	103
8.2.3	Wijzigen baan.....	104
8.2.4	Storingen.....	104
8.2.5	Ombouw treinen.....	104
8.2.6	Onderhoud treinen.....	105
8.3	Opbrengsten.....	106
8.3.1	Bezettingsgraad.....	106
8.3.2	Rijtijdwinst.....	108
8.4	Rekenschema en resultaten	109
9	Landelijke toepassing	112
9.1	Regionaal	113

9.2	Randstad	115
9.3	Internationale corridor	118
9.4	Conclusies en aanbevelingen	120
10	Veiligheid, enkele overwegingen.....	122
10.1	Remcurve	122
10.2	Trein integriteit	123
10.3	GSM-R verbinding.....	124
11	Conclusies en aanbevelingen	125
12	Bibliografie	127
Bijlage 1	Afkortingen.....	129
Bijlage 2	Overzicht studiegebied	131
Bijlage 3	Overzicht ombouwkosten.....	132
Bijlage 4	Overzicht onderhoudskosten.....	137
Bijlage 5	Overzicht storingskosten	138
Bijlage 6	Rijtijdwinstberekeningen	139
Bijlage 7	Data landelijke toepassing	140

1 Inleiding

Er is een toenemende vraag naar capaciteit op het Nederlandse spoor. Meer treinen betekent dat de onderlinge afstand kleiner wordt. Met het huidige treinbeveiligingssysteem zijn echter de grenzen van de mogelijkheden bereikt. Ook als het verkeer op het spoor toeneemt moet veiligheid ten alle tijden gegarandeerd zijn. Het huidige treinbeïnvloedingssysteem kan dit niet bij de gewenste capaciteitsuitbreiding.

Om aan de vraag naar extra capaciteit tegemoet te komen heeft de Nederlandse regering besloten in het hele land het huidige treinbeveiligings- en beïnvloedingssysteem te vervangen door ERTMS (European Rail Traffic Management System) (Rutte, et al., 2012). Het regeerakkoord laat echter slechts één zin citeren: "Vanaf 2016 wordt met gebruikmaking van bestaande budgetten het Europees spoorbeveiligingssysteem (ERTMS) gefaseerd ingevoerd." Hoe ERTMS ingevoerd moet gaan worden en welk level zal dus nader bepaald moeten worden.

De keuze voor ERTMS wordt bepaald door Europese wetgeving die voorschrijft dat bij het overstappen naar een nieuw trein beveiligings- en beïnvloedingssysteem gekozen moet worden voor ERTMS. De voor Nederland belangrijkste Europese corridor, Rotterdam – Milaan, is reeds voorzien van ERTMS level 2. Het Nederlandse deel betreft de Betuweroute, dit is een nieuw aangelegde lijn die meteen en enkel van ERTMS voorzien is. Nu er in andere delen van het land ook vraag is naar een verbeterd systeem spelen ook zaken als continuïteit van de dienstuitvoering en afstemming tussen ombouw van wal en vloot apparatuur een belangrijke rol.

Van ERTMS bestaan in de basis drie verschillende versies (levels) die oplopend, door verschillende technieken, meer capaciteit bieden door gebruik te maken van steeds kortere blokken. De grootste capaciteit kan zodoende geboden worden wanneer gebruik gemaakt wordt van ERTMS level 3. Level 3 is echter nog niet per direct beschikbaar, voor het veilig afhandelen van met name goederentreinen zijn aanvullende maatregelen nodig. Het tot nu toe ontbreken van adequate maatregelen is de reden dat op de Nederlandse spoorlijnen die enkel met ERTMS zijn beveiligd, zijnde de Betuweroute en de HSL, level 2 is geïnstalleerd en niet level 3. Nu level 2 beschikbaar is, is er ervaring en bij de fabrikanten capaciteit om level 3 verder te ontwikkelen. Hierbij moet door het ontbreken van baangebonden treindetectie bij level 3 speciale aandacht besteed worden aan het afhandelen van goederentreinen en het opstarten na systeemstoringen (Projectteam ERTMS Level 3 PoC, 2013). Om zoveel mogelijk van de voordelen van level 3 nu al te kunnen benutten heeft Arcadis een alternatief ontwikkeld: level 3 met baangebonden treindetectie (level 3 btd). Bij deze variant maken de daarvoor geschikte treinen gebruik van de level 3 functionaliteit vanuit het walsysteem en de niet geschikte treinen maken nog gebruik van een deel van de huidige systemen.

Het einddoel is ongeacht of op korte termijn level 2 puur¹ of level 3 btd wordt ingevoerd om uiteindelijk volledig over te schakelen naar level 3. De vraag welke invoeringsstrategie het meest efficiënt is, is onderwerp van dit afstudeeronderzoek.

Leeswijzer: Hoofdstuk 2 behandelt de doelstelling en (technische) achtergronden en geeft een afbakening. In hoofdstuk 3 wordt de doelstelling geformuleerd en nadat de hoofd en deelvragen opgesteld zijn volgt een uiteenzetting van de onderzoeksopzet. De deelvragen worden elk in een opvolgend hoofdstuk beantwoord. Hoofdstuk 4 beschrijft alle ombouwstappen in detail, waarna in hoofdstuk 5 alle kosten worden afgeleid. In hoofdstuk 6 wordt beschreven hoe opbrengsten van de systemsprong bepaald kunnen worden, waarna in hoofdstuk 7 een model ontwikkeld wordt waarmee de kosten en opbrengsten op de juiste manier verrekend worden. In hoofdstuk 8 wordt dit alles toegepast op het studie gebied: Almere. Deze toepassing wordt in hoofdstuk 9 uitgebreid door te onderzoeken wat de resultaten zijn als het model op andere typen spoorlijnen in het land wordt toegepast. Nadat in hoofdstuk 10 enkele veiligheidsaspecten zijn besproken wordt in hoofdstuk 11, de conclusie, de hoofdvraag beantwoord. Bijlage 1 bevat een lijst met veelgebruikte afkortingen.

¹ De basisvormen van ERTMS worden soms aangeduid als 'level x puur' ter onderscheiding van varianten op bijvoorbeeld level 2 zoals level 2 overlay.

2

Projectcontext

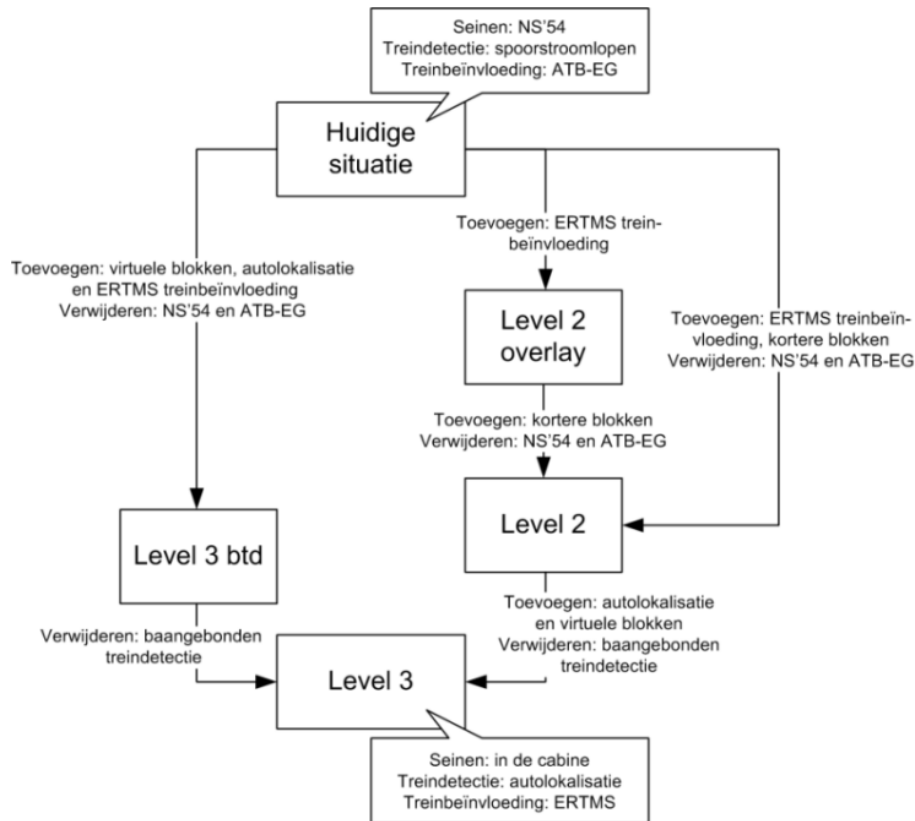
Het doel “ERTMS invoeren” kan langs verschillende routes bereikt worden. Paragraaf 2.1 van dit hoofdstuk beschrijft de doelen van dit onderzoek. Paragraaf 2.2 geeft een toelichting op de technische achtergronden van de verschillende tussenstappen in elke invoeringsstrategie. De politieke achtergronden die van invloed zijn op de invoeringsstrategieën komen aan bod in de krachtenveld analyse van paragraaf 2.3. Een verdere afbakening van dit onderzoek wordt gegeven in paragraaf 2.4.

2.1 DOELEN

Er is in de spoorbranche overeenstemming over de voordelen die ERTMS biedt ten opzichte van het huidige beveiligingssysteem. Er is daarom een wens om het hele Nederlandse spoorwegnet om te bouwen, maar dat kost veel geld. Keuzes die nog gemaakt moeten worden zijn bijvoorbeeld: wordt tijdens de migratieperiode de vloot of de baan (gedeeltelijk) dubbel uitgerust, en worden eerst de rustige of juist eerst de drukste trajecten omgebouwd (Ministerie van Infrastructuur en Milieu, 2013). Welke manier het efficiëntst is, is nog onduidelijk. Naast de kosten zijn er ook eisen ten aanzien van de gewenste capaciteit en veiligheidsniveaus.

Er is in Nederland al enige ervaring met het ombouwen van een bestaande spoorlijn. Op de verbinding Amsterdam – Utrecht is level 2 overlay gebouwd (Zweers, et al., 2011) (zie paragraaf 2.2 voor een beschrijving van alle varianten). Hier worden op het moment van schrijven testritten uitgevoerd. De meest waarschijnlijke eerste invoering van ERTMS waarbij de functionaliteit ook echt benut moet gaan worden vanwege de toenemende capaciteitsvraag wordt de OV SAAL (Openbaar Vervoer - Schiphol – Amsterdam – Almere – Lelystad) verbinding. Nog dit jaar moet hiervoor kennis beschikbaar zijn om een besluit te kunnen gaan nemen (Mansveld, 2013).

Figuur 1 laat de drie invoeringsstrategieën zien die in dit onderzoek vergeleken worden. Rechts staan twee invoeringsstrategieën via level 2, waarvan één met als extra tussenstap level 2 overlay. De derde invoeringsstrategie (links) gaat via level 3 btd naar level 3 zoals ontwikkeld door Arcadis. Het doel van deze studie is een indicatie geven van de verhouding van level 3 btd ten opzichte van de initiële plannen op het gebied van capaciteit en financiën.



Figuur 1: Drie invoeringsstrategieën.

2.2 TECHNISCHE ACHTERGRONDEN

De gewenste capaciteitsverhoging en de lagere rijtijden bij de verschillende ERTMS varianten komen tot stand door het veranderen van de gebruikte deelsystemen. Welke invloed dit heeft en waarom wordt in deze paragraaf behandeld voor de in figuur 1 vertegenwoordigde systemen: De huidige situatie, ERTMS level 2 overlay, level 2, level 3 btd en level 3.

Het grootste verschil zit in drie belangrijke componenten van de treinbeveiligings- en beïnvloedingssystemen: 1) de seinen om de machinisten rijtoestemming en snelheidsinformatie te geven, 2) de treindetectie-systemen om te controleren dat er geen trein in een blok aanwezig is en 3) een beïnvloedingssysteem dat de trein automatisch stilzet wanneer de machinist de door de seinen gegeven opdrachten niet uitvoert. De voor deze componenten gebruikte systemen in de huidige situatie en na invoering van ERTMS zijn weergegeven in tabel 1.

Tabel 1: Treinbeveiligings- en beïnvloedingssystemen voor de huidige situatie en bij ERTMS levels 2 en 3.












	Huidige situatie	ERTMS level 2	ERTMS level 3
Seinen	Langs de baan (NS'54)	In de cabine	In de cabine
Treindetectie	Spoorstroomlopen	Spoorstroomlopen/Assentellers	Autolokalisatie
Treinbeïnvloeding	ATB-EG	ETCS	ETCS

In de volgende sub paragrafen wordt voor elk blok uit figuur 1 besproken welke procedures er gelden en wat de voor en nadelen zijn. Voor elke situatie wordt de opvolging weergegeven en een snelheids-profiel getoond. Beiden zijn belangrijk voor de capaciteitsbepaling. Het snelheidsdiagram is ook voor de rijtijdberekening van belang.

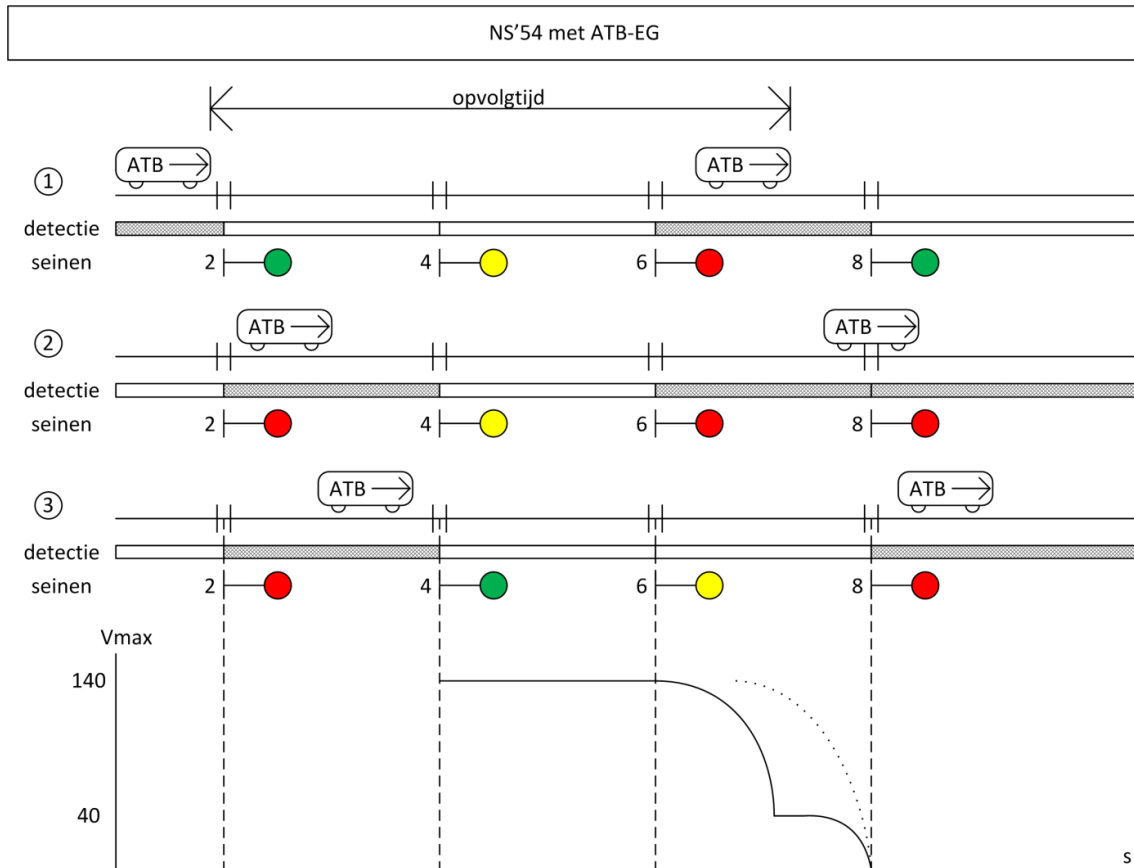
2.2.1 HUIDIGE SITUATIE / NS'54 MET ATB-EG

Door de hoge snelheid, grote massa en geringe grip heeft een trein een remweg die langer is dan de zichtafstand van de machinist. Om te voorkomen dat treinen achterop elkaar rijden of frontaal botsen is het spoor opgedeeld in blokken (blokstelsel). Als er een trein in een blok staat is het niet toegestaan dat er nog een trein dat blok inrijdt. Het sein voor het bezette blok toont daartoe rood. Behalve een bezet blok kan er ook een trein uit de andere richting komen of kunnen er andere rijwegen via dat blok zijn ingesteld. Door de lange remweg moet de machinist op tijd gewaarschuwd worden voor een rood sein, dit gebeurt door het voorgaande sein geel te laten tonen. Het sein daarvoor mag wel groen tonen. Een typische seinafstand is even lang als de afstand nodig voor een 140-0 remming (1100m) (ProRail, 2005), in de praktijk komt het voor dat seinen veel verder uit elkaar staan. Moderne (reizigers-) treinen kunnen harder remmen en hebben daardoor een kortere remweg dan de voorgeschreven seinafstand voor een dergelijke remming. Het huidige treinbeïnvloedingsstelsel verplicht de machinist echter om al direct na het gele sein te gaan remmen (zie de grafiek bij de onderste situatie in figuur 3), terwijl dit voor moderne reizigerstreinen eigenlijk niet nodig is om nog op tijd tot stilstand te komen voor een rood sein (deze krachtigere remming is in figuur 3 met een stippelijntje weergegeven). Onnodig vroeg beginnen met remmen is nadelig voor de capaciteit omdat de gemiddelde snelheid van de trein daardoor lager is en zodoende het blok langer bezet blijft.

In figuur 3 wordt de opvolging geïllustreerd bij het huidige seinstelsel. In het bovenste plaatje komt de achterste trein een groen sein (2) tegen, waardoor deze trein op volle snelheid achter de eerste trein aan mag rijden. In het tweede plaatje rijdt de achterste trein op een geel sein (4) af, na dit sein moet deze trein gaan remmen omdat het volgende sein (6) op rood staat omdat het blok daarachter nog bezet is. De voorste trein rijdt juist dit blok uit waardoor ook het sein (4) voor de achterste trein een beter seinbeeld gaat tonen. Op het moment dat de achterste trein bij dit sein (4) aankomt (plaatje 3) staat het op groen en kan deze trein dus toch op volle snelheid doorrijden. De achterste trein kan dus niet dichterbij de voorste trein aanrijden. Als de achterste trein toch dichterbij komt, komt deze een geel sein tegen en moet de snelheid verlaagd worden waardoor de afstand weer groter wordt. De minimale opvolgtijd is daardoor de lengte van de voorste trein plus twee blok lengten. Hierbij moet opgemerkt worden dat in de praktijk niet alle blokken even lang zijn en dat dus de langste combinatie van twee opeenvolgende blokken maatgevend is.

Legenda			
Fysieke blokgrens		Rijtoestemming	
Virtuele blokgrens		Remweg	
Bezet spoor		ATB trein	
Niet-bezet spoor		ERTMS trein	
Stop		Integere trein	
Snelheid begrenzen		Niet-integere trein	
Voorbijrijden toegestaan			

Figuur 2: Legenda voor figuren 3 t/m 7.



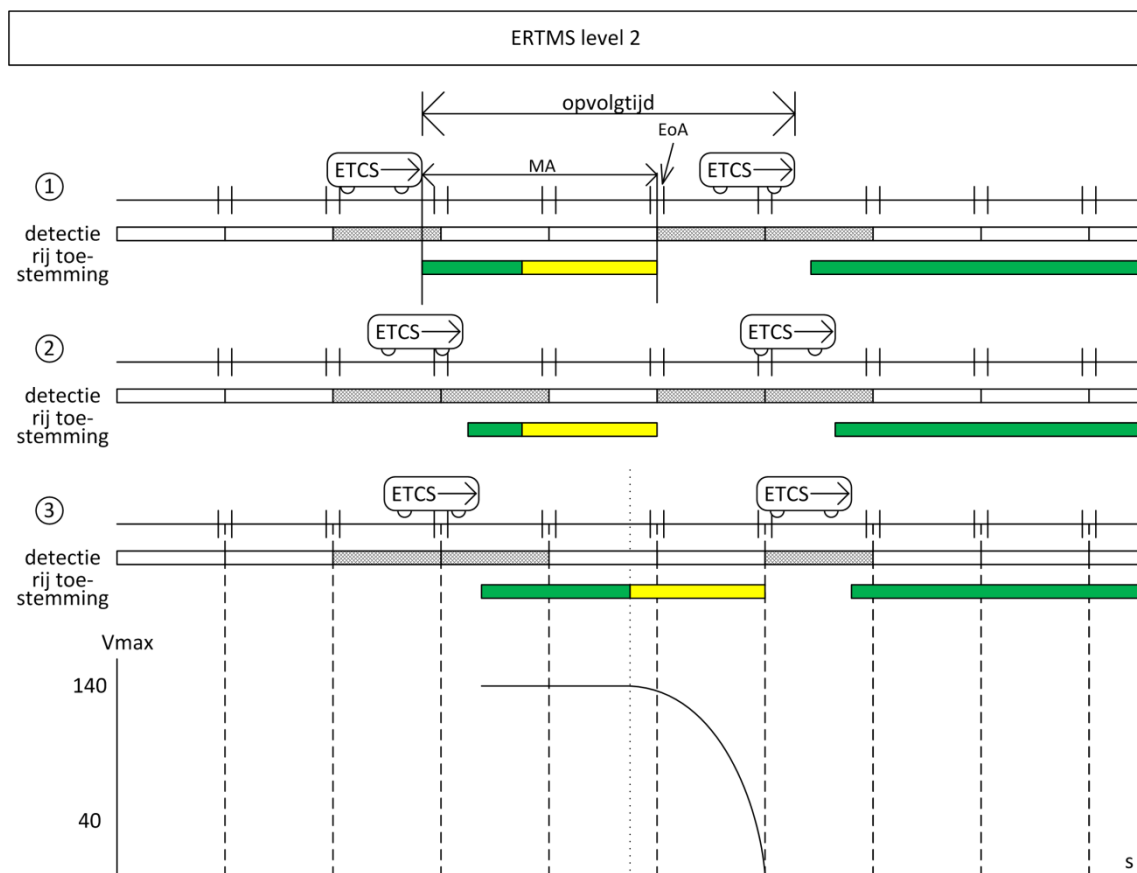
Figuur 3: Seinopvolging in de huidige situatie (NS'54 seinstelsel met ATB-EG). Voor de onderste opvolging is tevens het snelheidsprofiel van de achterste trein weergegeven. Gestippeld daarin de eigenlijke remcapaciteit van een moderne reizigerstrein.

Er zijn mogelijkheden om met het huidige seinstelsel de treinen dichter achter elkaar te laten rijden. Een kortere opvolging is mogelijk door extra seinen te plaatsen: blok verkorting, seinverdichting of kort volgen genaamd. Hierbij worden extra seinen halverwege de blokken gezet. Omdat de remweg van de treinen hierdoor twee halve blokken beslaat zijn er nieuwe seinbeelden nodig. Nadelen van seinverdichting zijn de aanschaf en onderhoud van extra seinen en het moeten aanpassen van de achterliggende beveiligingssystemen. Kortere blokken zijn soms niet mogelijk door bestaande restricties m.b.t. zichtbaarheid van seinen en andere plaatsingsrestricties zoals wissels en bovenleidingconstructies. Bovendien geldt bij kort volgen nog steeds dat voor het bepalen van de remweg wordt uitgegaan van de slechtst remmende trein terwijl moderne reizigerstreinen zoals eerder gezegd sneller kunnen stoppen.

Het gebruik van seinen langs de baan heeft een aantal nadelen: De seinen kunnen niet altijd zodanig geplaatst worden zodat er een zo hoog mogelijke capaciteit ontstaat, omdat er rekening gehouden moet worden met de zichtbaarheid en bovendien kunnen seinen maar een beperkte hoeveelheid informatie doorgeven. Ook de andere systemen die in de huidige situatie gebruikt worden (tabel 1) hebben belangrijke nadelen. De spoorstroomlopen (detectie in figuur 3) zijn storingsgevoelig en het onderhoud is duur. ATB-EG (Automatische Trein Beïnvloeding - Eerste Generatie) kan de snelheid slechts tussen een beperkt aantal snelheidsstappen bewaken en onder de 40 km/h is er, zonder aanvullende systemen zoals ATB-Vv (ATB - Verbeterde Versie), geen controle mogelijk. Deze tekortkomingen kunnen opgelost worden met de systemen die voor ERTMS gebruikt worden.

2.2.2 ERTMS LEVEL 2

Level 2 biedt waar het op de opvolging en capaciteit aankomt op twee punten voordeel ten opzichte van de huidige situatie. Door de cabine signalering zijn remafstand en bloklengthe niet meer aan elkaar gerelateerd. Er kunnen hierdoor veel kortere blokken toegepast worden waardoor de capaciteit toeneemt. Figuur 4 laat net als figuur 3 twee treinen zien die achter elkaar aanrijden. Elke trein heeft een rijtoestemming (Movement Authority (MA)) tot een bepaald punt (End of Authority (EoA)). Op remwegafstand voor dit punt moet begonnen worden met remmen, dit is in figuur 4 weergegeven met een geel balkje. Tot het beginpunt van de remming mag de trein op volle snelheid doorrijden, weergegeven met een groen balkje. Op het informatiescherm in de cabine ziet de machinist tot hoe ver zijn rijtoestemming gaat en waar hij moet beginnen met remmen. De minimale opvolgtijd wordt nu bepaald door de treinlengte plus de remwegafstand plus een bloklengthe. Omdat de remwegafstand en de blokken korter zijn dan in de huidige situatie neemt de capaciteit toe.



Figuur 4: Opvolging onder level 2.

De remweg kan per trein worden ingesteld, afhankelijk van de karakteristieken van die trein. Hierdoor begint de trein op een zo laat mogelijk moment te remmen (uitgesteld remmen) waardoor de gemiddelde snelheid dus zo hoog mogelijk blijft. Het spoor blijft minder lang bezet en de trein is sneller op zijn bestemming.

Van de systemen genoemd in tabel 1 zijn bij ERTMS ook treindetectie en treinbeïnvloeding veranderd. Voor de detectie kunnen nu assentellers gebruikt worden. Deze hebben als voordeel ten opzichte van spoorstroomlopen dat ze eenvoudiger te plaatsen zijn en daardoor beter geschikt zijn voor het gebruik bij korte blokken. Assentellers kunnen aan de spoorstaaf bevestigd worden, voor spoorstroomlopen moet de

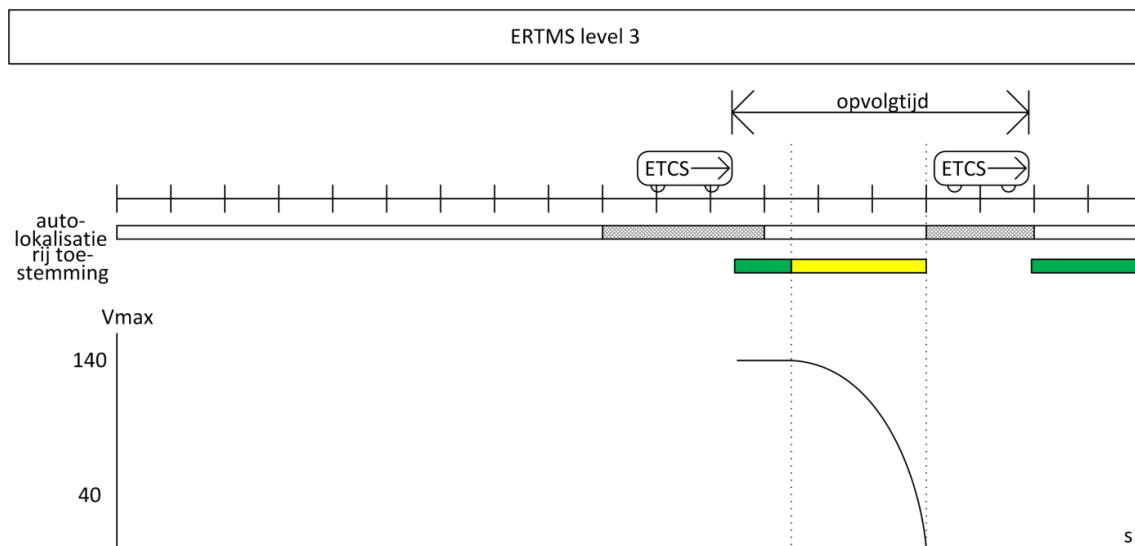
spoorstaaf doorgezaagd worden en vervolgens met een elektrische scheiding ertussen (ES-las) weer aan elkaar gezet worden.

De nieuwe ETCS² treinbeïnvloeding biedt ook een betere veiligheid omdat de snelheid tot en met 0 km/h bewaakt wordt. Hierboven wordt de snelheid bewaakt in stappen van 5 km/h waardoor een nauwkeurigere snelheidsbewaking mogelijk is dan onder ATB. Bovendien zijn maximum snelheden hoger dan 140 km/h mogelijk. Bij deze hogere snelheden wordt het voor een mens moeilijker om de seinen langs de baan betrouwbaar af te lezen, daarom wordt op hogesnelheidslijnen ERTMS level 2 toegepast omdat dit systemen gebruik maakt van cabine signalering.

Om uitgesteld remmen mogelijk te maken moet de trein steeds exact weten wat zijn positie is en wat de afstand tot de EoA is. Voor de positiebepaling worden er transponders in het spoor geplaatst, zogenaamde balises, die hun eigen positie aan de passerende trein doorgeven. De positie tussen de balises wordt uitgerekend door het aantal wielomwentelingen te vermenigvuldigen met de wielomtrek (odometrie meting). Met de via het GSM-R netwerk ontvangen MA kan de trein nu zelf uitrekenen waar begonnen moet worden met remmen.

2.2.3 ERTMS LEVEL 3

In theorie kan in level 3 gebruik gemaakt worden van bewegende blokken, in de praktijk komt dit neer op het gebruik maken van heel korte virtuele blokken. Met bewegende blokken kunnen treinen op remwegafstand achter elkaar aan rijden waardoor de capaciteit nog verder toe neemt ten opzichte van level 2. Afhankelijk van de capaciteitsbehoefte kunnen deze virtuele blokken langer (>1000m) of korter (50m) zijn. Er wordt steeds een rijtoestemming tot een virtuele blok grens gegeven. De minimale opvolgtijd wordt zodoende net als bij level 2 bepaald door de treinlengte plus de remwegafstand plus een blok lengte. Omdat de blok lengte korter is dan bij level 2 neemt de capaciteit toe: vergelijk figuur 5 met figuur 4.



Figuur 5: Opvolging onder level 3. In theorie bewegend blok, in de praktijk korte virtuele blokken.

² Strikt genomen bestaat ERTMS uit drie delen: 1. Het GSM-R communicatie netwerk voor spraak en data overdracht. 2. Het ETCS (European Train Control System) systeem dat het eigenlijke seinsysteem vormt. In dit verslag worden met ETCS uitgeruste treinen ook wel als ERTMS treinen aangeduid. 3. Het ETML (European Traffic Management Layer) systeem dat gebruikt kan worden voor het optimaliseren van de treindienst door geautomatiseerde aansturing.

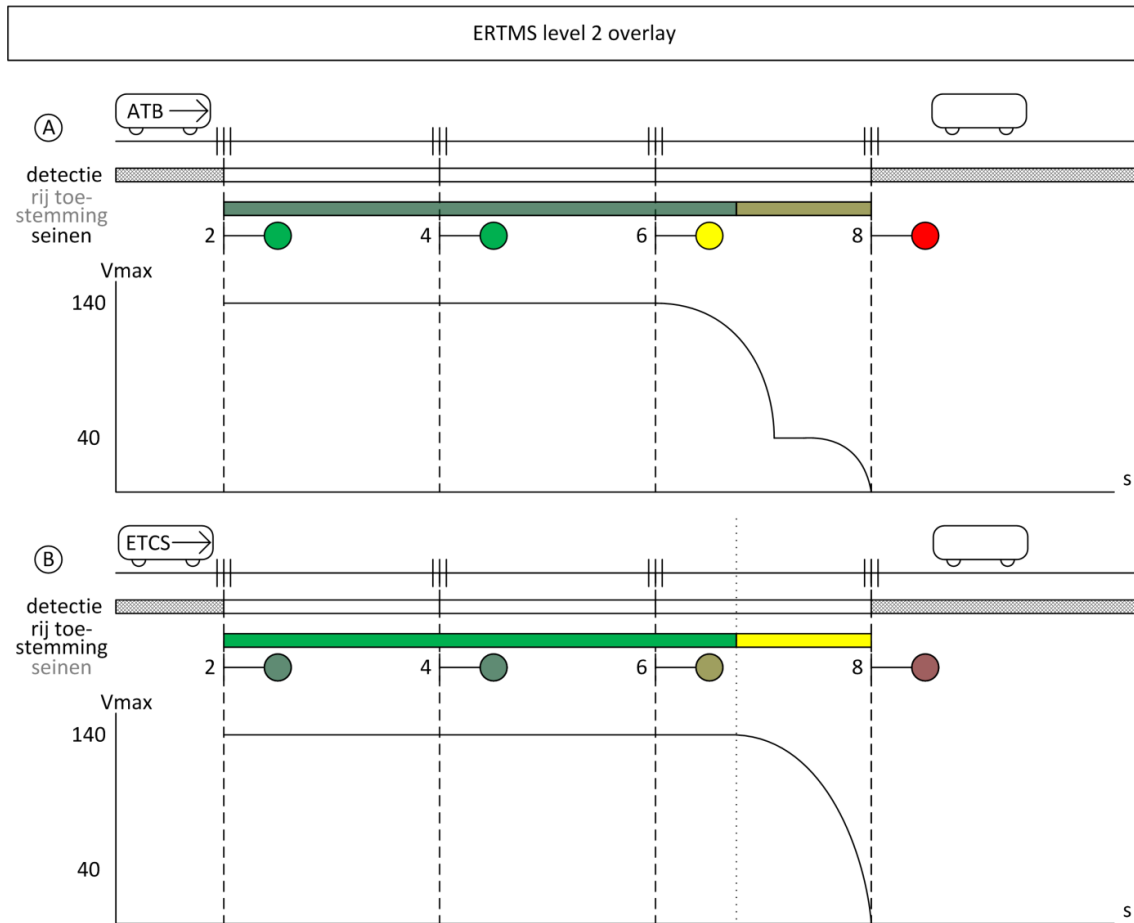
Heel korte blokken worden mogelijk door autolokalisatie: de trein geeft zelf zijn positie door aan het walsysteem. Bij autolokalisatie meet de trein zelf welke afstand er is afgelegd via odometrie meting welke wordt gekalibreerd wanneer de trein een balise in het spoor passeert die de exacte locatie aan de trein doorgeeft. Er is voor level 3 dus geen baangebonden treindetectie meer nodig (tabel 1), wat scheelt in de onderhoudskosten en storingsgevoeligheid. Immers als er minder systemen zijn kunnen er ook minder systemen storen.

Level 3 is uiteindelijk het gewenste systeem. Op dit moment zijn er echter nog een aantal belemmeringen die voorkomen dat level 3 zonder meer kan worden ingevoerd in heel Nederland. Bij level 3 geeft de trein zelf zijn positie en lengte door. Het is van het grootste belang dat deze informatie altijd klopt en beschikbaar is. De informatie over de lengte van de trein kan op dit moment nog niet gegarandeerd worden voor alle treinen, dit zijn de zogenaamde niet-integere treinen. Doordat het ERTMS systeem in de cabine bij de machinist is ingebouwd kan het systeem niet controleren of de trein een wagon verliest. Wanneer dit gebeurt en onopgemerkt blijft ontstaat er een ontoelaatbaar groot risico voor het overige treinverkeer. Het huidige systeem met baangebonden treindetectie kan deze situatie wel opmerken. De verloren wagon zorgt er door het kortsluiten van de stroomkring van de spoorstroomloop voor dat het spoor bezet gemeld blijft. Wanneer assentellers gebruikt worden telt het systeem minder uitgaande dan ingaande assen en zal het spoor dus ook bezet gemeld blijven. Bij level 3 zal de trein op elk moment bewaakt moeten worden op compleetheid. Bij aangetoonde compleetheid is de trein "integer".

2.2.4 ERTMS LEVEL 2 OVERLAY

Level 2 overlay combineert level 2 met de huidige systemen. Naast de bestaande seinen worden balises geplaatst die vaste informatie over het spoor naar de trein zenden. Via GSM-R worden er rijtoestemmingen verzonden die corresponderen met de seinbeelden langs het spoor. Figuur 6 laat zien dat het verschil voor ATB en ERTMS treinen in de remming zit. Een ATB trein wordt door het ATB systeem gedwongen direct na het gele sein (6) te gaan remmen (plaatje A), terwijl een ERTMS trein pas op remwegafstand van het rode sein (8) hoeft te gaan remmen (plaatje B).

De huidige blokindeling wordt gebruikt om kosten te besparen, er zijn dan geen aanpassingen aan de treindetectie vereist. Omdat het ATB systeem in dienst blijft kan er niet van spoorstroomlopen naar assentellers overgeschakeld worden. Met het gebruik van de huidige blokindeling is het enige capaciteitsvoordeel dat ERTMS treinen ervaren het uitgesteld remmen. De veiligheid neemt toe naar mate er meer ERTMS treinen rijden omdat ERTMS de snelheid tot en met 0 km/h bewaakt. In tegenstelling tot ATB-EG waarbij het mogelijk is met minder dan 40 km/h een rood sein te passeren.

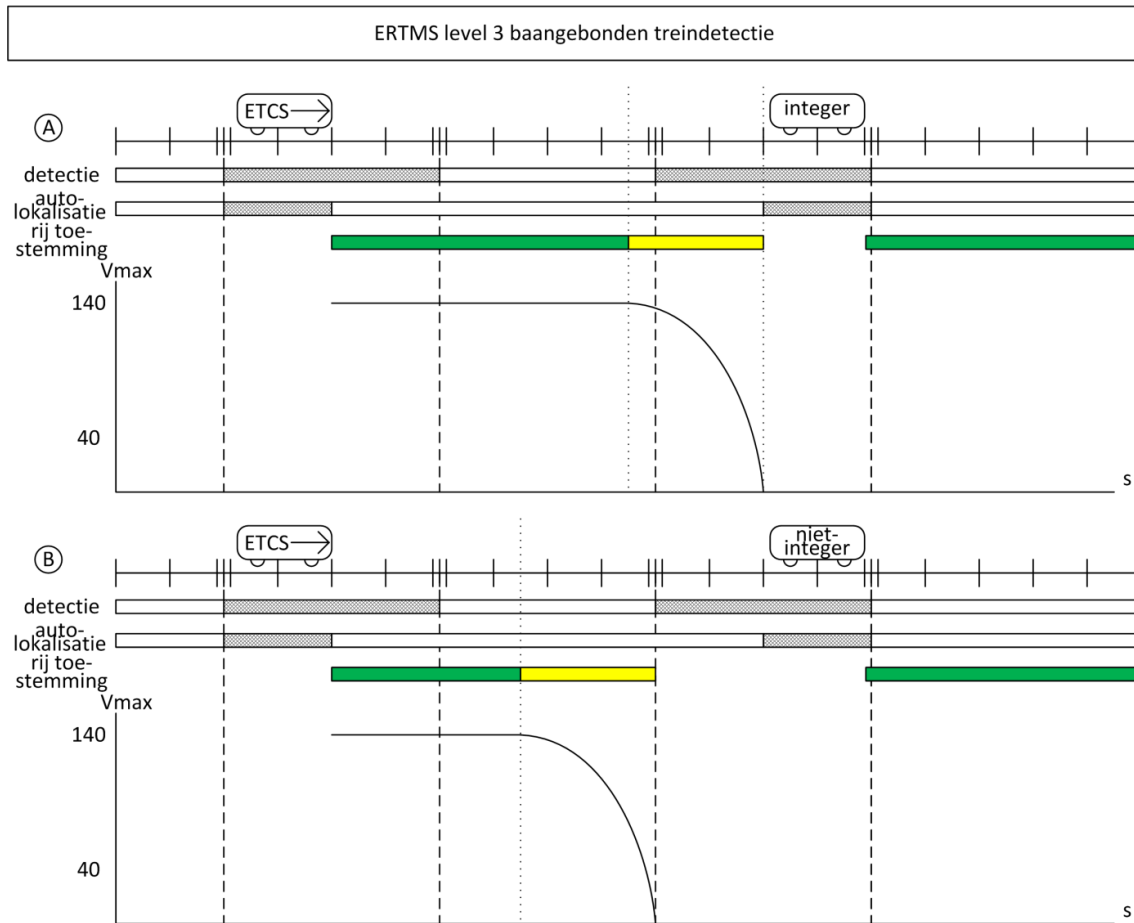


Figuur 6: Afhankelijk van het beïnvloedingssysteem in de trein kan de tweede trein korter of langer met de maximaal toegestane snelheid doorrijden.

2.2.5 ERTMS LEVEL 3 BAANGEBONDEN TREINDETECTIE

In veel gevallen hoeft de bewaking van de treinintegriteit geen probleem te zijn. Veel treinen kunnen namelijk niet ongemerkt een wagon verliezen zonder dat de techniek aan boord van de trein dat signaleert of ingrijpt. Dit zijn de zogenaamde integere treinen. Wanneer een reizigerstrein een deel verliest remt de hele trein automatisch (Treinreiziger.nl, 2012). Met dit gegeven in het achterhoofd stelt Arcadis voor om in de periode totdat er een betrouwbare trein integriteitscontrole mogelijk is, een variant op level 3 in te voeren. Dit nieuwe systeem, level 3 baangebonden treindetectie of bestaande treindetectie (btd) genaamd, gebruikt alle ERTMS level 3 componenten (tabel 1) voor de integere treinen en gebruikt om het integriteitsprobleem van level 3 op te lossen de huidige treindetectie voor niet-integere treinen, zoals goederentreinen. Van de huidige systemen blijft dan alleen de baangebonden treindetectie in bedrijf om de niet-integere treinen te volgen. De NS'54 seinen en de ATB-EG apparatuur kunnen verwijderd worden omdat ook de niet-integere treinen zonder problemen de ERTMS equivalenten van deze systemen kunnen gebruiken.

Schematisch ziet dit eruit zoals in figuur 7: Wanneer de voorste trein integer is krijgt de achterste trein een rijtoestemming tot en met het eerste vrije virtuele blok achter de voorste trein, net zoals bij level 3 (plaatje A). Wanneer de voorste trein niet-integer is krijgt de achterste trein slechts een rijtoestemming tot en met het eerste vrije fysieke blok achter trein 1 (plaatje B). De integriteitsstatus van de achterste trein is niet van belang voor de opvolging ten opzichte van de trein daarvoor.



Figuur 7: Afhankelijk van de integriteitsstatus van de voorste trein kan de tweede trein er dichterbij of verder vanaf rijden.

Figuur 1 laat zien dat er bij deze door Arcadis voorgestelde invoeringsstrategie via level 3 btd geen blokverkortening toegepast hoeft te worden. Blokverkortening betekent de huidige fysieke blokindeling aanpassen naar een indeling met kortere blokken, wat resulteert in aanpassing of installatie van baangebonden treindetectie systemen (spoorstroomlopen of assentellers). Dit kunnen spoorstroomlopen maar ook assentellers zijn omdat er geen ATB signaal meer verzonden hoeft te worden.

2.3 KRACHTENVELD ANALYSE

Bij de invoering van ERTMS in Nederland zijn veel partijen betrokken. Op dit moment van besluitvorming zijn, zowel in algemene zin als specifiek voor de OV SAAL verbinding, de drie belangrijkste partijen: Het ministerie van Infrastructuur en Milieu, NS en ProRail. Andere partijen die met de veranderingen te maken krijgen zijn de goederenvervoerders, de regionale reizigersvervoerders, leveranciers en ingenieursbureaus.

Het ministerie, de NS en ProRail zijn geraadpleegd middels interviews met respectievelijk Ronald van der Meijs (IenM), Arjan Kal (NS), Ed Siemonsma (NS), Henri van Houten (ProRail) en Frits van der Laan (ProRail). Het doel van deze gesprekken was inzicht verkrijgen in de verwachtingen die deze partijen hebben van ERTMS en van elkaar. Om goed de verschillen en overeenkomsten van inzichten weer te geven zijn een aantal vragen aan beide partijen gesteld. Verder zijn er vragen gesteld met betrekking tot verwachte invoeringstermijnen van ERTMS levels op de OV SAAL corridor (ministerie van IenM), van ETCS in de treinen (NS) en de ontwikkelingen op het gebied van GSM-R (ProRail). Tevens is er gesproken over de onderzoeksopzet, de resultaten hiervan komen aan bod in paragraaf 7.4.

2.3.1 MINISTERIE VAN INFRASTRUCTUUR EN MILIEU

De doelstellingen van het ministerie met ERTMS worden beschreven in de Railmap ERTMS - Versie 1.0 (Ministerie van Infrastructuur en Milieu, 2013). Het ministerie stelt dat ERTMS voordelen biedt op het gebied van veiligheid en interoperabiliteit en mogelijk kan bijdragen aan een hogere capaciteit, snelheid en betrouwbaarheid. Op het Nederlands spoor, dat intensiever gebruikt wordt dan waarvoor het oorspronkelijk ontworpen was, kan ERTMS een belangrijk middel zijn om ook de flexibiliteit, robuustheid en capaciteit van het spoorstelsel te laten toenemen. ERTMS is echter geen doel op zich voor het ministerie van IenM. Onderstaande tekst is gebaseerd op een gesprek met Ronald van der Meijs en heeft betrekking op de OV SAAL corridor.

Verwachtingen ERTMS

In het kader van de Railmap is het ministerie van Infrastructuur en Milieu op dit moment bezig met het bepalen van een strategie voor het invoeren van ERTMS in Nederland. Daarbij worden net als in dit afstudeeronderzoek verschillende varianten met elkaar vergeleken. In deze vergelijkingen wordt onder meer gekeken naar kosteneffectiviteit. Hierbij wordt ook rekening gehouden met de levenscyclus van de bestaande systemen en de vervangingsopgave. Het onderzoek van de varianten moet antwoord geven op de vraag welk invoeringsscenario de voorkeur krijgt. Een invoeringsscenario wordt bepaald door het *Wat* (welke verschijningsvorm sluit het beste aan bij de beoogde doelen, bijvoorbeeld welk level van ERTMS), het *Waar* (locatie, trajecten of typologie van netwerkdelen waar het wordt toegepast), het *Wanneer* (het moment van toepassen) en het *Hoe* (de uitrol- en migratiestrategie).

Welke ERTMS variant het einddoel is staat voor het ministerie nog niet vast. Hierbij spelen vele factoren een rol. Daartoe is een beoordelingskader opgesteld. De mogelijkheden van de daadwerkelijk te bereiken capaciteitsvoordelen van de verschillende levels en ook de kosteneffectiviteitswens zijn daarbij belangrijke onderwerpen.

Voor de OV SAAL verbinding wordt ingezet op ERTMS omdat dit kan leiden tot een aanzienlijke verbetering van de kwaliteit van de dienstregeling in de SAAL-corridor en voor het toekomstige hoogfrequent spoorvervoer in deze corridor zelfs randvoorwaardelijk is.

Relatie met anderen

ProRail is als infrastructuurbeheerder een belangrijke partij voor het ministerie. Als grootste reizigersvervoerder is de NS een andere belangrijke partij maar ook de regionale vervoerders worden goed betrokken.

Ook de goederenvervoerders worden door het ministerie als belangrijke partij beschouwd. Zij hebben veelal al met ERTMS uitgeruste locomotieven voor het rijden op onder andere de Betuweroute en kunnen daarmee ook op andere baanvakken onder ERTMS rijden.

Voor de Railmap 1.0 heeft voornamelijk overleg plaatsgevonden tussen het ministerie van IenM, de NS en ProRail. In deze samenwerking heeft elke partij zijn eigen wettelijke verantwoordelijkheden. Hoe de financiering van de activiteiten die deze partijen moeten uitvoeren vorm gaat krijgen zal in het kader van de Railmap verder uitgewerkt worden en onder andere afhangen van de geplande invoeringssnelheid.

De beslissing tot invoering van ERTMS (wat, waar, wanneer en hoe) wordt uiteindelijk genomen door het ministerie maar na uitgebreid overleg en zoveel mogelijk overeenstemming met alle andere betrokken partijen via de Railmap. In de brief van de staatsecretaris van Infrastructuur en Milieu van 5 april 2013

wordt aangegeven dat voor het oplossen van de knelpunten op de OV SAAL-verbinding rekening gehouden wordt met de mogelijkheden die ERTMS biedt.

De voor OV SAAL voorgestelde frequentieverhoging blijft in principe de verantwoordelijkheid van de vervoerder. De NS kan een eigen kosten/baten afweging maken en inschatten met hoeveel treinen hoeveel reizigers vervoerd kunnen worden waarbij de kosten van extra treinen opwegen tegen de baten van extra inkomsten uit hogere kaartverkoop.

Verwachting termijnen

Wat de dienstregeling betreft verwacht het ministerie op dit moment niet dat er omwille van de vervoercapaciteit voor 2030 een 6/6/6³ dienstregeling gereden zal moeten gaan worden. Er kunnen wel andere overwegingen (zoals kwaliteit) zijn dit toch te doen.

ERTMS is weliswaar een voorwaarde voor de frequentieverhoging maar ook in de periode voorafgaand aan de frequentie verhoging zal de invoering van ERTMS de kwaliteit van de huidige dienstregeling kunnen verbeteren. Derhalve zou invoering van ERTMS op een wijze die tot extra capaciteit leidt al op korte termijn zeer wenselijk zijn.

Op basis van verkennend onderzoek voor SAAL is vooralsnog level 2 puur als uitgangspunt gekozen omdat hiermee al de meeste ervaring is opgedaan en daarmee naar verwachting voldoende capaciteitsvergroting voor de frequentieverhoging kan worden geboden. Level 3 kan ook een optie zijn, wanneer dit nodig is vanuit capaciteitsoogpunt, en dit beschikbaar is op het moment dat een frequentieverhoging aanstaande is.

Level 3 met baangebonden treindetectie (btd) kan op dit punt interessant zijn omdat daarmee mogelijk een aantal vraagpunten rondom level 3 kunnen worden gepareerd en ten opzichte van level 2 meteen al een hogere capaciteit tegen eventueel relatief lagere (onderhouds)kosten kan worden geboden.

De definitieve uitwerking en planning zal in nauwe samenhang met de ERTMS-Railmap gebeuren waarbij ook de uitkomsten van de verschillende pilotprojecten betrokken kunnen worden.

2.3.2 NEDERLANDSE SPOORWEGEN

De belangrijkste doelstellingen van de NS worden in het jaarverslag (NS, 2013) omschreven als Bijdragen aan de (sociale) veiligheid, Op tijd rijden, Informatie verstrekken en service verlenen, Voldoende vervoerscapaciteit creëren en Zorgen voor schone treinen en stations. Voor het vergroten van de spoorwegveiligheid wordt in het jaarverslag genoemd het invoeren van ATB-Vv en op de lange termijn het invoeren van ERTMS. Een pilot ERTMS zal binnenkort uitgevoerd worden tussen Amsterdam en Utrecht. Onderstaande tekst is gebaseerd op een gesprek met Arjan Kal en Ed Siemonsma.

³ 6/6/6 duidt een dienstregeling aan waarbij in het geval van OV SAAL per uur 6 intercity's en 6 sprinters tussen Almere en Amsterdam Zuid rijden (mogelijk rijden een aantal sprinters naar Amsterdam Centraal in plaats van Amsterdam Zuid) plus 4 intercity's Almere – Amsterdam Centraal en 2 sprinters Almere – Utrecht.

Verwachtingen ERTMS

De essentie van de invoering van ERTMS moet zijn dat het een nieuw, beter en goedkoper systeem is. Doordat het wereldwijd wordt toegepast zijn onderdelen en kennis op een wereldmarkt beschikbaar wat gunstig is voor de prijs en beschikbaarheid.

Een aantal systeemvoordelen zullen moeten worden benut om de genoemde doelstellingen te realiseren, maar er moeten geen verwachtingen worden geschept door allerlei afgeleide voordelen voor te stellen die afhankelijk zijn van de uitvoering van andere projecten.

Een van de voordelen die de NS wil benutten is de mogelijkheid tot het rijden met hogere snelheden. Welke snelheid is nog niet bekend maar ERTMS biedt deze mogelijkheid wel, in tegenstelling tot ATB dat geen snelheden boven de 140 km/h toestaat. Een mogelijk voorstel is om, na invoering van level 2 overlay, eerst de sprinters van ERTMS te voorzien zodat deze harder kunnen gaan rijden dan de intercity's die langer onder ATB blijven rijden. Dit is alleen nuttig waar de stationsafstand het toelaat dat de sprinter de maximum snelheid bereikt. Wanneer dit het geval is kan de sprinter de tijd die verloren gaat bij elke stop (deels) goedmaken door harder te rijden. De gemiddelde snelheid van de sprinter en intercity komt zo dicht bij elkaar te liggen waardoor een homogener beeld op het spoor ontstaat. Dit kan bijvoorbeeld op de Hanzelijn.

Ondanks deze voordelen verwacht de NS dat ERTMS niet de oplossing van alle capaciteitsproblemen is. Voor de voorgestelde OV SAAL dienstregelingen zal toch deels 4 sporigheid nodig zijn. De met ERTMS mogelijke korte inhalingen zijn te weinig flexibel: de inhalingen zijn gefixeerd op een beperkt aantal stations en wanneer de inhalende trein niet precies op tijd is heeft of de ingehaalde sprinter extra reistijdverlies of de intercity komt achter de sprinter terecht. Een compromis is een streng van haltes langs 4 sporen en op grotere afstanden zonder stations 2 sporigheid. ERTMS kan dan wel voordeel bieden bij het invoegen op de 2 sporige stukken. En daar kunnen de treinen, die dan ongeveer even snel rijden, door ERTMS dicht achter elkaar rijden, hetgeen effectief de capaciteit verhoogt.

De voorkeur van de NS gaat uit naar een invoeringsvariant die start met een overlay situatie. Dit wordt vooral ingegeven door de kosten van het ombouwen van treinen. Bovendien is elk treinstel tijdens het inbouwen van ETCS een aantal weken niet inzetbaar. Snelle materieelombouw heeft daarom grote gevolgen voor de beschikbaarheid van het materieel. Met overlay is het mogelijk de ombouw van treinen geleidelijker te laten verlopen en bijvoorbeeld te combineren met een mid-life onderhoudsbeurt.

De NS verwacht voor 2020 nog niet alle treinen van ERTMS voorzien te hebben. Echter voor 2020 moeten, volgens Europese afspraken, de trajecten Amsterdam – Meteren en Kijfhoek – Roosendaal grens al van ERTMS voorzien zijn. Omdat deze trajecten door vrijwel al het NS materieel worden gebruikt lost een overlay variant op deze routes dit faseringsprobleem op. Overlay wordt niet gezien als een "eindsituatie". Overlay biedt ook voordelen voor regionale vervoerders: wanneer op de regionale lijnen geen ERTMS ingevoerd wordt hoeven zij hun treinen niet om te bouwen en kunnen ze toch over het hoofdrailnet blijven rijden voor bijvoorbeeld overbrengingen van materieel. Er is bovendien nog geen STM⁴ voor ATB-NG, wat nodig zou zijn voor rijden over nog niet omgebouwde regionale lijnen met treinen die ook al over ERTMS beschikken.

⁴ Een STM (Specific Transmission Module) module maakt het mogelijk dat de ETCS computer de ATB signalen correct interpreteert.

Wat betreft de treinen die moeten worden omgebouwd zal er gekozen worden voor ERTMS met STM. Zulke treinen kunnen ook op niet ERTMS lijnen ingezet worden en voorkomt de vorming van deelparken in de treinenvloot. Overigens zijn de nieuwste sprinters makkelijker om te bouwen naar ERTMS omdat het treinen zijn die al op computeraansturingstechniek gebaseerd zijn. Dit past ook in bovengenoemd "onofficiële" idee om sprinters onder ERTMS sneller te laten rijden ten opzichte van de relatief oude intercity's die dan onder ATB blijven rijden.

Relatie met anderen

Na de problemen met ERTMS op de Betuweroute en op de HSL moet de invoering op het landelijke net probleemloos verlopen. De NS eist voldoende testtijd en de garantie dat er snel teruggeschakeld kan worden: Wanneer het op dag 1 niet werkt moet de volgende dag weer met het oude systeem gereden kunnen worden.

Een punt van zorg is het GSM-R netwerk. Het is relatief oude technologie en er is beter beschikbaar. Dit heeft gevolgen voor de keuze van de ERTMS apparatuur in de trein. Er wordt via 'OpenERTMS' gewerkt aan modulaire apparatuur, zodat bijvoorbeeld bij een wijziging in het communicatiesysteem alleen de GSM-R apparatuur door een ander type vervangen kan worden en niet de complete ERTMS module in de trein vervangen moet worden.

Voor het inbouwen van ERTMS in alle treinen verwacht de NS een vergoeding van het ministerie van Infrastructuur en Milieu. Ten tijde van de opening van de Betuweroute zijn er ook subsidies verleend voor het inbouwen van ERTMS in de locomotieven die daar dienst gingen doen.

Een ander aspect dat meespeelt is de restlevensduur van de huidige treinenvloot. ERTMS inbouwen in de oudste treinen is relatief duur omdat ze nog maar kort gebruikt zullen worden en omdat het inbouwen van deze systemen in oudere treinen moeilijker en waarschijnlijk ook duurder is. Er wordt overwogen deze treinen dan ook niet meer om te bouwen maar vervroegd af te schrijven. Het invoeren van overlay voorkomt deze kapitaalvernietiging.

Verwachting termijnen

Op de middellange termijn zal er gestart worden met een kwartierdienst met vanuit Almere per uur 4 intercity's en 2 sprinters naar Amsterdam Centraal en 4 intercity's en 2 sprinters naar Amsterdam Zuid en Schiphol. Met deze dienstregeling, ook wel 4/4/2/2 genoemd, vertrekken er vanuit Almere Centrum elk kwartier 2 intercity's en 1 sprinter. De 6/6/6 dienstregeling zal pas op de lange termijn ingevoerd worden.

2.3.3 PRORAIL

ProRail heeft vier strategische doelen geformuleerd (ProRail, 2013): Veilig spoor, Betrouwbaar spoor, Punctueel spoor en Duurzaam spoor. Deze doelstellingen zijn vertaald naar zeven verander opdrachten. De met betrekking tot ERTMS relevante daarvan zijn: Vergroten van de veiligheid en Capaciteit voor meer treinen. ERTMS kan een bijdrage leveren aan het verminderen van het aantal rood sein passages. Dit wordt echter niet expliciet genoemd. Wat betreft het vergroten van de capaciteit wordt ingezet op slimmer omgaan met bestaand spoor in plaats van grootschalige aanleg van nieuw spoor.

De aanleiding over te gaan tot invoering van ERTMS komt voort uit de conclusies en aanbevelingen van de Commissie Kijken. Daarop heeft het Ministerie van IenM besloten om ERTMS breder in te voeren. De doelstellingen met ERTMS zijn geformuleerd in de Railmap 1.0 en zijn: interoperabiliteit, veiligheid,

capaciteit, snelheid en betrouwbaarheid. Onderstaande tekst is gebaseerd op een gesprek met Henri van Houten en Frits van der Laan.

Verwachtingen ERTMS

In de Railmap 1.0 is reeds besloten dat wanneer ERTMS ingevoerd wordt een puur variant de voorkeur heeft. In vergelijking met een overlay variant zijn er dan minder systemen in dienst waardoor een puur variant goedkoper is. Er is echter nog niet besloten of level 1, 2 of 3 ingevoerd gaat worden en eventueel met welke tussenstappen. Wel is al besloten dat level 2 overlay niet grootschalig uitgerold zal worden.

Met het invoeren van level 2 puur op een bestaande spoorlijn is nog geen ervaring. Daarom is het aantrekkelijk tijdens de invoering steeds terugvalopties achter de hand te hebben. Dit zal niet de vorm krijgen van level 2 overlay maar per buitendienststelling zal er getracht worden zo om te bouwen dat er terug gegaan kan worden naar de beginsituatie door bijvoorbeeld niet onmiddellijk bestaande systemen te verwijderen. Of en hoe dit gerealiseerd kan worden is nog onderwerp van studie. Hoe er precies omgebouwd gaat worden zal beantwoord worden in de Railmap 2.0. Uitgangspunt hierbij is dat tijdens de verbouwing “de winkel open moet blijven”.

Enkele specifieke systeemcombinaties zijn nog niet in de praktijk beproefd. Bijvoorbeeld het koppelen van een RBC⁵ aan de bestaande interlocking is in Nederland nog niet voorgekomen (Zie voor een uitgebreide systeembeschrijving hoofdstuk 4). Onderzocht wordt hoe dit gerealiseerd kan worden en wat de voor en nadelen zijn. Bijkomende complexiteit is dat er geen standaard RBC bestaat. Elke fabrikant biedt zowel RBC's als interlockings aan waarbij de taakverdeling tussen beide systemen per fabrikant verschilt. Door duidelijke voorschriften op te stellen voor de communicatie tussen RBC en (bestaande) interlocking wordt het eenvoudiger systemen van verschillende fabrikanten te combineren. Dit voorkomt afhankelijkheid van één fabrikant.

Wanneer er een interface nodig is om systemen van verschillende fabrikanten met elkaar te kunnen laten communiceren is het belangrijk goed vast te leggen wie er verantwoordelijk is voor de interface. De risico's die verbonden zijn aan het gebruik en de ontwikkeling van een interface kunnen voorkomen worden door alle systemen van dezelfde leverancier te betrekken waardoor er geen of minder interfaces nodig zijn.

Wanneer voor level 2 gekozen wordt is het niet waarschijnlijk dat de lokale systemen gehandhaafd worden. ERTMS maakt het namelijk mogelijk het complete land te bedienen met 15 á 20 centraal opgestelde RBC's en interlockings, waardoor in totaal dus minder systemen nodig zijn. Bij de afweging de lokaal opgestelde systemen al dan niet te handhaven speelt ook de restlevensduur van deze systemen een belangrijke rol. Deze lokale systemen zijn er in een aantal varianten waardoor het streven om het aantal verschillende systemen te verminderen niet gerealiseerd kan worden. Dit wil overigens niet zeggen dat overall dezelfde ERTMS variant ingevoerd zal gaan worden.

Een belangrijk onderdeel van ERTMS is de communicatie over het GSM-R netwerk. Het gebruik van GSM-R is vastgelegd in de voorschriften waardoor gebruik van een ander systeem niet is toegestaan. Omdat na invoering van ERTMS het huidige GSM-R netwerk intensiever gebruikt zal worden zijn er zorgen over de robuustheid en capaciteit van dit netwerk. Om een hoge beschikbaarheid te kunnen garanderen zal er redundantie ingebouwd worden. Of en waar er mogelijk capaciteitsproblemen zijn is nog niet duidelijk. Het probleem zal niet in de capaciteit van de verbinding zitten: de berichten die tussen de trein en het

⁵ Een RBC (Radio Block Centre) verzorgt de communicatie tussen de interlocking en de ETCS computer in de trein.

walsysteem uitgewisseld worden zijn slechts enkele bytes groot omdat niet veel meer dan posities en snelheden worden uitgewisseld. Er is echter slechts een beperkt aantal frequenties beschikbaar. Bij gebruik van de GSM technologie (circuit switching) houdt elke trein voortdurend één frequentie bezet, ook wanneer er geen gegevens verzonden worden. Wanneer GPRS technologie (packet switching) gebruikt wordt, wordt de frequentie enkel bezet wanneer er daadwerkelijk berichten verzonden worden. De totale capaciteit van het netwerk kan dan tot 15 keer groter worden. Het gebruik van GPRS voor de communicatie tussen de ETCS computer in de trein en het RBC is een optie waarop nu gestudeerd wordt. Het is al in het GSM-R netwerk ingebouwd maar vraagt wel om aanpassingen van de systemen in de treinen.

Om het grotere aantal treinen in de toekomst te kunnen be- en bijsturen is het van belang gedetailleerdere informatie over o.a. de locatie en snelheid van de treinen ter beschikking te hebben bij de verkeersleiding. Dit is een ontwikkeling die al gaande is en waaraan ERTMS een bijdrage kan leveren door de hierboven genoemde continue gegevensuitwisseling tussen trein en wal die onderdeel is van ERTMS.

Relatie met anderen

De beslissing in Railmap 1.0 dat de treinen dubbel uitgevoerd moeten worden en niet de baan leidt ertoe dat na een omschakelmoment het spoor niet meer toegankelijk is voor treinen die enkel van ATB voorzien zijn. Het is dus van het grootste belang met de NS af te stemmen wanneer zij genoeg treinen van ERTMS voorzien hebben voordat er omgeschakeld wordt.

Tijdens het naar ERTMS ombouwen is het de bedoeling dat de treinen gewoon met ATB blijven rijden. Wanneer de nieuwe systemen getest moeten worden zal dit of als schaduwtest plaatsvinden of zal er tijdelijk omgeschakeld worden. Hoe dit exact vorm krijgt zal verder uitgewerkt worden in de Railmap 2.0. Zodra het baanvak met ERTMS only in gebruik genomen is genomen is er geen terugvaloptie meer.

De beslissing welke ERTMS varianten wanneer en waar ingevoerd zullen worden wordt genomen door de staatssecretaris in het kader van de Railmap. De Railmap 2.0 zal naar verwachting in het najaar van 2013 gepubliceerd worden.

Verwachting termijnen

De Railmap 2.0 zal duidelijkheid geven over de projecten waarmee gestart wordt. De totale uitrol over heel het land kan alles bij elkaar wel 15 jaar duren.

Naast de Railmap zijn er verplichtingen vanuit de Europese Unie, de belangrijkste Europese corridors moeten voor 2020 van ERTMS voorzien zijn. Invoeringstermijnen voor ERTMS op andere spoorlijnen in de EU worden dit najaar vastgesteld. De verwachting is dat voor 2050 het grootste gedeelte van het totale spoornetwerk van ERTMS voorzien moet zijn.

2.3.4 CONCLUSIE

ERTMS kan nu en in de toekomst de kwaliteit van de dienstregeling verbeteren. Maar zelfs wanneer de voorgestelde 6/6/6 dienstregeling op de OV SAAL corridor met ERTMS mogelijk is wenst de NS toch deels viersporigheid omdat dit meer flexibiliteit biedt dan inhalen op stations. ProRail geeft de voorkeur aan een puur variant, maar welk level ingevoerd zal worden en hoe de migratie vorm moet gaan krijgen wordt in de Railmap beantwoord.

In het kader van de Railmap vindt er overleg plaats tussen alle betrokken partijen. Het ministerie zal uiteindelijk een definitief besluit nemen over de invoering van ERTMS. Voor de OV SAAL verbinding geldt dat de NS vervolgens zelf kan bepalen met welke frequentie en dienstregeling er gereden wordt.

Voordat er omgeschakeld wordt naar ERTMS eist de NS voldoende testtijd en de mogelijkheid om weer terug te kunnen schakelen. Dit zal niet de vorm krijgen van overlay variant. Voordat er omgeschakeld wordt zullen alle systemen uitvoerig getest worden. ProRail geeft aan tijdens elke buitendienststelling wel rekening te willen houden met de mogelijkheid terug te kunnen bouwen naar de situatie aan het begin van de buitendienststelling. Hoe er omgebouwd gaat worden zal duidelijk worden in de Railmap 2.0. Er is echter nog geen ervaring met het invoeren van level 2 puur op een bestaand baanvak waardoor onzekerheden onvermijdelijk zijn.

De NS verwacht op de middellange termijn (2016-2020) een 4/4/2/2 dienstregeling te gaan rijden maar een 6/6/6 dienstregeling wordt door het ministerie niet voorzien voor 2030. De Railmap 2.0 zal duidelijkheid geven over de projecten waarmee gestart wordt.

2.4 AFBAKENING

Het aantal invoeringsstrategieën is beperkt tot de drie meest waarschijnlijke. De NS geven de voorkeur aan een overlay variant. ProRail geeft de voorkeur aan een puur variant. Omdat in het studiegebied vraag is naar meer capaciteit moet level 2 of 3 ingevoerd worden. Door de issues met level 3 zijn level 2 en level 2 overlay het meest voor de hand liggend. Een alternatief is level 3 btd, zoals omschreven in paragraaf 2.1 is het doel van dit onderzoek deze invoeringsstrategie te vergelijken met de invoeringsstrategieën via level 2. De uitwerking van deze drie wordt geïllustreerd aan de hand van een het Almeerse deel van de OV SAAL corridor.

Beveiligingssystemen

Andere beveiligingscombinaties, zoals bijvoorbeeld uitbreiding van ATB-EG met ATB-Vv, overstappen naar ATB-NG (ATB - Nieuwe Generatie), de invoering van ERTMS level 1 of het realiseren van kort volgen zullen niet onderzocht worden voor dit afstudeeronderzoek omdat hiervan al bekend is dat ze niet het gewenste veiligheidsniveau halen en/of niet de gewenste capaciteitsverhoging kunnen bieden.

Verbeteringen waarin een ATB systeem een rol speelt zijn niet meer mogelijk sinds de Europese Commissie heeft aangegeven dat voor 2050 op een groot deel van het Europese spoornetwerk ERTMS geïnstalleerd moet zijn (Ministerie van Infrastructuur en Milieu, 2013).

ERTMS level 1 maakt nog gebruik van een vaste blokindeling met seinen langs de baan en alle beperkingen die daarbij horen, zoals ook het geval is in de huidige situatie (zie §2.2.1). Een klein voordeel kan gerealiseerd worden wanneer extra seinen geplaatst worden waardoor kortere blokken ontstaan, het zogenaamde kort volgen.

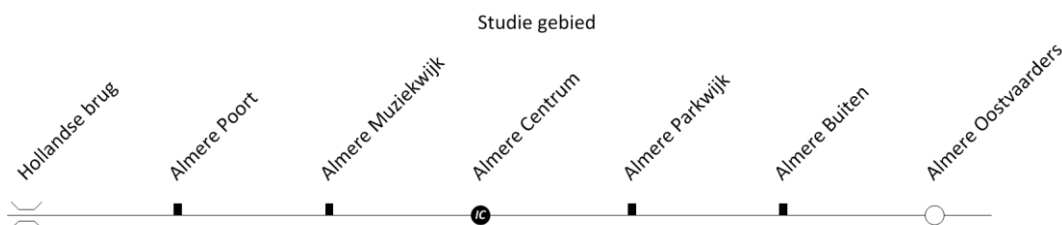
Ondanks dat het mogelijk is na level 2 overlay of level 2 puur om te bouwen naar level 3 btd (zie figuur 1) wordt deze route niet beschreven omdat dit ingaat tegen de intenties van level 3 btd, namelijk het snel invoeren van level 3 functionaliteit met zo min mogelijk systemen.

Andere systeemconfiguraties, zoals bijvoorbeeld level 2 met spoorstroomlopen, kunnen in het in hoofdstuk 7 ontwikkelde model eenvoudig aangepast worden.

Studiegebied

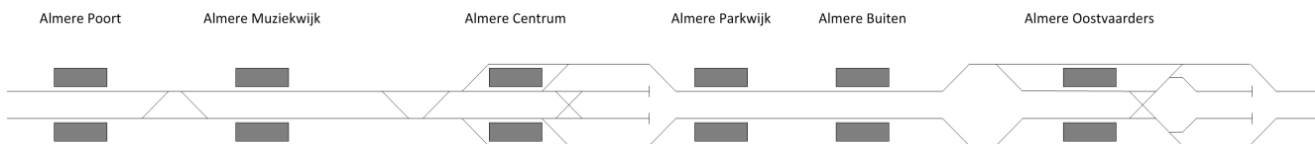
Het baanvak Weesp – Almere, onderdeel van de OV SAAL (Openbaar Vervoer Schiphol – Amsterdam – Almere – Lelystad) corridor, zal dienen als studieobject. Over de mogelijke ombouw van dit baanvak zal eind 2013 besluitvorming plaatsvinden. Dat is na het afronden van dit afstudeerproject. Niet onder het studiegebied vallen station Weesp en de aansluitingen richting Amsterdam en Hilversum. Het studiegebied omvat het spoor vanaf de Hollandse Brug tot en met net ten noorden van station Almere Oostvaarders (zie figuur 8). Het studiegebied omvat zodoende ongeveer 15 kilometer van de Flevolijn (spoorlijn Weesp – Almere – Lelystad) met 6 stations waarvan er 2 een (klein) emplacement hebben waar intercity's sprinters zullen gaan inhalen en een aantal treinen moeten gaan keren.

Dit baanvak is landelijk gezien relatief druk en valt dan ook in de zwaarste categorie: Heavy Rail Premium (waarover meer in paragraaf 4.4). De in 198x – 8x aangelegde Flevolijn wordt enkel door reizigerstreinen gebruikt en beschikt slechts over een minimale hoeveelheid infrastructuur in de stations, daar waar oudere lijnen vaak over, historisch gegroeide, grotere emplacementen beschikken met meer mogelijkheden. Zie verder hoofdstuk 9 waarin een vergelijking wordt gemaakt met andere spoorlijnen.



Figuur 8: Studiegebied.

Voor de dienstregeling wordt iets breder gekeken, voor de kosten slechts tussen de Hollandse brug op km 8,0 tot en met station Almere Oostvaarders, km 23,0. Voor de infra wordt aangenomen de situatie zoals gespecificeerd in FIS 3.0 ontworpen door Arcadis (Van Es, 2013) (zie figuur 9). Wijzigingen ten opzichte van de huidige situatie vinden plaats op station Almere Centrum en Almere Oostvaarders. De voor dit ontwerp gebruikte lijnvoering zal eveneens worden gebruikt. De lijnvoering ligt min of meer vast, de dienstregeling niet. Dit laatste is voor dit onderzoek geen probleem. Het is namelijk niet belangrijk waar treinen voordat ze het studiegebied in of uitrijden respectievelijk vandaan komen of heen gaan. Ook de exacte aankomst en vertrektijden zijn niet belangrijk, het gaat om de tijd tussen de treinen. Wel of niet inhalen te Weesp is belangrijk om te weten omdat dit de opvolging bij het binnenrijden van het studiegebied beïnvloed. (Zie bijlage 2 voor de bredere context van het studiegebied).



Figuur 9: Overzicht infrastructuur in 2016.

Overige aannames

- Level 3 is het einddoel
 - Wanneer, bijvoorbeeld, level 2 het einddoel wordt kan de in dit onderzoek ontwikkelde vergelijkingsstructuur nog steeds gebruikt worden maar moet een aantal ombouwstappen en systeemconfiguraties verwijderd worden.
- Reizigerstreinen zijn integer.
 - In hoofdstuk 10 worden mogelijke oplossingen voor het treinintegriteitsprobleem kort behandeld.
- Overige randvoorwaarden voor een frequentieverhoging zoals energievoorziening, personeel en materieel plannings zijn aanwezig.
 - Kosten voor het op orde brengen van deze randvoorwaarden staan los van het gebruikte beveiligingssysteem.

3

Onderzoeksopzet

Drie kansrijke invoeringsstrategieën zijn in hoofdstuk 2 uiteengezet. Elk met specifieke kosten (door o.a. ombouw en onderhoud van wal- en vlootapparatuur) en opbrengsten (door o.a. een hogere capaciteit) waarvan de optelsom beïnvloed wordt door de tijdsplanning van het proces.

Dit hoofdstuk start met een formele doelstelling waaruit vervolgens de hoofdvraag volgt. Om deze goed te kunnen beantwoorden zijn er 6 deelvragen opgesteld. In paragraaf 3.4 wordt de onderzoeksopzet en de opbouw van dit verslag verder uiteengezet.

3.1 DOELSTELLING

De keuze voor ERTMS wordt ingegeven vanuit Europese wetgeving. De landen mogen zelf bepalen welk level wordt ingevoerd. Nu de vraag naar capaciteit weer actueel geworden is heeft de Nederlandse regering besloten tot invoering van ERTMS over te gaan. Om de kosten in de hand te houden moet nu uitgezocht worden hoe deze overgang het beste vorm gegeven kan worden. Hieruit volgt de volgende doelstelling voor dit afstudeeronderzoek:

Vergelijken welke ERTMS invoeringsstrategie tijdens de overgangsperiode naar ERTMS level 3 op elk moment tegen geringe kosten de gewenste capaciteit kan bieden.

3.2 HOOFDVRAAG

De hoofdvraag moet de belangrijkste elementen uit de doelstelling bevatten. De belangrijkste reden om ERTMS als eerste op de OV SAAL corridor in te voeren is de mogelijke verhoging van de capaciteit ten opzichte van de huidige situatie. Bovendien moet er een financieel verantwoorde keuze gemaakt worden. Hieruit volgt de volgende hoofdvraag:

Hoe verhouden de drie invoeringsstrategieën zich tot elkaar op de punten capaciteit en financiën?

3.3 DEELVRAGEN

De deelvragen richten zich op de punten capaciteit en financiën en werken toe naar het toepassen van de antwoorden op de casus OV SAAL. Vervolgens wordt een doorkijk gegeven naar een landelijke toepassing en tot slot worden enkele veiligheidsissues besproken.

1. Welke stappen/systemen zijn er nodig bij ombouwen in elke invoeringsstrategie?
2. Welke kosten zijn er gemoeid met de ombouw en onderhoudsprocessen?
3. Welke opbrengsten zijn er mogelijk na elke ombouwstap?
4. Hoe worden de kosten en opbrengsten op een correcte manier verrekend?
5. Wat zijn de resultaten wanneer deze berekening wordt toegepast op de Flevolijn?
6. Hoe kan dit rekenmodel landelijk ingezet worden?
7. Welke veiligheidsissues spelen een rol in de invoeringsstrategieën?

3.4 ONDERZOEKSSTRUCTUUR

In hoofdstuk 2 zijn de werking en voordelen van de verschillende treinbeveiligings- en beïnvloedingssystemen aan de hand van eenvoudige voorbeelden geïllustreerd. Hoofdstuk 4 behandelt de hardware die in elk van deze systeemconfiguraties nodig is en hoe er vanuit een voorgaande naar deze configuratie omgebouwd kan worden. Hoofdstuk 5 bekijkt de kosten voor deze ombouwprocessen en de onderhouds- en storingskosten van de aanwezige deelsystemen. Daarna legt hoofdstuk 6 uit hoe de opbrengsten kunnen worden bepaald. Voor de juiste kosten/baten berekening is er een rekenmodel opgesteld in hoofdstuk 7. Vervolgens is dit rekenmodel in hoofdstuk 8 toegepast op het studiegebied zoals gedefinieerd in hoofdstuk 2. Aan de hand van de methodes uit de hoofdstukken 5 en 6 worden de kosten respectievelijk opbrengsten berekend en in het model uit hoofdstuk 7 ingevoerd. Hoofdstuk 9 laat zien het rekenmodel van nut kan zijn bij het bepalen van ombouwstrategieën voor andere spoorlijnen, van verschillende typen, in het land. Hoofdstuk 10 tot slot benoemt een aantal ERTMS gerelateerde veiligheidsaspecten die nog enige aandacht verdienen.

Hoe de drie invoeringsstrategieën voor de OV SAAL verbinding ten opzichte van elkaar scoren op de aspecten capaciteit en financiën is samengevat in de conclusie.

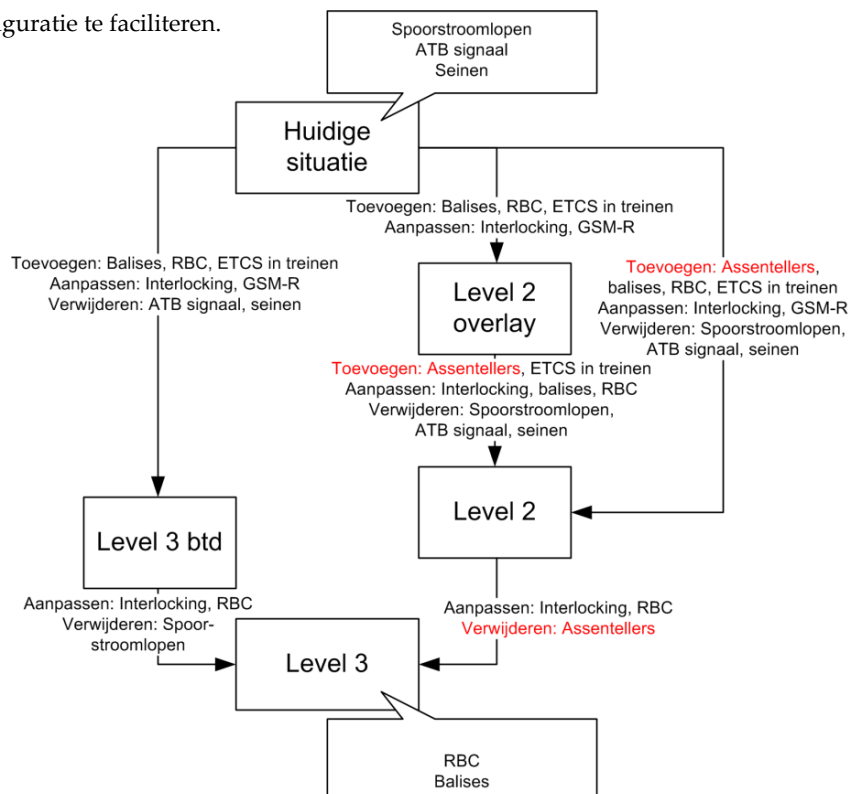
Wanneer andere invoeringsstrategieën vergeleken moeten worden kan de in dit onderzoek ontwikkelde structuur daartoe eenvoudig aangepast worden. De wijzigingen die in elk hoofdstuk aangebracht kunnen worden zijn zonder al te grote gevolgen door te voeren in de vervolgstappen waardoor een flexibele structuur is ontstaan voor het vergelijken van verschillende invoeringsscenario's.

4

Systemconfiguraties en ombouwstappen

Het projectkader geeft 3 invoeringsstrategieën met in totaal 5 verschillende systeemconfiguraties en 6 verschillende ombouwstappen. Dit hoofdstuk beschrijft voor elke configuratie de benodigde hard- en software en hoe er vanuit een voorgaande naar de beschreven configuratie omgebouwd kan worden. Tabel 2 laat zien dat er overlap bestaat in de hardware componenten die gebruikt worden in de verschillende configuraties. Daar waar overlap bestaat is soms geen ombouw nodig, maar de verbindingen tussen de systemen kunnen wel veranderen evenals de softwarefunctionaliteit in de interlocking en RBC (Radio Block Centre). Bijkomende complexiteit is dat de exacte configuratie per fabrikant kan verschillen omdat sommige fabrikanten bepaalde componenten / deelsystemen willen integreren.

In een stroomschema ziet dit er uit zoals in figuur 10. In rood de potentiële kapitaalvernietiging: Het toevoegen en weer verwijderen van assentellers. Het toevoegen en verwijderen van systemen kan niet zondermeer plaatsvinden. Er moet rekening gehouden worden met de interactie met andere systemen en met het feit dat tijdens het ombouwen de treinen moeten kunnen blijven rijden. Het spoor kan maximaal een weekende buitendienst gesteld worden om het omschakelen van de ene naar de andere systeemconfiguratie te faciliteren.



Figuur 10: Toevoegen, aanpassen en verwijderen van alle relevante systemen in de drie invoeringsstrategieën.

Tabel 2: Systemen. Per systeemconfiguratie is aangegeven welke van de basis systemen aanwezig zijn (x) en of dit in een gewijzigde vorm is ten opzichte van een voorgaande configuratie (xx).

Locatie	Basis systemen	Huidig	Level 2 overlay	Level 2	Level 3 btd	Level 3
Verkeersleiding	VPT	x	x	x	x	x
Interlocking	Interlocking	x	xx	xx	xx	xx
RBC	RBC		x	x(x)	x	xx
Langs de baan	Wissels	x	x	x	x	x
	Spoorstroomlopen	x	x		x	
	ATB signaal	x	x			
	Seinen	x	x			
	Assentellers	^b		x		
	Balises		x	x(x)	x	x
	GSM-R	x	xx	x(x)	xx	x
In trein	ETCS in trein		x	x	x	x
	ATB in trein	x	x	^a	^a	^a

a) ATB benodigd voor rijden over niet ERTMS baanvakken, is via STM onderdeel van het ETCS systeem, zie § 4.1.6.

b) Assentellers worden op het hoofdrailnet weinig en in het studiegebied niet gebruikt.

Om de relaties en keuzes inzichtelijk te maken zijn voor elke ombouwstap stroomschema's gemaakt. Elk toe te voegen of te verwijderen element in figuur 10 krijgt in de stroomschema's een eigen kolom. Vaak zijn deze parallel uit te voeren maar soms zijn er raakvlakken met andere elementen, deze zijn dan in het schema weergegeven.

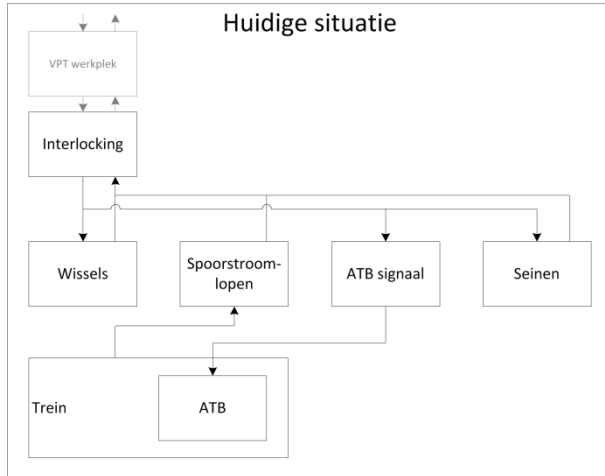
Terugkerende elementen zonder interactie met andere elementen zijn het toevoegen van ETCS (European Train Control System) in treinen en GSM-R optimalisatie. Deze processen, die in elke ombouwstap hetzelfde zijn, zullen daarom los behandeld worden.

4.1 SYSTEEMCONFIGURATIES

Hieronder wordt, in volgorde van minst naar meest geavanceerd, per systeemconfiguratie beschreven welke hardware er aanwezig is en welke informatiestromen er zijn. Per configuratie wordt ook beschreven hoe er naar deze situatie overgestapt kan worden vanuit een voorgaande configuratie zoals aangegeven in figuur 10.

4.1.1 HUIDIGE SITUATIE

Om treinen veilig te kunnen laten rijden zijn er naast seinen en treindetectie ook treinbeïnvloedingsystemen en bedienbare wissels nodig. Deze vier systemen worden samenhangend bediend via een zogenaamde interlocking (figuur 11). Deze interlocking kan bestaan uit B-relais (foto 1) of computers aangeduid met VPI en EBS. Naar deze systemen zal gerefereerd worden als 'huidige interlocking'. Wanneer de treindienstleider, automatisch of handmatig, via het VPT (Vervoer Per Trein) systeem een rijweg instelt gaat er een signaal naar de interlocking. De interlockings van verschillende fabrikanten zijn via passende interfaces aan het VPT systeem gekoppeld. Het interlocking systeem controleert vervolgens of er andere rijwegen over de gewenste sporen zijn ingesteld en of de sporen vrij zijn. Wanneer er geen conflicten optreden worden de wissels in de juiste stand gelegd en wanneer dit gecontroleerd is komt het sein dat toegang geeft tot de ingestelde rijweg uit de stand stop (groen of geel, afhankelijk van de stand van het volgende sein). De aansturing en inlezing van de wissels, de



Figuur 11: Huidige situatie.

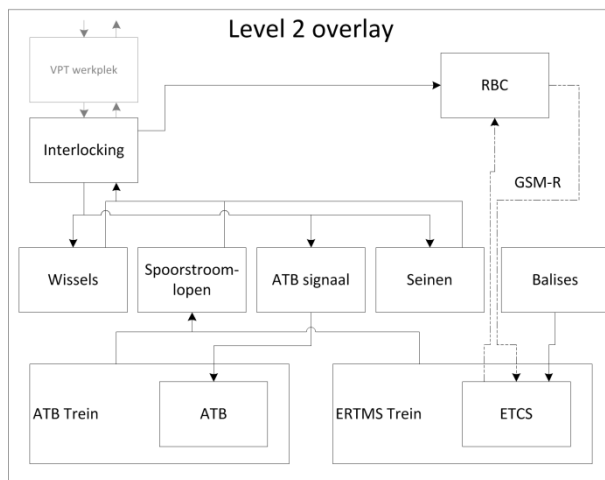
In de huidige situatie worden voor de treindetectie op het hoofdrailnet spoorstroomloopen gebruikt en geen assentellers omdat de spoorstroomloopen tevens gebruikt worden voor het verzenden van het ATB-EG signaal. In de trein bevindt zich ook een deel van het ATB systeem. Dit deel pikt het ATB signaal op en controleert of de trein niet sneller rijdt dan volgens het signaal toegestaan en grijpt in indien nodig.



Foto 1: B-relais (Alstomsignalling.com).

4.1.2 LEVEL 2 OVERLAY

Ten opzichte van de huidige situatie komen er bij level 2 overlay systemen bij, level 2 wordt naast het huidige systeem aangelegd dat ook volledig blijft functioneren. Nieuw zijn het RBC (Radio Block Centre) en balises (transponders in het spoor) (figuur 12). Er is in deze configuratie één treindetectie methode en twee methoden voor het communiceren van rijtoestemmingen (treinbeveiliging). Nadat het beveiligings-vraagstuk in de interlocking is afgehandeld vindt de communicatie naar de trein nu niet alleen plaats via de seinen maar ook via het RBC en GSM-R netwerk naar de MMI (Mens Machine Interface) display in de cabine waarvan de bestuurder de informatie kan aflezen. Er is ook een communicatiestroom van de trein naar het RBC zodat het RBC weet welke trein waar is en zodoende welke rijtoestemming moet ontvangen. Voor de treinbeïnvloeding geldt ongeveer hetzelfde: ATB treinen reageren op het ingestelde ATB signaal, in ERTMS treinen wordt de rijtoestemming door de ETCS computer gecontroleerd. De balises verzenden vaste informatie naar de trein, zoals de eigen locatie (spoor x, km x). Omdat deze informatie niet verandert worden balises niet bediend en daarom ook niet gekoppeld aan de interlocking of VPT (figuur 12). Uitzonderingen zijn balises in transitiegebieden (een overgang van ATB naar ERTMS (overlay) gebied en vice versa). Daar liggen extra balises die een ERTMS trein



Figuur 12: Situatie bij ERTMS level 2 overlay. De communicatie tussen RBC en trein (gestippelde lijn) gaat draadloos via GSM-R.

spoorstroomloopen, het ATB signaal, de seinen en in de andere systeemconfiguraties ook de assentellers gebeurt niet rechtstreeks vanuit de interlocking maar via objectcontrollers die altijd lokaal opgesteld staan.

De interlocking en objectcontrollers op emplacementen worden ondergebracht in relaishuizen. Ook wanneer de interlocking niet uit B-relais bestaat, maar uit VPI of EBS computers, wordt er gesproken over relaishuizen. De interlocking en objectcontrollers langs de vrije baan worden in relaiskasten of huizen geplaatst die vaak in de buurt van de seinen staan.

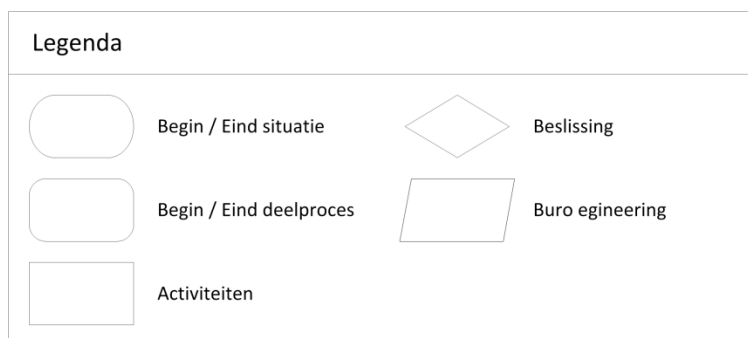
opdracht geven contact te leggen met het RBC en aangeven vanaf waar er een MA (Movement Authority) moet zijn om verder te mogen rijden. Wanneer treinen uit ERTMS gebied ATB gebied binnen rijden zijn er ook bediende balises die de trein melden wat de stand van het eerste sein in het ATB gebied is.

Er kunnen drie typen treinen onderscheiden worden: treinen enkel uitgerust met ATB, enkel met ERTMS of met ATB en ERTMS. Dubbel uitgeruste treinen hebben grotere vrijheid bij storing (baan of trein zijde) in een van de twee systemen. Dubbel uitgeruste treinen zijn in principe met ERTMS uitgevoerd maar bevatten een extra STM (Specific Transmission Module) module die het mogelijk maakt dat de ETCS computer de ATB signalen correct interpreteert. Wanneer deze treinen over een level 2 overlay baanvak rijden zullen de ATB signalen genegeerd worden. Er wordt dan gekozen voor ERTMS omdat dit veiliger is en een hogere gemiddelde snelheid mogelijk maakt.

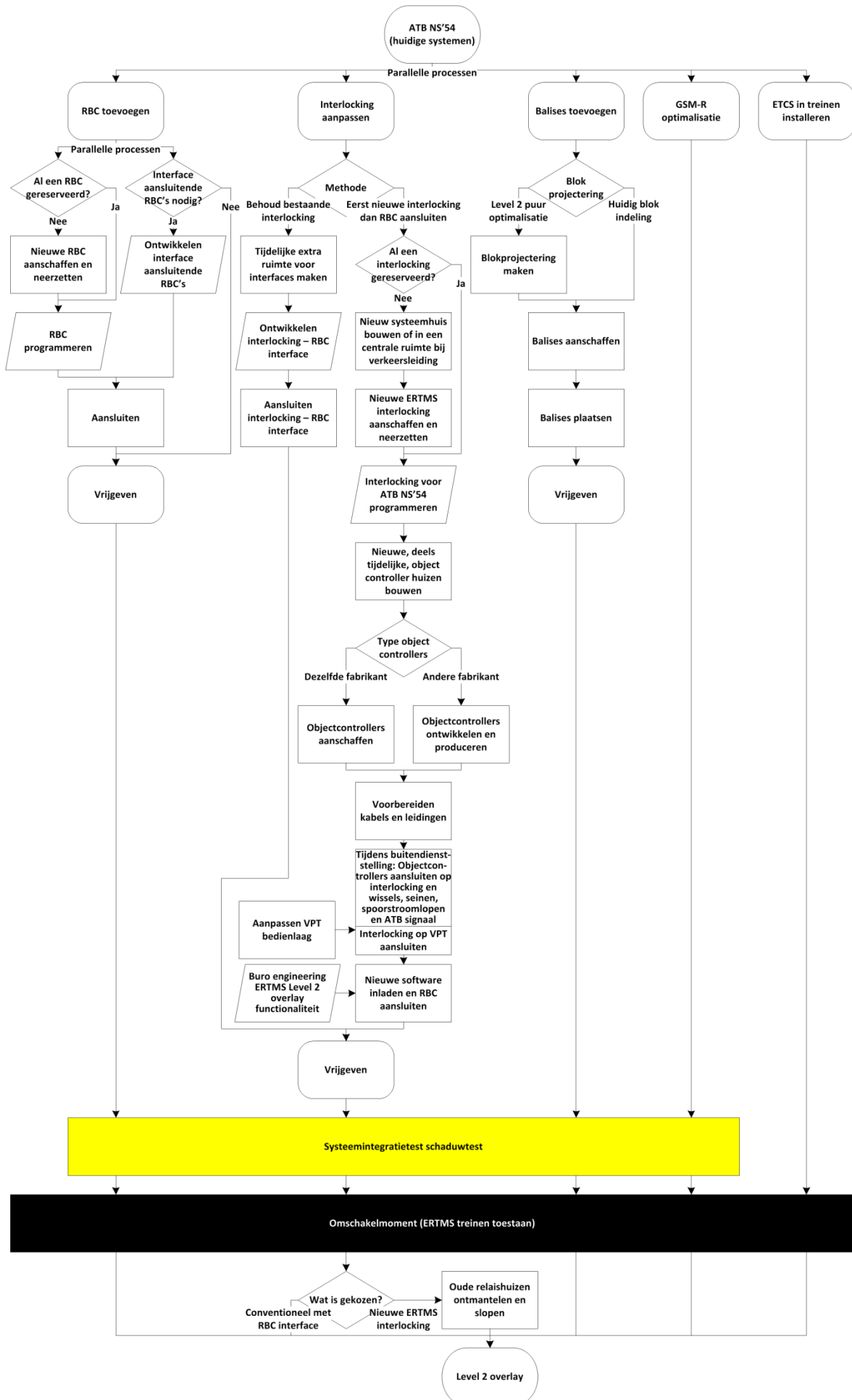
Het voordeel van level 2 overlay is dat er al ERTMS treinen kunnen gaan rijden en een deel van de baten al geïncasseerd kunnen worden voordat er voldoende treinen zijn omgebouwd om het baanvak volledig met ERTMS treinen te exploiteren. De baten bestaan uit kortere rijtijden door uitgesteld remmen en een hogere veiligheid door snelheidsbewaking tot en met 0 km/h.

Ombouw

De hierboven gepresenteerde figuren zijn momentopnamen. De activiteiten die de ombouw van de huidige situatie naar level 2 overlay mogelijk maken zijn gevisualiseerd in een stroomschema (figuur 14, figuur 13 bevat een legenda voor de typen blokjes in het stroomschema).



Figuur 13: Legenda voor de figuren 14, 17, 18, 20, 22, 23 en 24.



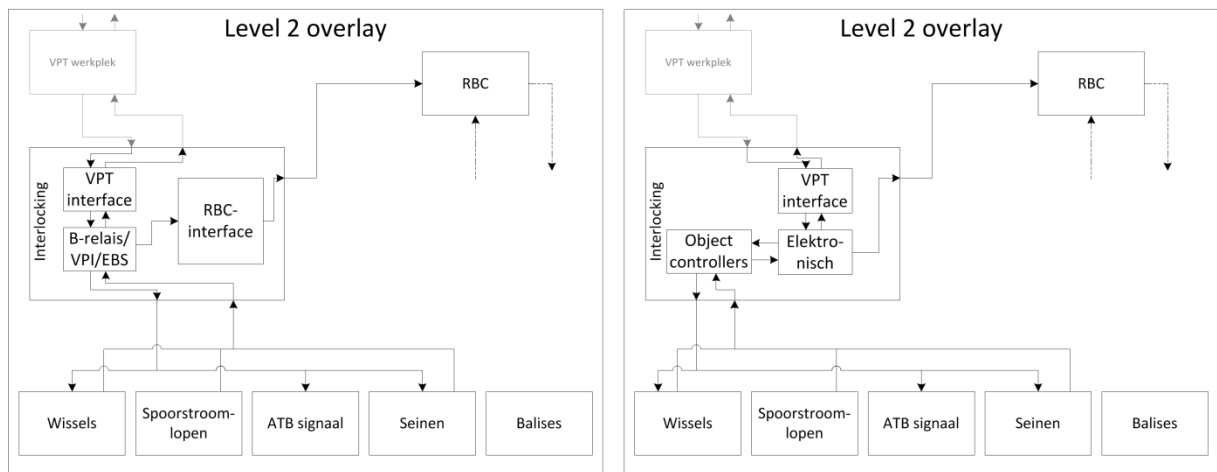
Op elk proces en de keuzes die daarin gemaakt moeten worden volgt hieronder een toelichting.

Toevoegen RBC

Er moet een Radio Block Centre (RBC) aan het om te bouwen baanvak toegewezen worden. Dit kan een geheel nieuwe RBC zijn of een bestaande die al voor andere baanvakken in gebruik is en nog capaciteit over heeft. Tijdens het toevoegen van een nieuwe RBC kunnen er twee processen parallel plaatsvinden wanneer nodig. Er moet een interface ontwikkeld worden wanneer het RBC met een RBC van een aansluitend baanvak maar van een andere fabrikant moet kunnen communiceren. Parallel kan het RBC ergens (centraal) geplaatst en geprogrammeerd worden. Dit bestaat uit het invoeren van de sporen layout, maximum snelheden, hellingen en de locaties van de balises. Vervolgens kan de aansluiting op de interlocking voorbereid worden. Ook wanneer er al een RBC aanwezig is moet de verbinding met de interlocking voorbereid worden. Wanneer het om te bouwen baanvak twee RBC gebieden met elkaar verbindt kan het nodig zijn ook in dit geval een RBC-RBC interface te ontwikkelen. Alle verbindingen met andere RBC's, de interlocking en met treinen zullen in een afsluitende systeemintegratietest getest worden.

Aanpassen interlocking

De interlocking kan op meerdere manieren aangepast worden aan de nieuwe situatie: Door voor de huidige interlocking een interface te ontwikkelen die het RBC kan bedienen of door al vast een nieuwe toekomst vaste interlocking neer te zetten met daaraan objectcontrollers om de wissels en de huidige systemen voor de ATB treinen te kunnen blijven bedienen (seinen, spoorstroomlopen en ATB signaal) (figuur 15). Deze keuze vormt de eerste stap in het deelproces 'Aanpassen interlocking' (figuur 14).



Figuur 15: Ombouwen interlocking kan op verschillende manieren in de overlay variant. Links een RBC interface boven de oude interlocking. Rechts een nieuwe elektronische interlocking met een interface naar de object controllers die de seinen en ATB aansturen.

In figuur 15 is links de variant te zien waarin de bestaande interlocking gehandhaafd blijft en het RBC via een interface bediend wordt. Er is maar in een richting communicatie noodzakelijk door deze interface. Het RBC moet geïnformeerd worden welke rijwegen er ingesteld zijn en wat de stand van de seinen is. Met deze informatie kan het RBC doorgeven welke trein tot hoe ver rijtoestemming heeft. Communicatie de ander kant op (RBC→interlocking) is alleen nodig in het geval rijwegen herroepen worden. Wanneer deze communicatie niet aanwezig is kan een rijweg herroepen worden met behulp van een timer die de

rijweg vrijgeeft na een vast ingestelde tijd waarbinnen een eventuele trein geacht wordt gepasseerd of gestopt te zijn.

Het voordeel van deze interlocking configuratie is dat tijdens het ombouwen het huidige systeem niet wordt aangetast. Wanneer gegarandeerd kan worden dat de interface absoluut geen invloed heeft op het functioneren van het huidige systeem kan de RBC interface en het RBC zelf dus voor het omschakelmoment aangesloten en getest worden. Deze test zal een schaduwtest zijn: tijdens normaal gebruik wordt gecontroleerd of de nieuw aangesloten systemen de juiste informatie ontvangen en correct verwerken.

Omdat de level 2 overlay systeemconfiguratie tijdelijk is kan de ook tijdelijke RBC interface dus in een tijdelijke ruimte ondergebracht worden. Deze interface hoeft slechts één keer ontwikkeld te worden, andere projecten kunnen gebruik maken van eenzelfde interface.

In de huidige situatie wordt er onderscheid gemaakt tussen bediend gebied en vrije baan. Rond stations en knooppunten worden de seinen en wissels e.d. bediend door de interlocking. Tussen stations is er de vrije baan, zonder wissels. Hier is het automatisch blokstelsel geïnstalleerd dat zelf treinen detecteert en aan de hand daarvan de seinen aanstuurt. Op emplacementen kan de genoemde interface in het relaishuis geplaatst worden. Langs de vrije baan zal er bij elk sein een interface geplaatst moeten worden om de stand van de seinen daar uit te lezen.

Rechts in figuur 15 is de variant te zien met een toekomstvast interlocking. Een centraal opgestelde interlocking wordt met alle elementen langs de baan verbonden door middel van lokaal geplaatste object controllers. Voor level 2 overlay zijn er objectcontrollers nodig voor wissels, spoorstroomlopen, ATB signaal en seinen. De stand van de seinen en dus ook de hieraan gerelateerde ATB code kan afgeleid worden van de gegeven rijtoestemmingen.

De toekomst vaste interlocking, vanaf nu als 'ERTMS interlocking' aangeduid, kan een veel groter gebied bedienen dan de huidige interlockings. Niet alleen emplacementen maar ook de vrije baan wordt nu direct aangestuurd, er wordt dan ook gesproken van bediende baan. Een ERTMS interlocking computer kan centraal opgesteld worden en bedient een gebied dat overeenkomt met het bediengebied van het bijbehorende RBC. Net als bij een RBC kan het dus voorkomen dat er al een interlocking gereserveerd is voor het om te bouwen baanvak. Wanneer de ERTMS interlocking van een andere fabrikant is dan het RBC kan het noodzakelijk zijn een interface te ontwikkelen.

Bij deze nieuwe interlocking horen ook nieuwe objectcontrollers. Met uitzondering van de objectcontrollers voor de wissels zullen de overige in de volgende ombouwstap (level 2 overlay - level 2) weer verdwijnen, dus is tijdelijke 'huisvesting' voordelig.

Wat betreft de objectcontrollers zelf kan er gekozen worden voor controllers van dezelfde fabrikant als de interlocking of voor objectcontrollers van derden die misschien aangepast of van een interface voorzien moeten worden om correct te functioneren onder de betreffende interlocking.

Omdat alle objecten op een ander systeem aangesloten moeten worden en ook de verbinding tussen de interlocking en VPT verandert kan deze ombouw niet zonder onderbreking plaatsvinden. Deze onderbreking hoeft niet samen te vallen met het omschakelmoment (van huidige situatie naar level 2 overlay, figuur 14). De nieuwe elektronische interlocking kan in dienst gesteld worden volgens de procedures waarmee ook regulier nieuwe interlocking systemen in dienst gesteld worden. Het in dienst stellen van level 2 overlay op het baanvak Amsterdam – Utrecht is volgens deze procedure gegaan.

Wanneer de nieuwe interlocking en objectcontrollers zijn aangesloten moeten via buitendienststellingen de elementen aan de objectcontrollers aangesloten en getest worden. Tegelijkertijd zal de nieuwe interlocking ook op het VPT systeem aangesloten worden.

Wanneer deze nieuwe interlocking succesvol in dienst is kan er een nieuwe software versie geladen worden waardoor de ERTMS functionaliteit gestart kan worden.

Voor beide methoden (figuur 15) moeten er dus voor Nederland specifieke interfaces of object controllers ontwikkeld worden om de bestaande seinen en ATB aan te kunnen blijven sturen. Het voordeel van de eerste methode is dat de investering in de nieuwe interlocking uitgesteld kan worden. Het voordeel van de tweede zou kunnen zijn dat er extra informatie vanuit de trein beschikbaar gemaakt kan worden wanneer ook VPT hiervoor aangepast wordt.

Toevoegen balises

Voor level 2 overlay is het minimaal nodig per sein (50m voorafgaand aan een sein) een balise te plaatsen. Er kan ook voor gekozen worden de balises meteen op de voor level 2 optimale locaties neer te leggen (gemiddeld per 400 m een balise, met speciale aandacht voor gevaar punten zoals in wisselstraten en daar waar zeer korte blokken komen). Balises worden voor blokgrenzen geplaatst omdat daar de grootste nauwkeurigheid in de locatiebepaling vereist is zodat voorkomen wordt dat de blokgrens onbedoeld gepasseerd wordt.

Wanneer de projectering gemaakt is kunnen de balises gekocht en geplaatst worden.

GSM-R optimalisatie

Zie paragraaf 4.1.6.

Toevoegen ETCS in treinen

Zie paragraaf 4.1.6.

Systeemintegratietest

De deelprocessen 'Toevoegen RBC', 'Aanpassen interlocking', 'Toevoegen balises' en 'GSM-R optimalisatie' komen samen in de systeemintegratie test. Deze test kan als schaduwtest uitgevoerd worden met een test trein. Deze trein rijdt dan onder ATB en controleert of de verkregen rijtoestemmingen niet verder gaan dan rode seinen. Tegelijkertijd wordt getest: De interlocking - RBC verbinding, de RBC - trein (ETCS) verbinding via GSM-R en de test of de balise, interlocking, RBC en ETCS positiebepalingen corresponderen.

Omschakelmoment

In deze ombouwstap (huidige situatie - level 2 overlay) is het omschakelmoment slechts een formaliteit. Alle systemen zijn immers al in dienst. Wanneer de systeemintegratietest goed verlopen is kunnen er ERTMS treinen toegelaten worden. Tijdens het omschakelmoment zijn geen verdere acties nodig.

Aanpassen interlocking

Wanneer gekozen is voor een interface boven de bestaande interlocking kan het oude relaishuis vanzelfsprekend niet gesloopt worden. Wanneer er een nieuwe ERTMS interlocking is neergezet in een nieuw systeem huis kan het oude relaishuis wel ontmanteld en gesloopt worden.

Interlocking integraal

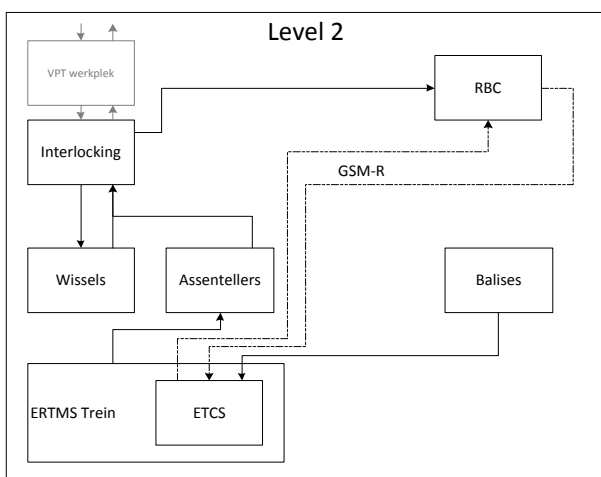
De keuze, in deze ombouwstap, voor behoud van de huidige interlocking of overschakelen naar een nieuwe ERTMS interlocking heeft gevolgen voor de mogelijkheden in de vervolg ombouwstap (level 2 overlay - level 2 puur). In tabel 3 zijn de gevolgen voor beide ombouwstappen (huidige situatie - level 2 overlay en level 2 overlay - level 2 puur) integraal samengevat.

4.1.3 LEVEL 2

ERTMS level 2 bevat geen seinen en ATB signalen meer, er is nu volledig overgestapt op cabine signalering en de treinbeïnvloeding wordt verzorgd door de ETCS computer (figuur 16). Om de extra capaciteit die level 2 biedt te benutten moet blokverkorting toegepast worden. Efficiënte blokverkorting is nu mogelijk doordat er geen seinen meer langs de baan geplaatst hoeven te worden. De goedkoopste manier om de treindetectie aan de kortere blokken aan te passen is met assentellers. Deze vervangen dan de spoorstroomlopen die storingsgevoeliger en duurder in aanschaf en onderhoud zijn. Bovendien kunnen assentellers onafhankelijk van het bestaande beveiligingssysteem geïnstalleerd en getest worden. Het toevoegen van extra spoorstroomlopen vraagt om het toevoegen van ES lassen. Deze moeten direct na aanleg getest worden en in de bestaande beveiliging opgenomen worden.

Blokverkorting zorgt voor een grote toename van het aantal blokken en dus ook het aantal treindetectiesystemen. Deze nieuwe blokindeling kan aan een nieuwe ERTMS interlocking gekoppeld worden of aan de bestaande interlocking systemen welke dan wel aangepast moeten worden. Vanwege het grote aantal nieuwe blokken wordt uitbreiding van de huidige interlocking systemen als onrealistisch beschouwd en daarom niet verder uitgewerkt.

De interlocking krijgt informatie over de spoorbezetting nog steeds van de baandetectie, daarom is er nog steeds geen communicatie van het RBC naar de interlocking noodzakelijk. Door het ontbreken van seinen langs de baan is de communicatie tussen trein en RBC essentieel voor verstrekken van rijtoestemmingen.



Figuur 16: Situatie bij ERTMS level 2.

Als gevolg zal het treinverkeer stil komen te liggen wanneer het GSM-R netwerk of het RBC uitvalt.

Alle treinen die over een level 2 baanvak rijden moeten met ERTMS uitgerust zijn. Wanneer het gewenst is aan het einde van het ERTMS baanvak door ATB gebied verder te rijden moeten de treinen van een STM module voorzien worden die de ATB signalen kan interpreteren.

Uit figuur 10 blijkt dat er twee ombouwstappen bij level 2 uitkomen. Hieronder volgt eerst de beschrijving van de

ombouw vanuit level 2 overlay en daarna de beschrijving van de stap met als beginpunt de huidige situatie.

Ombouw vanuit level 2 overlay

Het stroomschema behorende bij deze stap is weergegeven in figuur 17 op de volgende pagina.

Aanpassen RBC

Tijdens het omschakelmoment moet de software in het RBC een update krijgen omdat de blokindeling verandert is en er, afhankelijk van het proces 'Toevoegen balises', eventueel nieuwe balises in de communicatie opgenomen moeten worden.

Aanpassen interlocking

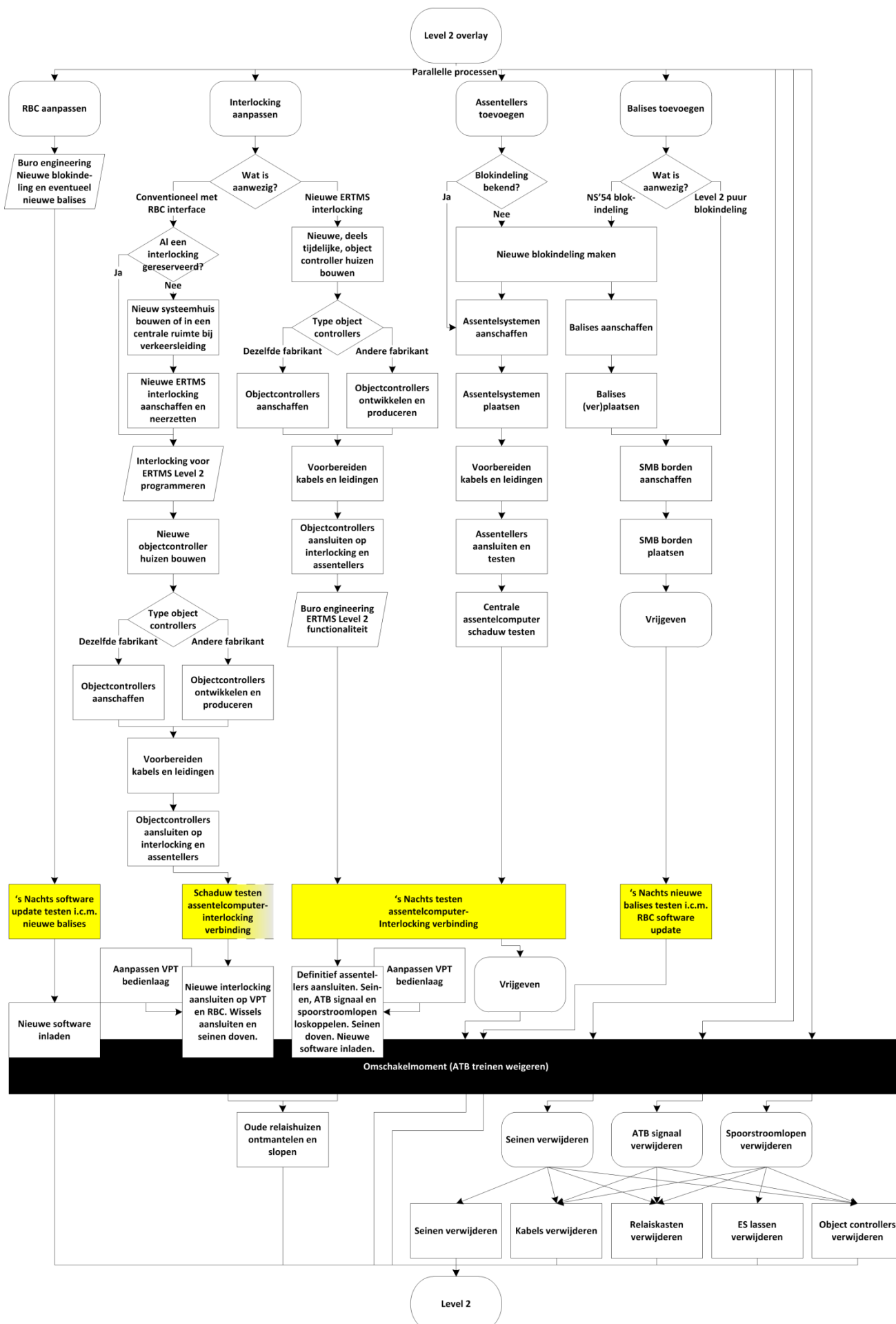
Hoe de interlocking aangepast moet worden is afhankelijk van de gemaakte keuze in de vorige ombouwstap. Wanneer er toen gekozen is voor een interface op de bestaande interlocking systemen is de procedure nu als volgt.

Wanneer er nog geen interlocking gereserveerd is moet er een nieuwe neergezet en geprogrammeerd worden. Voor de assenteller en wissel objectcontrollers moeten er nieuwe objectcontrollerhuizen komen. Afhankelijk van de fabrikant van de interlocking, de assentellers en de objectcontrollers moeten de objectcontrollers misschien aangepast worden. Nadat de objectcontrollers op de interlocking en de assentellers zijn aangesloten kunnen de assentellers en interlocking schaduw getest worden. Tijdens het omschakelmoment moet de nieuwe interlocking waar de assentellers al op aangesloten zijn op VPT en het RBC aangesloten worden. Ook de wissels moeten op deze nieuwe interlocking aangesloten worden en tot slot moeten de seinen gedoofd worden.

Wanneer in de vorige ombouwstap meteen een nieuwe ERTMS interlocking is neergezet is de ombouwprocedure nu relatief kort: Er moeten nieuwe objectcontrollers voor de assentellers neergezet worden. Afhankelijk van de fabrikant van de interlocking, de assentellers en de objectcontrollers moeten de objectcontrollers misschien aangepast worden. Vervolgens kan tijdens buitendienststellingen ('s nachts) de verbinding tussen de al in gebruik zijnde interlocking en de assentelcomputer getest worden. Tijdens het omschakelmoment moeten de juiste objectcontrollers aan en afgesloten worden. De seinen moeten gedoofd worden en de interlocking moet een software update krijgen om met de nieuwe blokindeling om te kunnen gaan.

Assentellers toevoegen

Wanneer nog niet bekend, moet er een nieuwe blokindeling gemaakt worden. Zodra deze blokindeling bekend is kunnen assentelssystemen geplaatst en aangesloten worden. De centrale assentelcomputer kan getest worden door schaduw draaien en de bezetmeldingen te vergelijken met de in dienst zijnde detectie. Ook de verbinding met de nieuwe interlocking kan, afhankelijk van het ombouw pad van de interlocking, schaduw of 's nachts getest worden. Wanneer alles correct werkt kan er in één keer omgeschakeld worden.



48 | ARCADIS Figuur 17: Stroomschema ombouw ERTMS level 2 overlay naar ERTMS level 2.

Toevoegen balises

Nieuwe balises kunnen al voor het omschakelmoment toegevoegd worden, bestaande mogen echter niet verplaatst worden. Een ERTMS trein krijgt vanuit het RBC een MA (Movement Authority) met de locaties van de balises die gepasseerd moeten worden. Wanneer een trein een balise te vroeg of te laat tegenkomt zal deze uit veiligheidsoverwegingen stoppen. Nieuwe, dus onbekende, balises zullen genegeerd worden. Een uitzondering hierop zijn de start balises, wanneer een trein opstart of uit een niet ERTMS gebied komt en de startbalise is niet bekend bij het RBC dat ontstaat er een probleem omdat de trein zich aanmeldt op een bij het RBC onbekende plaats.

Om de grenzen van de nieuwe blokken voor de machinist duidelijk aan te duiden, er staan immers geen seinen meer, worden er SMB (Stop Marker Bord) borden geplaatst op de blokgrenzen.

Omschakelmoment

Tijdens het omschakel moment wordt er overgestapt naar een nieuwe blokindeling die alleen door ERTMS treinen gebruikt kan worden. Vanaf het omschakelmoment zijn ATB treinen niet meer toegestaan, de seinen zijn gedoofd, er wordt geen ATB signaal meer uitgezonden en de met de seinen corresponderende blokken zijn niet meer als zodanig op de interlocking aangesloten.

Het RBC krijgt op dit moment een update zoals hierboven beschreven. De interlocking wordt afhankelijk van de in de vorige ombouwstap gekozen variant, zoals hierboven beschreven, in de level 2 eindsituatie gebracht door de assentellers aan te sluiten en de andere systemen los te koppelen.

Aanpassen interlocking

Na het omschakelmoment kunnen de niet langer gebruikte (tijdelijke) relaishuizen ontmanteld en gesloopt of verwijderd worden.

Seinen, ATB signaal en spoorstroomlopen verwijderen

Deze drie elementen bevatten vijf componenten: de seinpalen, kabels, relaaskasten, ES lassen en objectcontrollers. Het verwijderen van deze componenten kan plaatsvinden gedurende de nachtelijke treinvrije perioden en tijdens andere geplande onderhoudsmomenten.

Het verwijderen van de seinen heeft waarschijnlijk prioriteit om verwarring met de cabinesignalering te voorkomen. Na het omschakelmoment mogen de gedoofde seinen voorbij gereden worden. Dit moet duidelijk gecommuniceerd worden omdat dit tegen de huidige regelgeving ingaat. Een gedoofd sein moet behandeld worden als een rood sein (het kan zijn dat de rode lamp stuk is) en in de overlay situatie mogen rode seinen niet voorbij gereden worden, ook niet wanneer de ERTMS rijtoestemming wel voorbij dit sein gaat.

Het verwijderen van de andere componenten heeft minder prioriteit. Het verwijderen van de ES lassen is wel gewenst omdat deze ook invloed hebben op het slijten van de treinwielen.

Interlocking integraal (huidige situatie - level 2 overlay - level 2 puur)

De keuze in de eerste ombouwstap (huidige situatie - level 2 overlay) om de bestaande relais interlocking te behouden of om meteen een voor ERTMS ontworpen interlocking neer te zetten heeft zoals hierboven

beschreven invloed op de tweede ombouwstap (level 2 overlay - level 2 puur). In tabel 3 zijn de uit te voeren processen niet per ombouwstap maar per interlocking type keuze samengevat.

Tabel 3: Samenhang keuzes m.b.t. interlocking in ombouwstap ATB-NS'54 - L2o en de vervolg ombouwstap L2o - L2.

Ombouwstap	Behoud B-relais	Nieuwe ERTMS interlocking
Huidige situatie - level 2 overlay (ATB-NS'54 - L2o)	Tijdelijke extra ruimte voor interfaces maken	(eventueel) Nieuw systeemhuis bouwen of in een centrale ruimte bij verkeersleiding
	Ontwikkelen interlocking - RBC interface	(eventueel) Nieuwe ERTMS interlocking aanschaffen en neerzetten
	Aansluiten interlocking - RBC interface	Interlocking voor ATB-NS'54 programmeren
		Nieuwe, deels tijdelijke, objectcontroller huizen bouwen
		Objectcontrollers aanschaffen of ontwikkelen
		Vorbereiden kabels en leidingen
		Tijdens buitendienststelling: Objectcontrollers aansluiten op interlocking en wissels, seinen, spoorstroomlopen en ATB signaal
		Aanpassen VPT bedienlaag
		Interlocking op VPT aansluiten
		Buro engineering ERTMS level 2 overlay functionaliteit
		Nieuwe software inladen en RBC aansluiten
		Systeem integratie schaduw test
Daarna level 2 overlay - level 2 puur (L2o - L2)	(eventueel) Nieuw systeemhuis bouwen of in een centrale ruimte bij verkeersleiding	Nieuwe, deels tijdelijke, objectcontroller huizen bouwen
	(eventueel) Nieuwe ERTMS interlocking aanschaffen en neerzetten	Objectcontrollers aanschaffen of ontwikkelen
	Interlocking voor ERTMS Level 2 programmeren	Vorbereiden kabels en leidingen
	Nieuwe objectcontrollerhuizen bouwen	Object controllers aansluiten op interlocking en assentellers
	Objectcontrollers aanschaffen of ontwikkelen	Buro engineering ERTMS Level 2 functionaliteit
	Vorbereiden kabels en leidingen	
	Objectcontrollers aansluiten op interlocking en assentellers	
	Schaduwtesten assentelcomputer-interlocking verbinding	's Nachts testen assentelcomputer-interlocking verbinding
	Aanpassen VPT bedienlaag	Aanpassen VPT bedienlaag
Tijdens omschakelmoment: Nieuwe interlocking aansluiten op VPT en RBC. Wissels aansluiten en seinen doven.	Tijdens omschakelmoment: Definitief assentellers aansluiten. Seinen, ATB signaal en spoorstroomlopen loskoppelen. Seinen doven. Nieuwe software inladen.	
Totaal	Enkel tijdelijke relais - RBC interfaces	Veel tijdelijke objectcontrollers
	Alleen objectcontrollers voor wissels en assentellers ontwikkelen	Object controllers voor wissels, seinen, ATB signaal, spoorstroomlopen en assentellers ontwikkelen
	In beide ombouwstappen compleet schaduwtesten mogelijk	Alleen assentellers mogelijk schaduw testen

De drie belangrijkste verschillen worden hieronder besproken.

- Wanneer in de ATB-NS'54 - L2o stap de oude interlocking gehandhaafd blijft moet er in die stap ruimte gevonden worden voor de interfaces. In de vervolgstap kunnen er objectcontrollerhuizen van het juiste formaat neergezet worden (voor assenteller en wissel objectcontrollers waarvan de objectcontrollers voor de wissels ook bij level 3 in gebruik zullen blijven). Wanneer in de eerste ombouwstap (ATB-NS'54 - L2o) een nieuwe interlocking neergezet wordt op een centrale plaats moet er verbinding gemaakt worden met veel objectcontrollers (wissels, spoorstroomlopen, ATB signaal en seinen) in relatief grote nieuwe objectcontrollerhuizen.
- In beide gevallen moet er iets ontwikkeld worden. Wanneer de B-relais behouden worden moet er een interface ontwikkeld worden. Wanneer er voor een nieuwe interlocking gekozen wordt moeten er naast de objectcontrollers voor assentelsystemen en wissels ook objectcontrollers ontwikkeld worden voor seinen, ATB signaal en spoorstroomlopen.
- Voor het testen is het in de eerste stap (ATB-NS'54 - L2o) het makkelijkst om de oude interlocking te handhaven. Dan kunnen de nieuwe systemen schaduw getest worden. Voor het testen van een nieuwe interlocking moet deze steeds 's nachts deels aangesloten worden. Ook voor de L2o - L2 stap is het het makkelijkst om nog vanuit de oude interlocking te komen omdat dan de nieuwe interlocking schaduw getest kan worden. Wanneer er al een elektronische interlocking in dienst is moeten 's nachts de assentellers aangesloten en de spoorstroomlopen afgekoppeld worden om te kunnen testen.

Ombouw vanuit huidige situatie

Het stroomschema bij de ombouwstap huidige situatie - level 2 puur is weergegeven in figuur 18.

Toevoegen RBC

Er moet een Radio Block Centre (RBC) aan het om te bouwen baanvak toegewezen worden. Dit kan een geheel nieuwe RBC zijn of een bestaande die al voor andere baanvakken in gebruik is. Omdat de procedure hetzelfde is als bij de ombouwstap huidige situatie - level 2 overlay wordt voor een uitgebreide beschrijving verwezen naar paragraaf 4.1.2.

Aanpassen interlocking

De huidige interlocking moet, ongeacht wat er staat, vervangen worden door een nieuwe ERTMS interlocking. Wanneer er nog geen interlocking voor het betreffende baanvak gereserveerd is moet er een nieuwe geplaatst worden in een nieuw systeemhuis of in een andere beschikbare ruimte.

Er moeten objectcontrollers voor wissels en assentellers aangeschaft of ontwikkeld worden. Alle nieuwe systemen kunnen onafhankelijk van de in dienst zijnde systemen opgebouwd worden.

Assentellers toevoegen

Er moet een nieuwe blokindeling gemaakt worden. Zodra deze blokindeling bekend is kunnen assentelsystemen geplaatst en aangesloten worden. De centrale assentelcomputer kan getest worden door schaduw draaien en de bezetmeldingen te vergelijken met de in dienst zijnde detectie. Ook de verbinding met de nieuwe interlocking kan schaduw getest worden tijdens de systeemintegratietest.

Toevoegen balises

Aan de hand van dezelfde blokindeling als de assentellers moeten er balises en SMB borden aangeschaft en geplaatst worden.

GSM-R

Zie paragraaf 4.1.6

Systeemintegratietest

De systeemintegratie test kan als schaduwtest uitgevoerd worden omdat zowel het RBC, de nieuwe interlocking als de assentellers en de balises nog niet in de huidige situatie gebruikt worden en daarom al precies voor de nieuwe situatie geconfigureerd kunnen worden.

ETCS

Zie paragraaf 4.1.6

Omschakelmoment

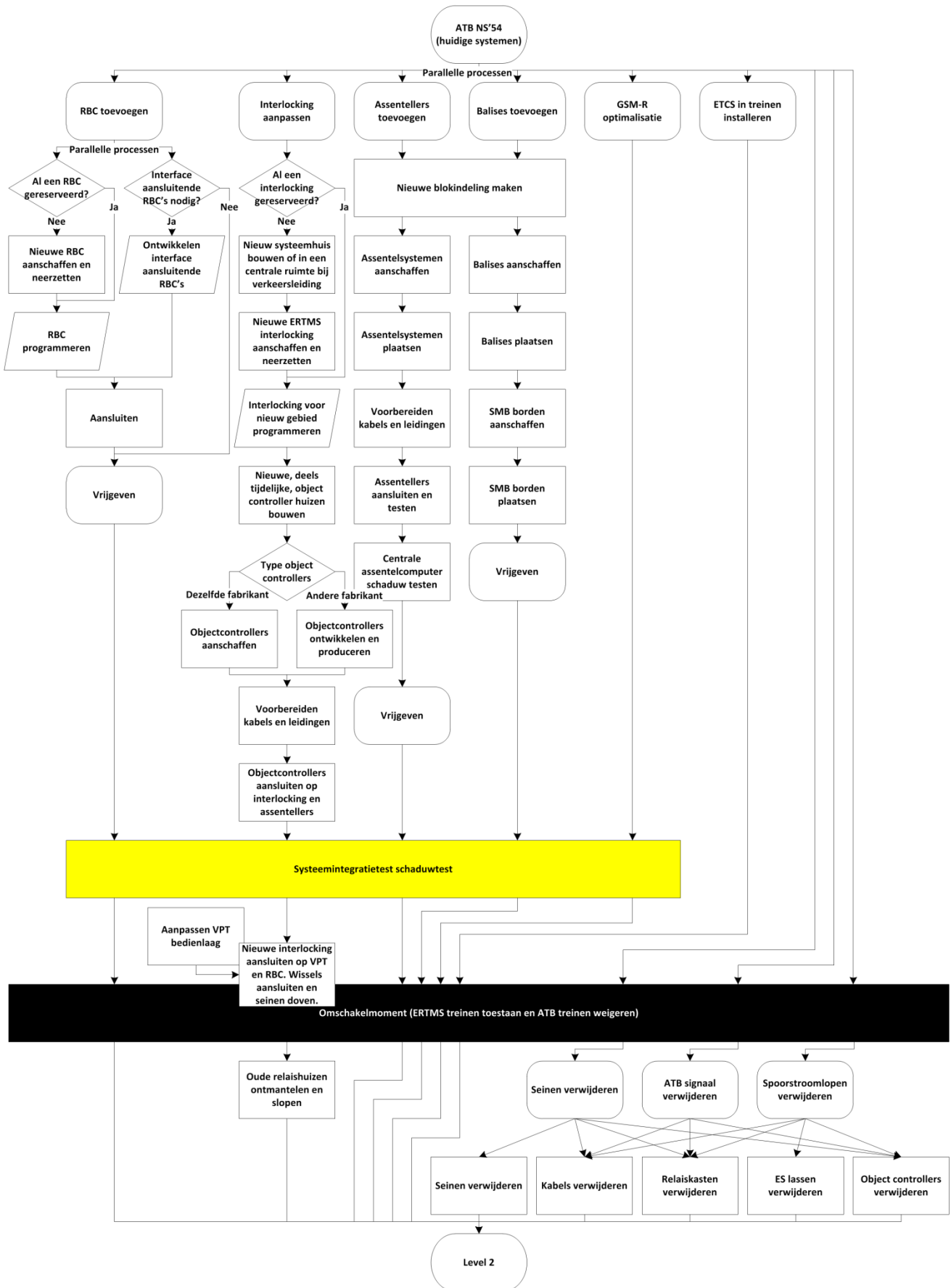
Het omschakelmoment bestaat uit het aansluiten van de nieuwe interlocking op VPT en de nieuwe wissel objectcontrollers en de seinen doven. Tijdens het omschakelen is er geen treinverkeer mogelijk. Na het omschakelmoment worden er enkel nog ERTMS treinen toegelaten.

Aanpassen interlocking

Na het omschakelmoment kunnen de oude interlocking systemen verwijderd worden, inclusief de huisvesting.

Seinen, ATB signaal en spoorstroomlopen verwijderen

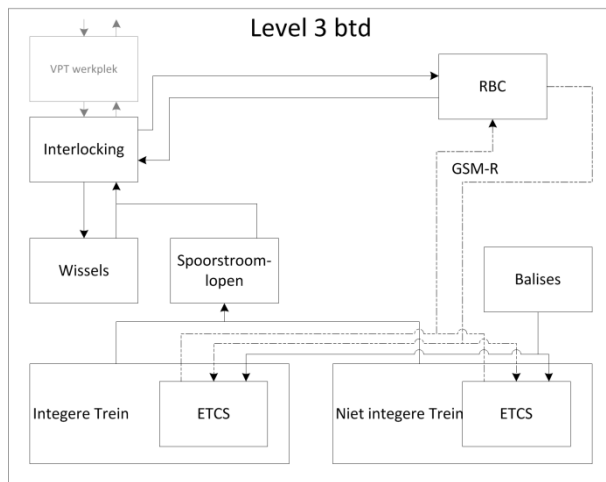
Voor het verwijderen van seinen, het ATB signaal en de spoorstroomlopen moeten er seinpalen, kabels, relaiskasten, ES lassen en objectcontrollers verwijderd worden. Omdat de procedure hetzelfde is als bij de ombouwstap level 2 overlay - level 2 wordt voor een uitgebreide beschrijving verwezen naar paragraaf 4.1.3.



Figuur 18: Stroomschema ombouw huidige situatie naar ERTMS level 2.

4.1.4 LEVEL 3 BTD

Onder ERTMS level 3 btd verzenden alle treinen (integere en niet-integere treinen) hun locatie (positie en lengte) via GSM-R naar het RBC (figuur 19). Voor het detecteren van (de compleetheid van) de niet-integere treinen blijft de baangebonden treindetectie in bedrijf. Hiervoor worden de bestaande spoorstroomlopen gebruikt. Wanneer hieraan een storing is maar er zijn geen niet-integere treinen is er



Figuur 19: Situatie bij ERTMS level 3 btd.

geen nadeel voor het treinverkeer. Echter wanneer GSM-R of het RBC uitvalt kan het treinverkeer niet doorgaan omdat er geen alternatief is voor de via het RBC verstrekte rijtoestemmingen. Er staan geen seinen meer langs de baan, alle treinen, ook de niet-integere, ontvangen hun rijtoestemming via GSM-R. Alle treinen rijden dus onder ETCS en kunnen zodoende profiteren van uitgesteld remmen. Door de autolokalisatie van de integere treinen kunnen deze gebruik maken van de bewegend blok theorie. Door zeer korte virtuele blokken kunnen deze treinen op remwegafstand achter elkaar rijden, net zoals bij level 3.

Ombouw

De stappen die gezet moeten worden bij de ombouw van de huidige situatie naar level 3 btd zijn weergegeven in een stroomschema in figuur 20.

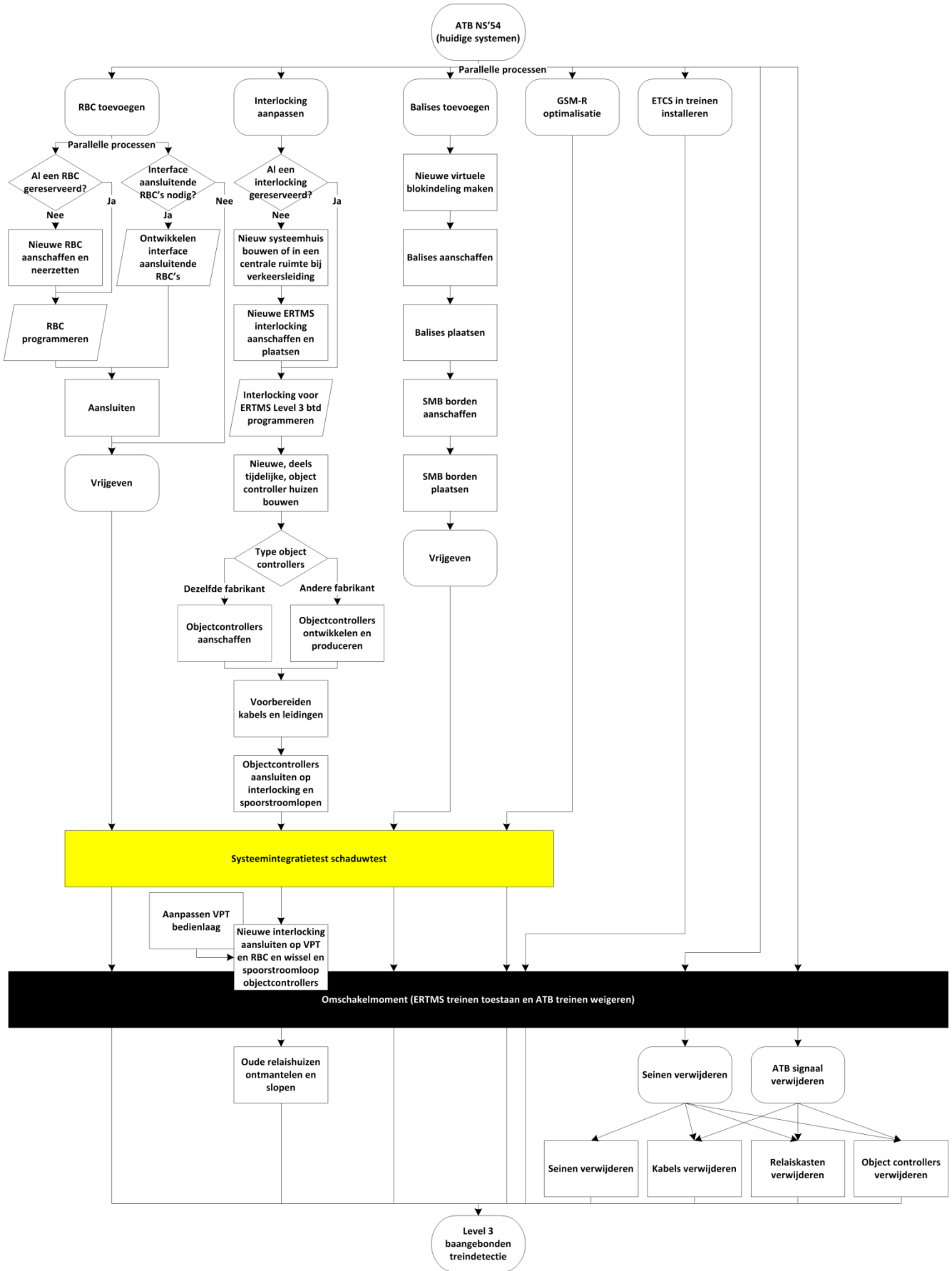
Toevoegen RBC

Er moet een Radio Block Centre (RBC) aan het om te bouwen baanvak toegewezen worden. Dit kan een geheel nieuwe RBC zijn of een bestaande die al voor andere baanvakken in gebruik is. Omdat de procedure hetzelfde is als bij de ombouwstap huidige situatie - level 2 overlay wordt voor een uitgebreide beschrijving verwezen naar paragraaf 4.1.2.

Aanpassen interlocking

De huidige interlocking moet, ongeacht wat er staat, vervangen worden door een nieuwe ERTMS interlocking die kan omgaan met autolokalisatie en virtuele blokindelingen. Wanneer er nog geen interlocking voor het betreffende baanvak gereserveerd is moet er een nieuwe geplaatst worden in een nieuw gebouw of in een andere beschikbare ruimte.

Er moeten objectcontrollers voor wissels en spoorstroomlopen aangeschaft of ontwikkeld worden. De nieuwe ERTMS interlocking kan onafhankelijk van de in dienst zijnde systemen opgebouwd worden. Voor het schaduwtesten moet de status van de spoorstroomlopen uitgelezen worden. Dit is mogelijk en moet zo gerealiseerd worden dat de nieuwe interlocking de spoorstroomlopen niet beïnvloed.



Figuur 20: Stroomschema ombouw huidige situatie naar ERTMS level 3 btd.

Toevoegen balises

De voor de plaatsbepaling benodigde balises zullen zo geplaatst worden dat een trein er gemiddeld om de 400m een tegenkomt. Extra balises worden daar geplaatst waar een hogere nauwkeurigheid vereist is zoals in wisselstraten en in stations waar de kortste virtuele blokken voorkomen. SMB borden moeten geplaatst worden op grens van de met spoorstroomlopen gecontroleerde fysieke blokken.

Systeemintegratietest

De systeemintegratietest kan als schaduwtest uitgevoerd worden omdat al de te testen systemen nieuw zijn. Een onder ATB rijdende testtrein controleert of de juiste rijtoestemmingen afgegeven worden.

Omschakelmoment

Tijdens het omschakelmoment moet de nieuwe ERTMS interlocking op VPT en het RBC aangesloten worden. Ook de wissels en spoorstroomlopen moeten definitief aan deze nieuwe interlocking aangesloten worden.

Interlocking

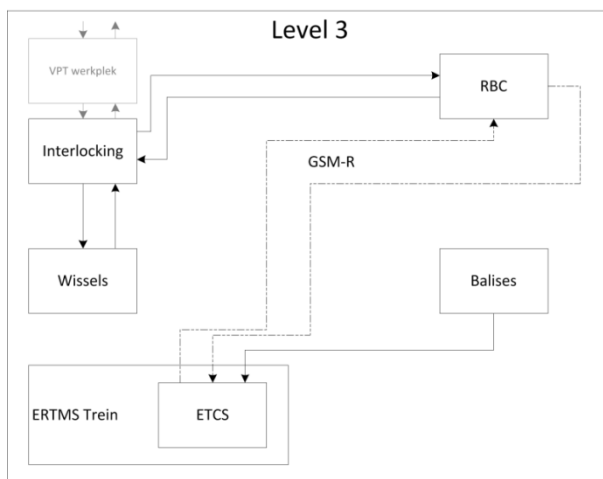
Na het omschakelmoment kunnen de niet langer gebruikte relaishuizen ontmanteld en gesloopt worden.

Seinen en ATB signaal verwijderen

Deze twee elementen bevatten vier componenten: de seinpalen, kabels, relaiskasten en objectcontrollers. Het verwijderen van deze componenten kan plaatsvinden gedurende de nachtelijke treinvrije perioden en tijdens andere geplande onderhoudsmomenten. Het verwijderen van de seinen heeft waarschijnlijk prioriteit om verwarring met de cabinesignalering te voorkomen.

4.1.5 LEVEL 3

Bij level 3 maken alle treinen gebruik van autolokalisatie. Elke trein rapporteert de positie van zijn voorkant en achterkant via het RBC aan de interlocking. Er zijn geen baangebonden systemen meer aanwezig. Enkel de balises die de treinen informeren over hun positie (figuur 21). Door gebruik te maken



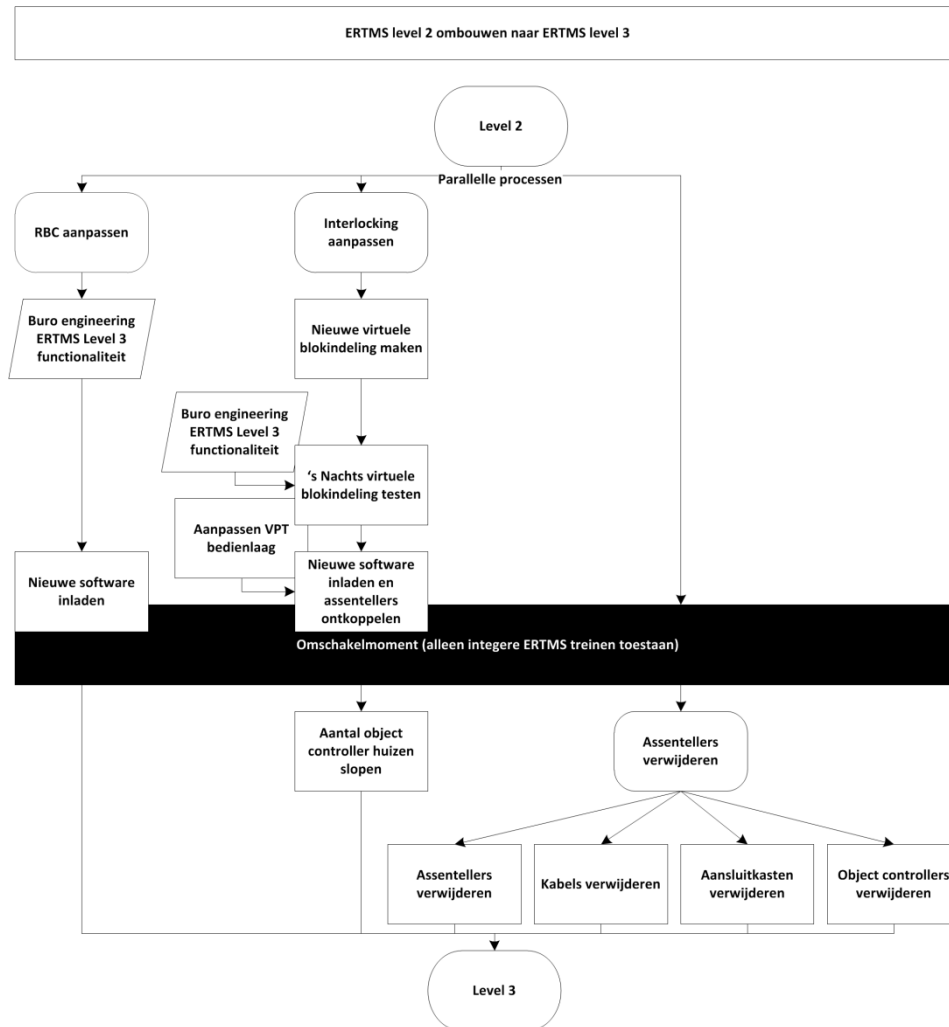
van korte virtuele blokken kunnen alle treinen op bijna remwegafstand achter elkaar aan rijden.

De informatie stromen tussen de interlocking en de trein gaan nu volledig via GSM-R en het RBC. De afhankelijkheid van beide systemen zorgt ervoor dat storing in een van de twee tot het stilleggen van het treinverkeer leidt.

De ombouwstappen naar level 3 zijn kort doordat er geen systemen meer bij komen. Er worden enkel systemen verwijderd en het RBC en de interlocking krijgen een software update.

Figuur 21: Systemen en communicatie bij ERTMS level 3.

Ombouw vanuit level 2



Figuur 22: Stroomschema ombouw ERTMS level 2 naar ERTMS level 3.

Zie figuur 22 voor het stroomschema behorende bij deze ombouwstap.

Aanpassen RBC

Tijdens het omschakelmoment moet het RBC een software update krijgen omdat het RBC nu ook richting de interlocking moet communiceren welke trein zich waar bevindt, er is immers geen baangebonden treindetectie meer. Ook verandert de blokindeling van fysieke blokken naar kortere virtuele blokken.

Aanpassen interlocking

De interlocking moet via een software update de nieuwe virtuele blokindeling krijgen. Deze nieuwe blokindeling kan 's nachts getest worden wanneer voor de testperiode de nieuwe software geladen wordt en na de test weer de oude versie ingeladen wordt.

Tijdens het omschakelmoment moet de nieuwe software dan definitief ingeladen worden.

Omschakelmoment

Tijdens het omschakelmoment moet het RBC en interlocking ge-update worden zoals beschreven. De assentellers moeten ontkoppeld worden. Na het omschakelmoment zijn enkel nog integrale ERTMS treinen tot het betreffende baanvak toegelaten.

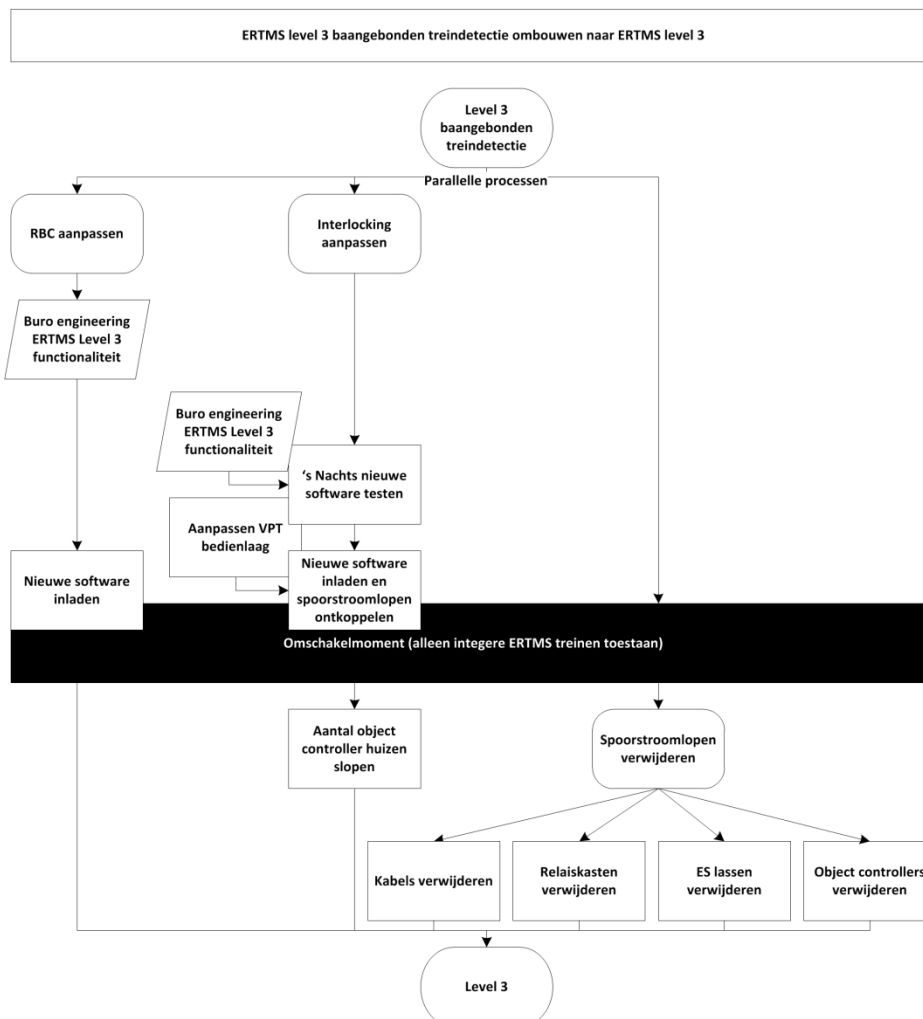
Aanpassen interlocking

De objectcontrollers voor de assentellers kunnen verwijderd worden. Enkel de objectcontrollers voor de wissels blijven over. Afhankelijk van de verdeling over de objectcontrollerhuizen kunnen er misschien een aantal van gesloopt worden.

Assentellers verwijderen

De assentellers moeten van de spoorstaaf verwijderd worden. Dit kan plaatsvinden gedurende de nachtelijke treinvrije perioden en tijdens andere geplande onderhoudsmomenten. Of eerder wanneer assentellers hergebruikt kunnen worden. De kabels, aansluitkasten en objectcontrollers (assentelcomputers) kunnen op andere momenten verwijderd worden.

Ombouw vanuit level 3 btd



Figuur 23: Stroomschema ombouw ERTMS level 3 btd naar ERTMS level 3.

In figuur 23 is het stroomschema voor deze ombouwstap weergegeven.

Aanpassen RBC

Tijdens het omschakelmoment moet het RBC een software update krijgen omdat het RBC nu geen onderscheid meer hoeft te maken tussen integrale en niet-integere treinen.

Aanpassen interlocking

De interlocking moet via een software update de level 3 puur functionaliteit krijgen. De interlocking hoeft geen onderscheid meer te maken tussen integrale en niet-integere treinen en ook niet meer de spoorbezetmeldingen van de spoorstroomlopen in te lezen. Deze software update kan 's nachts getest worden wanneer voor de testperiode de nieuwe software geladen wordt en na de test weer de oude versie ingeladen wordt.

Tijdens het omschakelmoment moet de nieuwe software dan definities ingeladen worden.

Omschakelmoment

Tijdens het inschakelmoment moet het RBC en de interlocking ge-update worden zoals beschreven. De spoorstroomlopen moeten ontkoppeld worden. Na het omschakelmoment zijn enkel nog integrale ERTMS treinen tot het betreffende baanvak toegelaten.

Aanpassen interlocking

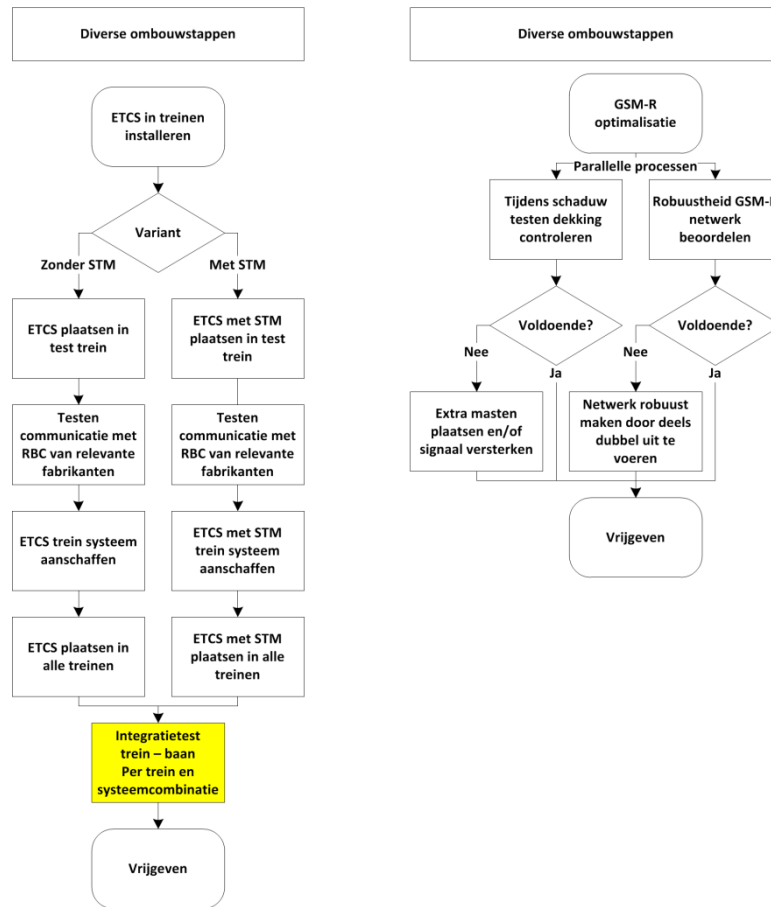
De objectcontrollers voor de spoorstroomlopen kunnen verwijderd worden. Enkel de objectcontrollers voor de wissels blijven over. Afhankelijk van de verdeling over de objectcontrollerhuizen kunnen er misschien een aantal van gesloopt worden.

Spoorstroomlopen verwijderen

De kabels en ES lassen kunnen gedurende de nachtelijke treinvrije perioden en tijdens andere geplande onderhoudsmomenten verwijderd worden. De relaiskasten en objectcontrollers kunnen op andere momenten verwijderd worden.

4.1.6 ETCS EN GSM-R

Ongeacht de gekozen ERTMS variant moeten de treinen uitgerust worden met een ETCS computer die controleert of de machinist zich aan de afgegeven rijtoestemming houdt. Deze rijtoestemmingen worden van het Radio Block Centre (RBC) via een GSM-R verbinding naar de trein verzonden. Omdat het GSM-R netwerk onder ERTMS meer gebruikt wordt dan in de huidige situatie moet het op geschiktheid gecontroleerd worden. De processen "Toevoegen ETCS in treinen" en "GSM-R optimalisatie", afgebeeld in figuur 24, komen in meerdere ombouwstappen op identieke wijze naar voren zonder interactie met andere processen en worden daarom hieronder apart beschreven.



Figuur 24: Stroomschema's ETCS in treinen installeren en GSM-R optimalisatie.

Toevoegen ETCS in treinen

Om op korte termijn met ERTMS te kunnen gaan rijden moet er bestaand materieel van ERTMS voorzien worden. Wanneer deze treinen ook nog door ATB gebied moeten rijden moeten deze 'dubbel uitgevoerd' worden. Een dubbel uitgevoerde trein heeft naast de ETCS treinbeïnvloeding een extra STM (Specific Transmission Module) module om de ontvangen ATB signalen te vertalen naar een voor het ETCS systeem⁶ te begrijpen opdracht.

Materieel enkel uitrusten met ERTMS, dus zonder STM, kan wanneer er een ERTMS corridor is van voldoende lengte zodat deze treinen alleen daar overheen rijden. Wanneer de eerste trajecten worden omgebouwd is zonder STM niet praktisch.

Na het ontwikkelen van een materieel specifieke ETCS module moet deze in een testtrein getest worden. Wanneer succesvol verlopen kan eenzelfde module in alle andere treinen ingebouwd worden.

⁶ Het centrale deel van het ETCS systeem in de trein is de EVC (European Vital Computer). Daarnaast omvat het systeem een GSM-R antenne, een antenne voor het lezen van de balises, een hodometer voor het bijhouden van de afgelegde afstand en een integriteitscontrolesysteem.

Integratie test trein-baan per trein en systeemcombinatie

Elke met ETCS uitgeruste trein moet getest worden voordat deze wordt toegelaten. Omdat het planning technisch niet in elke ombouwstap mogelijk is om te testen op het nieuw omgebouwde baanvak kan er ook getest worden op andere baanvakken met een door dezelfde fabrikant geleverde RBC. Het belangrijkste punt is de trein-RBC verbinding. Wanneer deze verbinding getest wordt met een RBC van dezelfde fabrikant en met dezelfde softwareversie als op de omgebouwde lijn is dit voldoende.

Na goedkeuring kan de trein al ingezet worden op andere ERTMS baanvakken, bijvoorbeeld Amsterdam - Utrecht of de Hanzelijn, om personeel op te leiden voor het rijden onder ERTMS. Na indienststelling van ERTMS op het nieuwe omgebouwde baanvak kunnen deze treinen daar direct ingezet worden met ERTMS functionaliteit en bevoegd personeel.

GSM-R optimalisatie

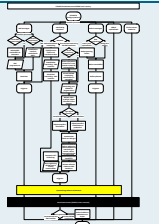
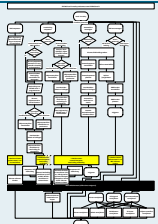
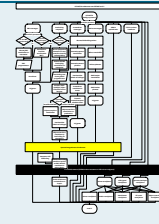
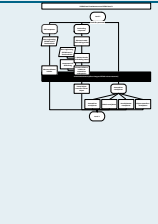
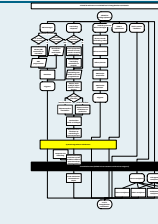
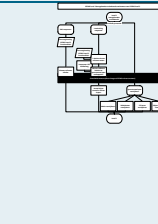
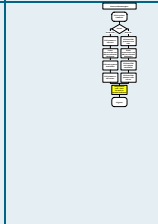
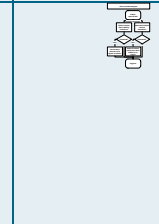
ERTMS treinen stellen hogere eisen aan de GSM-R verbinding dan de huidige treinen die GSM-R alleen voor spraak communicatie gebruiken. Het opwaarderen van de GSM-R verbinding moet, wanneer nodig, gebeuren in de ombouwstappen die de huidige situatie als startpunt hebben. In alle ERTMS situaties is er een permanente data verbinding tussen de trein en het RBC. Wanneer deze verbinding wegvalt kan de trein geen rijtoestemmingen meer ontvangen en in level 3 btd en 3 puur ook niet meer zijn positie doorgeven. Wanneer de verbinding niet binnen een vooraf ingestelde tijd hersteld wordt zal de trein uit veiligheidsoverwegingen stil gezet worden.

De belangrijkste netwerk kenmerken die gecontroleerd moeten worden zijn de dekking en robuustheid van het GSM-R netwerk. De dekking kan door middel van schaduwtesten gecontroleerd worden. De dekking zou voor heel Nederland goed moeten zijn, maar kan indien nodig verbeterd worden door het plaatsen van extra masten (Beets & Andel, 2008). Om robuust te zijn moet het netwerk voldoende capaciteit hebben en in het geval van falen van een van de elementen (bijvoorbeeld een zendmast of centrale) niet compleet uitvallen. Hoe robuust het netwerk is en welke mate van robuustheid gewenst is vraagt nader onderzoek. Om de extra communicatie van ETCS data mogelijk te maken moet de capaciteit van het netwerk mogelijk uitgebreid worden.

4.2 OVERZICHT

In tabel 4 zijn de zes hierboven beschreven ombouwstappen samengevat. Voor elke ombouwstap is het stroomschema in miniatuur weergegeven zodat een indruk ontstaat van de omvang van de werkzaamheden benodigd in elke ombouwstap. Ook is aangegeven welke keuzes er gemaakt moeten worden en of deze invloed hebben op vervolg ombouwstappen.

Tabel 4: Samenvatting ombouwstappen.

Overgang	ATB-NS'54 - L2o	L2o - L2	ATB-NS'54 - L2	L2 - L3	ATB-NS'54 - L3btd	L3btd - L3	ETCS	GSM-R
Referentie paragraaf	4.1.2	4.1.3	4.1.3	4.1.5	4.1.4	4.1.5	4.1.6	4.1.6
Stroomschema								
Belangrijke keuzemomenten	Nieuwe interlocking of niet? Hoe balises projecteren?	-	-	-	-	-		
Afhankelijkheden vorige stappen	n.v.t.	Nieuwe interlocking aanwezig? Hoe zijn de balises neergelegd? Blokindeling bekend?	n.v.t.	-	n.v.t.	-		
Overige keuzes	Fabrikant eigen object controllers?	Fabrikant eigen object controllers?	Fabrikant eigen object controllers?	-	Fabrikant eigen object controllers?	-		
Externe factoren	GSM-R optimalisatie? Gereserveerde interlocking of RBC aanwezig?	GSM-R optimalisatie? Gereserveerde interlocking aanwezig?	GSM-R optimalisatie? Gereserveerde interlocking of RBC aanwezig?	GSM-R optimalisatie?	GSM-R optimalisatie? Gereserveerde interlocking of RBC aanwezig?	GSM-R optimalisatie?		

Overgang	ATB-NS'54 - L2o	L2o - L2	ATB-NS'54 - L2	L2 - L3	ATB-NS'54 - L3btd	L3btd - L3	ETCS	GSM-R
Testmogelijkheden	Schaduw OF 's Nachts	Schaduw OF 's Nachts	Schaduw	's Nachts	Schaduw	's Nachts	Schaduw	Schaduw
Buitendienst stellingen	Geen OF Voor indienststellen nieuwe interlocking	Tijdens omschakel-moment voor aansluiten interlocking en updaten RBC	Tijdens omschakel-moment nieuwe interlocking aansluiten	Tijdens omschakel-moment RBC en interlocking updaten	Tijdens omschakel-moment nieuwe interlocking aansluiten	Tijdens omschakel-moment RBC en interlocking updaten		
Hardware aanpassingen baan	Toevoegen balises	Toevoegen assentellers (Toevoegen balises) Verwijderen seinen Verwijderen ATB signaal Verwijderen spoorstroomlopen	Toevoegen assentellers Toevoegen balises Verwijderen seinen Verwijderen ATB signaal Verwijderen spoorstroomlopen	Verwijderen assentellers	Toevoegen balises Verwijderen seinen Verwijderen ATB signaal	Verwijderen spoorstroomlopen		
Hardware aanpassingen aansturing	Toevoegen RBC Aanpassen interlocking	Aanpassen interlocking	Toevoegen RBC Aanpassen interlocking	-	Toevoegen RBC Aanpassen interlocking	-		
Software aanpassingen aansturing	-	Aanpassen RBC (Aanpassen interlocking)	-	Aanpassen RBC Aanpassen interlocking	-	Aanpassen RBC Aanpassen interlocking		

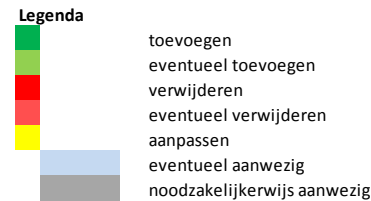
De huidige interlocking systemen en objectcontrollers moeten in gebruik blijven tot het omschakelmoment. De nieuwe systemen zullen dus in een nieuwe ruimte opgebouwd moeten worden zodat in één keer overgeschakeld kan worden. Tabel 5 geeft een overzicht van de benodigde ruimte voor alle systemen en objectcontrollers. Hierbij wordt aangenomen dat de nieuwe systemen ongeveer net zoveel ruimte in nemen als de huidige systemen en dat elk systeem hetzelfde ruimtebeslag heeft. Dit overzicht geeft ook een indicatie van de hoeveelheid systemen die aangeschaft moeten worden. Een deel van deze nieuwe systemen is maar een korte periode in bedrijf, daarom is het mogelijk goedkoper om deze systemen tijdelijk in containers the huisvesten in plaats van nieuwe gebouwtjes. Langs de baan is over het algemeen wel ruimte voor nieuwe systeemhuizen, al is de grond dan niet altijd van ProRail. In stations zijn de systeemruimtes vaak in het station weg gewerkt en verschilt het per station of er extra ruimte is.

In de ombouwstap 'huidige situatie - ERTMS level 2 overlay' wordt er een beslissing genomen, over het type interlocking die gebruikt gaat worden, die doorwerkt in de volgende ombouwstap. Omdat deze keuze invloed heeft op de hoeveelheid nieuwe systemen die ontwikkeld, aangeschaft en gehuisvest moeten worden zijn beide keuze mogelijkheden hieronder apart weergegeven.

Tabel 5: Schematisch overzicht alle toe te voegen en te verwijderen systemen in elke ombouwstap, gerangschikt per locatie. Voor de nieuwe systeemhuizen wordt tevens een grove indicatie gegeven van de benodigde ruimte. Aangenomen wordt dat de nieuwe systemen ongeveer net zoveel ruimte in nemen als de huidige systemen en dat elk systeem hetzelfde ruimtebeslag heeft. Het woordje "of" duidt aan dat een systeem of in het huidige relaishuis geplaatst kan worden of in een nieuw systeemhuis.

Ombouwroute	ATB NS'54 - L2o (B-relais) - L2 - L3				ATB NS'54 - L2o (ERTMS) - L2 - L3				ATB NS'54 - L2 - L3			ATB NS'54 - L3btd - L3		
	ATB NS'54	L2o	L2	L3	ATB NS'54	L2o	L2	L3	ATB NS'54	L2	L3	ATB NS'54	L3btd	L3
In centrale ruimte														
RBC		■	■	■			■	■			■			
ERTMS interlocking			■	■			■	■			■			
Ruimte zelf	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
In huidige relaishuis														
B-relais			■	■		■					■			
RBC interface		■ of ■	■	■		■					■			
Huidige objectcontrollers wissels			■	■		■					■			
Huidige objectcontrollers spoorstroomlopen			■	■		■					■			
Huidige objectcontrollers ATB signaal			■	■		■					■			
Huidige objectcontrollers seinen			■	■		■					■			
Nieuwe objectcontrollers wissels														
Nieuwe objectcontrollers spoorstroomlopen														
Nieuwe objectcontrollers ATB signaal														
Nieuwe objectcontrollers seinen														
Nieuwe objectcontrollers assentellers							■ of ■	■						
Assentelcomputer							■ of ■	■						
Aantal objectcontrollers	5	6	0	0	5	0	2	0	5	0	0	5	0	0
Gevuld (%)	100	120	0	0	100	0	40	0	100	0	0	100	0	0
Ruimte zelf	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
In nieuw systeemhuis														
RBC interface		■ of ■	■	■										
Nieuwe objectcontrollers wissels			■	■		■					■			
Nieuwe objectcontrollers spoorstroomlopen							■						■	
Nieuwe objectcontrollers ATB signaal														
Nieuwe objectcontrollers seinen														
Nieuwe objectcontrollers assentellers			■	■			■ of ■	■			■			
Assentelcomputer			■	■			■ of ■	■			■			
Aantal objectcontrollers tijdens ombouwmoment	1	4	3		4	6	3		3	3		2	2	
Aantal objectcontrollers	0	1	3	1	0	4	3	1	0	3	1	0	2	1
Gevuld (% tov hoogste aantal)	0	25	75	25	0	66	50	16	0	100	33	0	100	50
Ruimte zelf	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■

Ombouwroute	ATB NS'54 - L2o (B-relais) - L2 - L3				ATB NS'54 - L2o (ERTMS) - L2 - L3				ATB NS'54 - L2 - L3			ATB NS'54 - L3btd - L3		
	ATB NS'54	L2o	L2	L3	ATB NS'54	L2o	L2	L3	ATB NS'54	L2	L3	ATB NS'54	L3btd	L3
Langs de baan														
Wissels														
Seinen														
Spoorstroomlopen														
ATB signaal														
Kabels														
Relaiskasten (bestaand)														
Systeemkasten (nieuw)														
ES lassen														
Assentellers														
Balises														
SMB borden														
GSM-R														
In trein														
ETCS														
ATB														



Ontwikkelingswerk

De in de tabel hierboven weergegeven objectcontrollers kunnen bij dezelfde fabrikant als de interlocking gekocht worden of moeten ontwikkeld worden wanneer de opdrachtgever niet van één fabrikant afhankelijk wil zijn. Wanneer alles van dezelfde fabrikant betrokken wordt bestaat de kans op 'vendor lock in'. De afnemer is dan afhankelijk van de kennis van de fabrikant. Wanneer de deelsystemen bij verschillende fabrikanten gekocht worden kan het nodig zijn een interface te ontwikkelen om deze met elkaar te laten communiceren. Het ontwikkelen van een interface heeft als nadeel dat dit tijd en geld kost en een potentieel punt van storingen is. Daarnaast zijn er ook een aantal interfaces die afhankelijk van de gekozen invoeringsstrategie altijd ontwikkeld moeten worden omdat dit voor Nederland specifieke systemen betreft. In tabel 6 is weergegeven hoeveel keer dit in elke Invoeringsstrategie voorkomt. Niet alle als buro engineering aangemerkte blokjes in de stroomschema's zijn in dit overzicht opgenomen. Bijvoorbeeld een interlocking voor level 2 programmeren wordt als regulier werk gezien en niet als een nieuw te ontwikkelen product.

Tabel 6: Vereist ontwikkelingswerk.

Invoerings- strategie	ATB-NS'54 - L2o (B-relais) - L2 - L3	ATB-NS'54 - L2o (ERTMS) - L2 - L3	ATB-NS'54 - L2 - L3	ATB-NS'54 - L3btd - L3
Ontwikkeling onvermijdelijk	B-relais - RBC interface Level 3 puur software	Objectcontrollers voor seinen, ATB signaal en spoorstroomlopen Level 3 puur software	Level 3 puur software	Level 3 btd software Level 3 puur software
Afhankelijk van keuze zelfde of andere fabrikant	Objectcontrollers wissels en assentellers	Objectcontrollers wissels en assentellers	Objectcontrollers wissels en assentellers	Objectcontrollers wissels en spoorstroomlopen
Afhankelijk van aanwezige systemen	Interface aansluitende RBC's	Interface aansluitende RBC's	Interface aansluitende RBC's	Interface aansluitende RBC's

Uit de tabel blijkt dat de invoeringsstrategie ATB-NS'54 - L2 - L3 het minste ontwikkelingswerk met zich mee brengt. Alle voor deze route te ontwikkelen systemen zouden ook voor de andere invoeringsstrategieën ontwikkeld moeten worden. Met de meeste van deze ontwikkelingen is bovendien al ervaring waardoor niet meer vanaf nul begonnen hoeft te worden. Ervaring is opgedaan op de Hanzelijn en Amsterdam – Utrecht. Hier is Level 2 overlay in bedrijf. Er is dus ervaring met objectcontrollers voor wissels, seinen, ATB signaal en spoorstroomlopen. Dit is ontwikkelwerk dat ook in de invoeringsstrategie ATB-NS'54 - L2o (ERTMS) - L2 - L3 voorkomt. Assentellers zijn in combinatie met ERTMS in gebruik op de HSL waar ook een interface is ontwikkeld met een aansluitende RBC van een andere fabrikant omdat in België een andere fabrikant gecontracteerd was. De hoeveelheid ontwikkelingswerk aan de objectcontrollers is echter afhankelijk van de gekozen fabrikant zoals hierboven beschreven.

Minder ervaring is er met Level 3. Het wordt in Nederland nog niet in de praktijk toegepast, al zijn er recent wel testen uitgevoerd (Projectteam ERTMS Level 3 PoC, 2013). Hetzelfde geldt voor level 3 met baangebonden treindetectie, nodig voor de invoeringsstrategie ATB-NS'54 - L3btd - L3. De voor de ATB-NS'54 - L2o (B-relais) - L2 - L3 invoeringsstrategie benodigde B-relais - RBC interface bestaat nog niet in Nederland en zal dus vanaf nul ontwikkeld moeten worden.

Verrekenen van de ontwikkelingskosten

De ontwikkelingskosten worden één keer gemaakt en de kennis kan daarna in vervolg projecten gebruik worden. Het lijkt dan logisch om deze kosten over al die projecten te verdelen. Voor veel onderdelen zoals de RBC's, interlockings en de objectcontrollers en interfaces is echter nog niet duidelijk hoeveel er volgen en op welke termijn. Daarom is er voor gekozen de ontwikkelingskosten geheel voor rekening van het studiegebied te laten komen.

4.3 BELANGEN TIJDENS UITVOERING OMBOUWSTAPPEN

Van de in de krachtenveld analyse genoemde stakeholders (Ministerie van IenM, NS, ProRail en goederenvervoerders, de regionale reizigersvervoerders, leveranciers en ingenieursbureaus) zijn de belangrijkste bij de uitvoering betrokken partijen: ProRail, leveranciers, ingenieursbureaus en aannemers. Daar waar het ministerie een grote rol speelt bij de besluitvorming rond de te kiezen invoeringsstrategie zal de technische uitwerking door ProRail gemaakt worden, mogelijk met ondersteuning van de

ingenieursbureaus. Tabel 7 laat zien welke partijen bij welk proces betrokken kunnen zijn. Omdat deze tabel een totaaloverzicht geeft kunnen ervoor specifieke ombouwstappen enkele afwijkingen zijn.

De NS (en ook de regionale vervoerders) zijn vooral betrokken bij de installatie van ERTMS in hun treinen. De betrokkenheid van de NS bij de processen rond het RBC, de interlocking, de balises en de assentellers komt voor uit de mogelijkheid in sommige ombouwstappen een nieuwe blokindeling te maken die geoptimaliseerd kan worden voor een gewenste dienstregeling.

Tabel 7: Betrokken partijen. IB staat voor ingenieursbureau. Daar waar NS genoemd is zijn ook de andere (reizigers)vervoerders van belang.

Deel proces-sen	RBC toevoegen/aanpassen	Interlock-ing aanpassen	Balises toevoegen	Assentel-lers toevoegen/verwijderen	Seinen verwijderen	ATB signaal verwijderen	Spoorstr-oomlopen verwijderen	ETCS toevoegen	GSM-R opti-malisatie
Keuzes	ProRail	ProRail	ProRail					NS	ProRail
	IB	IB	IB	IB				IB	IB
Proces-sen	ProRail	ProRail	ProRail	ProRail	Aannemers	Aannemers	Aannemers	ProRail	ProRail
	Fabrikanten	Fabrikanten	Fabrikanten	Fabrikanten	Installateurs	Installateurs	Installateurs	Fabrikanten	Fabrikanten
	IB	IB	IB	IB				IB	IB
	NS	NS	NS	NS				NS	NS
	Installateurs	Aannemers	Aannemers	Aannemers				Installateurs	Installateurs
		Installateurs		Installateurs					Specialist
Systeem integra-tie test	ProRail	ProRail	ProRail					NS	ProRail
	Fabrikant	Fabrikant	Fabrikant						NS
	NS	NS	NS						
	IB	IB	IB						

Voor de systeem integratietest moeten de gebruikers en fabrikanten aanwezig zijn. De gebruikers zijn uiteindelijk ProRail en de NS. Fabrikanten zullen aanwezig zijn om problemen die aan het licht komen meteen te kunnen verhelpen. Ingenieursbureaus kunnen aanwezig zijn voor onafhankelijke validatie.

4.4 PRORAIL INFRACONCEPTEN

De ombouwstappen zoals hierboven beschreven kunnen in principe op heel Nederland toegepast worden. Echter niet overal worden dezelfde eisen gesteld met betrekking tot capaciteit en betrouwbaarheid. Om het spoorgebruik en de bijbehorende eisen eenduidig vast te kunnen stellen heeft ProRail 7 verschillende infraconcepten vastgesteld (figuur 25) (ProRail, 2013).

1. Heavy Rail Premium
2. Heavy Rail Value
3. Light Rail Premium
4. Light Rail Value
5. High Speed
6. Cargo
7. (Shunting) Yards

Voor elk infraconcept zijn functionele en technische ontwerpkeaders opgesteld (FOK en TOK). Voor de concepten 1 t/m 4 wordt hieronder uitgewerkt welke consequenties dit heeft voor de invoering van ERTMS.

Heavy Rail Premium voorziet in spoor dat een hoge intensiteit (6/6) aankan en een zeer hoge bedrijfszekerheid biedt. Ook de maximum snelheid moet waar mogelijk naar 160 km/h. Het technische ontwerpkeader geeft met betrekking tot de beveiliging aan dat kwetsbare technieken (ES-lassen, spoorstroomlopen en ATB-EG) vervangen worden door ERTMS met assentellers. 160 km/h en werken zonder spoorstroomlopen is niet mogelijk in combinatie met het huidige beveiligingssysteem waardoor ERTMS een vereiste is voor het realiseren van dit infraconcept.

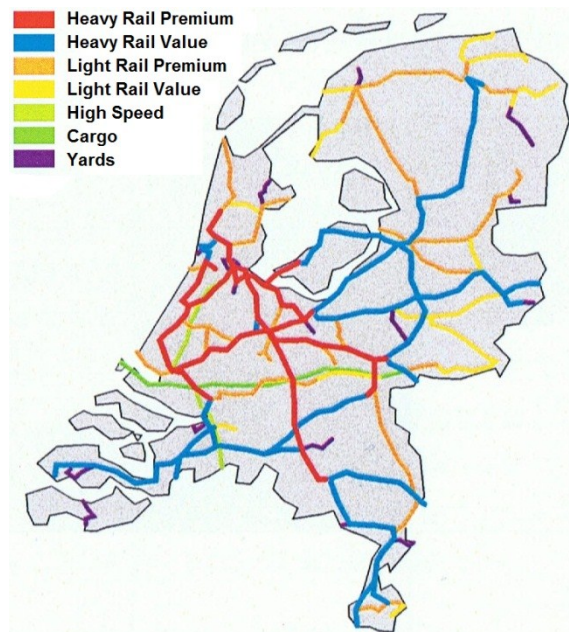
Heavy Rail Value beschrijft normaal benut spoor met 5 à 7 treinen per uur per richting inclusief goederentreinen. De technische ontwerpkeaders geven aan tot 2020 spoorstroomlopen en ES-lassen te handhaven en tot die tijd de ES lassen en detectie te verbeteren. Daarna wordt wel overgestapt naar ERTMS. Een aantal spoorlijnen uit deze categorie maken deel uit van internationale goederen corridors die volgens EU wetgeving voor 2020 van ERTMS voorzien moeten zijn.

Light Rail Premium omvat de hoog benutte, vaak enkelsporige baanvakken met in totaal tot 8 treinen per uur. Voor de treindetectie worden in de TOK assentellers aanbevolen en bij vervanging van ATB-EG of ATB-NG wordt overgegaan op ERTMS.

Light Rail Value bevat de enkelsporige regioliijnen met 1 à 2 treinen per uur per richting. Hier wordt een simpele detectie en handhaving van ATB-NG aanbevolen in de TOK.

Gezien de hoge beschikbaarheidseisen van de concepten 1, 2 en 3 zijn nachtelijke testen ongewenst en worden schaduwtesten aanbevolen. Sporen die onder concept 1 vallen worden ook door nachttreinen gebruikt waardoor dubbelsporige buitendienststellingen zoveel mogelijk vermeden worden. Concepten 2 en 3 worden 's nachts niet gebruikt of er zijn omrijd routes beschikbaar (concept 2) waardoor er 's nachts buitendienststellingen tot maximaal 4 uur mogelijk zijn. Concept 4 kan vanuit kostenoverwegingen ook overdag buitendienst gesteld worden om systemen te testen.

High Speed en Cargo komen overeen met de HSL en de Betuweroute. Deze sporen zijn al voorzien van assentellers en ERTMS level 2. Yards bevatten opstelreinen, emplacementen om te rangeren en stamlijnen (op industriegebieden). Hier volstaan geen of zeer eenvoudige beveiligingssysteem. Voor rangeren bestaat een speciale ETCS modus. In deze modus controleert het ETCS systeem slechts of de trein niet een bepaald gebied verlaat.



Figuur 25: ProRail infraconcepten.

5

Kosten

Kosten worden gegenereerd tijdens de ombouwprocessen door aanschaf en installatie van systemen en wanneer de systemen in gebruik zijn zijn er de onderhoudskosten. Kosten ontstaan ook tijdens storingen, de storing moet verholpen worden en omdat de treinen niet kunnen rijden worden de vervoerders ook gedupeerd.

In dit hoofdstuk wordt uiteengezet hoe de kosten voor de verschillende onderdelen zijn vastgesteld. De financieringskosten worden in acht genomen in hoofdstuk 7 waar ook de opbrengsten worden verrekend. Kostenposten zijn slechts variant onafhankelijk wanneer zij in elke variant even vaak en op hetzelfde moment voorkomen. Omdat dit weinig voorkomt zijn alle in de voorgaande hoofdstukken geïdentificeerde kostenposten voor zover mogelijk uitgewerkt.

5.1 OMBOUW BAAN

Alle kostenposten voor het ombouwen van de baansystemen zijn zichtbaar gemaakt in de stroomschema's in hoofdstuk 4. Van deze stroomschema's zijn lijsten gemaakt (zie bijlage 3) waarin aantallen en kosten per stuk ingevuld kunnen worden zodat een totaalbedrag uitgerekend kan worden. In deze paragraaf wordt voor de belangrijkste elementen uiteengezet hoe de aantallen en de prijs bepaald is.

RBC

De prijs voor RBC's kan opgesplitst worden naar programmeer werk en naar het aantal computers dat gekocht moet worden. Voor het aantal computers is niet de hoeveelheid infrastructuur maatgevend maar het aantal treinen omdat een RBC maar met een beperkt aantal treinen tegelijk kan communiceren maken. Voor de meeste fabrikanten geldt dat hun RBC's met 30 tot 50 treinen tegelijk contact kunnen houden. Het aantal aan te schaffen RBC's wordt dus bepaald door de dienstregeling. Op elk moment mogen er in het door het RBC gecontroleerde gebied niet meer dan het maximum aantal treinen rijden. Voor de programmering van het RBC is wel de infrastructuur bepalend. Een leverancier moet de sporenlay-out invoeren en de bijbehorende snelheidsprofielen, mogelijke routes en beveiligingsfunctionaliteiten. Voor de kostenberekening van een RBC is het zodoende van belang te weten hoeveel RBC's er nodig zijn in het studiegebied en vervolgens welk gebied zo'n RBC beslaat. Met deze gebiedseigenschappen (wissels, sporen, snelheden, rijwegen) is vervolgens te bepalen wat het programmeren van deze RBC kost. Hiervoor is echter geen directe formule voorhanden.

De programmeer kosten kunnen afgeleid worden via de totale ontwerpkosten van het 1 op 1 vervangen van de huidige beveiligingsinstallatie door een conventionele elektronische interlocking (exclusief materiaalkosten). Wanneer gekeken wordt naar het aantal manuren qua engineering geldt voor de verhouding vervangen door een conventioneel systeem of vervangen door ERTMS Level 2 de factor 1,4 (Zweers, 2012). Bij een gegeven bestaande spoor lay-out kost het ontwerpen, programmeren en testen van

een elektronische ERTMS interlocking (inclusief RBC) 1,4 keer zoveel werk vergeleken met een elektronische conventionele interlocking. Deze factor bevat ook het RBC. Wanneer het RBC los beschouwd wordt, verhoudt deze zich tot het maken van een conventioneel ontwerp met een factor 0,1.

Hier komt nog bij dat onder ERTMS ook de vrije baan bediend gebied wordt. Dit wordt nu nog bediend via het automatisch blokstelsel.

Interlocking

Waar in de huidige situatie de interlocking systemen lokaal opgesteld staan is dit bij ERTMS interlockings niet meer nodig. Alle benodigde computers kunnen op een centraal punt opgesteld worden. Echter om de beschikbaarheid te vergroten kan er ook gekozen worden om de systemen toch over meerdere locaties te verdelen waardoor bij uitval een kleiner gebied geraakt wordt. Wanneer voor de laatste optie gekozen wordt kunnen de computers niet in de bestaande relaishuizen opgebouwd worden omdat deze meestal vol zijn. Er moeten dus nieuwe gebouwtjes neergezet worden.

De kosten voor een interlocking moeten op ongeveer dezelfde manier bepaald worden als de kosten voor een RBC. De kosten zijn afhankelijk van het aantal aan te schaffen computers en vooral van de hoeveelheid programmeerwerk dat afgeleid wordt van aantal elementen dat aangestuurd moet worden (wissels, seinen, detectie, ATB) en het aantal mogelijke rijwegen. Volgens de vergelijkingsmethode zoals onder 'RBC' beschreven is het programmeerwerk vergelijkbaar met 1,2x het ontwerpwerk voor een conventionele interlocking.

Hier komt bij dat in vergelijking met de huidige situatie de ERTMS interlocking niet alleen emplacementen maar ook het spoor tussen de emplacementen moet aansturen. Dit spoor wordt in de huidige situatie aangeduid als de vrije baan. Seinens langs de vrije baan worden aangestuurd door het automatisch blokstelsel en niet door een treindienstleider via een interlocking. Voor ERTMS moeten alle treinen via het centrale RBC een rijtoestemming krijgen. Daarvoor moet de RBC van elke trein weten waar deze zich bevindt, dit is met het huidige vrije baansysteem niet mogelijk. Met uitzondering van de level 2 overlay variant waarin de B-relais interlocking gehandhaafd blijft zal bij invoering van ERTMS het automatisch blokstelsel verdwijnen. Het programmeerwerk voor de vrije baan wordt ook een factor 1,2x groter verondersteld dan het ontwerpwerk voor het automatisch blokstelsel.

Langs de baan

Tijdens de invoering van ERTMS worden langs de baan vooral systemen verwijderd. Uitzondering hierop zijn de balises voor alle ERTMS levels en de assentellers tijdens level 2. Wanneer de interlocking wel vervangen wordt maar een systeem langs de baan (bijvoorbeeld seinen of spoorstroomlopen) gehandhaafd blijft moeten er nieuwe objectcontrollers tussen de interlocking en deze systemen geplaatst worden. Om vendor lock in te voorkomen kunnen de objectcontrollers zelf ontwikkeld worden. De prijs hiervan wordt geschat op twee keer de aanschafprijs.

Het aantal balises voor level 2 overlay volgt uit het aantal seinen, per sein zijn twee balises nodig. Voor het aantal balises in de andere ERTMS levels is de vuistregel van gemiddeld 1 balisegroep (bestaande uit 2 balises) per 400 meter gehanteerd. Voor het aantal assentellers tijdens level 2 puur is tevens aangenomen dat er om de 400 m een nieuw blok begint. Op elke blok grens wordt assenteller geplaatst. Op emplacementen is het aantal assentellers gelijk gesteld aan het aantal ES lassen.

De elementen die verwijderd moeten worden kunnen opgesplitst worden naar kabels, relaiskasten, seinen, ES lassen en objectcontrollers. Per sein, wissel en sectie is er een objectcontroller en zijn er kabels. De objectcontrollers zijn ondergebracht in relaiskasten of op emplacementen ook wel direct in het relais- of systeemhuis. Voor het bepalen van het aantal relaiskasten wordt aangenomen dat deze enkel langs de vrije baan staan naast seingroepen en de objectcontrollers van meerdere systemen bevatten.

Voor de systemen langs de baan is gewerkt met stuk prijzen.

Systemeintegratietest

Tijdens de systeem integratie test worden alle aangesloten systemen getest op correcte werking. Gewenste functionaliteit is gerealiseerd en geen onderdeel van de testen. Voor het testen zullen verschillende scenario's uitgewerkt moeten worden.

5.2 ONDERHOUD BAAN

Alle systemen die aanwezig zijn moeten logischerwijs onderhouden worden. In hoofdstuk 4 zijn ook steeds de configuraties weergegeven zoals die bestaan na elke ombouwstap. Deze figuren zijn samengevat in tabel 8 en vormen de input voor deze paragraaf.

Deze tabel is vervolgens verder uitgebreid met alle systemen die in de stroomschema's van hoofdstuk 4 genoemd worden als toe te voegen of te verwijderen systeem. Per systeem kan aangegeven worden hoeveel er in elke systeemconfiguratie aanwezig zijn en wat de onderhoudsprijs per stuk is.

Er wordt geen rekening gehouden met levenscyclus kosten of met de levensduur van de aanwezige componenten. Verondersteld wordt dat alle kosten in de onderhoudsprijs verwerkt zijn en dat deze elk jaar gelijk is. Het niet rekening houden met de leeftijd van de aanwezige elementen heeft tot gevolg dat de systemen die net vervangen zijn versneld afgeschreven moeten worden. Ook is het mogelijk dat er systemen zijn die nog voor de ombouw naar ERTMS een keer vervangen moeten worden. Dit zorgt voor extra kosten die mogelijk voorkomen hadden kunnen worden wanneer de eerste ombouwstap eerder zou plaatsvinden, maar die in dit onderzoek buiten beeld blijven. Om hier rekening mee te houden zou het rekenmodel dat in hoofdstuk 7 beschreven wordt uitgebreid moeten worden zodat wanneer er met jaartallen geschoven wordt ook voor elk element de voor dat jaar geldende onderhouds- en eventueel vervangingskosten meegeteld worden.

Voor het complete schema zie bijlage 4.

Tabel 8: Te onderhouden walsystemen.

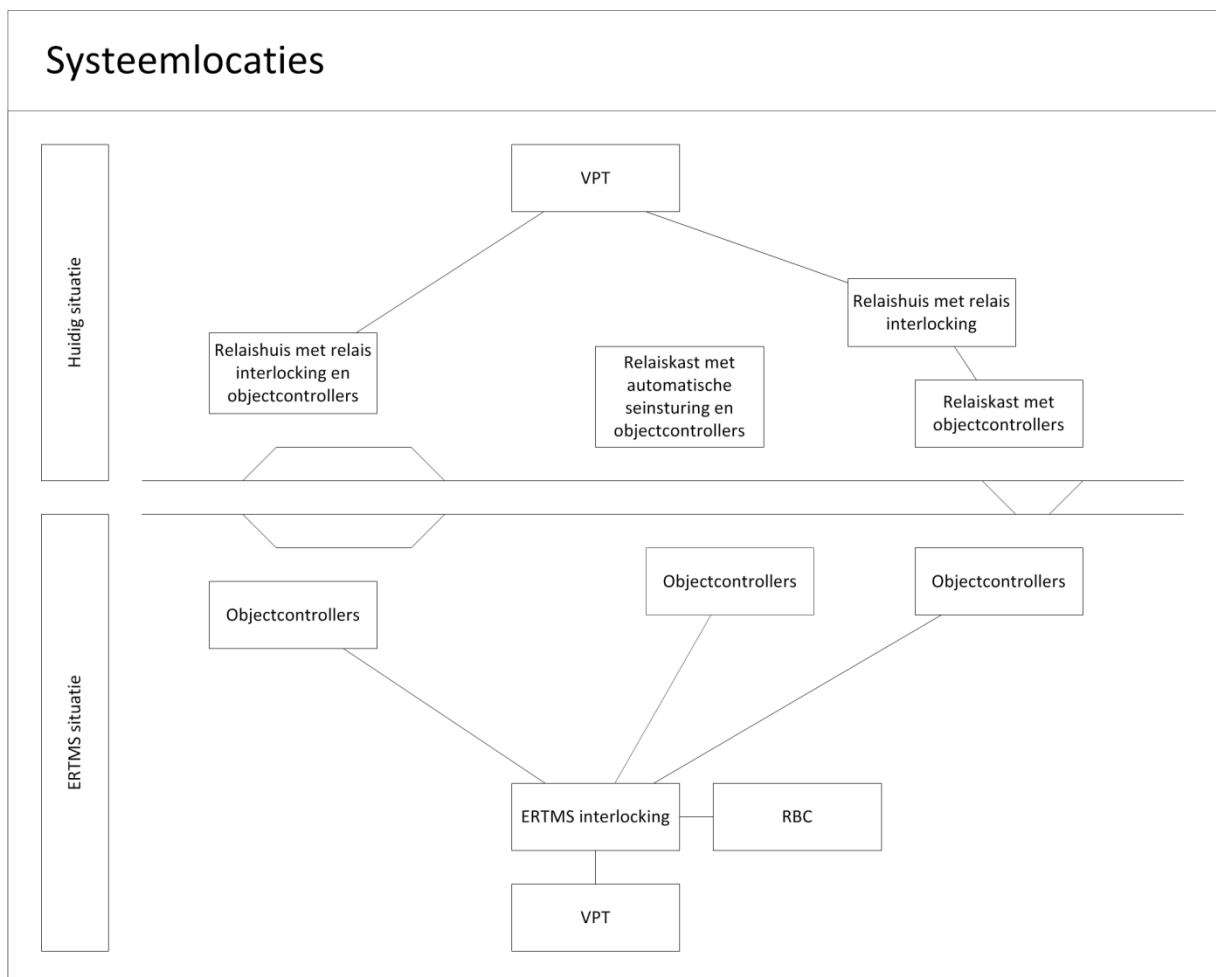
Locatie	Basis systemen	Huidig	Level 2	Level 2	Level 3 btd	Level 3
Interlocking	Interlocking	x	x	x	x	x
RBC	RBC		x	x	x	x
Langs de baan	Wissels	x	x	x	x	x
	Spoorstroomlopen	x	x		x	
	ATB signaal	x	x			
	Seinen	x	x			
	Assentellers				x	
	Balises		x	x	x	x
	GSM-R	x	x	x	x	x

Per systeem(groep) wordt hieronder enige uitleg gegeven omtrent de berekening van de onderhoudskosten.

Interlocking

Het onderhoud aan de interlocking bestaat uit onderhoud aan de interlocking hardware, de interface met de verkeersleiding en in de ERTMS situaties ook de interfaces met het RBC. In de huidige situatie kan het onderhoud in twee categorieën ingedeeld worden: de interlocking gebieden en het automatisch blokstelsel langs de vrije baan. Zie figuur 26.

Onderhoud bestaat uit het controleren van de kabels en het periodiek vervangen van gevoelig elementen zoals bij B-relais de bewegende delen. Het bedrag hangt af van de grootte van het emplacement resp. de lengte van de vrije baan. Voor de ERTMS situatie geldt dat de computer en de software onderhouden moet worden. De kosten bestaan voor een ERTMS interlocking voor het grootste gedeelte uit het beschikbaar houden van een storingsorganisatie. Voor een enkel, uniek systeem kost dit enkele tonnen per jaar. Wanneer een systeem afgenomen wordt van een fabrikant die al over een dergelijke organisatie beschikt zullen de kosten significant afnemen.



Figuur 26: De opstellocaties van de aansturingssystemen in de huidige situatie (boven) en in de ERTMS situatie (onder). Objectcontrollers zijn een soort relais, in de huidige situatie worden 'objectcontrollers' dan ook niet als losse items beschouwd, maar als onderdeel van de (relais)interlocking. Dit onderscheid wordt in dit verslag wel gemaakt om een eenduidige vergelijking met de ERTMS situatie te kunnen maken.

RBC

In de ERTMS situatie zijn er RBC's bijgekomen om informatie naar de treinen te sturen en locatie informatie te ontvangen. Onderhoudskosten zijn gebaseerd op het aantal RBC computers.

Afhankelijk van de fabrikant zijn er systemen die interlocking en RBC integreren of als twee aparte systemen laten bestaan. Er wordt hier uitgegaan van twee gescheiden systemen. Dit is in lijn met de wens om niet alles van dezelfde fabrikant te betrekken. Voor een RBC geldt net als voor een ERTMS interlocking dat de kosten voor het grootste gedeelte bepaald worden door het beschikbaar houden van een storingsorganisatie.

Langs de baan

Langs de baan bevinden zich wissels, spoorstroomlopen, ATB signalen, seinen, assentellers, balises, GSM-R. Terugkerende elementen zijn kabels, relaiskasten en objectcontrollers. De objectcontrollers schakelen de betreffende elementen al naar gelang de opdrachten uit de interlocking. Er zijn dan ook twee typen objectcontrollers: Die door de huidige interlocking aangestuurd kunnen worden en die door een ERTMS interlocking aangestuurd kunnen worden.

Voor de wissels en seinen moet er ook onderhoud uitgevoerd worden aan de daadwerkelijke elementen. Voor de spoorstroomlopen zijn er ook ES lassen en voor de assentellers niet alleen de tellers zelf maar ook een centrale computer die bijhoudt hoeveel assen er in en uit gegaan zijn en dus of een sectie we of niet bezet is. Het aantal objectcontrollers komt overeen met het aantal elementen. De relaiskasten worden aan gecombineerd en staan langs de vrije baan bij seingroepen. Op emplacementen zitten de objectcontrollers in de relaishuizen.

In de ombouwstappen is aangegeven dat mogelijk niet alle in onbruik rakende systemen direct verwijderd zullen worden. Of deze items dan nog onderhoud vragen en hoe lang ze nog aanwezig blijven verschilt sterk per item en ook de exacte locatie van de items speelt hierin een rol. Aangenomen wordt dan ook dat systemen die in een bepaalde systeemconfiguratie niet meer in gebruik zijn ook niet meer onderhouden worden.

GSM-R wordt variant onafhankelijk verondersteld en is moeilijk in te schatten. Dit wordt net als de ombouwkosten voor GSM-R buiten beschouwing gelaten omdat het GSM-R netwerk in heel Nederland in principe goed is. En er wordt gestudeerd op het verbeteren van dit netwerk door het toepassen van andere technieken zoals GPRS (zie ook hoofdstuk 10).

5.3 KOSTEN BIJ WIJZIGINGEN INFRA

Onder kosten bij wijzigen infra wordt verstaan de niet civiele kosten die optreden wanneer het railverkeer technisch ontwerp verandert. Wanneer de infrastructuur wijzigt (bijvoorbeeld door het toevoegen of verplaatsen van een sein, (overloop)wissels aanpassen, inhaalsporen aanleggen) moeten ook de interlocking en de andere systemen gewijzigd worden. Afhankelijk van het type interlocking kost dit meer of minder werk en dus geld. Bij gebruik van een elektronische interlocking zijn de kosten op dit moment nog hoog omdat alleen de eigen leverancier deze wijzigingen kan doorvoeren. (Goverde, et al., 2013).

Niet alleen het type interlocking is van invloed, ook de systeemvariant bepaalt hoeveel geld het kost om de beveiligingssysteem aan de nieuwe infrastructuur aan te passen. Bij level 3 bijvoorbeeld zijn er op de balises na geen systemen meer die buiten aangepast moeten worden. Het herconfigureren van de interlocking en RBC volstaat.

Deze wijzigingskosten zijn in dit onderzoek niet gekwantificeerd omdat ze niet zoals onderhoudskosten elk jaar voorkomen en omdat ze verder los staan van de ombouwkosten betreffende het beveiligingssysteem. Bovendien is het vaak onduidelijk wanneer deze kosten eventueel zouden voorkomen en hoe groot de infraveranderingen dan zijn en de daaraan gerelateerde wijzigingskosten. Mocht dit wel bekend zijn dan kan op dit moment de methode zoals in paragraaf 5.1 gebruikt voor het inschatten van de programmeerkosten van een interlocking gebruikt worden voor het maken van een kostenschatting.

5.4 STORINGEN

Enkel storingen aan baansystemen worden in deze paragraaf behandeld. Storingen aan treinen kunnen in het slechtste geval zorgen voor versperring van het spoor. De kosten voor het spoorverkeer zullen gelijk zijn als bij een andere versperring.

De verwachting is dat de storingskosten zullen afnemen na invoering van ERTMS omdat er dan minder systemen in dienst zijn (zie tabel 8) die in totaal minder verstoringen zullen veroorzaken. Echter door de relatieve onbekendheid met ERTMS en in het bijzonder met level 3 btd en level 3 puur kunnen er door onvoorziene oorzaken storingen optreden. Bijvoorbeeld de grote afhankelijkheid van GSM-R vormt een risico (zie ook hoofdstuk 10). Daarnaast is er ondanks de testen die uitgevoerd zullen worden kans op kinderziektes. De hieraan gerelateerde storingskosten zijn echter moeilijk in te schatten en worden dan ook niet gekwantificeerd. Wanneer level 2 overlay in bedrijf is kunnen deze storingen, wanneer niet ook het ATB systeem geraakt wordt, omzeild worden. De treinen zullen namelijk nog steeds over ATB beschikken om ook buiten het omgebouwde gebied te kunnen rijden.

In het geval er na de invoering van ERTMS minder storingen optreden wordt dit niet verrekend als opbrengsten maar als minder kosten. De storingskosten worden berekend aan de hand van 5 factoren. Het aantal objecten dat zich in het studiegebied bevindt (N), de storingsfrequentie per stuk per jaar (f), de kosten voor de stremming (C_s), de gemiddelde duur van de stremming (T_s) en de reparatiekosten (C_r). De totale kosten (C_t) worden dan berekend aan de hand van de volgende formule:

$$C_t = \sum N \times f \times (0,5 \times C_s \times T_s + C_r)$$

Bij de helft van de ingevulde storingen wordt een complete stremming verondersteld. De beschikbare gegevens zijn niet nauwkeurig genoeg om eenduidig vast te kunnen stellen hoe groot de impact van verschillende verstoringen is. Bovendien is het aantal storingen per systeem geaggregeerd en niet per systeemcomponent onderzocht. Elke component, interface, koppeling tussen systemen, is een potentieel storingspunt. Er kan dus op veel fysieke locaties een storing optreden, die allemaal andere invloed zullen hebben. Het tijdstip van de verstoring en de locatie zijn bijkomende factoren die de grootte van de hinder bepalen. Door het grote aantal factoren dat meespeelt resulteert werken op een hoog detailniveau in relatief grotere onnauwkeurigheden.

De hierboven genoemde kosten zijn enkel de directe kosten. Daar komen nog bij de indirecte kosten zoals de kosten voor het in de lucht houden van een 24/7 storingsdienst. Deze kosten zijn deels meegenomen in de onderhoudskosten omdat ze onafhankelijk zijn van het aantal storingen en zodoende een vast bedrag per jaar vormen.

Hoeveel er daadwerkelijk gefactureerd wordt door de onderhoudsaannemers is afhankelijk van het soort contract dat er afgesloten is. In het geval er een OPC contract gesloten is wordt het onderhoud in vaste pakketten opgesplitst die apart worden afgerekend. Storingen worden dan per stuk verrekend op basis van nacalculatie. Daarnaast wordt er een vast bedrag betaald voor het in stand houden van de storingsdienst. PGO contracten werken met een vast bedrag per maand. De aannemer kan vervolgens zelf bepalen hoeveel onderhoud hij uitvoert, maar alle storingen moeten ook van deze vergoeding betaald worden. De aannemer zal dus van te voren moeten inschatten hoeveel storingen en herstelwerkzaamheden er zullen plaatsvinden.

Door de directe kosten in plaats van de contract waarden in het rekenschema van hoofdstuk 7 in te vullen wordt de kostenopbouw beter inzichtelijk. Bovendien is het lastig de waarde te schatten van een OPC of PGO contract voor het studiegebied en is er nog geen ervaring met zulke contracten in combinatie met level 2 puur, 3 btd en 3 puur infrastructuur.

Wanneer bij level 3 btd storingen in de baangebonden treindetectie optreden resulteert dit niet direct in hinder voor het treinverkeer. Er wordt slechts hinder ervaren wanneer een niet-integere trein het door de storing getroffen gebied moet doorkruizen. In de storingskostenberekening voor level 3 btd worden daarom enkel de reparatiekosten van een detectiestoring meegerekend.

5.5 OMBOUW TREINEN

De ombouwkosten voor treinen zijn nog niet eenduidig vast te stellen. Verschillende berichten uit de afgelopen jaren in het vaktijdschrift Railway Gazette (2006-2012) leveren zeer uiteenlopende resultaten op (zie tabel 9).

Tabel 9: Ombouwprijs voor treinen, gerangschikt op datum (Railway Gazette, 2006-2012).

Aantal	Prijs	Prijs per stuk	Fabrikant	Maatschappij	Datum bericht	Opmerking
	"Indicatieve prijs"	€ 310.000			jan-2006	
10	€ 14.000.000	€ 1.400.000	Alstom	DB (Duitsland)	jun-2008	ICE3
121	€ 60.000.000	€ 495.868	Alstom	DB (Duitsland)	dec-2010	
503	€ 61.000.000	€ 121.272	Alstom	DSB (Denemarken)	aug-2012	

Zoals uit tabel 9 blijkt lopen de prijzen nogal uit een. Door het ontbreken van details in de berichten is het moeilijk vergelijken, maar elementen die meespelen in de hoogte van de prijs zijn onder andere:

- De grootte van de om te bouwen vloot. De prijs per stuk neemt af wanneer de totale order groter wordt.
- De leeftijd van de om te bouwen treinen. Moderne treinen beschikken over meer computersturingstechniek en zijn daardoor eenvoudiger met ERTMS computers uit te breiden.
- Het aantal andere beveiligingssystemen waarmee samengewerkt moet kunnen worden.
- De exacte versie van het in te bouwen ERTMS systeem.
- Mogelijke beschikbaarheid van systemen na eerdere opdrachten voor andere opdrachtgevers met hetzelfde type materieel.

Voor het inbouwen van enkel ERTMS wordt in het vervolg van dit onderzoek gerekend met € 400.000. Dit komt overeen met wat andere partijen aangeven (Nieuwsblad Transport, 2010). Het hoge bedrag voor het ombouwen van de ICE3 treinen komt niet alleen door de kleine serie (10 stuks) maar ook doordat er negen systemen naast elkaar moeten blijven functioneren. Na deze constatering wordt aangenomen dat aanschaf en installatie van ERTMS met STM voor ATB in een trein € 500.000 kost.

Het stroomschema “ETCS in treinen installeren” (figuur 24, § 4.1.6) onderscheidt vijf verschillende deelprocessen. Door het ontbreken van zulke gedetailleerdere kostenramingen zal er één totaal prijs ingevuld worden voor het deelproces ‘ETCS (met STM) treinsysteem aanschaffen’. Voor de andere deelprocessen wordt 0 euro ingevuld omdat de kosten hiervan soms bij de aanschafprijs zijn inbegrepen, zoals blijkt uit enkele van de nieuwsberichten die als bron dienden voor tabel 9.

Het aantal om te bouwen treinen wordt bepaald door de treinseries die het studiegebied doorkruisen. Hoe langer de routes die deze treinen afleggen en hoe hoger de frequentie des te meer treinen zullen er van ERTMS voorzien moeten worden.

Het benodigd aantal treinen voor één treinserie wordt bepaald aan de hand van de volgende formule:

$$A = \frac{T_c \times f}{60}$$

A = Aantal treinen, moet naar boven afgerond worden

f = frequentie (per uur)

T_c = Cyclustijd (min), wordt bepaald volgens:

$$T_c = 2 \times (T_r + T_k)$$

T_r = Rijtijd (min)

T_k = Gemiddelde keertijd (min)

Goederentreinen worden in dit onderzoek niet in de kostenberekening meegenomen omdat de meeste goederenvervoerders beschikken over met ERTMS uitgeruste locomotieven voor o.a. het rijden over de Betuweroute.

5.6 ONDERHOUD TREINEN

Wanneer het ATB systeem vervangen wordt door ERTMS met STM zullen de onderhoudskosten veranderen doordat het ERTMS systeem meer computer gestuurd is dan het meer mechanische ATB systeem. Er zijn monteurs met andere kennis nodig voor het onderhouden van dit nieuwe systeem.

Het moment waarop een bepaald aantal treinen van ETCS voorzien moet zijn verschilt per invoeringsstrategie. Wanneer voor de level 2 overlay variant gekozen wordt is de noodzaak tot ombouwen minder groot. Voor het berekenen van de onderhoudskosten wordt tijdens het in dienst zijn van level 2 overlay aangenomen dat de helft van de trein van ERTMS voorzien is en de andere helft nog niet.

6

Opbrengsten

Volgens de theorie zoals beschreven in hoofdstuk 2 biedt ERTMS capaciteitsvoordelen. Door de mogelijkheden van uitgesteld remmen en het wegvallen van de beperkingen in de seinplaatsing zijn kortere rijtijd mogelijk en door de kortere blokken in combinatie met trein specifieke remweginformatie zijn kortere opvolgingen mogelijk waardoor er meer treinen per uur over een baanvak kunnen rijden.

Als opbrengsten worden gezien de verbeteringen ten opzichte van de huidige situatie. Voor elk van de systeemconfiguraties uit figuur 1 zal dus gekeken worden hoe groot de winst is. Wanneer de huidige dienstregeling gehandhaafd blijft bestaat de winst uit kortere reistijden die in geld uitgedrukt kunnen worden en uit een grotere buffertijd. Bovendien is er regelmatig de wens om de frequentie te verhogen of de dienstregeling aan te passen. Wanneer de nieuwe dienstregeling niet 'past' onder het huidige beveiligingssysteem moet of de huidige infrastructuur uitgebreid worden (en/of) het beveiligingssysteem aangepast worden.

Indien een ERTMS beveiligingsvariant deze infrastructurele uitbreidingen overbodig maakt is er sprake van vermeden investeringen. Dit wordt ook als een winst gezien. Omdat in dit onderzoek de invoering van ERTMS beschouwd wordt zal het niet hoeven invoeren van ERTMS niet als vermeden investering worden beschouwd.

Paragraaf 6.1 behandelt eerst de theorie achter de begrippen capaciteit en rijtijd. De berekening van de bijbehorende waarden is uiteengezet in paragraaf 6.2. In de vervolg paragrafen worden de vermeden investeringen en de overige opbrengsten kort behandeld.

6.1 THEORIE

De capaciteit van een spoorweg kan niet eenduidig vastgesteld worden zoals dat wel kan bij een autoweg, de gehanteerde dienstregeling speelt een belangrijke rol. Paragraaf 6.1.1 bespreekt het begrip capaciteit en de achterliggende theorie. In paragraaf 6.1.2 komt het bepalen van de rijtijden aan bod.

6.1.1 CAPACITEIT

Dienstregelingen worden beoordeeld aan de hand van de capaciteitsbenutting of bezettingsgraad. De bezettingsgraad is een percentage dat aangeeft welk deel van bijvoorbeeld een uur het spoor bezet is door de treinen. Wanneer dit percentage groter is dan 100% is kan de bijbehorende dienstregeling niet uitgevoerd worden. Wanneer een dienstregeling wel mogelijk is geeft het percentage een indicatie van de betrouwbaarheid waarmee deze dienstregeling uitgevoerd kan worden. Om (kleine) verstoringen op te vangen en vertragingen in te lopen is extra ruimte nodig waardoor de capaciteitsbenutting niet 100% procent mag zijn.

Om een stabiele dienstuitvoering mogelijk te maken wordt er door de UIC een maximum percentage geadviseerd van 85% in de spits (zie tabel 10) (UIC, 2004), (Westfälischen Technischen Hochschule Aachen, 2008).

Tabel 10: Door de UIC aanbevolen maximum infrastructuur bezetting.

Lijn type	Spits	Dal uren
Exclusief voorstedelijk passagiers verkeer	85%	70%
Hogesnelheidslijn	75%	60%
Lijnen met gemengd verkeer	75%	60%

De bezettingsgraad wordt bepaald met de volgende formule:

$$K = \frac{100 \cdot k}{t_u}$$

K = Bezettingsgraad (%)

t_u = Gekozen tijd raam (sec)

k = Totale bezettingstijd (sec), opgebouwd uit:

$$k = A + B + C + D$$

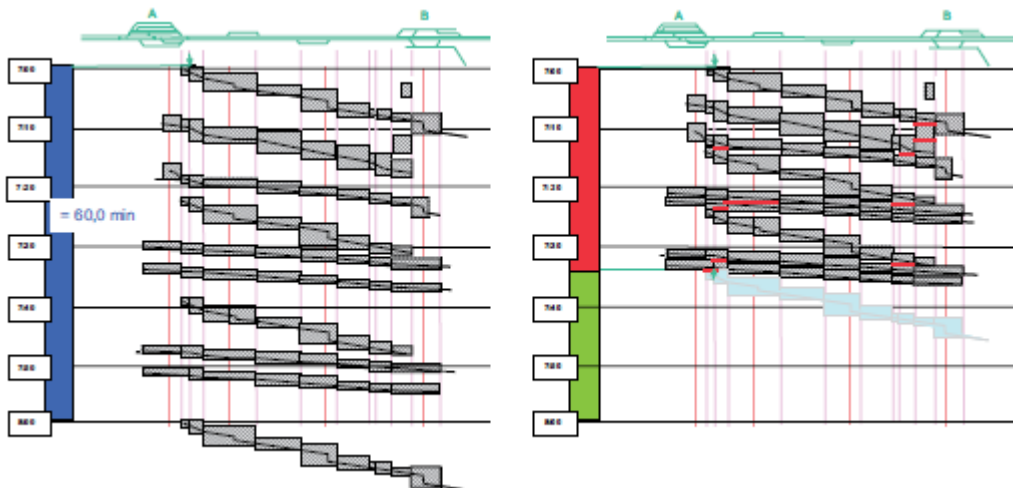
A = Bezettingstijd (sec)

B = Rijtijdspeeling (sec)

C = Supplement voor enkel spoor (sec)

D = Supplement voor onderhoud (sec)

Het proces tot bepalen van de bezettingstijd (A) is weergegeven in figuur 27. Eerst wordt voor elke trein die in het gekozen tijd raam het studiegebied passeert bepaald hoelang deze het spoor bezet houdt. Omdat het spoor voor de beveiliging is onderverdeeld in blokken wordt per blok bepaald wanneer de bezetting start en eindigt. Het resultaat is een blokdiagram (Pachl, 2002). Wanneer dit voor alle treinen gemaakt is kan de bezettingsgraad bepaald worden. Figuur 27 laat links een dienstregeling zien met negen treinen per uur. Voor elk van deze treinen is het bijbehorende blokdiagram getekend. De open ruimte tussen de blokken geeft de buffertijd weer. Om de bezettingsgraad te bepalen worden nu alle blokdiagrammen omhoog tegen elkaar aan geschoven, maar zo dat er geen overlap ontstaat. Alle buffertijd is nu onder in het diagram verzameld.



Figuur 27: Bezettingsgraad bepaling (Westfälischen Technischen Hochschule Aachen, 2008). Links is de originele dienstregeling weergegeven, met op de verticale as de tijd en op de horizontale as de afstand. Rechts is de gecomprimeerde dienstregeling te zien. Hieruit blijkt dat de infrastructuur slechts ± 60% van het uur bezet is.

Een deel van de buffertijd is nodig voor de rijtijdspeeling en de supplementen voor enkelspoor en onderhoud. Voor B, C en D worden door de UIC echter geen waarden of richtlijnen gegeven.

Voor de rijtijdspeeling wordt door ProRail 1 minuut aangehouden. De netverklaring 2013 van ProRail maakt onderscheid tussen afkeurnormen en streefnormen. De afkeurnorm voor opvolgings- en overkruistijden bedraagt 1 minuut. Bij situaties aankomst na vertrek geldt 2 minuten buffertijd. Omdat in dit onderzoek niet met een exacte dienstregeling wordt gerekend wordt en bovendien treinen veelal op verschillende sporen binnenkomen wordt deze laatste norm en de streefnormen buiten beschouwing gelaten. De 1 minuut norm geldt voor het rijden tussen twee intercity stations (of 5% rijtijdtoeslag), welke gebruikt wordt voor het opvangen van bijvoorbeeld onregelmatigheden zoals tegenwind, lager bovenleidingspanning en machinistengedrag. Dit is dus niet hetzelfde als de buffertijd voor het inlopen van vertragingen.

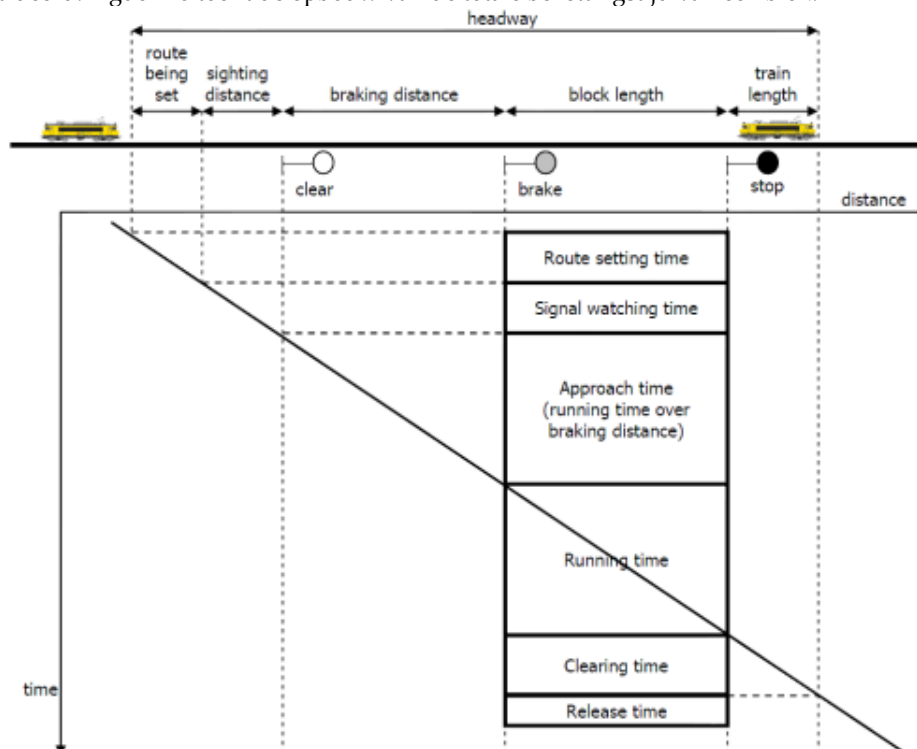
Op een enkelsporig baanvak moet elke trein op een kruisingsstation wachten totdat de trein uit de tegengestelde richting binnen is. Vertragingen worden zodoende altijd doorgegeven. Om de invloed hiervan te beperken wordt voor enkelsporige baanvakken een extra buffertijd reservering aanbevolen.

Supplement voor onderhoud wordt in ieder geval voor infraconcept Heavy Rail Premium op 0 seconden aangenomen omdat het onderhoud op sporen die onder dit infraconcept vallen nachts geconcentreerd wordt (ProRail, 2013).

Wanneer extra treinen worden toegevoegd, voor het vergroten van de frequentie, is het mogelijk dat zelfs na het comprimeren van de dienstregeling (rechts in figuur 27) niet alle treinen binnen een uur kunnen vertrekken. De bezettingsgraad is dan groter dan 100% en de frequentie verhoging is dus niet mogelijk.

Blokdiagram

De blokdiagrammen voor elke trein zoals gebruikt in figuur 27 worden samengesteld aan de hand van het tijd-weg diagram van de trein en de plaatselijke blokindeling/seinlocaties. Per blok wordt de bezetting gereconstrueerd. Figuur 28 toont de opbouw van de totale bezettingstijd van één blok.



Figuur 28: De verschillende stadia van een blokbezetting (Westfälischen Technischen Hochschule Aachen, 2008).

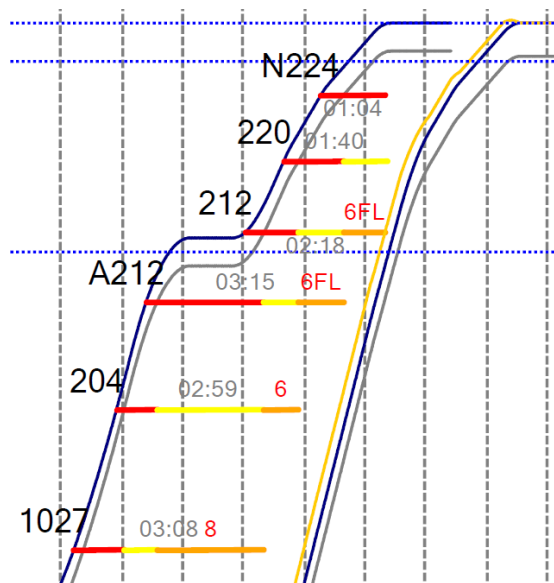
Tussen vertrek en aankomst wordt gestreefd naar ongehinderde opvolging. Dit wil zeggen dat de trein onderweg geen restrictieve seinbeelden tegenkomt en overal met de maximaal toegestane snelheid kan rijden. Om dit mogelijk te maken mag een trein alleen maar groene seinen tegenkomen. Dit betekent dat niet alleen het blok dat de trein wil binnenrijden vrij moet zijn maar ook het volgende blok. Zou dit niet het geval zijn dan was het sein dat toegang gaf tot het eerste blok geel ter indicatie dat het volgende sein rood toont omdat het tweede blok bezet is. De tijd die verstrijkt tijdens het rijden door dit eerste blok is de naderingstijd (approach time) van het tweede blok. Om waarneming van het groene sein te garanderen wordt een minimum zichttijd (signal watching time) van 9 seconden gehanteerd, 9 seconden voordat het sein gepasseerd wordt moet het dus groen worden om te voorkomen dat de machinist al gaat remmen. Het sein zal pas groen worden nadat de interlocking geconstateerd heeft dat de betreffende blokken vrij zijn. Dit proces duurt 2 seconden. Wanneer in de rijweg die aangevraagd wordt wissels liggen die moeten omlopen komt de zogenaamde schakeltijd (route setting time) op 12 seconden.

Wanneer de trein dan het betreffende blok bereikt volgt de rijtijd (running time) door het blok. Nadat de voorkant van de trein het blok uit is, is het blok pas vrij wanneer de hele trein de blokgrens gepasseerd is. Deze vrijmaaktijd (clearing time) is afhankelijk van de treinlengte. Tot slot is er nog de vrijgave tijd (release time). Doordat de las voor de treindetectie ongeveer 10 m voorbij het sein en dus de blokgrens ligt is de bezetting pas afgelopen nadat de achterkant van de trein ook dit punt gepasseerd is. Deze tijd wordt echter genegeerd (10 meter wordt bij 140 km/h in minder dan een kwart seconde afgelegd).

Elke trein reserveert dus voor zich uit de infrastructuur om met de maximaal toegestane snelheid door te kunnen rijden. Omgekeerd kan ook, elke trein blokkeert dan een extra blok achter zich. Het sein dat toegang geeft tot dat blok toont geel waardoor dit blok niet op volle snelheid bereiden kan worden door een volgende trein en er dus geen sprake is van ongehinderde opvolging (figuur 29). Wanneer de voorste trein een blok verlaat veranderen de seinbeelden van de seinen daarachter, net zoals dit buiten gezien kan worden.

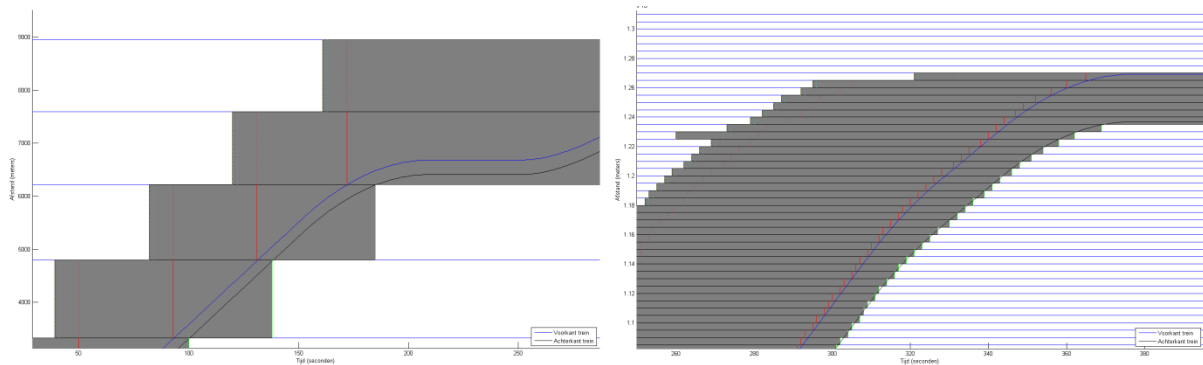
Voor ERTMS is de eerste theorie handiger. In de huidige situatie moeten treinen op zichtafstand (9 sec.) achter een geel sein blijven. Onder ERTMS moet een trein op remwegafstand achter een bezet blok (rood sein) blijven. Om een eenduidig beeld te generen wordt er voor gekozen om zowel in het geval van ATB als van ERTMS voor de trein uit blokken te reserveren. Bij ERTMS start de reservering van een blok dan niet wanneer het voorgaande blok binnengereeden wordt zoals in de huidige situatie, maar start de naderingstijd wanneer de trein op remwegafstand van een blok genaderd is. Deze naderingsafstand is afhankelijk van de remvertraging van de trein en de gereden snelheid.

Voor de schakeltijd wordt, voor de ERTMS varianten die nog gebruik maken van baangebonden treindetectie, 2 seconden aangehouden. Voor ERTMS level 3 en ook voor de integere treinen onder level 3 btd geldt een schakeltijd van 0 seconden. Voor een blok dat een wissel bevat geldt nog steeds de schakeltijd van 12 seconden in verband met het omlopen van het wissel. Ondanks dat de machinisten bij



Figuur 29: Tijd-weg diagram uit Xandra simulatie. Op de horizontale as staat de tijd in minuten. De rechtse trein (blauwe lijn) moet op zichtafstand (gele lijn) achter de gele seinen blijven om ongehinderd te kunnen rijden.

ERTMS geen seinen meer hoeven waar te nemen wordt er toch een zichttijd van 9 seconden gehanteerd zodat de machinist voldoende tijd heeft om te kunnen constateren dat de rijtoestemming verlengd wordt.



Figuur 30: Detailweergave met de verschillende stadia van een blokbezetting. Links NS'54: De reservering start wanneer het sein van het voorgaande blok gepasseerd wordt. Daarvoor de zichttijd en schakeltijd. Rechts de situatie onder ERTMS level 3: De reserveringstijd is afhankelijk van de gereden snelheid. Daarvoor de zichttijd en schakeltijd, de uitschieter wordt veroorzaakt door de langere schakeltijd voor een sectie mt een wissel.

6.1.2 RIJTIJDEN

De rijtijd wordt gedefinieerd als de tijd die verstrijkt tussen het wegvrijden van het vertrekstation en de aankomst bij het eindbestemmingsstation. In plaats van aankomst of vertrektijd kan ook met het tijdstip van binnen- respectievelijk uitrijden van het studiegebied gerekend worden. Rijtijd bestaat dus uit de tijd dat er gereden wordt plus de tijd dat er op de tussengelegen stations gehalteerd wordt.

Voor dit onderzoek wordt ervanuit gegaan dat een kortere rijtijd direct gebruikt wordt en geld oplevert. In de praktijk blijkt de incasseerbaarheid van de rijtijd winsten lastiger (Pundert, et al., 2010): Afhankelijk van de landelijke dienstregeling kan het voorkomen dat de mogelijkheid van kortere rijtijden door de vervoerders niet gebruikt wordt omdat er dan langer gestopt moet worden op de volgende (knooppunt) stations. Soms worden de theoretische winsten in de huidige praktijk al gebruikt. Ook kan het voorkomen dat de tijdwinst te klein is om effectief gebruikt te kunnen worden. Uitgangspunt in dit onderzoek is dat de snellere rijtijden en opvolgingen buiten het studiegebied geen problemen veroorzaken en alle winsten in het studiegebied dus geïncasseerd kunnen worden.

Voor een reiziger bestaat de reistijd uit de rijtijd plus de gemiddelde wachttijd. De gemiddelde wachttijd wordt aangenomen gelijk te zijn aan de helft van de tijd tussen twee vertrekkende treinen. Echter wanneer de intervallen langer zijn dan 10 minuten (frequentie lager dan 6 per uur) kijken reizigers naar de dienstregeling en zorgen ze dat ze gemiddeld 5 minuten voor de vertrektijd op het station aanwezig zijn (Bowman & Turnquist, 1981). De gemiddelde wachttijd zal dus niet afnemen na de invoering van een tienminuten dienstregeling en zal dus niet meegenomen worden in dit onderzoek.

Een reistijdverkorting wordt gemiddeld gewaardeerd op 7,75 euro per uur per reiziger (standaard waarde ProRail). Om de totale reistijdwinsten te berekenen moet verder bekend zijn hoeveel reizigers er van het traject gebruik maken en hoe deze over de verschillende treinen, met verschillende rijtijdwinsten verdeeld zijn. Aangenomen wordt dat de reizigersverdeling overeenkomt met de capaciteitsverdeling (aantal zitplaatsen) over de verschillende treinen.

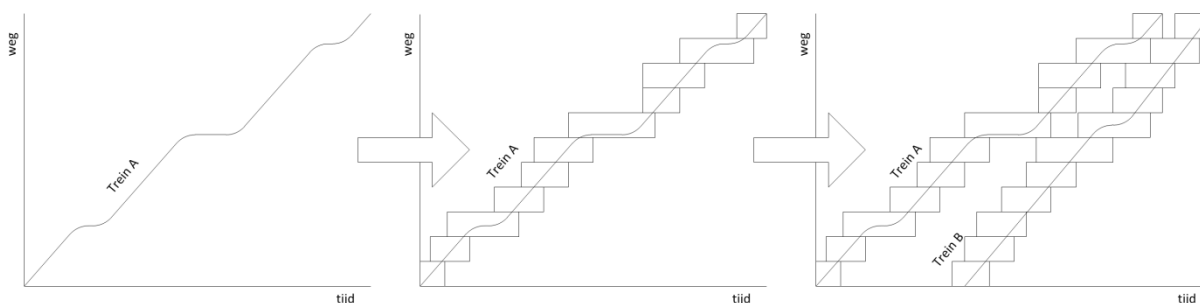
Wanneer er meerdere dienstregelingen zijn wordt er enkel gekeken naar de rijtijdwinst die geboekt kan worden door invoering van ERTMS. Er wordt niet vergeleken wat de winst is van een dienstregeling ten opzichte van een andere dienstregeling. Deze laatste vergelijking is namelijk niet geldig wanneer de

nieuwe dienstregeling bestaat uit het toevoegen van extra treinen die slechts een deel van de beschouwde corridor rijden.

6.2 SIMULATIES

Voor het bepalen van de rijtijden en de capaciteit zijn er met behulp van MatLab enkele simulaties uitgevoerd.

Voor het berekenen van de rijtijden en de controle van de capaciteit zijn voor elke systeemconfiguratie simulaties gemaakt voor een intercity en een sprinter. Hierbij is steeds uitgegaan van ongehinderde opvolging. Het resulterende tijd-weg diagram is gebruikt voor het bepalen van de rijtijden. Rond het tijd-weg diagram is vervolgens een blokdiagram getekend (figuur 31) volgens de theorie zoals hierboven beschreven. Voor de verschillende dienstregelingen zijn daarna de juiste treinen achter elkaar gezet om de bezettingsgraad te bepalen.

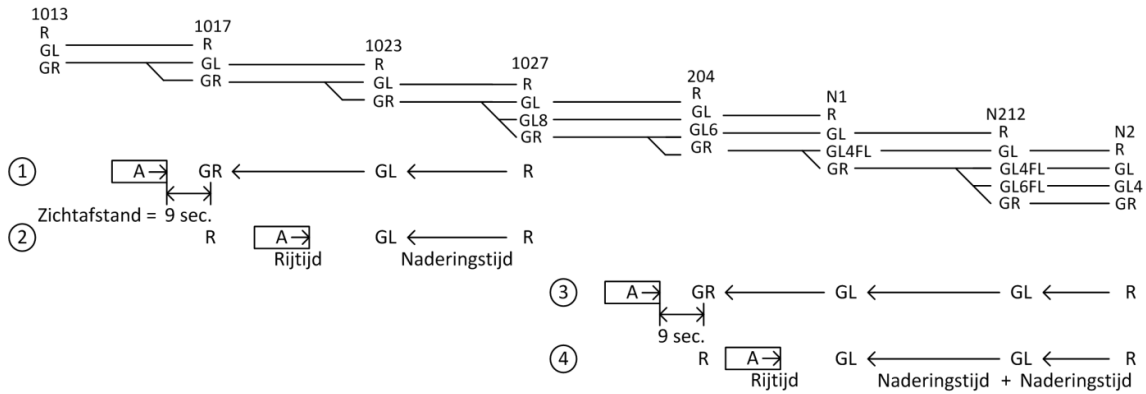


Figuur 31: Schematische weergave van de simulatiewerkzaamheden. Eerst wordt een tijdwegdiagram gemaakt voor een ongehinderde trein. In stap twee wordt daaromheen een blokdiagram gereconstrueerd. Voor het berekenen van de bezettingsgraad wordt vervolgens de minimale opvolgtijd tussen twee treinen bepaald.

De berekeningen voor de simulaties zijn geprogrammeerd en uitgevoerd in MatLab. Hieronder volgt eerst een beschrijving van de input. Daarna wordt het eerste deel van het model dat de rijtijden simuleert en het blokdiagram maakt uiteengezet. De output van deze berekening vormt de input voor het tweede deel van het model dat de blokdiagrammen van twee treinen achter elkaar zet en zo de minimale opvolgtijd bepaalt. Door de minimale opvolgtijd van alle treinen die in een vast tijdsperiode passeren bij elkaar op te tellen wordt de bezettingstijd achterhaald, welke vervolgens vertaald wordt naar een bezettingsgraad.

6.2.1 INPUT

Voor elke combinatie van trein (intercity, sprinter en goederentrein) en beveiligingssysteem (ATB-NS'54, L2o, L2, L3btd en L3) is er een Excel bestand met input informatie gemaakt. Als input gelden het begin en eindpunt van het studiegebied, de remvertraging, het beveiligingssysteem (ERTMS of ATB), de treinlengte en de startsnelheid. Verder worden de seinlocaties ingevoerd met bij elk sein aangegeven hoeveel blokken vooruit er gereserveerd moeten worden om een ongehinderde opvolging mogelijk te maken in het geval van ATB-NS'54 (zie figuur 32). Situatie 1 in figuur 32 laat zien dat 9 seconden voordat trein A sein 1017 passeert de blokken achter de seinen 1017 en 1023 vrij moeten zijn zodat sein 1017 groen kan tonen en de trein ongehinderd door kan rijden (situatie 2). Situatie 3 en 4 laten zien dat er soms meer dan één blok vooruit gereserveerd moet worden. In dit geval is de afstand tussen sein N2 en N212 korter dan de voorgeschreven remafstand voor een 140-0 remming.



Figuur 32: Trein A rijdt van links naar rechts. Boven in de figuur is de zogenaamde seinterugsturing weergegeven. Wanneer bijv. sein 204 rood toont is sein 1027 geel en sein 1023 groen.

Bij ERTMS wordt er niet meerdere blokken vooruit gereserveerd maar wordt de exacte remweg gereserveerd. In de huidige situatie gebeurt eigenlijk hetzelfde omdat de meeste seinen op remwegafstand van elkaar staan. Echter gelden er veel beperkingen voor het plaatsen van seinen waardoor de afstand tussen twee seinen vaak groter is dan de remwegafstand van de treinen.

Verder dienen de locaties van de snelheidsbordjes voor ATB treinen en voor ERTMS treinen de locaties vanaf waar de andere maximumsnelheid geldt ingevoerd. Voor stationnementen zijn de stationslocaties ingegeven en de bijbehorende halteertijd. Voor de sprinters wordt aangenomen 42 seconden (Van Es, 2013). Op de intercity stations stoppen de intercity's en de sprinters 60 seconden of langer, afhankelijk van de stations grootte. Ook wordt materieelspecifieke acceleratiedata ingevoerd (figuur 37). Dit geeft voor verschillende delen van het snelheidsbereik de maximale acceleratie van de trein. Voor het materieel wordt aangenomen de langste in de spits voorkomende treinen.

6.2.2 UITWERKING BEVEILIGINGSSYSTEMEN

In dit onderzoek komen 5 verschillende systeem configuraties aan bod. Als input voor het tijd-weg diagram dient het snelheidsprofiel zodat een trein kan bepalen wanneer er versneld of vertraagd moet worden. Voor het reconstrueren van het blokdigram moet een blokdeling en seinsysteem bekend zijn.

ATB-NS'54

In de huidige situatie is het snelheidsprofiel gebaseerd op de locaties van de snelheidsborden zoals deze buiten langs het spoor staan. Er zijn drie basistypen snelheidsborden: Het snelheidsverminderingbord, het snelheidsbord en het baanvaksnelheidsbord.



Figuur 33: Van links naar rechts: snelheidsverminderingbord, snelheidsbord en baanvaksnelheidsbord.

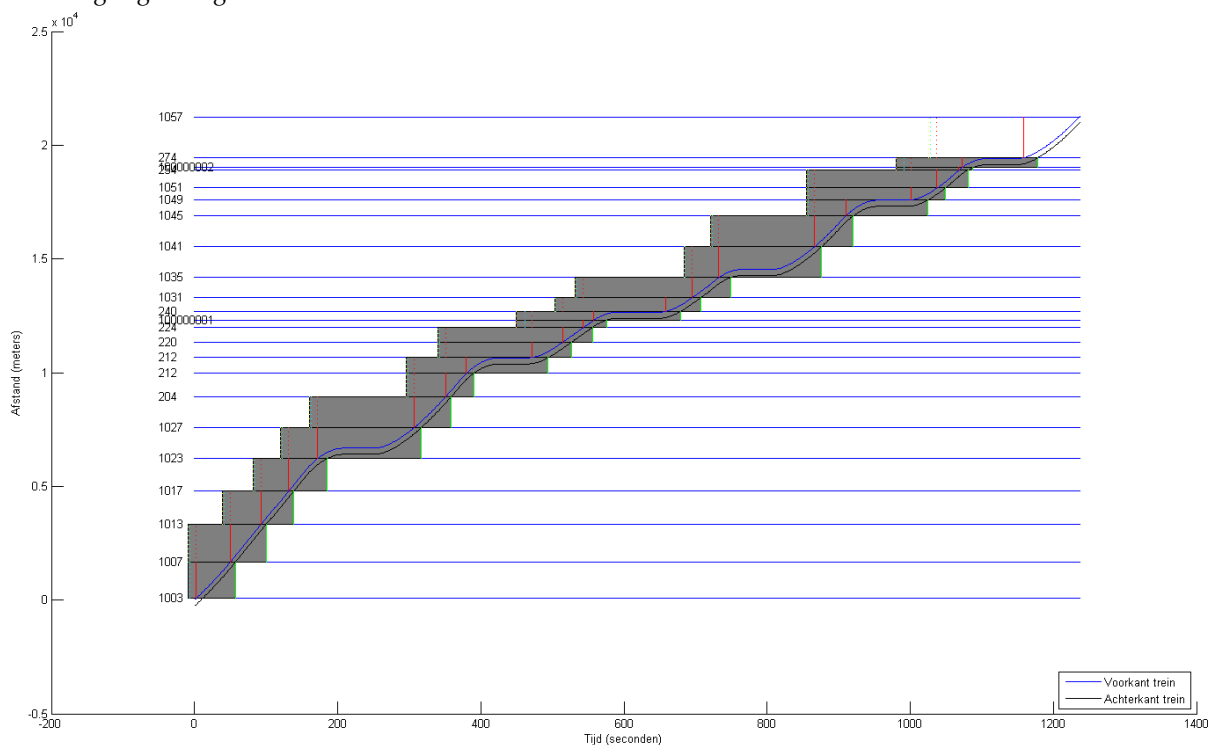
Wanneer bijvoorbeeld de baanvaksnelheid 140 km/h is maar vanaf kilometerpunt 14.350 de maximumsnelheid 80 km/h is in verband met bijvoorbeeld een krappe boog zal er op dit kilometerpunt een snelheidsbord staan met het getal 8. Op remwegafstand van dit punt staat dan een snelheidsverminderingbord met het getal 8 als aankondiging dat er afgeremd moet worden naar 80 km/h. In de huidige situatie zal het ATB systeem af dwingen dat treinen vanaf dit aankondigingsbord gaan

remmen. Goed beremde moderne treinen zullen deze snelheid echter al ruim voor het snelheidsbord bereiken.

Op het punt vanaf waar het spoor civiel geschikt is om weer harder te gaan rijden staat een snelheids- of baanvaksnelheidsbord. De instructie aan de machinist is om te gaan versnellen wanneer de gehele trein dit bord gepasseerd is. In de simulatie wordt er vanuit gegaan dat dit precies zo gebeurt.

Wanneer er een route gesimuleerd moet worden waarbij de trein een wissel in de afbuigende stand moet berijden worden in werkelijkheid door de voorgaande seinen al snelheidsbeperkingen opgelegd. Dit zal ook zo vertaald worden in het snelheidsprofiel.

Voor elk sein is de locatie aangegeven en de hoeveel blokken er vooruit gereserveerd moeten worden, zoals uitgelegd in figuur 32.



Figuur 34: Blokdiagram om een onder NS'54 rijdende sprinter. De blauwe horizontale lijnen representeren de seinen.

Level 2 overlay

Voor het simuleren van een ATB trein in de level 2 overlay situatie kunnen de uitkomsten van de simulatie zoals hierboven beschreven 1 op 1 overgenomen worden.

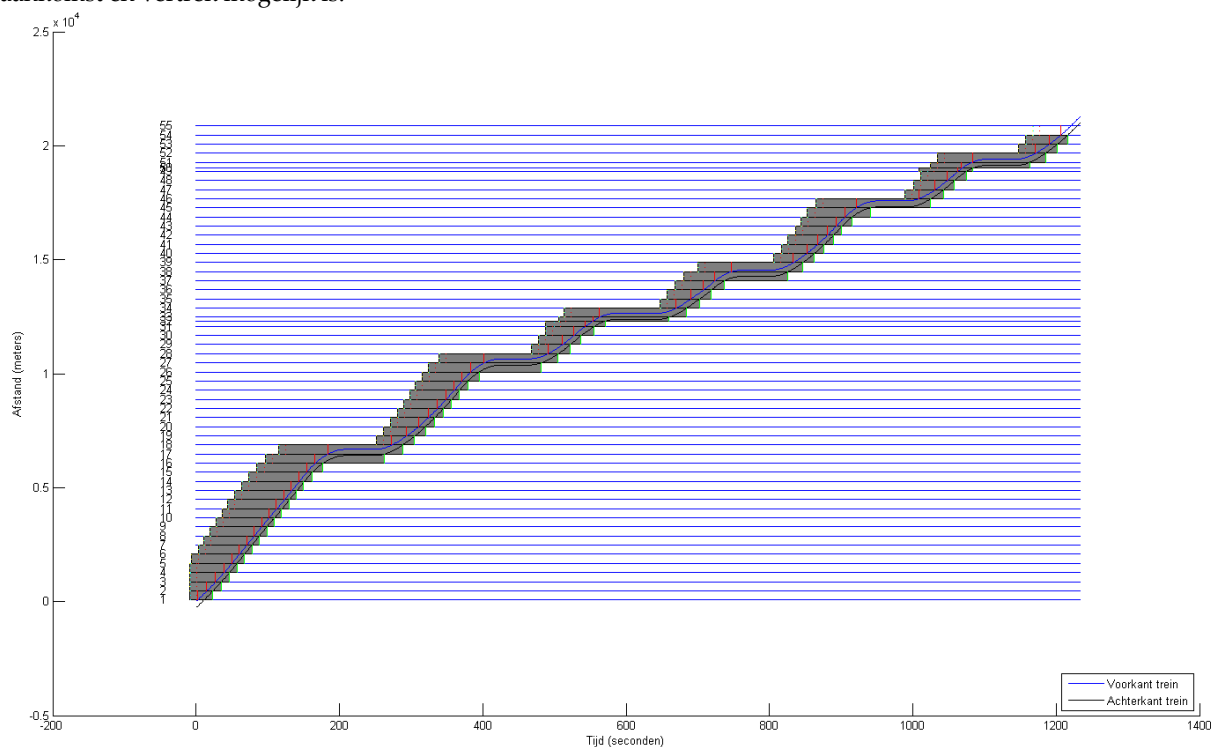
Voor de ERTMS treinen zal er echter een eigen snelheidsprofiel gemaakt worden. De lagere snelheid gaat nu niet in op het punt van het snelheidsvermindingsbord maar op de locatie van het snelheidsbord. ERTMS treinen kunnen dankzij de trein specifieke remcurve bewaking doorrijden tot het punt vanaf waar ze moeten remmen om precies bij het snelheidsbord de juiste snelheid bereikt te hebben. Dit wordt ook op deze wijze gesimuleerd.

Onder ERTMS staan er geen borden meer langs de baan maar zal op hetzelfde moment toestemming tot versnellen komen. Wanneer de achterkant van de trein het punt waar anders een bord zou staan passeert krijgt de machinist een melding met toestemming tot versnellen op de display in de cabine.

Dezelfde blokindeling als in de huidige situatie wordt gehanteerd maar zonder de seinterugsturing omdat onder ERTMS niet op de seinen wordt gereden maar de rijtoestemming in de cabine getoond wordt. De blokreservering zal dan ook bepaald worden met behulp van de treinspecifieke remcurve en de gereden snelheid.

Level 2

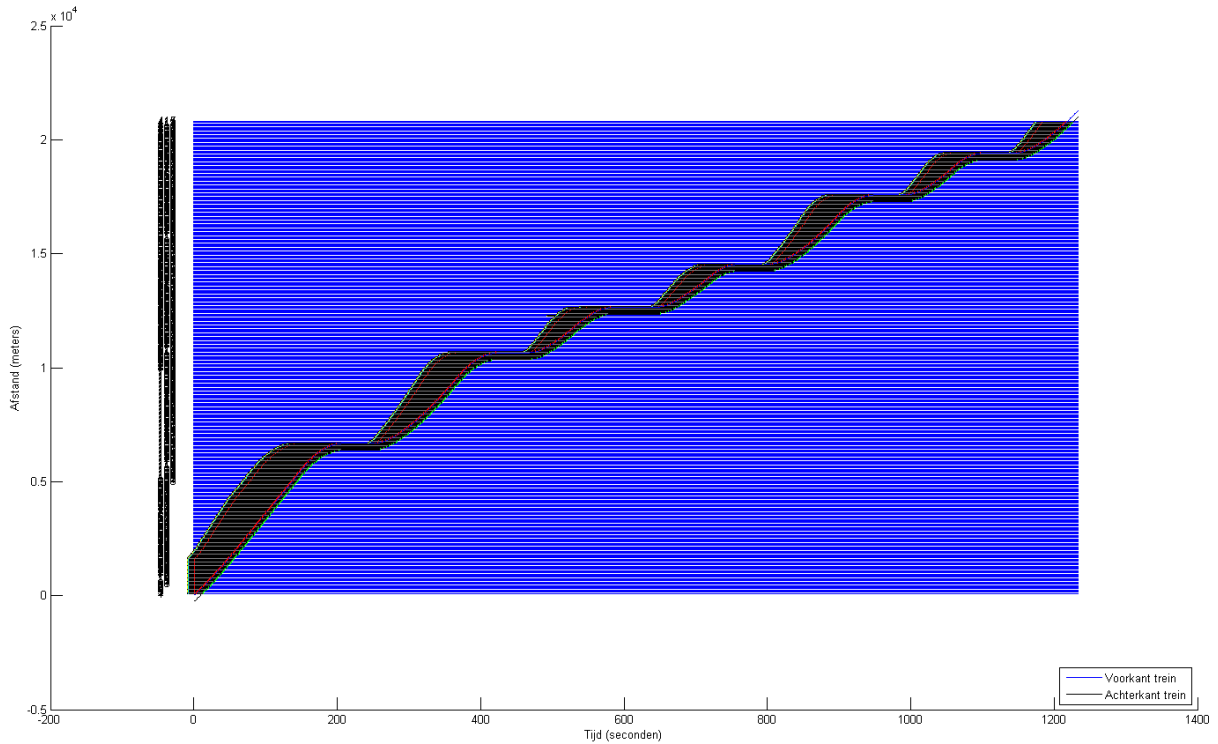
Het snelheidsprofiel in level 2 is hetzelfde als het snelheidsprofiel voor ERTMS treinen in level 2 overlay. Het enige verschil is de blokindeling. Door het ontbreken van seinen kunnen kortere blokken toegepast worden. Echter door het gebruik van assentellers zijn te korte blokken economisch niet haalbaar. In dit onderzoek zijn 400 m blokken gehanteerd waarbij elk blok exact 400 m lang is. In de praktijk kan hier geoptimaliseerd worden door rond stations kortere blokken te hanteren zodat een snellere opvolging bij aankomst en vertrek mogelijk is.



Figuur 35: Blokdiagram om een onder ERTMS level 2 puur rijdende sprinter. De blauwe horizontale lijnen representeren de blokgrenzen.

Level 3

Level 3 is identiek aan level 2 op de lengte van de blokken na. Omdat level 3 gebruik maakt van virtuele blokken is er geen minimum blok lengte meer. Tijdens de simulaties voor dit onderzoek is uit gegaan van virtuele blokken van exact 50 meter lengte.



Figuur 36: Blokdiagram om een onder ERTMS level 3 puur rijdende sprinter. De blauwe horizontale lijnen representeren de virtuele blokgrenzen.

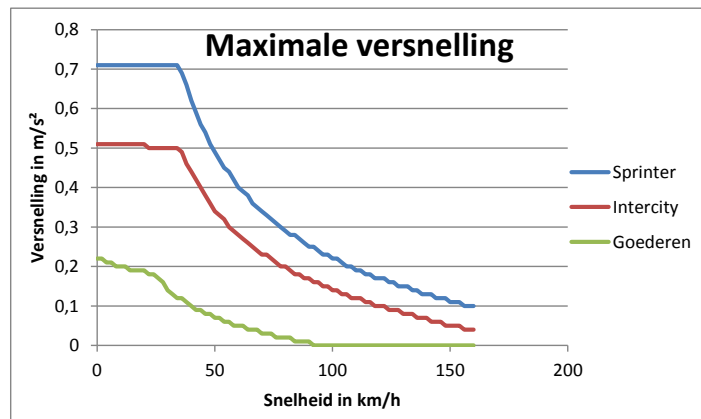
Level 3 met baangebonden treindetectie

Ook voor level 3 btd is uitgegaan van 50 meter blokken. Een aantal blokken is iets verlengd of verkort zodat deze samenvallen met de blokgrenzen van de bestaande treindetectie.

Een niet-integere trein zal voor zich uit blokken reserveren op de manier zoals alle ERTMS treinen dit doen, maar bij het vrijrijden van de blokken zullen de virtuele blokgrenzen genegeerd worden en alleen na het passeren van de baangebonden blokgrenzen zullen de daarachter liggende virtuele blokken vrijgegeven worden. Voor integere treinen is er, op de kleine veranderingen in de blokindeling na, geen verschil tussen level 3 en level 3 btd.

6.2.3 BEREKENING

Met alle invoer op de juiste wijze gespecificeerd kan de berekening gemaakt worden. De volgorde is als volgt: De eerste stap is het maken van een snelheidsprofiel aan de hand van de snelheidsbordjes langs het onderzochte tracé. Vervolgens wordt gestart met het simuleren van een tijd-weg diagram van de trein. Per seconde wordt bepaald waar de trein zich bevindt en wat de snelheid op dat moment is. Deze snelheid wordt steeds vergeleken met de maximaal toegestane snelheid en afhankelijk van

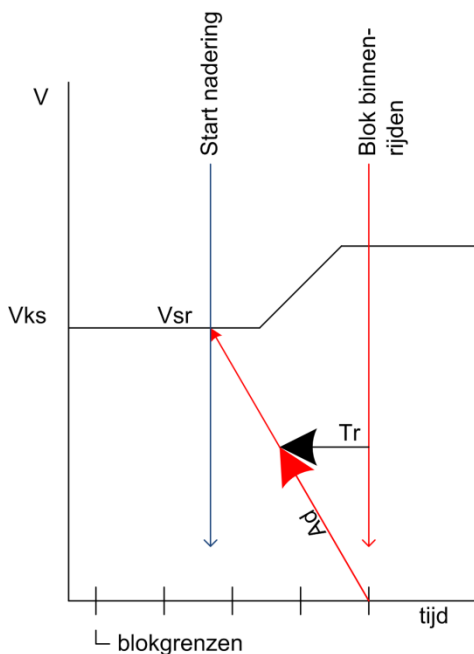


Figuur 37: Maximale versnelling per trainsoort bij gegeven snelheden.

Voor een sprinter wordt aangenomen SLT materieel met 16 bakken, een intercity bestaat uit 12 bakken VIRM. De standaard goederentrein is 673 m lang, weegt 1500 t en wordt getrokken door een class 66 locomotief.

het verschil versneld of vertraagd de trein. Wanneer de trein binnen remwegafstand van een station komt en in het geval van ERTMS binnen remwegafstand van een snelheidsverlaging, wordt het snelheidsprofiel genegeerd en wordt de snelheid elke seconde verlaagd met de ingevoerde waarde voor de remvertraging. Bij het versnellen wordt rekening gehouden met de materieel specifieke acceleratiedata. Figuur 37 geeft de maximale versnelling voor drie type treinen in het geval er geen beperkende omstandigheden zijn zoals gladde sporen of een beperkte levering van vermogen via de bovenleiding.

Wanneer het tijd-weg klaar is wordt voor elk sein bepaald op welk moment dit sein gepasseerd wordt. Dit is het tijdstip dat de trein het blok binnenrijdt en de 'rijtijd' start. Het tijdstip dat de trein een blok uitrijdt wordt bepaald door het moment van passeren van de achterkant van de trein van het volgende sein. Vervolgens wordt de naderingstijd bepaald. Dit gaat voor ATB treinen aan de hand van de seinlocaties van de voorgaande seinen en de bijbehorende seinbeelden (zie figuur 32). Voor ERTMS treinen wordt de naderingstijd bepaald door de remwegafstand. Deze wordt in de simulatie achteraf bepaald. Vanaf het moment van het inrijden van een blok wordt er teruggerekend om te bepalen wanneer dit blok binnen de remafstand van de betreffende trein kwam (zie figuur 38).



Figuur 38: Bepalen naderingstijd voor ERTMS treinen.

Omdat de snelheid tijdens het binnenrijden van het blok niet noodzakelijkerwijs gelijk is aan de snelheid die gereden werd toen de trein op remwegafstand van het betreffende blok was kan de kruissnelheid (V_{ks}) tijdens het binnenrijden van het blok niet gebruikt worden voor het bepalen van de remtijd/naderingstijd. De naderingstijd wordt bepaald door in stappen van één seconde (T_r) terug te gaan in de tijd en te controleren of de daarbij behorende snelheid (V_{sr}) gelijk is aan de snelheid die toen gereden werd (V_{ks}). V_{sr} is gelijk aan het aantal seconden (T_r) vermenigvuldigd met de remvertraging (A_d) en representeert dus de snelheid waarmee binnen T_r seconden, gegeven de remvertraging A_d , nog voor het binnenrijden van het blok gestopt kan worden.

Voor vertragen wordt voor alle reizigerstreinen $0,66 \text{ m/s}^2$ aangehouden. Ondanks dat treinen harder kunnen remmen wordt er voor het comfort van de reiziger een maximale remvertraging gehanteerd. Voor goederentreinen geldt een maximale remvertraging van $0,33 \text{ m/s}^2$.

Er zijn in de ERTMS specificaties meerdere remcurven voorgeschreven die rekening houden met allerlei veiligheidsvoorschriften. In de tijdens dit onderzoek gemaakte simulaties is hier geen rekening mee gehouden. Doordat er een comfort remming aangehouden wordt, wordt er niet op het randje van de veiligheid gereden. Echter door het negeren van veiligheidsmarges zijn de uitkomsten van de bezettingsgraden mogelijk te laag.

6.3 VERMEDEEN INVESTERINGEN

Wanneer een dienstregeling in de huidige situatie niet mogelijk is maar na de invoering van ERTMS wel betekent dit dat dure infrastructuur uitbreidingen niet nodig zijn. Deze uitbreidingen gelden dan als vermeden investeringen en kunnen aan de opbrengstenkant van de kostenvergelijking meegerekend worden.

6.4 ANDERE VOORDELEN VAN ERTMS

Alle ERTMS treinen hebben een bijna continue dataverbinding met het RBC. Via deze verbinding is bij het RBC de exacte positie van de trein bekend en ook de snelheid en treinsamenstelling. Wanneer deze informatie vanuit het RBC beschikbaar gemaakt wordt voor de verkeersleiding kan deze informatie leiden tot een betere (geautomatiseerde) bijsturing. Ook kan de machinist beter op de hoogte gehouden worden van de omstandigheden op het spoor. Wanneer een trein langzamer rijdt levert dit minder capaciteitsverlies op dan wanneer een trein op volle snelheid naar het einde van zijn rijtoestemming rijdt, vervolgens tot stilstand komt en snel daarna weer door mag rijden maar dan wel eerst weer moet optrekken.

Een dergelijk snelheidsadvies is een bijsturingsoptie en in principe geen onderdeel van een beveiligingssysteem. Het inbouwen van een adviesfunctie raakt aan de discussie waarvoor in de huidige situatie het seinsysteem en in de toekomst ERTMS dient: Puur als beveiligingssysteem om te voorkomen dat treinen tegen elkaar aan rijden of als systeem voor de (bij)sturing van de treinen. Voor de sturing van de treinen dient op dit moment de dienstregeling. Alle treinen worden voor zover mogelijk conflictvrij ingepland waardoor de treinen zoveel mogelijk alleen groene seinen tegenkomen.

7

Rekenschema

Alle kosten en opbrengsten moeten, met in achtneming van de tijd, verrekend worden om een gefundeerde uitspraak te kunnen doen over de effectiviteit van de verschillende ERTMS varianten. Hiertoe wordt een tijdlijn gemaakt met daarop aangegeven welke variant wanneer in dienst is en wanneer er omgebouwd wordt. De resultaten per jaar worden vervolgens, na verrekening met een disconteringsvoet, bij elkaar opgeteld tot een netto contante waarde. Via deze waarde kunnen de verschillende invoeringsstrategieën op een eerlijke manier met elkaar vergeleken worden.

Van de kostenberekening is een interactief Excel model gemaakt. De structuur van dit model wordt toegelicht in paragraaf 7.1 waarna elk tabblad in paragraaf 7.2 apart behandeld wordt. Paragraaf 7.3 geeft een toelichting op de gekozen disconteringsvoet. In een aantal gesprekken met mogelijke toekomstige gebruikers is het model geverifieerd, zoals beschreven wordt in paragraaf 7.4.

De ingevulde aantallen en kostprijzen horen bij het studiegebied, maar zijn eenvoudig te wijzigen. Tevens is het mogelijk extra processen toe te voegen of compleet nieuwe ombouwstappen.

7.1 MODELSTRUCTUUR

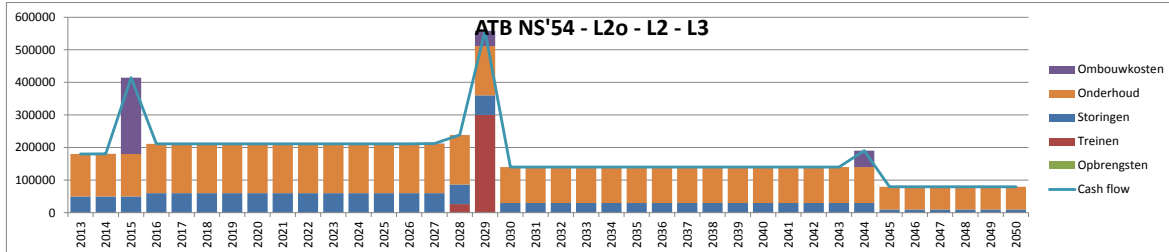
Voor het beantwoorden van de hoofdvraag moeten de verzamelde kosten en opbrengsten op de juiste manier gecombineerd worden. De hoofdvraag luidt: *Hoe verhouden de drie invoeringsstrategieën zich tot elkaar op de punten capaciteit en financiën?*

Het doel van het model is bepalen welke invoeringsstrategie de beste kosten / baten verhouding oplevert. Om de resultaten eenvoudig te kunnen vergelijken moet de uitkomst van het model bij voorkeur in één getal het financiële resultaat weergeven. Er is geen onderscheid gemaakt naar de verschillende stakeholders. Het invoeren van het systeem ERTMS raakt de infrastructuurbeheerder en de vervoerders direct. Deze partijen moeten aanpassingen doen die geld kosten maar zij kunnen als gebruikers ook voordelen ervaren.

Een ander doel is inzichtelijk maken wat de invloed is van de keuzes die gemaakt kunnen worden tijdens het invoeringsproces. Daarnaast spelen ook de termijnen waarop de invoeringsactiviteiten plaatsvinden een belangrijke rol. Het ontwikkelde model geeft op een visuele manier de gevolgen van deze variabelen weer. Figuur 39 geeft een indicatie van hoe de resultaten, behorende bij een invoeringsstrategie met drie ombouwstappen, eruit zou kunnen komen te zien. Onderscheid wordt gemaakt tussen ombouwkosten, onderhoud, storingen, treinen (ombouw) en opbrengsten.

Om de verschillende kostenposten en opbrengsten op deze manier inzichtelijk te maken en op de juiste manier te verrekenen zijn deze op een tijdlijn geplaatst. Figuur 40 geeft een voorbeeld van één invoeringsstrategie. Van boven naar beneden zijn de verschillende posten te zien en van links naar rechts

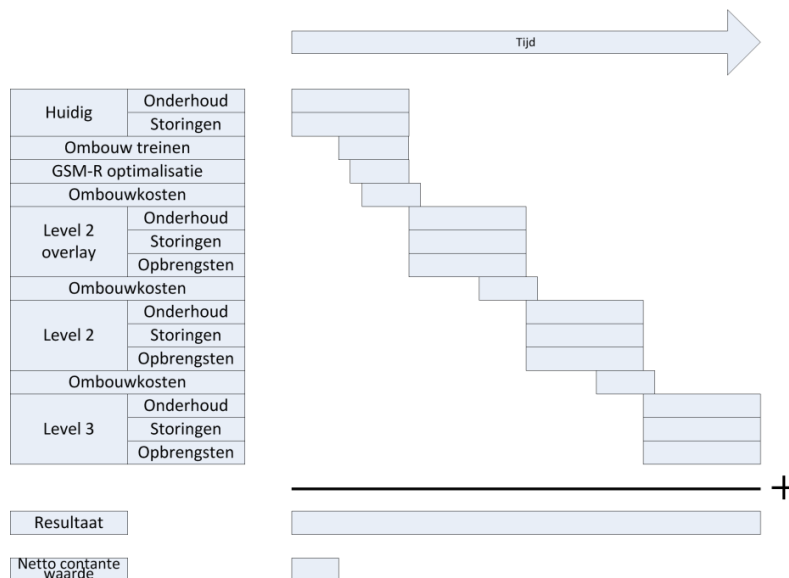
loopt de tijd. Dit is de basis van het hele model. Door de invoeringsjaartallen te veranderen verschuiven de ombouwstappen en door de keuzes in de ombouwstappen aan te passen veranderen de kosten van een ombouwstap en mogelijk ook de jaarlijkse onderhouds- en storingskosten voor de jaren erna. Alle in de voorgaande hoofdstukken geïdentificeerde kosten moeten verrekend worden om een goede vergelijking te maken.



Figuur 39: Voorbeeld weergave van de resultaten.

In deze opzet kan eenvoudig met de jaartallen die de ombouwstappen definiëren geschoven worden en kunnen de keuzes zoals deze in de stroomschema's voorkomen op een centrale plek veranderd worden waarna meteen de bijbehorende kosten getoond worden. Zoals in figuur 39.

Aan de kostenkant zijn er niet alleen de ombouwkosten maar worden ook grote besparingen op onderhoud en storingskosten verwacht. Voor de kosten worden enkel de systemen die aan de beveiliging gerelateerd zijn meegenomen. Dit past bij de doelstelling: *Vergelijken welke ERTMS invoeringsstrategie tijdens de overgangperiode naar ERTMS level 3 op elk moment tegen geringe kosten de gewenste capaciteit kan bieden.* Tegenover de investeringen tijdens de overgangperiode staat een bepaalde capaciteit. Dit is op bijvoorbeeld de OV SAAL verbinding een belangrijk argument om ERTMS in te voeren.



Figuur 40: Alle kosten en opbrengsten worden op een tijdlijn gezet.

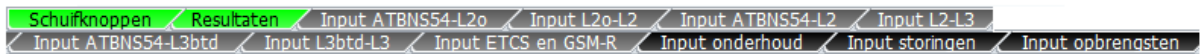
De capaciteit is echter sterk afhankelijk van de gereden dienstregeling. Naast de mogelijkheid tot het uitvoeren van een intensievere dienstregeling bestaan de opbrengsten uit kortere reistijden. De opbrengsten uit kortere rijtijden kunnen eenvoudig gemonetariseerd worden. De mogelijkheid tot het rijden van een bepaalde dienstregeling is meer een kwalitatieve opbrengst. Wanneer de capaciteitswinst na invoering van een specifiek ERTMS level niet toereikend is moet er naar een andere oplossing worden gezocht. Bijvoorbeeld een andere dienstregeling waardoor mogelijk een aantal rijtijden verslechteren, dit zijn dan negatieve opbrengsten, of uitbreiding van de infrastructuur.

Wanneer na de aanpassingen aan het beveiligingssysteem de dienstregeling wel mogelijk is zijn dure infrastructurele uitbreidingen wellicht niet meer nodig omdat ERTMS dan voldoende extra capaciteit biedt. Dit geldt als vermeden investeringen.

7.2 OPBOUW SPREADSHEETS

Het Excel model bestaat uit meerdere tabbladen. Met het tabblad "Schuifknoppen" kan onderzocht worden wat verschillende invoeringstermijnen met de prijs doen en wat de invloed is van de keuzes die gemaakt kunnen worden zoals aangegeven in de stroomschema's van elke ombouwstap. Het tabblad "Resultaten" geeft een uitgebreidere kostenopbouw per invoeringsstrategie. Input voor deze resultaten zijn de aantallen en kosten van alle onderdelen en processen tijdens het ombouwproces. De onderhouds- en storingskosten tijdens het in dienst zijn van alle systemen plus de opbrengsten die gerealiseerd zouden kunnen worden krijgen elk een eigen tabblad.

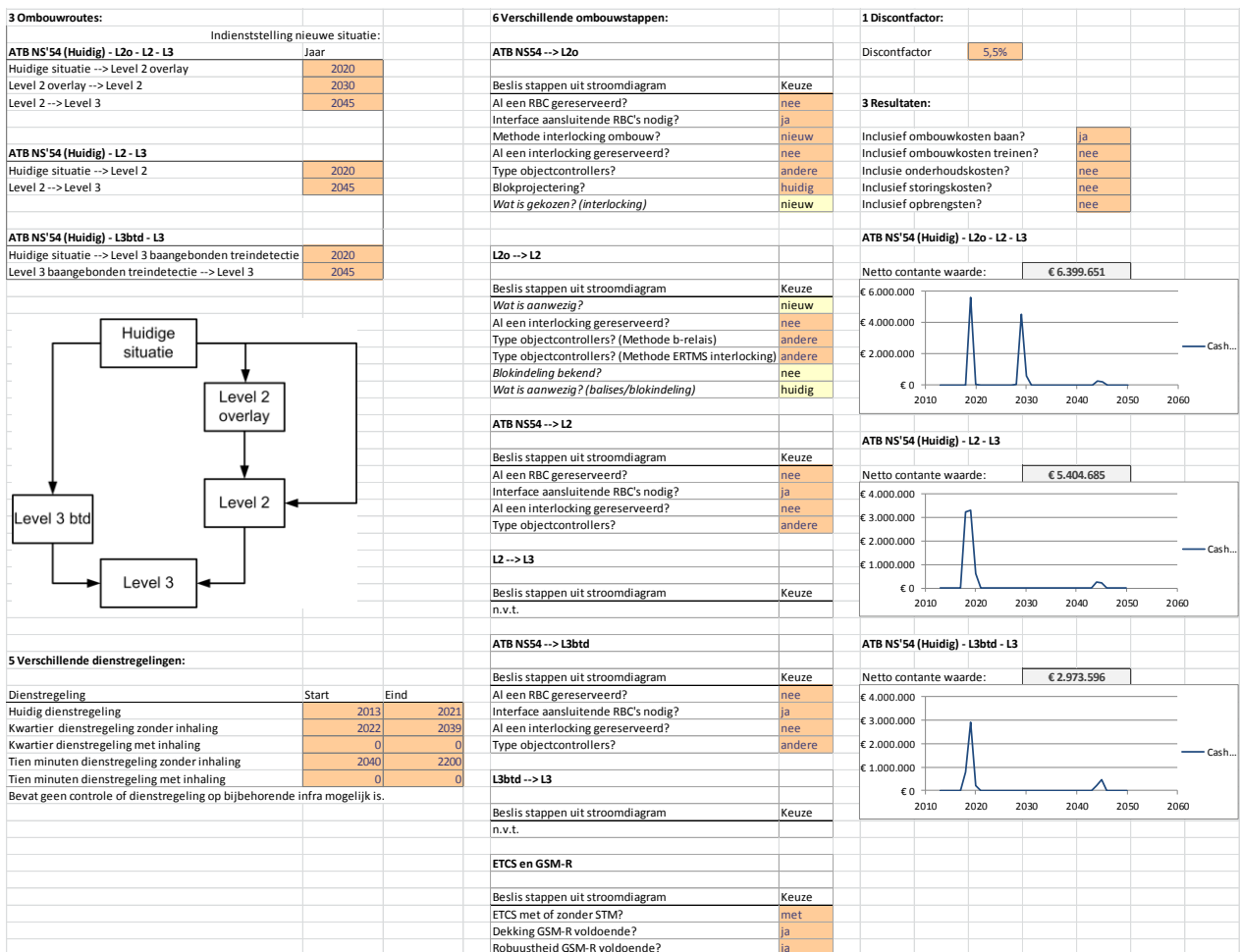
In alle "input" tabbladen kunnen waarden worden aangepast. Dit is noodzakelijk wanneer dit model voor een ander studiegebied wordt gebruikt. Hieronder wordt het Excel model per tabblad beschreven.



Figuur 41: Alle tabbladen.

7.2.1 TABBLAD "SCHUIFKNOPPEN"

Dit is het centrale tabblad waarop verschillende instellingen aangepast kunnen worden en in één oogopslag de verschillende resultaten vergeleken kunnen worden. Zie figuur 42.

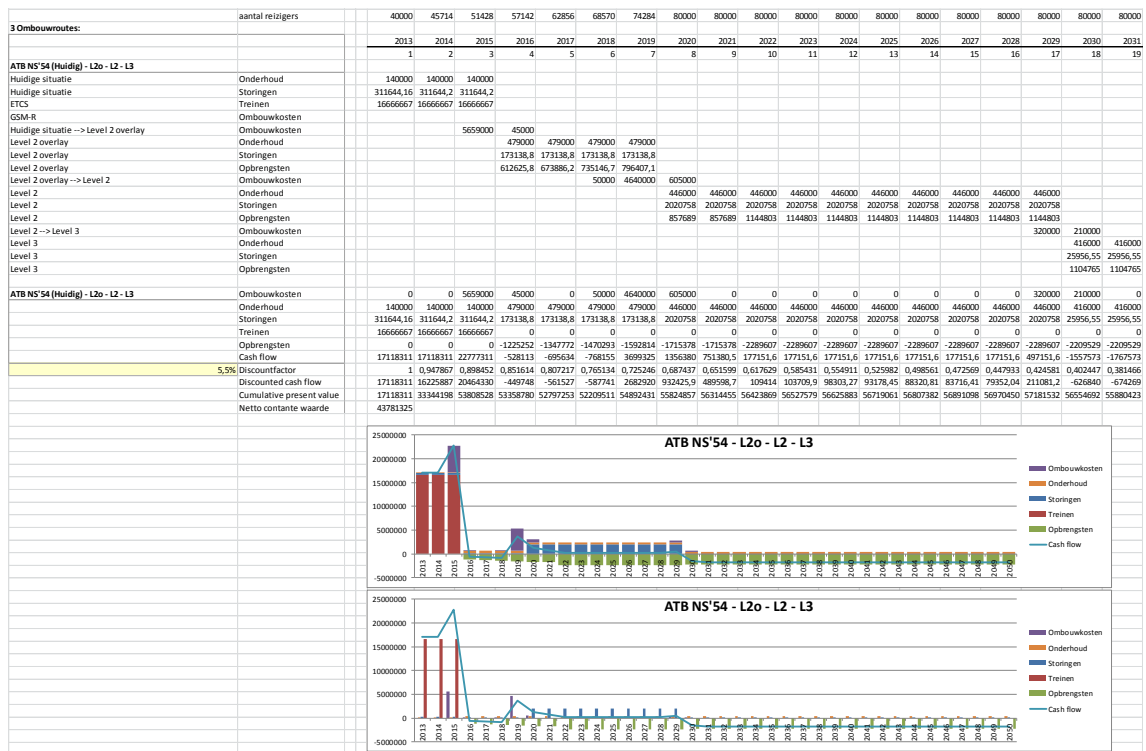


Figuur 42 Tabblad "Schuifknoppen". Links de ombouwmomenten, midden de mogelijke keuzes en rechts een beknopt overzicht van resultaten met in grafiekvorm de absolute cashflow per invoeringsstrategie.

Links in beeld kunnen de jaartallen ingevuld worden waarin elke ombouwstap zou kunnen plaatsvinden en wanneer welke dienstregeling geldt. In het midden kunnen de keuzes gemaakt worden zoals die in de stroomschema's van elke ombouwstap naar voren komen. Rechts in beeld kan vervolgens het eindresultaat bekeken worden. Dit bestaat uit een grafiek van de kosten minus de baten voor de periode tot en met 2050. De gegeven netto contante waarde is berekend over deze periode met een disconteringsvoet die rechts boven in beeld ingesteld kan worden.

7.2.2 TABBLAD "RESULTATEN"

Op dit tabblad (figuur 43) komen alle kosten en opbrengsten voor elke systemvariant en elke ombouwstap samen en worden op de juiste plaats op de tijdlijn gezet. De absolute onderhoudskosten, storingskosten, ombouwkosten en opbrengsten worden vervolgens weergegeven in grafieken en de bijbehorende netto contante waarden worden uitgerekend en getoond. Ingesteld kan worden of alleen de getallen, alleen de grafieken of allebei weergegeven worden.



Figuur 43: Tabblad "Resultaten". Boven in beeld worden de ombouw- onderhouds- en storingskosten weergegeven met daaronder de berekening van de netto contante waarde. In de grafieken is de totale cashflow van enkel de eerste 50 jaar weergegeven.

7.2.3 TABBLADEN "INPUT OMBOUW 'SYSTEEM A'- 'SYSTEEM B'"

Per ombouwstap is er een tabblad (figuur 44). Alle blokjes uit de stroomschema's staan hierin onder elkaar (zie voor een compleet overzicht van alle ombouwstappen bijlage 3). Voor alle blokjes die een proces bevatten moet ingevuld worden een aantal, kosten per stuk en de doorlooptijd per stuk in kwartalen. Ingevuld zijn al de afhankelijkheden: Voor elk blokje is aangegeven voor welk ander proces eerstgenoemde klaar moet zijn. Voor activiteiten die na het omschakelmoment plaatsvinden wordt aangegeven na welke andere processen een proces kan starten. Deze informatie wordt gebruikt voor het op de juiste plek op de tijdlijn zetten van de kosten. De totale kosten worden verdeeld over het aantal kwartalen dat voor deze activiteiten is ingevuld.

		Omschakelmoment		2030	Som totaal	725000	Afhankelijkheid				Som jaar	270000	0	100000	155000	15000	455000	45000	0
Ombouwstap	Level 3 baangebonden treindetectie -> Level 3	Aantal	Kosten per stuk	Kosten totaal	Doorlooptijd (kwartalen)	Eindigt voor	eindigt voor	eindigt voor	eindigt voor	Factor	Jaar	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036
1	START					10	10	10	10		1	2	3	4	1	2	3		
2	RBC aanpassen					10	10	10	10										
3	Buro engineering ERTMS Level 3 functionaliteit	1	€ 100.000	€ 100.000	1	4	10	10	10	1				100000					
4	Nieuwe software inladen	1	€ 7.500	€ 7.500	1	10	10	10	10	1					7500				
5	Interlocking aanpassen					10	10	10	10										
6	Buro engineering ERTMS Level 3 functionaliteit	1	€ 100.000	€ 100.000	1	7	10	10	10	1				100000					
7	's Nachts nieuwe software testen	1	€ 5.000	€ 5.000	1	9	10	10	10	1					5000				
8	Aanpassen VPT bedienlaag	1	€ 50.000	€ 50.000	1	9	10	10	10	1					50000				
9	Nieuwe software inladen en spoorstroomlopen ontkoppelen	1	€ 7.500	€ 7.500	1	10	10	10	10	1					7500				
10	Omschakelmoment					10	10	10	10										
xx						Start na	Start na	Start na	Start na										
11	Interlocking aanpassen					11	11	11	11										
12	Aantal object controller huizen slopen	3	€ 15.000	€ 45.000	1	17	11	11	11	1							45000		
13	Spoorstroomlopen verwijderen					11	11	11	11										
14	Kabels verwijderen	90	€ 250	€ 22.500	1	11	11	11	11	1							22500		
15	Relaiskasten verwijderen	15	€ 1.000	€ 15.000	1	11	11	11	11	1							15000		
16	ES lassen verwijderen	100	€ 3.500	€ 350.000	1	11	11	11	11	1							350000		
17	Objectcontrollers verwijderen	90	€ 250	€ 22.500	1	11	11	11	11	1							22500		
18	EIND					11	11	11	11										

Figuur 44: Tabblad "Input L3btd-L3". Links staan alle process onder elkaar. Voor elk proces wordt van links naar rechts aangegeven het aantal, de prijs per stuk, de totale kosten, de doorlooptijd in kwartalen en voor welke andere processen dit proces voltooid moet zijn of na de ombouwstap na welke processen dit proces mag beginnen. Deze gegevens resulteren in een planning, welke rechts is weergegeven.

Door de mogelijke keuzes worden sommige processen niet altijd uitgevoerd. Daarom is er een factor geïntroduceerd die afhankelijk van de gekozen instellingen in het tabblad "Schuifknoppen" de waarde 1 of 0 krijgt en zodoende bepaalde processen een doorlooptijd van nul kwartalen geeft. Hierdoor verdwijnt deze activiteit uit de planning en worden zodoende ook de kosten niet meegerekend.

De planning is opgezet in kwartalen. De kosten worden echter per jaar gesommeerd voordat deze in het tabblad "Resultaten" op de tijdlijn gezet worden.

7.2.4 TABBLAD "INPUT ONDERHOUD"

De basis vormt een lijst met items die is afgeleid van alle systeemkaarten en de ombouwschema's uit hoofdstuk 4. Voor elk item moet ingevuld worden hoeveel er in elke systeemconfiguratie aanwezig zijn in het studiegebied. Dit aantal wordt vervolgens vermenigvuldigd met de onderhoudskosten per stuk per jaar. Ook wordt er vermenigvuldigd met een factor 1. Waar van toepassing wordt deze 1 (aanwezig) automatisch in een 0 (niet aanwezig) veranderd als gevolg van de keuzes gemaakt in tabblad "Schuifknoppen".

Per systeemconfiguratie worden vervolgens alle kosten gesommeerd. Er wordt aangenomen dat het onderhoud en dus ook de onderhoudskosten elk jaar hetzelfde zijn. Er wordt dus geen rekening gehouden met de leeftijd van de aanwezige systemen. Verondersteld wordt dat de life cycle kosten in de jaarlijkse waarden verrekend zijn, zoals ook beschreven is in hoofdstuk 5.

De onderhoudstabel ziet eruit zoals in figuur 45.

Locatie	Basis systemen	Systemen	Aantal (studiegebied)					Prijz (€/stuk/jaar)	Factor	Kosten totaal per jaar										
			Huidig	L2o	L2	L3btd	L3			Huidig	L2o	L2	L3btd	L3						
Interlocking	Interlocking	ERTMS Interlocking	0	1	1	1	1	€ 200.000	1	0	1	1	1	€ 0	€ 0	€ 200.000	€ 200.000	€ 200.000		
		B-relais	3	3	0	0	0	€ 25.000	1	1	1	1	1	€ 75.000	€ 75.000	€ 0	€ 0	€ 0		
RBC	RBC	RBC	0	1	1	1	1	€ 200.000	1	1	1	1	1	€ 0	€ 200.000	€ 200.000	€ 200.000	€ 200.000		
Langs de baan	Spoorstroomloepen	ES lussen	100	100	0	100	0	€ 400	1	1	1	1	1	€ 40.000	€ 40.000	€ 0	€ 40.000	€ 0		
		ATB signaal	90	90	0	0	0	€ 200	1	1	1	1	1	€ 18.000	€ 18.000	€ 0	€ 0	€ 0		
		Seinen	70	70	0	0	0	€ 100	1	1	1	1	1	€ 7.000	€ 7.000	€ 0	€ 0	€ 0		
		Assentellers	Assentelpunten	0	0	160	0	0	€ 100	1	1	1	1	1	€ 0	€ 0	€ 16.000	€ 0	€ 0	
		Centrale assentelcomputer	0	0	14	0	0	€ 1.000	1	1	1	1	1	€ 0	€ 0	€ 14.000	€ 0	€ 0		
		Balises (vaste)	Balises L2o blokindeling	0	140	0	0	0	€ 100	1	1	1	1	1	€ 0	€ 14.000	€ 0	€ 0	€ 0	
		Balises L2 puur blokindeling	0	160	160	160	160	€ 100	1	0	1	1	1	€ 0	€ 0	€ 16.000	€ 16.000	€ 16.000		
		GSM-R	GSM-R netwerk	1	1	1	1	1	€ 0	1	1	1	1	1	€ 0	€ 0	€ 0	€ 0	€ 0	
		In trein	ETCS in trein	ETCS in trein	0	50	100	100	100	€ 0	1	0	0	0	0	€ 0	€ 0	€ 0	€ 0	€ 0
				ETCS met STM in trein	0	50	100	100	100	€ 0	1	1	1	1	1	€ 0	€ 0	€ 0	€ 0	€ 0
ATB-EG in trein	100			50	0	0	0	€ 0	1	1	1	1	1	€ 0	€ 0	€ 0	€ 0	€ 0		
Kosten totaal per jaar													Huidig	L2o	L2	L3btd	L3			
som													€ 140.000	€ 354.000	€ 446.000	€ 456.000	€ 416.000			

Figuur 45: Overzicht onderhoudskostentabel. Links de systemen, daarnaast de aantallen en de factoren en rechts de totaal prijzen per systeem per jaar die vervolgens van boven naar beneden opgeteld worden om tot de jaarlijkse onderhoudskosten per systeem te komen.

7.2.5 TABBLAD "INPUT STORINGEN"

Voor elk aanwezig systeem zijn er niet alleen de onderhoudskosten maar ook storingskosten. Zoals in hoofdstuk 5 beschreven bestaat de input voor deze tabel (figuur 46) uit het aantal elementen in het studiegebied en de gemiddelde storingsfrequentie van deze elementen per jaar om het totaal aantal storingen per jaar in het studiegebied te bepalen. Dit wordt vervolgens vermenigvuldigd met de kosten die bestaan uit de reparatiekosten en de kosten voor de stremming. Afhankelijk van de baanvakwaarde geldt een door ProRail vastgestelde prijs voor een stremming van een uur. Voor het berekenen van de totale kosten moet dus ook de gemiddelde herstelduur van een stremming als gevolg van storing in het betreffende systeem ingevuld worden.

Locatie	Basis systemen	Systemen	Aantal (studiegebied)					Frequentie per stuk per jaar	Kosten voor stremming per uur	Duur tot storting verhoeden is (uren)	Kosten voor reparatie	Factor	Storingskosten per element per jaar voor studiegebied									
			Huidig	L2o	L2	L3btd	L3						Totale stremming	Huidig	L2o	L2	L3btd	L3				
Interlocking	Interlocking	ERTMS Interlocking	0	1	1	1	1	0,286	€ 16.816	1,25	€ 2.000	1	0	1	1	1	€ 0	€ 0	€ 3.578	€ 3.578	€ 3.578	
		B-relais	3	3	0	0	0	0	€ 16.816	0,93333333	€ 880	1	1	1	1	1	€ 157.094	€ 157.094	€ 0	€ 0	€ 0	
RBC	RBC	RBC	0	1	1	1	1	0	€ 16.816	0,25	€ 2.000	1	1	1	1	1	€ 0	€ 0	€ 0	€ 0	€ 0	
Langs de baan	Spoorstroomloepen	ES lussen	100	100	0	100	0	0,117	€ 16.816	1,13333333	€ 2.000	1	1	1	1	1	€ 134.890	€ 134.890	€ 0	€ 23.400	€ 0	
		ATB signaal	90	90	0	0	0	0,005	€ 16.816	2,46666667	€ 880	1	1	1	1	1	€ 9.729	€ 9.729	€ 0	€ 0	€ 0	
		Seinen	70	70	0	0	0	0,016	€ 16.816	0,41666667	€ 700	1	1	1	1	1	€ 4.708	€ 4.708	€ 0	€ 0	€ 0	
		Assentellers	Assentelpunten	0	0	160	0	0	0,037	€ 16.816	36,6	€ 880	1	1	1	1	1	€ 0	€ 0	€ 830.427	€ 0	€ 0
		Centrale assentelcomputer	0	0	14	0	0	0,251	€ 16.816	39	€ 880	1	1	1	1	1	€ 0	€ 0	€ 1.158.375	€ 0	€ 0	
		Balises (vaste)	Balises L2o blokindeling	0	140	0	0	0	0,047	€ 16.816	0,16666667	€ 880	1	1	1	1	1	€ 0	€ 15.011	€ 0	€ 0	€ 0
		Balises L2 puur blokindeling	0	160	160	160	160	0,047	€ 16.816	0,16666667	€ 880	1	0	1	1	1	€ 0	€ 0	€ 17.156	€ 17.156	€ 17.156	
		GSM-R	GSM-R netwerk	1	1	1	1	1	1	€ 16.816	0,38333333	€ 2.000	1	1	1	1	1	€ 5.223	€ 5.223	€ 5.223	€ 5.223	€ 5.223
		Overig	Kabels en ledingen (km)	16	16	16	16	0	0	€ 16.816	0	€ 880	1	1	1	1	1	€ 0	€ 0	€ 0	€ 0	€ 0
		In trein	ETCS in trein	ETCS in trein	0	50	100	100	100	0	€ 16.816	0	€ 0	1	0	0	0	0	€ 0	€ 0	€ 0	€ 0
ETCS met STM in trein	0			50	100	100	100	0	€ 16.816	0	€ 0	1	1	1	1	1	€ 0	€ 0	€ 0	€ 0	€ 0	
ATB-EG in trein	100			50	0	0	0	0	€ 16.816	0	€ 0	1	1	1	1	1	€ 0	€ 0	€ 0	€ 0	€ 0	
Kosten totaal per jaar													Huidig	L2o	L2	L3btd	L3					
som													€ 311.644	€ 326.655	€ 2.020.758	€ 49.357	€ 25.557					

Figuur 46: Overzicht storingskostentabel. Links de systemen met daarnaast de aantallen, de kosten en storingsfrequenties, de factoren en de totaalprijzen.

Niet elke storing resulteert in een totale stremming. Echter door de lage frequentie van bepaalde typen storingen en de niet consequente rapportage van storingen is er gerekend met gemiddelde waarden die voor andere onderzoeken verzameld zijn. De storingskosten per jaar zijn berekend aan de hand van de formule gepresenteerd in paragraaf 5.4.

7.2.6 TABBLAD "INPUT OPBRENGSTEN"

Er zijn kwantitatieve opbrengsten zoals de onder ERTMS mogelijke kortere rijtijden en er zijn kwalitatieve opbrengsten zoals de mogelijkheid tot het rijden van een gewenste dienstregeling.

De rijtijdwinst wordt bepaald door de gemiddelde rijtijd onder het huidige beveiligingssysteem te vergelijken met de gemiddelde rijtijd onder ERTMS. Dit gemiddelde zal een gewogen gemiddelde zijn waarbij het aantal zitplaatsen per trein als weegfactor dient, waarbij wordt aangenomen dat de

bezettingsgraad van de verschillende treinen gelijk is. Het verschil in seconden kan uitgedrukt worden in geld door het te vermenigvuldigen met het aantal reizigers per jaar en de geldende VOT (Value of Time).

Omdat er wordt uitgegaan van ongehinderde opvolging zijn er geen rijtijdverschillen tussen de ERTMS varianten onderling. Wanneer treinen ingehaald worden heeft de ERTMS variant wel invloed op de lengte van de wachttijd van de ingehaalde trein en dus op de totale rijtijd en de gewogen gemiddelde rijtijd van alle treinen.

Voor het berekenen van de totale opbrengst per jaar wordt de winst per reiziger per jaar vervolgens vermenigvuldigd met het aantal reizigers per dag en met een factor twee omdat ook de terugreis sneller verloopt. De winst per dag is naar winst per jaar vertaald door te vermenigvuldigen met 52*6 om rekening te houden met het lagere aantal reizigers in het weekeinde.

Voor elke onderzochte dienstregeling moeten de rijtijden ingevuld worden. Op het tabblad "Schuifknoppen" kan aangegeven worden welke dienstregeling van wanneer tot wanneer gereden wordt. Door het verschil in de routes die de treinen afleggen in elke dienstregeling kan er geen geldige vergelijking gemaakt worden tussen de gemiddelde reistijden van verschillende dienstregelingen. De reistijdwinst slaat dan ook steeds op de winst die met ERTMS (varianten) geboekt kan worden ten opzichte van ATB-NS'54. Dat komt tevens overeen met het doel van dit onderzoek om de ERTMS varianten te vergelijken.

De kwalitatieve opbrengsten zijn per definitie niet eenduidig in geld uit te drukken. Of het mogelijk is een dienstregeling te realiseren staat dan ook los van het hier gepresenteerde rekenschema.

Dienstregeling	Frequentie (per uur)	Reistijd				Systeem	Gewogen gemiddelde		Winst In uren t.o.v. huidig	VOT Euro's per uur	Winst	
		Huidig (sec.)	ERTMS L2o (sec.)	ERTMS L2 (sec.)	ERTMS L3 (sec.)		sec.	uren			Per reiziger per dag	Per reiziger per jaar
IC Asd-Alm	2	409	377	377	377	ATB-NS'54	813,52637	0,2259795	0	€ 7,75	€ -	€ -
IC Asd-Alm	2	409	377	377	377	ERTMS L2o	783,2514	0,2175698	0,00841	€ 7,75	€ 0,0652	€ 20,33
IC Gvc-Asdz-Alm-Gn	2	684	672	672	672	ERTMS L2	767,80359	0,2132788	0,012701	€ 7,75	€ 0,0984	€ 30,71
IC Gvc-Asdz-Alm-Lls	2	684	672	672	672	ERTMS L3	757,33895	0,2103719	0,015608	€ 7,75	€ 0,1210	€ 37,74
SPR Ut-Alm	2	610	586	586	586							
SPR Hfd-Asdz-Zl	2	1587	1547	1485	1443							
SPR Hfd-Asdz-Almo	2	1633	1568	1506	1464							

Figuur 47: Overzicht rijtijdwinst berekening. Links wordt per trein en per beveiligingssysteem de reistijd ingevuld. Enkel de treinen die ingehaald worden hebben voor elke ERTMS variant andere reistijden. Rechts wordt de gewogen gemiddelde reistijd vergeleken met de gewogen gemiddelde reistijd onder het huidige beveiligingssysteem.

Vermeden investeringen zijn moeilijk te kwantificeren. Dit vraagt uitgebreide studie van de eventuele investering en hangt nauw samen met de investeringen in beveiligingssysteem en infrastructuur op andere delen van de betreffende corridor. In dit model worden de vermeden investeringen daarom buiten beschouwing gelaten.

7.3 KOSTEN BEREKENING / LIQUIDITEITSANALYSE

Om de kosten en opbrengsten van de verschillende invoeringsstrategieën op een correcte wijze te vergelijken zal er een liquiditeitsanalyse uitgevoerd worden, hierin wordt rekening gehouden met financieringskosten en de spreiding van uitgaven en inkomsten over de tijd. Financieringskosten zorgen ervoor dat varianten die opbrengsten relatief vroeg en uitgaven relatief laat in de tijd hebben uiteindelijk voordeliger zijn. Voor investeringen die nu gedaan worden moet geld geleend worden of als er wel geld in kas is kan het niet ergens anders aan uitgegeven worden en dus is er een nadeel. Opbrengsten die later in

de tijd plaatsvinden hebben minder waarde dan even grote monetaire opbrengsten nu omdat van de eerste een deel financieringskosten afgaat. De financieringskosten zijn verwerkt in een disconteringsvoet. Via deze factor worden de geldstromen (inkomsten-uitgaven) per jaar omgerekend naar de zogenoemde netto contante waarde. Totale netto contante waarde van een project (alle jaren bij elkaar opgeteld) moet uiteindelijk voor de verschillende projectopties vergeleken worden.

Deze theorie kan aan de hand van een eenvoudig voorbeeld geïllustreerd worden. 100 euro nu is meer waard dan 100 euro over een jaar. Als je een jaar moet wachten wil je misschien wel 5% meer om het wachten te compenseren. 100 euro nu is dus evenveel waard als 105 euro over een jaar. Andersom is 100 euro over een jaar nu dus maar 95 euro waard. Met een disconteringsvoet kan deze waarde verandering berekend worden: geldstromen in de toekomst worden vertaald naar de huidige waarde.

7.3.1 DISCONTERINGSVOET

Er wordt voor maatschappelijke kosten baten analyses een standaard disconteringsvoet van 5,5% gehanteerd (Kennisinstituut voor Mobiliteitsbeleid, 2012). Deze bestaat uit twee delen: een discontovoet van 2,5% en een risico opslag van 3%. Een hogere disconteringsvoet betekent dat veranderingen in de toekomst minder zwaar meegewogen worden. Wanneer er onomkeerbare effecten verwacht worden (bijvoorbeeld op het gebied van milieu) mag de risico opslag gehalveerd worden om deze effecten zwaarder mee te laten wegen.

Het invoeren van ERTMS zal geen onomkeerbare effecten hebben waardoor vastgehouden wordt aan de standaard disconteringsvoet van 5,5%.

7.4 TOEPASBAARHEID IN DE PRAKTIJK

Het doel van het model is duidelijk maken wat het verschil is tussen de drie invoeringsstrategieën en wat de invloed is van de verschillende keuzes die er gemaakt kunnen worden tijdens het invoeringsproces. De output van het model kan gebruikt worden bij het schrijven van adviesrapporten. Gebruikers van het model zullen zodoende zijn adviseurs, maar ook specialisten die bij het uitwerken van een ombouwstap de deelprocessen invoeren of onderhoudscomponenten specificeren en kostendeskundigen die de prijzen voor elke stap moeten kwantificeren.

Met de stakeholders zoals genoemd in paragraaf 2.3 is het model op hoofdlijnen besproken. Met enkele adviseurs binnen Arcadis, die in contact staan met de Railmap, is beoordeeld wat de toepasbaarheid is van dit model in de praktijk.

7.4.1 STAKEHOLDERS

Tijdens de gesprekken met de stakeholders zijn de verschillende kostenposten enkel op hoofdlijnen genoemd. Geconstateerd is dat de belangrijkste kostenposten in het model aanwezig zijn en dat de financiële vergelijking door middel van een liquiditeitsanalyse juist is. Er zijn zodoende naar aanleiding van deze gesprekken geen wijzigingen in het model opgetreden.

Het ministerie gaf aan dat vermeden investeringen vaak wel een rol spelen in kosten baten analyses. Echter om redenen zoals hieronder beschreven is er vanaf gezien deze opbrengsten post mee te nemen in het model.

7.4.2 ADVISEURS

De context van het model is geïntroduceerd aan de hand van de figuren en uitleg zoals deze in hoofdstuk 2 en 3 zijn vastgelegd. Beknopte versies van de stroomschema's uit hoofdstuk 4 zijn getoond waarna tot slot het Excel model uit dit hoofdstuk is getoond en besproken. Er zijn een aantal concrete vragen gesteld en tijdens de presentatie is er over verschillende onderdelen gediscussieerd. Deze vragen en punten staan hieronder opgesomd en worden elk kort toegelicht.

Vergelijkingsmethode

Het financieel vergelijken van de drie invoeringsstrategieën gebeurt over het algemeen door een netto contante waarde uit te rekenen voor de verschillende opties. Voor het berekenen van de netto contante waarde is het belangrijk de uitgaven voor elke ombouwstap op het juiste moment in de tijd mee te rekenen. Wanneer het ombouwproces meer dan een jaar in beslag neemt moeten de totale kosten ook over deze jaren verdeeld worden.

Onderzochte varianten

Voor wat de vergelijking betreft werd aangegeven dat de onderzochte drie strategieën inderdaad de meest waarschijnlijke zijn en dat er over de systeemconfiguraties op hoofdlijnen (zoals weergegeven in bijvoorbeeld figuur 12) algemene overeenstemming bestaat in de branche.

Aannames

Vendor lock in kan resulteren in hoge onderhoudskosten doordat de beheerder van de fabrikant afhankelijk is. Deze hogere onderhoudskosten komen in het model niet aan bod. Het zelf ontwikkelen van systemen om dit te voorkomen vraagt echter investeringen waardoor de vraag gerechtvaardigd is of zelf ontwikkelen daadwerkelijk goedkoper is.

Compleetheid

De belangrijkste kostenposten zijn in het model opgenomen. De totale prijs lijkt op het eerste gezicht laag in vergelijking met eerdere studies van ProRail voor de complete OV SAAL corridor. Er zijn meerdere redenen aan te wijzen die dit verschil kunnen verklaren. De sporenlay-out in Almere is relatief simpel vergeleken met het Amsterdamse deel van de OV SAAL corridor en er is in Almere geen sprake van transitiegebieden omdat de complete OV SAAL corridor van ERTMS voorzien zal worden. Bovendien zijn in het model enkel de directe kosten opgenomen en ontbreken de indirecte kosten.

Opbrengsten als gevolg van vermeden investeringen zijn na overleg bewust buiten beschouwing gelaten. Tevens zijn de kosten voor randontwikkelingen niet meegenomen.

Directe / indirecte kosten

De kosten zoals deze in hoofdstuk 5 zijn ingevuld betreffen uitsluitend de directe kosten. Indirecte kosten zoals de kosten voor een project team of proceskosten ontbreken in het model. De totale kosten kunnen met een factor 2 (of 3 wanneer er veel ontwikkelingskosten verwacht worden) toenemen wanneer de indirecte kosten meegerekend worden. Echter het ontbreken van deze indirecte kosten zal weinig invloed hebben op de vergelijking tussen de invoeringsstrategieën omdat de indirecte kosten steeds ongeveer gelijk zullen zijn.

Transities

Met een transitie wordt bedoeld de overgang tussen twee treinbeveiligings- en beïnvloedingssystemen. Wanneer bijvoorbeeld een trein vanuit ATB-NS'54 gebied een spoorlijn oprijdt die is voorzien van level 3 puur moet de trein apparatuur contact zoeken met het juiste RBC en moet het ETCS systeem overschakelen op cabinesignalering. Veel overgangen zijn echter niet wenselijk vanuit ergonomisch oogpunt: machinisten moeten dan steeds omschakelen van cabine signalering naar seinen langs de baan en andersom. Bovendien is er bij elke omschakeling kans op menselijke en technische fouten.

Tijdens de toekomstige landelijke uitrol van ERTMS zal er per corridor of per gebied omgebouwd en omgeschakeld worden. Wanneer er een corridor omgebouwd wordt moeten er op alle emplacementen waar corridors kruisen of samenkomen voorzieningen getroffen worden voor treinen, met en zonder ERTMS. Wanneer per gebied omgebouwd wordt zijn er minder overgangen maar zal de ombouw langer duren en moeten er ook secundaire lijnen binnen dat gebied omgebouwd worden. In welke volgorde spoorlijnen en emplacementen omgebouwd zullen worden is nog onderwerp van studie. Tot nu toe zijn er in Nederland slechts enkel spoorlijnen (Hanzelijn en Amsterdam-Utrecht) van ERTMS voorzien en geen emplacementen.

Kostenposten die mogelijke randontwikkelingen beslaan

Het hiervoor gepresenteerde model omvat enkel de directe kosten voor de treinbeveiligings- en beïnvloedingssystemen. Voordat de opbrengsten die worden meegerekend gerealiseerd kunnen worden zijn mogelijk extra ontwikkelingen, die losstaan van de beveiligingssystemen, noodzakelijk. Om de extra capaciteit die ERTMS theoretisch biedt in de praktijk ook volledig te kunnen benutten zijn aanpassingen en investeringen in onder andere de volgende zaken nodig:

- Het aanpassen van de aansturing/planning van het rijdend personeel.
- De treindienst niet op minuten maar per 10 of 30 seconden plannen.
- Meerdere meetpunten introduceren waar de voorsprong of achterstand t.o.v. de dienstregeling bepaald kan worden.
- Het gebruiken van ERTMS voor de bijsturing.

Dit laatste punt raakt aan de discussie of het beveiligingssysteem puur voor de veiligheid moet zorgen of dat het ook gebruikt mag worden voor de be- en bijsturing van de treindienst. Het is technisch mogelijk ERTMS ook voor de bijsturing te gebruiken omdat via de GSM-R verbinding gedetailleerde informatie over de trein, zoals de exacte positie en snelheid, bij de verkeersleiding beschikbaar gemaakt kan worden. Met deze informatie kan bijvoorbeeld besloten worden dat het voordeliger is om over een bepaalde afstand 20 km/h te rijden omdat dit voor de totale capaciteit beter is dan tot stilstand komen en weer moeten optrekken.

Vermeden investeringen

Om twee redenen is na overleg besloten het aspect 'vermeden investeringen' niet in het model op te nemen.

De omvang van het bedrag dat als vermeden investering genoteerd zou moeten worden is moeilijk vast te stellen omdat er vaak interactie is met investeringen op andere delen van een corridor. In het geval van Almere is de (mogelijke) vermeden investering in viersporigheid (€ 250-500 miljoen) alleen mogelijk bij

uitbreiding van station Weesp (€ 100 miljoen) en complete viersporigheid van de Zuidtak in Amsterdam (€ 100 miljoen).

Door de onzekerheid in de detaillering van de vermeden projecten is ook de prijs slechts met grote onzekerheidsmarges vast te stellen. Daarnaast zijn ook de opbrengsten die geïncasseerd hadden kunnen worden wanneer de projecten wel door waren gegaan niet in voldoende detail beschikbaar.

Materieel kosten

De materieelkosten worden ook in andere studies op de in dit onderzoek gebruikte bedragen aangenomen. Echter wanneer nieuw materieel aangeschaft wordt dat direct van ERTMS voorzien wordt kunnen de kosten per treinstel dalen tot € 100.000 per stuk.

OV SAAL specifiek: Voordelen met ERTMS

Capaciteitswinst ontstaat wanneer het verschil tussen de sprinter en de intercity kleiner wordt. De rijtijdwinsten die ontstaan na invoering van ERTMS vertalen zich alleen naar capaciteitswinst wanneer deze winsten ook incasseerbaar zijn. Om een capaciteitswinst te realiseren is het dus van het grootste belang de rijtijdwinsten van de sprinters te incasseren. In Almere is dit mogelijk omdat Almere Oostvaarders het eind/beginpunt van de meeste sprinters is. Verder wordt ook op dit punt een corridor breed overzicht gevraagd voordat beoordeeld kan worden welke rijtijd- en capaciteitswinsten daadwerkelijk incasseerbaar zijn.

Opbrengsten kunnen in de praktijk tegenvallen. Ondanks dat uitgesteld remmen niet is toegestaan op dit moment gebeurt het al wel. Het ATB systeem controleert slechts of er geremd wordt, niet hoe hard. Door minder hard te remmen dan kan, na het passeren van een geel sein, is het dus mogelijk dat er rijtijden gerealiseerd worden die korter zijn dan de gesimuleerde rijtijden.

8

Uitwerking OV SAAL

In dit hoofdstuk worden de schema's uit hoofdstuk 4 en 5 ingevuld met data voor het studiegebied, Almere. Met het simulatiemodel uit hoofdstuk 6 worden de opbrengsten en mogelijke dienstregelingen bepaald. Met het rekenmodel uit hoofdstuk 7 wordt ten slotte een prijskaartje aan de verschillende combinaties gekoppeld.

Alle invoeringsstrategieën hebben op hetzelfde moment evenveel treinen rijden. Opbrengsten van meer of minder reizigers (al dan niet aangetrokken door meer treinen) is dus niet onderscheidend. Alleen de kortere reistijden leveren geld op.

8.1 FASERING

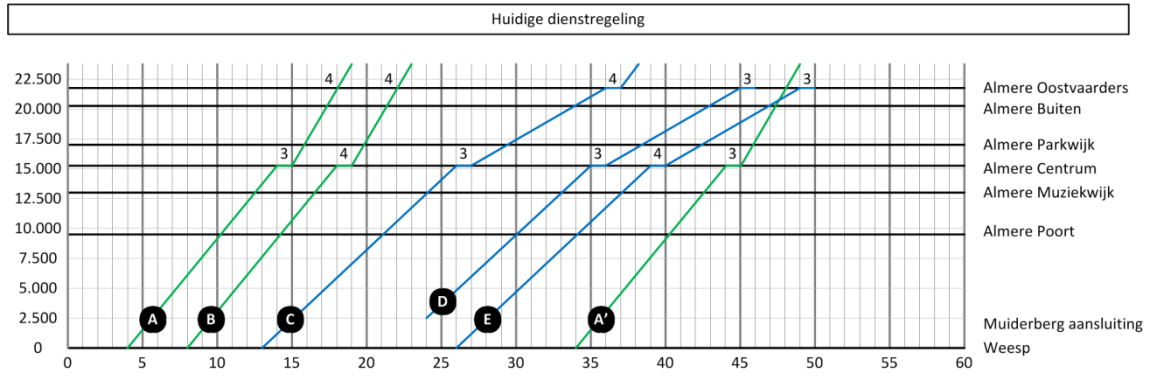
De invoering van een nieuwe dienstregeling en het faseren van de ombouwstappen naar ERTMS level 3 moeten zo op elkaar afgestemd worden dat steeds de gewenste dienstregeling gereden kan worden. Wanneer er al is geïnvesteerd in meer capaciteit maar deze nog niet gebruikt wordt zijn er onnodig vroeg financieringskosten gemaakt.

8.1.1 PLANNING AANTAL TREINEN

De oorspronkelijke planning voor OV SAAL voorzag in een kwartierdienstregeling vanaf 2016 en een 10 minuten dienstregeling vanaf 2020 (Ministerie van Infrastructuur en Milieu, sd). Door de huidige economische ontwikkelingen zijn deze termijnen naar achteren verschoven en wordt een kwartierdienstregeling niet voor 2020 voorzien en een 10 minuten dienstregeling niet voor 2030 (Mansveld, 2013).

Huidige dienstregeling

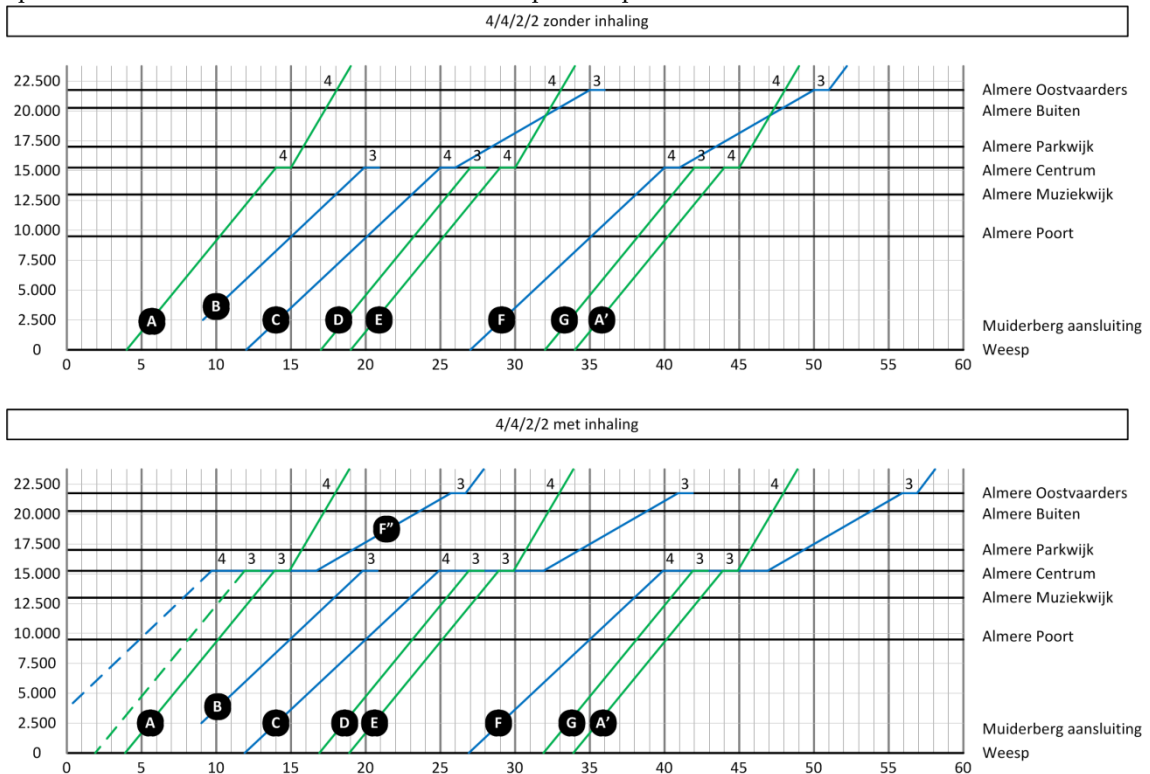
In de huidige situatie rijden er elk half uur twee intercity's en drie sprinters (figuur 48). In het studiegebied vormt dit twee keer per uur hetzelfde patroon, ongeacht waar de treinen buiten het studiegebied naar toe gaan of vandaan komen.



Figuur 48: Huidige dienstregeling met vijf verschillende treinen per half uur (A t/m E) waarna het patroon zich herhaald. Intercity's zijn weergegeven in groen en sprinters in blauw. Trein D is de sprinter van Utrecht Centraal naar Almere Centrum die uit de richting Hilversum komt en dus niet door Weesp komt.

Kwartierdienstregeling

Op middellange termijn (2020 t/m 2030) rijden er elk kwartier twee intercity's en één sprinter. Eens per half uur rijdt er een extra sprinter tussen Utrecht Centraal en Almere Centrum v.v. In het studiegebied vormt dit twee keer per uur hetzelfde patroon, ongeacht waar de treinen buiten het studiegebied naar toe gaan of vandaan komen (figuur 49). De extra sprinters elk half uur rijden richting Utrecht en buigen zodoende voor Weesp af richting Hilversum. Te Almere Centrum keren elk uur vier intercity's en twee sprinters en te Almere Oostvaarders keren twee sprinters per uur.

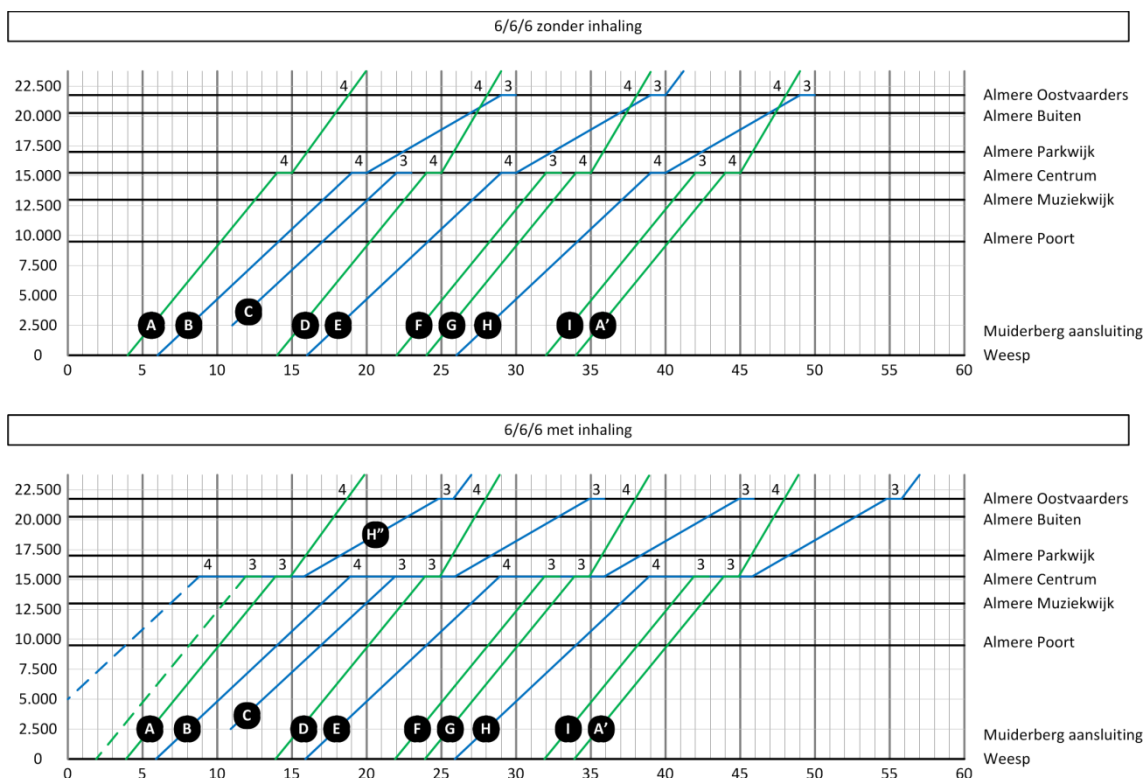


Figuur 49: Boven de gewenste kwartierdienstregeling. De kruisende lijnen representeren treinen die inhalen, omdat de infrastructuur dit op dat punt niet toestaat kan deze dienstregeling dus niet zo uitgevoerd worden zonder van de ongehinderde opvolging af te wijken. Onder een mogelijk alternatief: de sprinters C en F worden te Almere Centrum ingehaald door de intercity's.

Uit onderzoek blijkt dat de rijtijden van de sprinters te lang zijn om deze dienstregeling uit te voeren bij gebruik making van de huidige beveiligingssystemen (Van Es, 2013). Als alternatief hiervoor wordt een dienstregeling voorgesteld waarbij de doorgaande sprinters in Almere Centrum door de intercity's ingehaald worden (figuur 49, onderste diagram).

Tien minuten dienstregeling

Op de lange termijn (vanaf 2030) moet het Programma Hoogfrequent Spoorvervoer (PHS) realiteit worden wat inhoudt dat er ten minste elke tien minuten een intercity en een sprinter gaan rijden. In het studiegebied komen daar per uur nog bij 4 intercity's richting Amsterdam Centraal en 2 sprinters naar Utrecht Centraal (figuur 50). In totaal dus 18 treinen per uur per richting.



Figuur 50: Boven een 6/6/6 dienstregeling zonder inhaling en onder een 6/6/6 dienstregeling met inhaling te Almere Centrum.

Voor alle onderzochte dienstregelingen geldt dat in dit onderzoek niet onderzocht is hoe kort de opvolging tussen twee treinen bij het binnenrijden van het studiegebied kan zijn. De minimale opvolging op dit punt hangt af van de gereden dienstregeling buiten het studiegebied, de daar gebruikte beveiligingssystemen en de effecten van de infrastructurele werken die op dit moment tussen Amsterdam Zuid en Duivendrecht uitgevoerd worden en in de toekomst te Weesp zullen plaatsvinden.

Er rijden tot op heden niet structureel goederentreinen over de Flevolijn. Deze treinen zijn dan ook niet in deze analyse meegenomen.

8.1.2 PLANNING OMBOUWSTAPPEN

De fasering van de invoering kan door verschillende factoren gedreven worden waaronder veiligheid, interoperabiliteit, capaciteit en financiën.

De belangrijkste reden om in Almere ERTMS in te voeren is de potentiële capaciteitswinst. Voor de drie invoeringsstrategieën zijn de invoeringstermijnen dan ook zo ingesteld dat de gewenste dienstregelingen steeds uitgevoerd kunnen worden met zo laat mogelijk infrastructurele uitbreidingen.

De OV SAAL corridor kent geen internationaal treinverkeer waardoor interoperabiliteit geen drijfveer is. Doordat de belangrijkste seinen al van ATB-Vv voorzien zijn is het daar niet meer mogelijk een stop tonend sein te passeren waardoor ook veiligheidsaspect niet kritiek is.

8.2 KOSTEN

Voor het berekenen van de kosten moeten de schema's zoals deze opgesteld zijn in hoofdstuk 5 ingevuld worden met de aantallen zoals deze voor het studiegebied gelden. Een aantal keuzes staat vast omdat deze afhankelijk zijn van de huidige situatie. Een aantal andere keuzes heeft betrekking op de toekomst waardoor er aannames gedaan moeten worden. De ingevulde schema's zijn opgenomen in bijlagen 3, 4 en 5.

8.2.1 OMBOUW BAAN

Alle activiteiten zoals ontwerpwerk en buro engineering komen 1 keer voor. De bijbehorende prijs is afgeleid van de aan het studiegebied gerelateerde hoeveelheid werk. De hier ingevoerde getallen zijn vastgesteld met behulp van expert kennis waarbij niet precies de theorie gevolgd is zoals omschreven in hoofdstuk 5.

Het aantal seinen, secties, lassen en de daaraan gerelateerde objecten zoals objectcontrollers en assentellers zijn geteld op de OBE (Overzicht Baan en Emplacement) bladen van eind 2012 (ProRail, 2012). Voor de infrastructurele wijzigingen te Almere Centrum is een inschatting gemaakt van het aantal nieuwe secties die erbij zullen komen aan de hand van het daarvoor gemaakte ontwerp (Van Es, 2013).

Voor het bepalen van het aantal RBC's is met behulp van figuur 50 bekeken hoeveel treinen er op enig moment in het studiegebied aanwezig zijn wanneer de meest uitgebreide dienstregeling (6/6/6) gereden wordt. Op geen enkel tijdstip rijden er meer dan 6 treinen tegelijk richting Lelystad. Hierbij opgeteld moeten worden de treinen die de andere richting uit rijden en de treinen die stil kunnen staan op de keerspooren. Het maximum aantal is dan 16 treinen in de ongestoorde situatie. Ten tijde van een verstoring kan het voorkomen dat er meer treinen door het studiegebied rijden, maar dit valt ruim binnen de marge van maximaal 30 treinen per RBC. Er moet voor Almere dus 1 RBC aangeschaft worden.

Wat betreft de andere keuzemogelijkheden in de stroomschema's uit hoofdstuk 4 wordt ervanuit gegaan dat er nog geen RBC of interlocking gereserveerd is en dat er wel een interface met aansluitende RBC's ontwikkeld moet worden. De gekozen objectcontrollers zullen steeds zelf ontwikkeld worden om vendor lock in te voorkomen. De blokprojectering van de balises zal in de level 2 overlay situatie gelijk zijn aan de bestaande blokindeling.

Het GSM-R netwerk wordt verondersteld goed te functioneren en is daarom niet meegerekend.

8.2.2 ONDERHOUD BAAN

Voor het bepalen van de totale onderhoudskosten van de aan de beveiliging gerelateerde systemen in het studiegebied wordt uit gegaan van een infrastructuur zoals deze vanaf 2016 aanwezig zal zijn (zie ook figuur 9). De hoogte van de onderhoudskosten zijn vastgesteld met behulp van expertkennis.

8.2.3 WIJZIGEN BAAN

Na 2016 worden er binnen het studiegebied geen wijzigingen aan de infrastructuur voorzien. Deze kostenpost wordt dan ook buiten beschouwing gelaten.

8.2.4 STORINGEN

Voor het bepalen van de totale storingskosten van de aan de beveiliging gerelateerde systemen in het studiegebied wordt uit gegaan van een infrastructuur zoals deze vanaf 2016 aanwezig zal zijn (zie ook figuur 9). Storingskosten bestaan uit de kosten voor een stremming plus de reparatiekosten. De stremmingskosten bedragen op de Flevolijn € 16.816 per uur (Bron: ProRail Live Cycle Management tool). De impact van storingen is echter heel divers waardoor

De storingsduur en de storingsfrequenties zijn gebaseerd op data uit een betrouwbaarheidsmodel dat ontwikkeld werd voor het infraconcept Heavy Rail Premium (Horstink, 2012). Het studiegebied voor dat onderzoek was het baanvak Den Bosch – Eindhoven. Omdat zowel dit baanvak als het studiegebied Almere onder het infraconcept Heavy Rail Premium vallen wordt er vanuit gegaan dat de betrouwbaarheidscijfers voor beide studiegebieden overeenkomen.

De reparatiekosten zijn vastgesteld met behulp van expertkennis.

8.2.5 OMBOUW TREINEN

Voor de ombouw van de treinen geldt dat gekozen wordt voor ERTMS met STM om ook buiten het studiegebied door te kunnen rijden.

Het totaal aantal benodigde treinen is uitgerekend voor de kwartierdienstregeling waarbij van de volgende lijnvoering is uitgegaan:

- 4x per uur IC Amsterdam Centraal – Almere Centrum
- 2x per uur IC Den Haag Centraal – Amsterdam Zuid – Almere Centrum – Groningen
- 2x per uur IC Den Haag Centraal – Amsterdam Zuid – Almere Centrum – Lelystad Centrum
- 2x per uur IC Utrecht Centraal – Almere Centrum
- 2x per uur Sprinter Amsterdam Centraal – Zwolle (of Hoofddorp – Amsterdam Zuid – Zwolle)
- 2x per uur Sprinter Hoofddorp – Amsterdam Zuid – Almere Oostvaarders

De berekening in tabel 11 is gebaseerd op de theorie uit paragraaf 5.5. Aangenomen wordt dat: De complete trein rijdt van begin naar eindstation, er worden geen treinstellen aan of afgekoppeld. Eén trein rijdt de hele dag op en neer in dezelfde treinserie, er wordt niet uitgewisseld met treinseries elders in het land. Omdat er nog geen dienstregeling bekend is wordt er een gemiddelde keertijd van 15 minuten aangehouden. Voor de rijtijden is de dienstregeling 2013 (NS, 2012) geraadpleegd, toekomstige kortere rijtijden als gevolg van de invoering van ERTMS worden niet significant geacht op de totale rijtijd wanneer alleen op de Flevolijn en Hanzelijn onder ERTMS gereden kan worden.

Behalve de dienstregeling is ook de exacte lijnvoering nog niet bekend. De NS geeft de voorkeur aan zoveel mogelijk directe verbindingen zoals ook te zien is in de 2013 dienstregeling (Rail magazine, 2012). Voor de OV SAAL verbinding betekent dit dat er vanuit Almere zowel sprinters naar Amsterdam Centraal als naar Schiphol rijden. Dit wordt een alternerende lijnvoering genoemd. Dit is de meest waarschijnlijke variant. De andere optie is de zogenoemde gestrekte lijnvoering waarbij alle sprinters vanuit Almere naar Schiphol rijden en reizigers voor Amsterdam Centraal in Weesp moeten overstappen. Deze aanname raakt

alleen de sprinter vanuit Zwolle, in tabel 11 is tussen haakjes weergegeven de resultaten wanneer de gestrekte lijnvoering gehanteerd zou worden.

Tabel 11: Berekening aantal benodigde ERTMS treinen tijdens 4/4/2/2 dienstregeling.

Serie	Freq.	Rijtijd	Cyclus -tijd	Aantal treinen	Aantal stellen per trein	Totaal aantal stellen	Materieel
IC Asd-Alm	4	23min	76	6	2	12	VIRM
IC Gvc-Asdz-Alm-Gn	2	2.40u=160min	350	12	2	24	VIRM
IC Gvc-Asdz-Alm-Lls	2	1.15u=75min	180	6	2	12	VIRM
IC Ut-Alm	2	40 min	110	4	3	12	SLT
SPR Asd-ZI (SPR Hfd-Asdz-ZI)	2	1.25u=85min (97min)	200 (224)	7 (8)	3	21 (24)	SLT
SPR Hfd-Asdz-Almo	2	56min	142	5	3	15	SLT

In het nadelige geval van de gestrekte lijnvoering zijn minimaal benodigd 48 stellen VIRM en 51 stellen SLT. Plus een aantal reserve treinstellen om in te zetten bij onderhoud aan treinen, vertragingen of krappe dienstregelingen maakt een totaal van maakt 50 VIRM en 53 STL treinstellen.

Goederentreinen worden niet in deze kostenberekening meegenomen omdat veel goederenvervoerders al met ERTMS uitgeruste treinen bezitten. Bovendien is er voor niet ERTMS goederentreinen richting het noorden van het land een uitwijkmogelijkheid via Amersfoort, zolang daar nog ATB beschikbaar is.

Voor de 6/6/6 variant is nog geen dienstregeling of lijnvoering bekend. Tabel 12 geeft een mogelijkheid (ProRail, 2010) met het bijbehorende aantal treinstellen.

Tabel 12: Mogelijke 6/6/6 dienstregeling en bijbehorende aantal treinstellen.

Serie	Freq.	Rijtijd	Cyclus -tijd	Aantal treinen	Aantal stellen per trein	Totaal aantal stellen	Materieel
IC Asd-Alm	4	23min	76	6	2	12	VIRM
IC Gvc-Asdz-Alm-Gn	2	2.40u=160min	350	12	2	24	VIRM
IC Gvc-Asdz-Alm-Lls	4	1.15u=75min	180	12	2	24	VIRM
IC Ut-Alm	2	40 min	110	4	3	12	SLT
SPR Asd-ZI (SPR Hfd-Asdz-ZI)	2	1.25u=85min (97min)	200 (224)	7 (8)	3	21 (24)	SLT
SPR Hfd-Asdz-Almo	4	56min	142	10	3	30	SLT

Het totaal komt hierbij op 60 VIRM en 66 STL treinstellen. Ten opzichte van de kwartierdienstregeling betekent dit dat er 10 extra VIRM treinstellen en 15 extra SLT stellen omgebouwd moeten worden.

De ombouw van één trein neemt vier weken in beslag. Wanneer wordt aangenomen dat niet meer dan 4 treinen tegelijk aan de rijdende dienst onttrokken mogen worden neemt het ombouwen van 100 treinen twee jaar in beslag.

8.2.6 ONDERHOUD TREINEN

De 103 voor het studiegebied benodigde treinen moeten ook onderhouden worden. Exacte onderhoudskosten zijn niet bekend. Deze kosten zullen afhangen van het type materieel en van de uitvoering met of zonder STM. Mogelijk wordt na een aantal jaren de STM weer verwijderd wanneer een

trein niet meer in ATB gebied komt. Dit is geheel afhankelijk van de landelijke invoering van ERTMS en beleid ten opzichte van de materieelinzet.

8.3 OPBRENGSTEN

Voor de hierboven genoemde dienstregelingen wordt voor elke systeemvariant de bezettingsgraad en de gemiddelde rijtijd bepaald, waarbij de scope niet breder is dan het gedefinieerde studiegebied. Omwille van de beschikbare tijd is er slechts één richting gesimuleerd. Omdat zowel de dienstregeling als de infrastructuur symmetrisch is worden alle mogelijke opbrengsten met 2 vermenigvuldigd. Ondanks de beperkingen in incasseerbaarheid van de winsten zoals beschreven in paragraaf 6.1.2 wordt er hier vanuit gegaan dat alle winsten geïncasseerd kunnen worden. Vermeden investeringen worden daarentegen niet meegerekend om redenen zoals beschreven in paragraaf 7.4.2.

De figuren 48, 49 en 50 geven een indicatie van de opvolging en de rijtijden. De exacte aankomst en vertrektijden zijn voor de toekomstige dienstregelingen nog niet bekend. Waar de trein voor binnenkomst van het studiegebied vandaan komt en na het verlaten naar toe gaat wordt buiten beschouwing gelaten. De exacte herkomst of bestemming is niet altijd relevant. Wel belangrijk is de afstand tussen twee treinen bij het binnenrijden van het studiegebied: De treinen kunnen niet altijd direct na elkaar het studiegebied binnenrijden, zoals hier nu voorgesteld wordt. De opvolgtijd bij het binnenrijden van het studiegebied is afhankelijk van de infra en dienstregeling buiten het studiegebied. Wanneer daar nog stoptreinstations zijn en de IC er niet kan inhalen is het niet mogelijk voor de sprinter om direct na de intercity het studiegebied binnen te rijden. De resultaten van deze vergelijking zijn dan ook slechts indicatief voor de mogelijkheden van de verschillende beveiligingssystemen. De daadwerkelijke incasseerbaarheid van deze winsten is mogelijk beperkt. De ruimte in opvolging EF in figuur 49 '4/4/2/2 zonder inhaling' wordt bijvoorbeeld veroorzaakt door de beperkingen in de infrastructuur tussen Amsterdam Zuid en Weesp waar geen inhaal mogelijkheden zijn. De opvolgtijden waarmee de treinen het studiegebied inrijden wordt niet op een vaste waarde ingesteld omdat dit ook zal veranderen wanneer er op de voorliggende trajecten ook ERTMS ingevoerd wordt. Wanneer er ERTMS ingevoerd wordt zal dit nooit alleen in het studiegebied zijn maar op een groot deel van de OV SAAL corridor in één keer.

Aannames

Voor de simulaties is uitgegaan van standaard materieel. Voor een intercity is dit een VIRM met 12 bakken (324 m) en voor sprinters een SLT met 16 bakken (271 m). Dit zijn de in de spits voorkomende langste treinen welke het *worst case* scenario vormen. In de daluren rijden er kortere treinen, maar dat is niet maatgevend. Onder ERTMS bestaat de mogelijkheid met het huidige materieel 160 km/h rijden, daar waar de infrastructuur dit toestaat. Voor Almere wordt verondersteld dat dit niet het geval is gezien de vele bogen in het traject aldaar. De rijtijdspeling wordt op 30 seconden ingesteld, vanwege de beperkte lengte van het studiegebied is de standaard waarde van 60 seconden te groot. Deze geldt namelijk voor de afstand tussen twee intercity stations en de aangrenzende intercity stations liggen relatief ver buiten het studiegebied.

8.3.1 BEZETTINGSGRAAD

De bezettingsgraad bepaalt of een dienstregeling uitgevoerd kan worden op de beschikbare infrastructuur in combinatie met een beveiligingssysteem. Indien de bezettingsgraad meer dan 100% bedraagt is deze combinatie van dienstregeling en beveiligingssysteem in de praktijk niet mogelijk. Voor alle vijf de hiervoor gepresenteerde dienstregelingen is de bezettingsgraad bepaald onder ATB, ERTMS level 2 overlay, level 2 puur en level 3 puur (tabel 13). Level 3 met baangebonden treindetectie is niet in deze tabel

opgenomen omdat de resultaten gelijk zijn aan level 3 puur, in de onderzochte dienstregelingen komen namelijk enkel integrale reizigerstreinen voor. Voor level 2 overlay is er vanuit gegaan dat alle treinen onder ERTMS rijden. Wanneer een deel van de treinen nog onder ATB rijdt zal de bezettingsgraad voor level 2 overlay hoger worden.

Tabel 13: Bezettingsgraad van de infrastructuur bij het uitvoeren van de besproken dienstregelingen onder verschillende beveiligingssystemen.

	ATB-NS'54	L2o	L2	L3
Huidige dienstregeling	85,2%	77,3%	72,6%	63,4%
4/4/2/2 zonder inhaling	98,6%	94,6%	89,3%	86,0%
4/4/2/2 met inhaling	105,0%	98,0%	89,1%	83,7%
6/6/6 zonder inhaling	125,5%	121,6%	116,0%	112,7%
6/6/6 met inhaling	141,1%	130,8%	118,8%	111,8%

Huidige dienstregeling

De huidige dienstregeling is vanzelfsprekend mogelijk omdat deze daadwerkelijk uitgevoerd wordt. Wanneer gerekend wordt met een rijtijdspeeling van 30 seconden per trein bedraagt de bezettingsgraad onder ATB-NS'54 85%. Dit is op de grenswaarde die door de UIC als maximum gesteld wordt om een stabiele dienstuitvoering te kunnen garanderen (tabel 10). In de spits is dit in de praktijk merkbaar aan de vertraging die de intercity oploopt door achter de sprinter te moeten blijven (Opvolging EA' in figuur 48). Wanneer onder ERTMS gereden wordt neemt de bezettingsgraad significant af.

Kwartierdienstregeling

Voor de kwartierdienstregeling bestaan twee varianten: met of zonder inhaling te Almere Centrum. Wanneer er niet ingehaald wordt komt de intercity achter de sprinter terecht voordat deze in Almere Oostvaarders aan kant kan gaan (opvolging CE in figuur 50). Onder het huidige beveiligingssysteem en onder level 2 overlay scoort de dienstregeling met inhaling slechter dan de dienstregeling zonder inhaling. Doordat de treinen die ingehaald worden onder het bestaande beveiligingssysteem 9 minuten stilstaan is de opvolging tussen deze sprinters kritisch geworden. Door de kortere bloklengten onder level 2 en 3 kunnen de sprinters sneller ingehaald worden, waardoor de totale stilstand-tijd afneemt en ook de opvolging tussen de sprinters niet meer kritisch is. Enkel met level 3 kan de kwartierdienstregeling uitgevoerd worden zonder de door de UIC geadviseerde bezettingsgraad te overschrijden.

Tien minuten dienstregeling

Het is niet mogelijk op de bestaande infrastructuur een tien minuten dienstregeling te rijden, met of zonder inhaling. Hierbij dient opgemerkt te worden dat er steeds is uitgegaan van ongehinderde opvolging. Wanneer een gehinderde opvolging wordt toegestaan nemen de rijtijden toe omdat niet steeds met de maximum snelheid gereden kan worden, maar kan de capaciteit toenemen wanneer de intercity's langzamer gaan rijden en de gemiddelde snelheid van intercity's en sprinters dicht bij elkaar komt te liggen.

8.3.2 RIJTIJDWINST

Het mogelijk maken van een dienstregeling met een hogere frequentie wordt in dit onderzoek niet als een monetaire winst beschouwd. Enkel de reistijdwinsten die gerealiseerd kunnen worden na invoering van een ERTMS variant worden beschouwd.

De gemiddelde rijtijdwinsten zijn steeds berekend ten opzichte van de gemiddelde rijtijden bij dezelfde dienstregeling, uitgevoerd onder ATB-NS'54. Een vergelijking met de huidige situatie (halfuur dienstregeling onder ATB-NS'54) is niet geldig omdat in de toekomstige dienstregelingen niet alle treinen het complete studiegebied doorkruizen waardoor deze per definitie een kortere rijtijd hebben en zo het gemiddelde omlaag brengen.

Tabel 14: Maximale theoretisch binnen het studiegebied realiseerbare gemiddelde rijtijdwinst in seconden. Rijtijdwinst per dienstregeling ten opzichte van het uitvoeren van dezelfde dienstregeling onder het huidige beveiligingssysteem.

	ATB-NS'54	L2o	L2	L3
Huidige dienstregeling	0,0	16,0	16,0	16,0
4/4/2/2 zonder inhaling	0,0	21,3	21,3	21,3
4/4/2/2 met inhaling	0,0	30,3	45,7	56,2
6/6/6 zonder inhaling	0,0	20,6	20,6	20,6
6/6/6 met inhaling	0,0	29,0	50,0	59,8

Tabel 15: Monetaire winst per reiziger per jaar n.a.v. de rijtijdwinsten zoals weergegeven in tabel 14.

	ATB-NS'54	L2o	L2	L3
Huidige dienstregeling	€ -	€ 10,72	€ 10,72	€ 10,72
4/4/2/2 zonder inhaling	€ -	€ 14,31	€ 14,31	€ 14,31
4/4/2/2 met inhaling	€ -	€ 20,33	€ 30,71	€ 37,74
6/6/6 zonder inhaling	€ -	€ 13,81	€ 13,81	€ 13,81
6/6/6 met inhaling	€ -	€ 19,45	€ 33,56	€ 40,15

Huidige dienstregeling

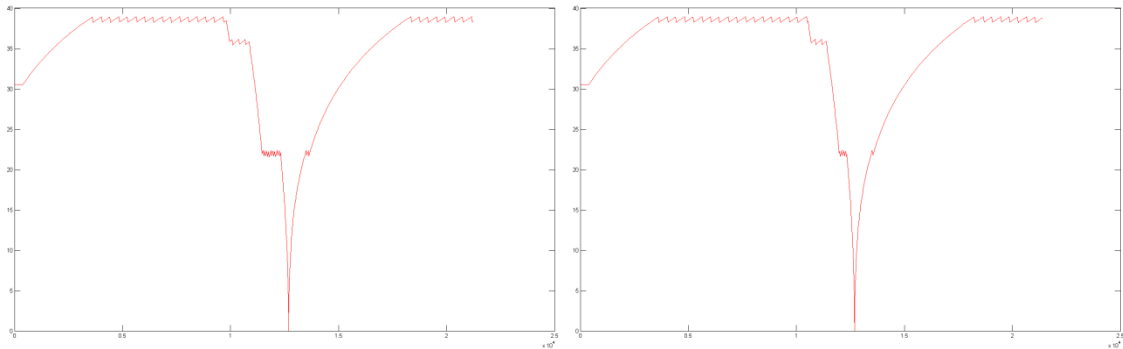
De rijtijdwinsten zijn beperkt zoals uit tabel 14 blijkt, echter door de grote hoeveelheid reizigers (40.000 nu en 80.000 in 2020) per richting vertaald zich dit in een totale opbrengst van ruim € 1.700.000 per jaar. Het gewogen gemiddelde is gebaseerd op het aantal zitplaatsen per trein, waarbij aangenomen wordt dat de bezettingsgraad van de verschillende treinen gelijk is. Zie voor de complete rijtijdwinst berekening bijlage 6.

Kwartierdienstregeling

De dienstregeling zonder inhaling heeft net zoals bij de huidige dienstregeling onder elke ERTMS variant dezelfde opbrengsten. Dit wordt veroorzaakt doordat bij een ongehinderde opvolging er geen verschil bestaat tussen de ERTMS varianten. Winst ten opzichte van het huidige beveiligingssysteem wordt gerealiseerd door de mogelijkheid tot uitgesteld remmen (figuur 51).

Wanneer er een dienstregeling gereden wordt met een inhaling zijn er wel verschillen tussen de ERTMS varianten. Dit wordt veroorzaakt door de duur van de inhaling. Onder ERTMS level 3 kunnen de treinen dichter achter elkaar rijden dan onder level 2. Gevolg hiervan is dat de tijd die de sprinter moet wachten

om ingehaald te worden onder level 3 het kortst is en dus de rijtijd van de sprinter ook. De gemiddelde rijtijd van alle treinen neemt dientengevolge ook af.



Figuur 51: Weg-snelheidsdiagram voor een intercity. Links zoals dit gerealiseerd wordt onder NS'54 en rechts onder ERTMS. Te zien is dat onder NS'54 eerder afgeremd wordt en er zodoende een grotere weg met een lagere snelheid afgelegd moet worden dan onder ERTMS het geval is.

Tien minuten dienstregeling

Deze dienstregeling kan niet gerealiseerd worden op de huidige infrastructuur zoals blijkt uit tabel 13. De in tabel 15 genoemde opbrengsten zullen enkel geïncasseerd kunnen worden wanneer er (deels) viersporigheid aangelegd wordt waardoor deze dienstregeling wel gerealiseerd kan worden.

8.4 REKENSHEMA EN RESULTATEN

Voor het bepalen van de resultaten zijn de schema's ingevuld met de keuzes zoals omschreven in paragraaf 8.2.1. De invoeringsstrategie via level 2 overlay bevat een keuze (welk type interlocking) met veel invloed op het eindresultaat. Daarom wordt hieronder steeds naar vier invoeringsstrategieën gekeken.

De jaartallen voor elke ombouwstap zijn zo ingesteld dat op de korte termijn de kwartierdienstregeling gereden kan worden. Zoals blijkt uit tabel 13 is dit slechts mogelijk na invoering van level 2 of 3 (btd). Ook onder level 2 komt de bezettingsgraad nog boven de aanbevolen 85% uit maar wanneer er buiten de spits kortere en eventueel minder treinen rijden (waardoor de bezettingsgraad in de daluren dus lager is) is een hoger percentage in de spitsuren mogelijk acceptabel. De start van de kwartierdienstregeling is voorzien rond 2016 (Mansveld, 2013). Vanwege deze korte termijn is de invoeringsstrategie via level 2 overlay niet realistisch. Om in 2016 voldoende capaciteit te kunnen bieden voor de kwartierdienstregeling moet na een jaar gebruik van de overlay systeemconfiguratie al de volgende ombouwstap gezet worden. De start van een tienminutendienstregeling wordt niet voorzien voor 2030. Ondanks dat enkel level 3 invoeren niet voldoende is om een tien minuten dienstregeling mogelijk te maken is in het onderstaande uitgegaan van de beschikbaarheid van level 3 vanaf 2030.

Het eindresultaat is weergegeven in tabel 16. De totaal prijs betreft de netto contante waarde tot en met het jaar 2030 waarin de laatste ombouwstap plaatsvindt. Daarna bevinden alle invoeringsstrategieën zich in dezelfde staat waardoor een vergelijking niet relevant is. Bovendien is het niet correct na 2030 opbrengsten mee te rekenen, immers de 6/6/6 dienstregeling kan niet uitgevoerd worden zonder infrastructurele uitbreidingen.

Tabel 16: Netto contante waarde voor vier invoeringsstrategieën, berekend over de periode tot en met het jaar 2030. Inclusief alle kosten en opbrengsten zoals gedefinieerd in het rekenmodel.

Invoeringsstrategie	Stap 1	Stap 2	Stap 3	Totaal
ATB-NS'54 - L2o (ERTMS) - L2 - L3	2015	2016	2030	€ 61.664.913
ATB-NS'54 - L2o (B-relais) - L2 - L3	2015	2016	2030	€ 58.269.797
ATB-NS'54 - L2 - L3	2016	2030	n.v.t.	€ 56.385.935
ATB-NS'54 - L3btd - L3	2016	2030	n.v.t.	€ 36.509.550

In tabel 17 zijn de kosten per kostenpost gedifferentieerd. In figuur 52 zijn de bijbehorende grafieken weergegeven zodat een duidelijk beeld ontstaat van de jaarlijkse uitgaven bij de verschillende varianten van ERTMS. De materieelkosten zijn relatief hoog, dit wordt veroorzaakt doordat de kosten voor treinen voor een complete corridor zijn meegenomen in de berekening terwijl voor de infra maar een relatief klein stukje is bekeken.

Tabel 17: Gedifferentieerd resultaat. Netto contante waarde, berekend over de periode tot en met het jaar 2030.

Invoeringsstrategie	Ombouw baan	Ombouw materieel	Onderhoud	Storingsen	Opbrengsten
ATB-NS'54 - L2o (ERTMS) - L2 - L3	€ 10.356.230	€ 48.696.682	€ 4.713.144	€ 18.183.581	€ - 20.284.724
ATB-NS'54 - L2o (B-relais) - L2 - L3	€ 6.935.494	€ 48.696.682	€ 4.600.837	€ 18.321.508	€ - 20.284.724
ATB-NS'54 - L2 - L3	€ 6.805.326	€ 46.157.993	€ 4.408.568	€ 18.308.021	€ - 19.293.973
ATB-NS'54 - L3btd - L3	€ 3.828.070	€ 46.157.993	€ 4.494.727	€ 1.322.733	€ - 19.293.973

De ombouwkosten voor de baan worden hieronder uitgebreider besproken. De ombouwkosten voor het materieel zijn voor de level 2 overlay invoeringsstrategie iets hoger omdat het materieel een jaar eerder klaar moet zijn om van de voordelen van ERTMS te kunnen profiteren. Hierdoor zijn ook de opbrengsten iets hoger, onder level 2 overlay kan er al geprofiteerd worden van de mogelijkheid tot uitgesteld remmen. Omdat er gerekend wordt met de dienstregeling waarbij er niet ingehaald wordt zijn de opbrengsten verder gelijk. De onderhoudskosten liggen dicht bij elkaar. Dit wordt veroorzaakt door de hoge kosten voor de ERTMS interlocking en het RBC, die in elke systeemvariant aanwezig zijn. De storingskosten hebben, met uitzondering van level 3 btd, dezelfde orde grootte. De storingskosten voor assentellers (die bij de invoeringsstrategie via level 2 gebruikt worden) zijn hoger dan die van spoorstroomlopen met bijbehorende ES lassen. Level 3 btd maakt gebruik van deze spoorstroomlopen en heeft bovendien geen (gedeeltelijke) stremmingskosten in het geval van een storing aan een spoorstroomloop of ES las.

Tabel 18 geeft de absolute kosten van elke ombouwstap. De ombouwstap van ATB-NS'54 naar level 2 overlay is sterk afhankelijk van de gekozen variant. De variant met behoud van de b-relais interlocking is goedkoper doordat er naast enkele balises in de basis enkel een RBC toegevoegd wordt. In de variant waarin er een ERTMS interlocking neergezet wordt moet deze aangeschaft en geprogrammeerd worden en moeten er nieuwe objectcontrollers aangeschaft worden voor alle bestaande systemen (seinen, ATB signaal, spoorstroomlopen). In de vervolg ombouwstap, level 2 overlay naar level 2, is de invloed van de twee overlay varianten beperkt. Er moeten in beide gevallen assentellers en bijbehorende objectcontrollers aangeschaft worden. Het RBC en de interlocking moeten, ook wanneer laatstgenoemde al aanwezig is, opnieuw geprogrammeerd worden en in beide gevallen moeten de NS'54 systemen verwijderd worden.

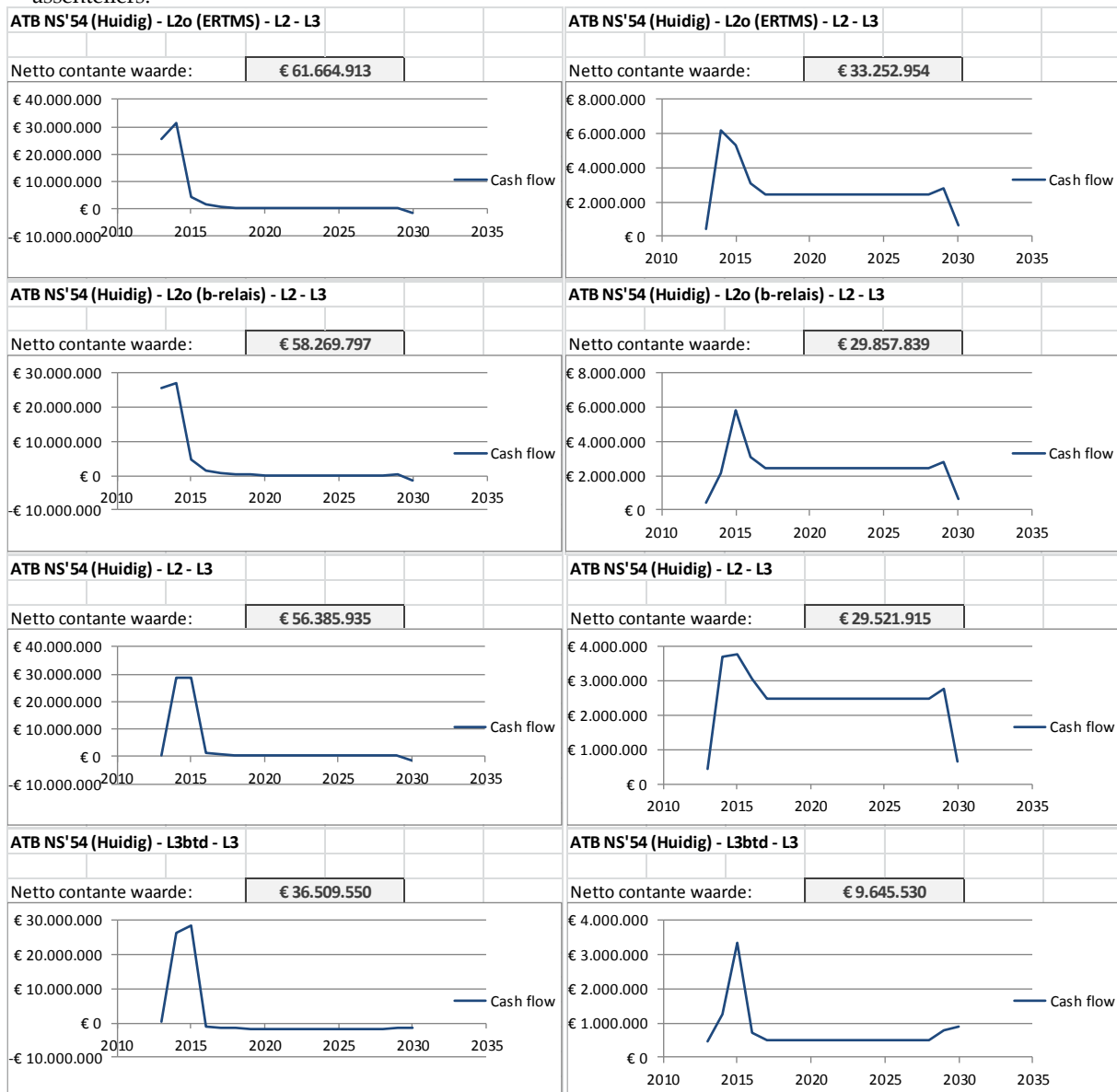
Direct ombouwen naar level 2 is duurder doordat dan de aanschaf van het RBC, de ERTMS interlocking, de balises en de assentellers in één en dezelfde ombouwstap plaatsvinden. De totaalprijs is echter (iets) lager dan bij ombouwen via level 2 overlay.

Tabel 18: Absolute kosten voor elke ombouwstap.

Invoeringsstrategie	Stap 1	Stap 2	Stap 3	Totaal
ATB-NS'54 - L2o (ERTMS) - L2 - L3	€ 5.704.000	€ 5.295.000	€ 530.000	€ 11.529.000
ATB-NS'54 - L2o (B-relais) - L2 - L3	€ 1.516.000	€ 5.898.000	€ 530.000	€ 7.944.000
ATB-NS'54 - L2 - L3	€ 7.182.000	€ 530.000	n.v.t.	€ 7.712.000
ATB-NS'54 - L3btd - L3	€ 3.895.500	€ 725.000	n.v.t.	€ 4.620.500

De ombouwstap ATB-NS'54 naar level 3 btd kost ongeveer de helft van de ombouwstap ATB-NS'54- level 2 puur. Dit verschil komt overeen met de besparing van € 3,8 miljoen door geen assentellers te kopen, te installeren, aan te sluiten en te moeten testen. Ook het niet hoeven verwijderen van ES lassen zorgt voor een besparing. Daar staat tegenover dat de 90 in het studiegebied aanwezige spoorstroomlopen per stuk op de interlocking aangesloten moeten worden.

De ombouwstappen naar level 3 zijn relatief goedkoop. Dit komt overeen met de verwachting naar aanleiding van het aantal deelprocessen waaruit deze ombouwstappen bestaan (zie tabel 4). De ombouwstap vanuit level 3 btd naar level 3 puur is duurder dan vanuit level 2 naar level 3 ombouwen omdat het verwijderen van spoorstroomlopen en ES lassen duurder is dan het verwijderen van assentellers.



Figuur 52: Grafische weergave van de absolute cashflow voor vier verschillende ombouwstrategieën. Links inclusief materieelkosten en opbrengsten, rechts exclusief.

9

Landelijke toepassing

In het specifieke geval van OV SAAL is er op korte termijn de wens om een frequentere dienstregeling te gaan rijden. Deze kwartierdienstregeling kan enkel gerealiseerd worden wanneer er ERTMS ingevoerd wordt (level 2 puur of level 3 btd of level 3 puur). Er zijn ook scenario's denkbaar waarbij er niet binnenkort een frequentere dienstregeling gereden gaat worden maar waar wel binnen afzienbare tijd ERTMS ingevoerd wordt. Bijvoorbeeld omdat Europese wetgeving dit voorschrijft, omdat de huidige systemen aan vervanging toe zijn, omdat dit goedkoper is of omdat een groot deel van de treinenvloot reeds van ETCS+STM is voorzien om over andere, al wel omgebouwde, baanvakken te kunnen rijden. (Wanneer vervanging een rol speelt zijn niet alle invoeringsstrategieën mogelijk).

In dit hoofdstuk zijn verschillende scenario's uitgewerkt voor drie typen spoorlijnen. Met deze scenario's wordt inzichtelijk gemaakt welke invoeringsstrategie voor welk type spoorlijn geschikt is. Volgens de Railmap 1.0 (Ministerie van Infrastructuur en Milieu, 2013) is er nog geen besluit genomen of de eerste invoering van ERTMS plaats zal vinden op regionale lijnen of op het hoofdrailnet op locaties waar er een concrete vraag is naar capaciteit. Dit onderscheid is reden om in dit hoofdstuk een regionale lijn en een lijn in de drukke randstad te beschouwen. Om het interoperabiliteit aspect mee te nemen is er als derde lijn een internationale corridor toegevoegd.

- | | |
|----------------------------|-----------------------------|
| 1. Regionaal | Zutphen – Winterswijk |
| 2. Randstad | Haarlem – Den Haag Centraal |
| 3. Internationale corridor | Utrecht Centraal – Arnhem |

Voor deze drie spoorlijnen worden scenario's uitgewerkt waarbij de tijd de belangrijkste variabele is. Afhankelijk van de planning voor het ombouwen van de baan en het installeren van ETCS in de treinen zijn er verschillende ombouwstappen mogelijk. Op hoofdlijnen is dit weergegeven in tabel 19.

Tabel 19: Schematisch overzicht van de mogelijke combinaties voor het plannen van de ombouw van de baan en het materieel. Voor elke combinatie zijn één of meerdere scenario's uitgewerkt.

		Ombouw baan	
		Binnenkort	Later
Ombouw materieel	Binnenkort	1	3
	Later	2	4

Voordat elk van de vier combinaties is uitgewerkt voor de drie spoorlijnen zijn een aantal aannames gedaan:

- Binnenkort = 2020
- Later = 2030
 - Deze jaartallen zijn arbitrair, de uitkomsten zijn dan ook slechts ter indicatie.
- Wanneer een regionale lijn 'later' wordt omgebouwd wordt er vanuit gegaan dat het hoofdrailnet dan 'binnenkort' wordt omgebouwd en vice versa.
- Voor elke vergelijking wordt de netto contante waarde in 2030 berekend met een disconteringsvoet van 5,5%.
- Er moet steeds een RBC en een ERTMS interlocking nieuw aangeschaft worden.
- Voor level 2 overlay wordt enkel de goedkoopste optie meegerekend (behoud b-relais of nieuwe ERTMS interlocking aanschaffen).
- Voor de kostenberekening is het model uit hoofdstuk 7 gebruikt.
 - Het aantal bestaande elementen is overgenomen uit een beschikbare tabel waarin per geo-code het aantal elementen vermeld staat.
 - Voor de toekomstige situaties zijn de aantallen gebaseerd op schattingen. Deze zijn gemaakt aan de hand van een aantal vuistregels die vermeld staan in bijlage 7.
 - Voor de moeilijk te kwantificeren activiteiten zijn schattingen gemaakt met als referentie de OV SAAL casus.

Voor het uitwerken van de ombouwstappen aan de baanzijde is onderscheid gemaakt tussen knooppunten en (spoor)lijnen. De knooppunten zijn stations waar verschillende spoorlijnen samenkomen die mogelijk van verschillende beveiligingssystemen zijn voorzien. Hier kan rekening mee gehouden worden door deze stations van level 2 overlay te voorzien of door slechts een beperkt aantal sporen op dat emplacement om te bouwen. Een andere optie is het materieel van ETCS+STM voorzien zodat deze ongeacht het beveiligingssysteem van het knooppunt gebruik kunnen maken. Alles tussen twee knooppunten wordt in dit hoofdstuk gedefinieerd als 'lijn'. Strikt genomen bestaat dit uit stukken vrije baan en emplacementen rond de stations, maar wordt hier onder één categorie verrekend.

9.1 REGIONAAL

Een voorbeeld van een regionale lijn is Zutphen – Winterswijk. Station Zutphen is onderdeel van het hoofdrailnet en wordt ook aangedaan door NS treinen en goederentreinen. Het baanvak Zutphen – Winterswijk wordt enkel bereden door de stoptreinen van Arriva. Station Winterswijk is het eindpunt van de regionale lijnen (Zutphen – Winterswijk en Arnhem – Winterswijk en wordt zodoende ook enkel aangedaan door treinen van Arriva. Door het beperkte exploitatie gebied is er slechts een beperkt aantal verschillende treinen dat het baanvak Zutphen – Winterswijk aandoet. Door deze vorm van exploitatie kan de ombouw van baan en materieel goed op elkaar afgestemd worden (combinaties 1 en 4 in tabel 19). De vier mogelijke tijdcombinaties zijn voor deze regionale lijn uitgewerkt in tabel 20 en de bijbehorende planningen zijn weergegeven in figuur 53.

Station Zutphen wordt als knooppunt aangemerkt omdat hier ook treinen van andere vervoerders komen. Tijdens de overgangperiode moeten deze treinen ook van het emplacement gebruik kunnen blijven maken. Een deel van het emplacement wordt niet door de regionale treinen gebruikt zal daarom buiten de scope voor het ombouwen van de regionale spoorlijn vallen. Aangenomen wordt dat dit 50% van het emplacement betreft. De lijn Zutphen – Winterswijk en het emplacement van station Winterswijk worden enkel door de regionale treindienst gebruikt en vallen onder de categorie 'lijn'.

Tabel 20: Vier mogelijke combinaties met meerdere scenario's voor een regionale lijn.

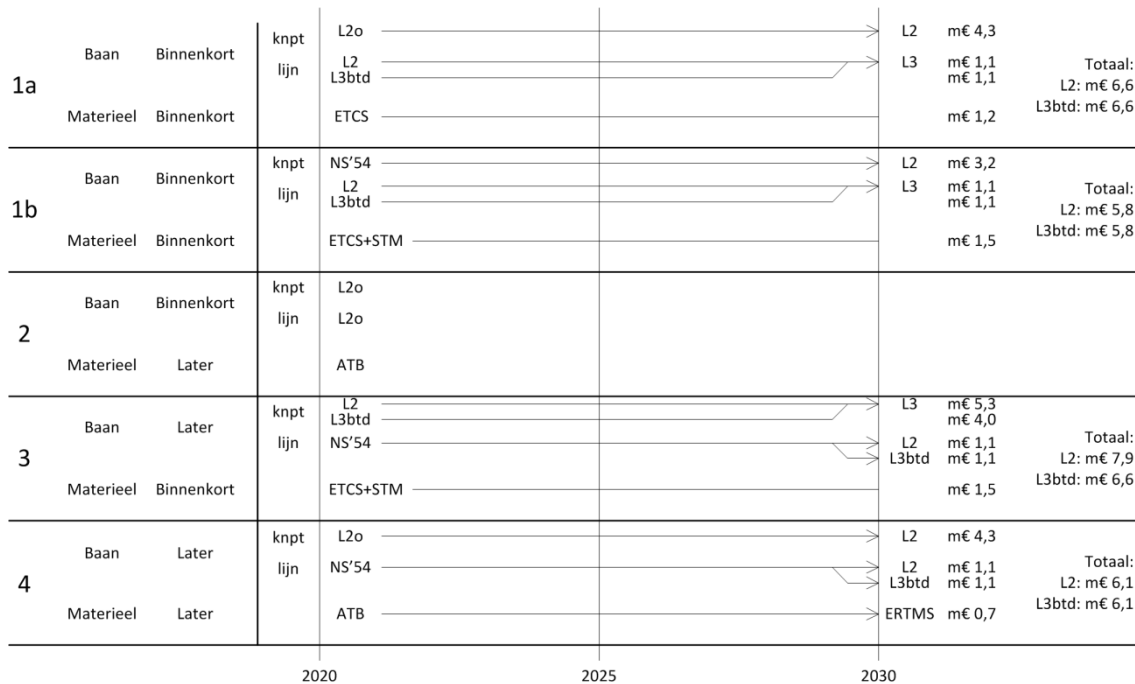
		Ombouw baan	
		Binnenkort	Later
Ombouw materieel	Binnenkort	1) Op de lijn komt level 2 puur of level 3 btd omdat daar geen andere treinen komen. Op de knooppunten komen nog ATB treinen van andere vervoerders dus daar komt level 2 overlay. Of het knooppunt wordt nog niet van ERTMS voorzien en de regionale treinen moeten met een STM uitgerust worden.	3) Wanneer het knooppunt station al van level 2 puur of level 3 btd voorzien wordt in het kader van het ombouwen van een andere spoorlijn moet het materieel van ETCS+STM voorzien worden zolang de lijn nog niet van ERTMS voorzien is. Aangenomen wordt dat 'later' level 2 of level 3 btd neergelegd wordt i.p.v. level 2 overlay.
	Later	2) Wanneer de ombouw van het materieel later plaats vindt zal overal waar dit materieel komt level 2 overlay aangelegd moeten worden. De ERTMS componenten worden dan niet gebruikt waardoor deze combinatie van weinig nut is.	4) Er zal tot 2030 geen verandering optreden. Wanneer het knooppunt station wel eerder van ERTMS voorzien wordt zal dit level 2 overlay moeten zijn. Aangenomen wordt dat 'later' level 2 of level 3 btd neergelegd wordt i.p.v. level 2 overlay.

In combinatie 1 wordt de regionale lijn binnenkort omgebouwd naar level 2 puur of level 3 btd en de treinen worden voorzien van ETCS. Aangenomen is dat het hoofdrailnet in deze combinatie later wordt omgebouwd waardoor de knooppunt stations nog voor ATB treinen toegankelijk moeten zijn. Dit kan door de knooppunten van level 2 overlay te voorzien. Of het knooppunt wordt nog niet van ERTMS voorzien, maar in dat geval moeten de treinen met ETCS+STM uitgerust worden.

Wanneer de regionale lijn later wordt omgebouwd zijn er ook twee scenario's mogelijk. Als het emplacement van Zutphen al van level 2 puur of level 3 btd voorzien wordt en de baan naar Winterswijk nog niet moet het materieel van ETCS+STM voorzien worden (combinatie 3). Wanneer het emplacement slechts van level 2 overlay voorzien wordt kan ombouw van het materieel wachten tot 2030 (combinatie 4). De ombouw van het materieel kan ook uitgesteld worden wanneer overal level 2 overlay aangelegd wordt (combinatie 2). Op de lijn zal de ERTMS functionaliteit dan door geen enkele trein benut worden waardoor dit een onwaarschijnlijke combinatie is.

Zie figuur 53 voor een schematisch overzicht en een bijbehorende kostenindicatie.

Bij het berekenen van de aantallen is rekening gehouden met de eigenschappen van een regionale lijn. In de huidige situatie liggen er al assentellers. Deze hoeven dus niet toegevoegd te worden wanneer level 2 puur aangelegd wordt. Tevens zal er geen blokoptimalisatie plaatsvinden omdat op deze enkelsporige lijn de treinen niet achter elkaar aan rijden maar om de beurt in een richting passeren waardoor kortere blokken geen voordeel opleveren. Voor de halfuur dienstregeling zijn 3 treinen nodig. Wanneer uitgegaan wordt van één treinstel per trein, plus 1 reserve komt dit neer op 4 om te bouwen treinstellen.



Figuur 53: Verschillende ombouwplanningen voor een regionale spoorlijn. De kosten zijn uitgedrukt in miljoenen euro's en dienen ter vergelijking, opbrengsten en indirecte kosten ontbreken. Knpt staat voor 'knooppunt'.

Voor combinatie 1 zijn twee scenario's uitgewerkt. Uit de vergelijking blijkt dat scenario 1a goedkoper is. Wanneer er meer materieel ingezet zou worden stijgen de kosten voor scenario 1b sneller dan die van 1a omdat ETCS+STM duurder is in aanschaf waardoor de verhoudingen kunnen veranderen.

Uit de vergelijking tussen combinaties 3 en 4 blijkt dat wanneer de regionale lijn later wordt omgebouwd het goedkoper is om knooppunt van level 2 overlay te voorzien zodat het materieel nog niet omgebouwd hoeft te worden. Ook wanneer er meer materieel ingezet zou worden blijft combinatie 4 de goedkoopste optie omdat er enkel in combinatie 3 op korte termijn materieel omgebouwd moet worden.

Combinatie 2 is niet uitgewerkt omdat dit geen realistisch scenario is. Wanneer de baan van level 2 overlay voorzien wordt, maar het materieel nog niet omgebouwd wordt betekent dit dat de ERTMS functionaliteit in het geheel niet gebruikt wordt.

De verschillen tussen ombouwen via level 3 btd of level 2 puur zijn klein. Dit wordt veroorzaakt door het feit dat de regionale lijnen in de huidige situatie al van assentellers voorzien zijn. Deze hoeven dus niet toegevoegd te worden tijdens de ombouw naar level 2 waardoor de ombouwstappen ATB-NS'54 – L2 en ATB-NS'54 – L3btd vrijwel dezelfde prijs hebben.

9.2 RANDSTAD

Een voorbeeld van een spoorlijn in de Randstad is de lijn Haarlem – Den Haag Centraal. Deze spoorlijn wordt bereden door de NS en enkele goederenvervoerders. Zoals eerder in dit verslag vermeld zal het ombouwen naar ERTMS voor de goederenvervoerders geen problemen opleveren omdat de meeste al over locomotieven beschikken die van ETCS voorzien zijn.

Ook voor deze spoorlijn is er onderscheid gemaakt tussen knooppunten en lijnen. De knooppunten zijn Haarlem, Leiden Centraal en Den Haag Centraal. Het knooppunt Leiden Centraal valt voor 100% onder

deze corridor. De knooppunten Haarlem en Den Haag Centraal worden voor 50% meegerekend. Een deel van de emplacementen bij deze stations zijn opstelreinen en niet het complete emplacement zal door treinen van de onderzochte spoorlijn gebruikt worden. De lijnen Haarlem – Leiden Centraal en Leiden Centraal – Den Haag Centraal (inclusief emplacementen van de overige, niet knooppunt stations) zullen steeds tegelijk van hetzelfde beveiligingssysteem voorzien worden, in de praktijk kan hier natuurlijk ook nog tussen gevarieerd worden.

In tabel 21 zijn de vier combinaties verder uitgewerkt en de bijbehorende tijdlijnen zijn weergegeven in figuur 54.

Tabel 21: Vier mogelijke combinaties met meerdere scenario's voor een lijn in de Randstad.

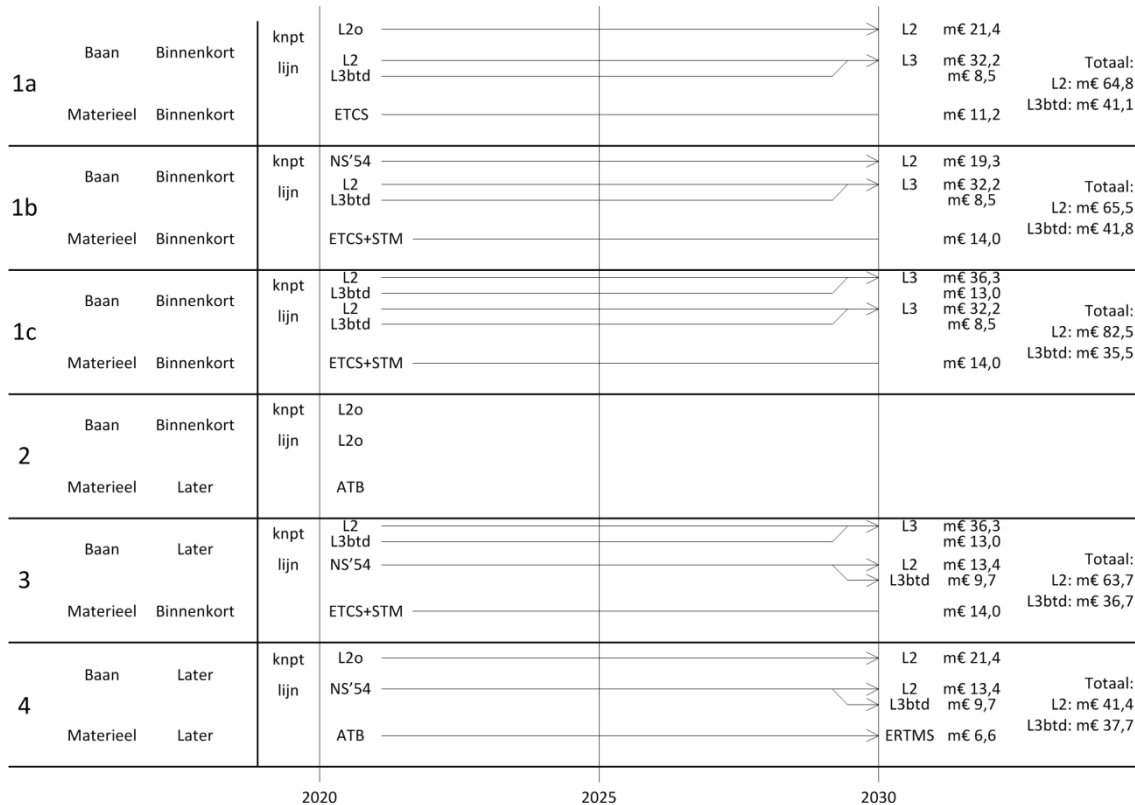
		Ombouw baan	
		Binnenkort	Later
Ombouw materieel	Binnenkort	<p>1) Op de lijn komt level 2 puur of level 3 btd. Door de knooppunten van level 2 overlay te voorzien kunnen treinen die enkel op deze spoorlijn ingezet worden zonder STM omgebouwd worden.</p> <p>Of de knooppunten blijven onder ATB-NS'54. Dit kan omdat de meeste treinen zeer waarschijnlijk van ETCS+STM voorzien worden omdat niet meteen de complete corridors waarover de treinen rijden van ERTMS voorzien zijn.</p> <p>Of wanneer er vraag is naar meer capaciteit moeten de lijnen en knooppunten van level 2 puur of level 3 btd voorzien worden.</p>	<p>3) Wanneer het knooppunt station al van level 2 puur of level 3 btd voorzien wordt in het kader van het ombouwen van een andere spoorlijn moet het materieel van ETCS+STM voorzien worden zolang de lijn nog niet van ERTMS is voorzien.</p> <p>Aangenomen wordt dat 'later' op de lijn level 2 of level 3 btd neergelegd wordt i.p.v. level 2 overlay.</p>
	Later	<p>2) Wanneer de ombouw van het materieel later plaats vindt zal overal waar dit materieel komt overlay aangelegd moeten worden. De ERTMS componenten worden dan niet gebruikt waardoor deze combinatie van weinig nut is. Zo wordt enkel aan de Europese verplichtingen voldaan.</p>	<p>4) Er zal tot 2030 geen verandering optreden.</p> <p>Wanneer het knooppunt station wel eerder van ERTMS voorzien wordt zal dit level 2 overlay moeten zijn omdat de treinen nog niet over ETCS(+STM) beschikken. Aangenomen wordt dat 'later' level 2 of level 3 btd neergelegd wordt i.p.v. level 2 overlay.</p>

De eerst twee scenario's in combinatie 1 zijn interessant om te vergelijken. Is het voordeliger om de knooppunten van overlay te voorzien zodat de treinen zonder STM uitgerust kunnen worden of is het voordeliger op de knooppunten ATB-NS'54 te handhaven en de treinen wel met ETCS+STM uit te rusten? Het derde scenario is noodzakelijk wanneer er een grote capaciteitsbehoefte is maar maakt het treinen die nog niet van ETCS voorzien zijn onmogelijk de knooppunten te bereiken.

Wanneer de baan later omgebouwd wordt kunnen combinaties 3 en 4 vergeleken worden. Wanneer de knooppunten al wel van ERTMS level 2 puur of level 3 btd voorzien worden moet het materieel van ETCS+STM voorzien worden. Wanneer de knooppunten van level 2 overlay voorzien worden kunnen de treinen op deze spoorlijn met de bestaande ATB apparatuur blijven rijden. De ombouw van het materieel kan ook uitgesteld worden wanneer overal level 2 overlay aangelegd wordt (combinatie 2). Op de lijn zal de ERTMS functionaliteit dan slechts door enkele goederentreinen benut worden waardoor deze combinatie weinig voordeel oplevert.

Bij het berekenen van de aantallen is rekening gehouden met de eigenschappen van een lijn in de Randstad. Dezelfde stappen als voor de Almere casus zijn gezet, echter met minder detail. Zie ook de

aannames in bijlage 7. Voor het berekenen van het aantal treinen is een andere aanpak gekozen. Enkel het aantal treinen op dit deel van het traject wordt opgeteld. Dit is anders dan in het hoofdstuk over de OV SAAL corridor. Daar is uitgerekend wat het kost om Almere van ERTMS te voorzien en alle treinen die daar meteen gebruik van maken. In dit hoofdstuk worden enkele ombouwvolgorden op hoofdlijnen vergeleken als onderdeel van een landelijke invoering. Daarom is niet uitgerekend hoeveel treinen er voor elke complete treinserie nodig zijn. Het hier vastgestelde aantal treinen is voldoende wanneer deze treinen in het patroon van de huidige dienstregeling op de onderzochte spoorlijn of delen daarvan heen en weer zouden pendelen. Dit vraagt 19 treinen en, aannemende dat elke trein uit twee treinstellen bestaat, om de ombouw van 38 treinstellen.



Figuur 54: Verschillende ombouwplanningen voor een spoorlijn in de Randstad. De kosten zijn uitgedrukt in miljoenen euro's en dienen ter vergelijking, opbrengsten en indirecte kosten ontbreken. Knpt staat voor 'knooppunt'.

Voor combinatie 1 zijn drie scenario's uitgewerkt. Het maakt weinig verschil of het emplacement van level 2 overlay voorzien wordt (scenario 1a) of dat het materieel met ETCS+STM uitgerust wordt (scenario 1b). Echter scenario 1b is realistischer omdat het materieel in de praktijk zeer waarschijnlijk ook buiten de hier onderzochte spoorlijn ingezet zal worden. Wanneer meer materieel omgebouwd moet worden stijgen de kosten voor scenario 1b harder dan die van scenario 1a omdat de STM extra aangeschaft moet worden. De kosten van scenario 1a zullen stijgen wanneer een groter deel van de emplacementen van de knooppunten van overlay voorzien wordt. Scenario 1c, waarin ook de knooppunten van level 2 puur of level 3 btd voorzien worden, is duurder dan de andere twee scenario's uit combinatie 1 wanneer gekozen wordt voor level 2 puur, maar goedkoper wanneer gekozen wordt voor level 3 btd.

Combinaties 3 en 4 laten een verschil zien wanneer omgebouwd wordt via level 2. Combinatie 3 is duurder omdat het meer kost om het emplacement van level 2 puur te voorzien dan de ombouw naar level 2 overlay (combinatie 4). Dit verschil zal kleiner zijn wanneer niet zoals in dit geval voor level 2 overlay de b-relais interlocking gehandhaafd blijft, maar meteen een nieuwe ERTMS interlocking wordt

neergezet. Het knooppunt ombouwen naar level 3 btd (combinatie 3) is goedkoper dan ombouwen naar level 2 overlay (combinatie 4) maar dit wordt teniet gedaan door het moeten ombouwen van het materieel in combinatie 3.

Combinatie 2 is niet uitgewerkt omdat dit een zeer onwaarschijnlijk scenario is.

Ombouwen via level 3 btd is, behalve in combinatie 4, duidelijk goedkoper dan ombouwen via level 2 puur. Dit verschil ontstaat doordat er bij het ombouwen van een lijn in de Randstad naar level 2 wel assentellers aangeschaft moeten worden. Het verschil in combinatie 4 is kleiner doordat daar de onderscheidende ombouwstap relatief ver in de toekomst plaatsvindt waardoor het verschil minder duidelijk naar voren komt.

9.3 INTERNATIONALE CORRIDOR

Een voorbeeld van een internationale corridor is de spoorlijn Amsterdam Centraal – Utrecht Centraal – Arnhem – Zevenaar grens. Over deze lijn rijden de ICE treinen naar Duitsland en Zwitserland en de nachttreinen naar Midden- en Oost-Europa. Voor de analyse in dit hoofdstuk wordt ingezoomd op het gedeelte Utrecht Centraal – Arnhem. Amsterdam Centraal – Utrecht Centraal is reeds voor het grootste gedeelte van level 2 overlay voorzien en wordt daarom buiten beschouwing gelaten.

De spoorlijn Utrecht Centraal – Arnhem maakt net als de lijn in de Randstad deel uit van het hoofdrailnet. Echter door het specifieke internationale karakter zijn niet al dezelfde scenario's mogelijk. Vanwege de interoperabiliteitseisen op deze internationale corridor moeten er vanaf bijvoorbeeld 2020 (dit jaartal is gekozen om te kunnen vergelijken met de andere in dit hoofdstuk berekende scenario's) ERTMS treinen zonder STM van dit baanvak gebruik kunnen maken. Deze lijn wordt verder bereden door de NS en goederenvervoerders.

Opnieuw is onderscheid gemaakt naar lijnen en knooppunten. Utrecht Centraal is een groot knooppunt evenals Arnhem. Deze knooppunten zijn voor 50% meegerekend omdat een deel opstelreinen betreft en niet het complete emplacement door de treinen van deze corridor bereden zal worden. De Haar Aansluiting wordt ook als knooppunt meegerekend, hier takt de treindienst richting Rhenen in op de hoofdlijn. Station Ede-Wageningen staat wat betreft trein bewegingen los van de corridor Utrecht Centraal – Arnhem en wordt daarom als 'lijn' meegerekend, evenals de overige emplacementen tussen Utrecht Centraal en Arnhem.

In tabel 22 zijn de vier combinaties verder uitgewerkt en de bijbehorende tijdlijnen zijn weergegeven in figuur 55.

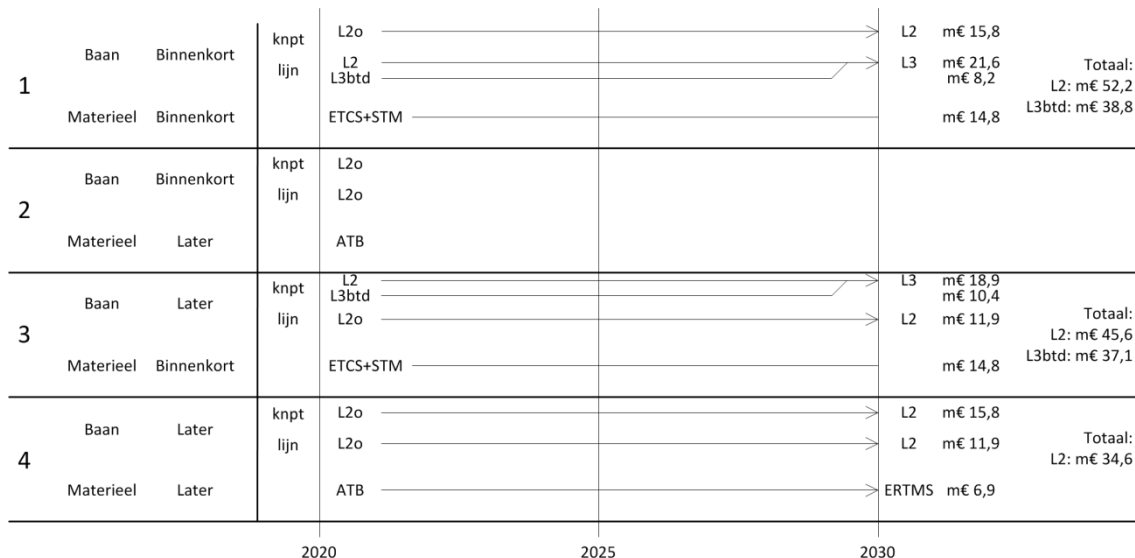
Tabel 22: Vier mogelijke combinaties voor een hoofdlijn als onderdeel van een internationale corridor.

		Ombouw baan	
		Binnenkort	Later
Ombouw materieel	Binnenkort	1) Op de lijn komt level 2 puur of level 3 btd. Het binnenlands materieel wordt van ETCS+STM voorzien om buiten deze spoorlijn verder te kunnen rijden. De knooppunten moeten van level 2 overlay voorzien worden om aan de interoperabiliteitseisen te voldoen.	3) Wanneer het knooppunt station al van level 2 puur of level 3 btd voorzien wordt in het kader van het ombouwen van een andere spoorlijn moet het materieel van ETCS+STM voorzien worden zolang de lijn nog niet van ERTMS voorzien is. Echter door de interoperabiliteitseisen wordt de baan ook met ERTMS uitgerust. Omdat de treinen al over ETCS(+STM) beschikken kan de baan met level 2 puur of level 3 uitgerust worden.
	Later	2) Wanneer de ombouw van het materieel later plaats vindt zullen alle knooppunten en lijnen van deze internationale corridor van level 2 overlay voorzien moeten worden om aan de interoperabiliteitseisen te voldoen en om de nog niet omgebouwde binnenlandse treinen de doorgang mogelijk te maken.	4) Wanneer het knooppunt station wel eerder van ERTMS voorzien wordt zal dit level 2 overlay moeten zijn omdat de treinen op de beschouwde lijn nog niet omgebouwd zijn. Om internationaal treinverkeer mogelijk te maken moet de rest van de lijn ook van level 2 overlay voorzien worden. Deze combinatie is dus gelijk aan combinatie 2.

Voor combinatie 1 bestaat maar één scenario omdat het knooppunt ook van ERTMS voorzien moet zijn. Combinatie 2 is wederom niet uitgewerkt maar komt door de interoperabiliteitseisen van een internationale corridor overeen met combinatie 4.

Door combinaties 3 en 4 te vergelijken wordt onderzocht of het op een internationale corridor voordeliger is om de knooppunten van level 2 puur of level 3 btd te voorzien en het materieel naar ETCS+STM om te bouwen of dat het voordeliger is om het emplacement van level 2 overlay te voorzien en het materieel pas later om te bouwen.

In de berekening wordt ervan uitgegaan dat de treinen volgens de huidige dienstregeling rijden, maar daarbij niet de onderzochte lijn verlaten en dus effectief tussen de knooppunten pendelen. Internationale treinen zijn niet meegerekend. Het totaal komt dan op 20 treinen en 40 treinstellen.



Figuur 55: Verschillende ombouwplanningen voor een spoorlijn die deel uitmaakt van een internationale corridor. De kosten zijn uitgedrukt in miljoenen euro's en dienen ter vergelijking, opbrengsten en indirecte kosten ontbreken. Knpt staat voor 'knooppunt'.

Het aantal mogelijke scenario's voor en internationale corridor is beperkt. Combinatie 1 waarin de lijn naar level 2 puur of level 3 btd wordt omgebouwd is het duurst. De kosten voor combinatie 3 zijn niet veel lager omdat vanwege de interoperabiliteitseisen de complete lijn van level 2 overlay voorzien moet worden. De relatief lage kosten voor combinatie 4 zijn het resultaat van het uitstellen van de ombouw van het materieel.

Uit combinaties 1 en 3 blijkt dat ombouwen via level 3 btd iets goedkoper is dan ombouwen via level 2. In combinatie 4 komt level 3 btd niet aan bod omdat de ombouwstap level 2 overlay – level 3 btd in dit onderzoek niet uitgewerkt is.

9.4 CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN

De Railmap 1.0 laat de keuze voor het starten met de invoering van ERTMS op een regionale lijn of in de Randstad nog open. In dit hoofdstuk is getracht een beeld te geven van de kosten voor de ombouw van een drietal typen lijnen (een regionale lijn, een lijn in de Randstad en een internationale corridor) en verschillende scenario's voor het tijdspad. De resultaten zijn indicatief omdat de in het rekenmodel ingevoerde aantallen bepaald zijn aan de hand van vuistregels en er geen rekening gehouden is met eventuele rijtijd winsten en capaciteitsvraagstukken. Tevens zijn er nog meer combinaties mogelijk.

Voor beide antwoorden (starten in de regio of in de Randstad (lees: hoofdrailnet)) wordt hieronder weergegeven wat de voor- en nadelen zijn van de verschillende scenario's. Vervolgens worden enkele strategische overwegingen om te starten met één van de typen lijnen aangehaald. Tot slot wordt onderzocht hoe level 3 btd zich verhoudt tot level 2 (overlay) op de verschillende typen lijnen.

Wanneer de regionale lijnen eerst omgebouwd worden en het hoofdrailnet later

Voor een regionale spoorlijn blijkt dat het verschil in kosten tussen de verschillende invoeringsstrategieën niet heel groot is. Een groot deel van de kosten wordt bepaald door het ombouwen van de knooppunten. Wanneer de lijn binnenkort wordt omgebouwd is het voordeliger de treinen met ETCS+STM uit te rusten en de knooppunten nog niet van ERTMS te voorzien. Dit is ook voor het hoofdrailnet de goedkoopste oplossing, op de knooppunten waar beide type lijnen samen komen zijn dan nog geen aanpassingen nodig. In het geval het aansluitende hoofdrailnet een internationale corridor betreft moeten ook de knooppunten van ERTMS voorzien worden. De STM module in de regionale treinen kan dan achterwege blijven.

Wanneer het hoofdrailnet eerst omgebouwd wordt en de regionale lijnen later

Voor een spoorlijn in de Randstad (hoofdrailnet) maakt het, wanneer de lijn binnenkort wordt omgebouwd, niet veel verschil of de knooppunten van overlay voorzien worden of dat de treinen met ETCS+STM uitgerust worden. Omdat de treinen op het hoofdrailnet in de praktijk ook buiten het onderzochte studiegebied ingezet zullen worden is de ombouwmethode via ETCS+STM in de treinen de meest waarschijnlijke. Wanneer deze methode wordt toegepast zijn er op korte termijn geen aanpassingen nodig aan de knooppunten waar ook regionale treinen komen en ook deze regionale treinen zelf hoeven nog niet van ETCS+STM voorzien te worden. In het geval dat het hoofdrailnet een internationale corridor betreft kunnen de knooppunten het beste van level 2 overlay voorzien worden zodat de regionale treinen nog niet van ETCS+STM voorzien hoeven te worden. In het geval er een duidelijke capaciteitsbehoefte is zullen ook de knooppunten van level 2 puur of level 3 btd voorzien moeten worden. Level 3 btd is zelfs voordeliger dan level 2 overlay of niet ombouwen. De regionale treinen die van deze knooppunten gebruik maken zullen van ETCS+STM voorzien moeten worden.

Enkele strategische overwegingen

De keuze voor één van de twee volgorden zal van verschillende strategische doelen afhangen. De financiën is er één en het in dit onderzoek ontwikkelde model kan hiervoor gebruikt worden. Maar het voert te ver om in één hoofdstuk een landelijk kostenplaatje te geven, omdat dit afhangt van de precieze lijnen die omgebouwd worden en omdat specifiek voor de knooppunten voorkomen moet worden dat er kosten dubbel geteld worden wanneer meerdere aansluitende lijnen omgebouwd worden. Drie andere strategische overwegingen zullen hieronder aangehaald worden:

Risico mijden

Op een regionale lijn is het eenvoudig om de ombouw van het materieel en de baan op elkaar af te stemmen omdat er één vervoerder rijdt en deze slechts een beperkte hoeveelheid materieel inzet. Op een regionale lijn is tevens de gevolgschade, in het geval er storingen in de nieuwe systemen optreden, kleiner dan wanneer de kinderziekten op een lijn in de Randstad aan het licht komen. Door met een regionale lijn te beginnen kan er met minder risico ervaring met ERTMS opgedaan worden. De beginsituatie wat betreft de aanwezige systemen op een regionale spoorlijn is anders dan op een spoorlijn van het hoofdrailnet en ook de capaciteitsbenutting is in de Randstad hoger waardoor aan elke om te bouwen lijn risico's verbonden blijven. Door het regionale materieel van ETCS+STM te voorzien en het knooppunt onder ATB-NS'54 te laten is er vrijwel geen risico voor het verkeer op het hoofdrailnet. Dit is wanneer er een business case gemaakt moet worden voor de regionale lijn ook de goedkopere optie.

Capaciteitsvraag in de Randstad

Indien er een dringende capaciteitsbehoefte bestaat op een lijn in de Randstad moeten de lijnen en knooppunten daar van level 2 puur of level 3 btd voorzien worden. Voor de vervoerders op de aansluitende (regionale) lijnen ontstaat dan de nadelige situatie dat het materieel van ETCS+STM voorzien moet worden zonder dat er op de eigen lijn van de voordelen van ERTMS geprofiteerd kan worden omdat de lijn nog niet van ERTMS voorzien is.

Storingsreductie

Op de regionale lijnen is het treinverkeer regelmatig verstoord als gevolg van problemen met de daar gebruikte assentellers. Door te kiezen voor level 3 met baangebonden treindetectie kan dit probleem grotendeels verholpen worden. Ondanks dat level 3 btd op de regionale lijnen van assentellers gebruik maakt zullen storingen in de assentelsystemen niet langer tot grote verstoringen van het treinverkeer leiden omdat er op de regionale lijnen vrijwel uitsluitend met integere reizigerstreinen gereden wordt.

De invoering van ERTMS via level 3 btd ten opzichte van level 2 (overlay)

Voor de onderzochte scenario's waarin de ombouw via level 2 of level 3 met baangebonden treindetectie kan geschieden blijkt dat ombouwen via level 3 btd altijd minder investeringen vraagt. Uitzondering hierop vormen de regionale lijnen, doordat hier al assentellers aanwezig zijn is er vrijwel geen verschil tussen level 2 en level 3 btd.

10

Veiligheid, enkele overwegingen

Naast de in dit onderzoek belangrijke financiële en operationele aspecten speelt ook de verbeterde veiligheid een rol bij de keuze voor invoering van ERTMS. Dit hoofdstuk is niet speciaal gericht op de vergelijking zoals in de doelstelling omschreven maar stipt een aantal elementen aan waar nog ruimte is voor verbetering. Deze verbeteringen kunnen de veiligheid of operabiliteit vergroten.

10.1 REMCURVE

Wanneer een trein het eindpunt van zijn rijtoestemming nadert volgt er een remopdracht waarbij onder een vastgestelde rem curve gebleven moet worden. De rijtoestemming geldt tot een fysiek punt dat zowel een vaste als ook een virtuele blokgrens kan zijn. Door de onzekerheid in de positiebepaling van de trein is de afstand tot het einde van de rijtoestemming altijd onzeker. De positie wordt bepaald door odometrie metingen (tellen van het aantal omwentelingen van de wielen) die gekalibreerd worden door de balises waar de trein overheen rijdt. Waar het einde van de rijtoestemming zich exact bevindt is vanuit de trein gezien dus altijd onzeker door de onzekerheid in de eigen positiebepaling. In de odometrie meting wordt uitgegaan van 5% onzekerheid. Wanneer gemiddeld om de 400 m een balise ligt bedraagt de onnauwkeurigheid als snel 20 m. Om deze reden worden er in wisselstraten en stationsgebieden, waar een hogere nauwkeurigheid gewenst is, extra balises geplaatst.

Een aantal omstandigheden kan ervoor zorgen dat de onnauwkeurigheid verder toeneemt. Wanneer op gladde sporen te krachtig geremd wordt kunnen de wielen blokkeren. Probleem is niet zozeer dat dan de afstand niet juist geregistreerd wordt maar dat de trein doorschiet ten opzichte van de rijtoestemming wanneer er een te kleine marge gehanteerd wordt en op een gevaarlijk punt, binnen de rijweg van een andere trein bijvoorbeeld, tot stilstand komt. Doorschieten wordt voorkomen door eerder en rustiger te remmen. Dat wil zeggen, door verder onder de remcurve te blijven. Ervaren machinisten zullen dit uit zichzelf al doen. Echter wanneer een trein automatisch ingrijpt omdat de machinist om welke reden dan ook niet remt terwijl dit wel moet is er natuurlijk geen sprake van ervaring dus moet voor die gevallen de remcurve aangepast worden.

Omdat een aangepaste remcurve een negatieve invloed heeft op de capaciteit is het van belang op zo min mogelijk momenten hiervan gebruik te maken. Popovici (2011) adviseert weer data te gebruiken om de gladheid te voorspellen. Nu rijden machinisten in een heel groot gebied voorzichtig waardoor de capaciteit in een groot gebied afneemt. Als de locaties beter bekend zijn zal er minder capaciteit en reistijdverlies optreden. De GSM-R verbinding biedt goede mogelijkheden voor het verzenden en ontvangen van gedetailleerde informatie over de locatie van gladde sporen. Het enige wat nog geïntroduceerd moet worden is een landelijke voorspellings- of detectiemethode.

Wanneer er te krachtig geaccelereerd en de wielen draaien door ontstaat er eenzelfde probleem: de geregistreerde afgelegde weg groter dan de daadwerkelijk afgelegd weg. Dit is voor de veiligheid geen

probleem wanneer voor een bepaald punt gestopt moet worden: er wordt dan te vroeg gestopt. Echter de achterkant van de trein is dan minder ver dan het systeem denkt waardoor de volgende trein een rijtoestemming krijgt die verder zou kunnen zijn dan de daadwerkelijke achterkant van de eerste trein. Voor deze trein is ook de vraag hoe het systeem reageert wanneer niet op tijd (binnen de te verwachten marge) de volgende balise bereikt wordt. Bij deze balises zal de fout gedetecteerd en hersteld worden. De grootte van de fout zou een indicatie kunnen zijn van de gladheid van het spoor en daarop zou de die informatie voor het volgende blok gebruikt kunnen worden voor het aanpassen van de remcurve of naar volgende treinen in dat eerste blok gecommuniceerd kunnen worden zodat deze trein bij het optrekken of remmen rekening kan houden met deze omstandigheden.

Het afstand meet probleem kan opgelost worden door de odometrie niet aan de tractiewielen te koppelen of op zijn minst aan meerdere tractie wielen zodat doordraaien meteen gedetecteerd kan worden en de juiste waarde voor de odometrie gebruikt kan worden. Er is uitgebreid onderzoek gedaan naar dit fenomeen omdat doordraaiende wielen schade toebrengt aan de rails (Popovici, 2011).

10.2 TREIN INTEGRITEIT

Voor ERTMS level 3 is het van belang continu te weten waar elke trein zich precies bevindt en hoe lang deze is. Voor een niet-integere trein is dit niet bekend omdat zo'n trein niet kan controleren hoe lang deze is. Ook wel-integere treinen kunnen hun integriteit verliezen, wanneer de communicatie wegvalt is de locatie van de trein niet langer bekend bij de walsystemen.

Treinintegriteit kan wegvallen bij een fysiek probleem: wanneer de trein een deel verliest. In principe is dit voor integrale treinen onmogelijk. Niet-integere treinen kunnen niet meer de integriteit verliezen. Integere treinen kunnen wel met communicatiestoringen te maken krijgen. Ook dan verdwijnt de integriteit omdat van de trein niet meer vastgesteld kan worden waar (de achterkant van) deze trein zich bevindt. Wanneer dit het geval is moeten alle treinen als niet-integer behandeld worden en met de bestaande treindetectie opgemerkt worden.

In alle invoeringsstrategieën blijft er baangebonden treindetectie in dienst totdat het laatste stapje naar level 3 wordt gezet. Deze laatste stap is voor alle invoeringsstrategieën bijna gelijk: de baangebonden treindetectie wordt buiten dienst genomen en alleen integrale treinen zijn nog toegestaan op het betreffende baanvak. Deze laatste stap kan dus pas gezet worden wanneer het integriteitsprobleem is opgelost. Omdat deze oplossing onafhankelijk is van de invoeringsstrategieën is dit veiligheidsvraagstuk niet onderscheidend voor de dit vergelijkende onderzoek.

De integriteit van integrale treinen is gegarandeerd door de remleiding en elektrische leidingen die door de trein lopen. Niet integrale treinen zouden integer gemaakt kunnen worden door een systeem in te bouwen dat controleert of de laatste wagon nog aan de trein vast zit. In de VS en Australië worden dit soort systemen gebruikt. Een zogenaamde FRED (Flashing Rear End Device) controleert de remdruk van de laatste wagon en verzendt deze informatie naar een ontvanger in de locomotief. Wanneer de trein nog compleet is, is de remdruk van de laatste wagon gelijk aan die van de locomotief. In Europa is dit systeem niet direct toepasbaar omdat het FRED systeem is niet snel genoeg is en de hoge frequenties van treinen in Nederland (en Europa) juist wel vereisen dat de treindetectie heel snel werkt.

Andere oplossingen zoals bijvoorbeeld doorgaande elektrische of data leidingen langs alle wagons zoals in passagierstreinen zijn technisch haalbaar. Echter financiële en, wegens het internationale karakter van het goederenvervoer, organisatorische kwesties verhinderen een snelle oplossing (Zweers & Bartholomeus, 2013).

Verlies van integriteit treedt ook op bij verstoorde communicatie. Wanneer na een storing in de treinapparatuur, het walsysteem of de informatieoverdracht de treinlocaties niet meer bekend zijn zal het beveiligingssysteem in de treinen deze stilzetten. De treinen worden nu ook niet meer herkend door het walsysteem, in het geval baangebonden treindetectie ontbreekt. Er zal dus opnieuw contact gelegd moeten worden met alle treinen. Zekerheid dat er weer contact is met alle treinen is er niet. Elk spoor zal op zicht bereden moeten worden voordat zeker is dat er geen treinen in de communicatie ontbreken. Rijden op zicht mag enkel na toestemming van het walsysteem. Dit procedureel rijden, inclusief alle bijbehorende communicatie met de treindienstleider, kost veel tijd en vraagt om technische ondersteuning (Projectteam ERTMS Level 3 PoC, 2013).

10.3 GSM-R VERBINDING

De GSM-R verbinding wordt op dit moment enkel gebruikt voor (spraak) communicatie tussen de machinist en de verkeersleiding. Bij ERTMS wordt de GSM-R verbinding ook gebruikt voor het verzenden van de rijtoestemmingen naar de trein en bij level 3 puur en level 3 btd ook het verzenden van positierapporten van de trein naar de walsystemen. De afhankelijkheid van de GSM-R verbinding wordt dus veel groter en bovendien wordt de verbinding intensiever gebruikt.

Een goede (robuuste) dataverbinding is dus voor alle systeemconfiguraties van belang. De gevolgen van communicatiestoringen werden duidelijk op de HSL-Zuid met de Fyra treinen die onder andere als gevolg van relatief korte onderbrekingen in de communicatie tot stilstand kwamen (Van Velzen, 2013). Dit kan voorkomen worden door de communicatie protocollen aan te passen of mogelijk ook door over te stappen op een moderner communicatie systeem zoals GPRS.

De storingsgevoeligheid van een GSM verbinding is voor spraak geen probleem, bij een bit fout hoort een mens het dan misschien kraken maar voor computer berichten is het wel een probleem als het bericht niet precies overkomt. Ook zijn de grenzen tussen de frequentiebanden niet heel strak zijn en van cel overschakelen bij hoge snelheden is lastig. Andere problemen die vooral op grote emplacementen zullen optreden zijn interferentie tussen de signalen van verschillende treinen en in steden is er ook sprake van weerkaatsing tussen gebouwen waardoor signalen verstoord worden.

11

Conclusies en aanbevelingen

Voor het beantwoorden van de hoofdvraag zijn voor drie verschillende invoeringsstrategieën kosten bepaald en simulaties uitgevoerd. De hoofdvraag luidde: *Hoe verhouden de drie invoeringsstrategieën zich tot elkaar op de punten capaciteit en financiën?*

Op het punt van capaciteit bleek zoals verwacht dat level 3 het beste resultaat laat zien. De invoeringsstrategie via level 3 met baangebonden treindetectie (btd) biedt vanaf de eerste ombouwstap deze hogere capaciteit. In tegenstelling tot de ombouwroutes via level 2. Wanneer de eerste ombouwstap gemaakt wordt naar level 2 overlay is de capaciteitswinst beperkt en enkel mogelijk wanneer een substantieel deel van alle treinen van ETCS voorzien is.

Vanuit financieel oogpunt is ombouwen via level 3 btd het voordeligst. Wanneer enkel de ombouwkosten worden beschouwd is de invoeringsstrategie via level 3 btd in totaal 40 tot 60% goedkoper dan de andere invoeringsstrategieën. Wanneer enkel de eerste stap vergeleken wordt blijkt dat invoeren van level 2 overlay ruim de helft goedkoper kan dan het invoeren van level 3 btd. Deze verhoudingen zijn slechts indicatief, de exacte verhoudingen kunnen veranderen wanneer naast de directe kosten ook de indirecte kosten meegerekend worden.

De onderhoudskosten laten geen grote verschillen zien. De storingskosten daarentegen tonen dat de invoeringsstrategie via level 3 btd de laagste jaarlijkse kosten heeft doordat de dienstuitvoering vrijwel niet afhankelijk is van het correct functioneren van alle baangebonden detectie apparatuur.

Deze antwoorden maken het mogelijk het gestelde doel te verwezenlijken: *Vergelijken welke ERTMS invoeringsstrategie tijdens de overgangperiode naar ERTMS level 3 op elk moment tegen geringe kosten de gewenste capaciteit kan bieden.*

Voor het studiegebied, zijnde Almere als onderdeel van de OV SAAL corridor, blijkt dat de gewenste kwartierdienstregeling enkel mogelijk is na invoering van level 2 of level 3 btd. Level 2 overlay biedt niet de gewenste capaciteit en valt zodoende af. Level 3 btd biedt de gewenste capaciteit tegen € 2,5 miljoen per jaar (onderhoud- en storingskosten). Indien level 3 btd ingevoerd wordt bedragen deze kosten € 0,5 miljoen per jaar. Voor het realiseren van een tien minuten dienstregeling in Almere blijkt geen van de ERTMS levels voldoende capaciteit te kunnen bieden op de bestaande spoorinfrastructuur. Voor de eindberekening is de ombouwstap naar level 3 op 2030 ingesteld. Voor een juiste financiële vergelijking zijn alle kosten verrekend tot een netto contante waarde.

Het gehanteerde rekenmodel en de gedefinieerde kostenposten worden ondersteund door respectievelijk de geraadpleegde adviseurs en de stakeholders. Na het toepassen van het model op spoorlijnen anders dan de OV SAAL corridor blijkt dat level 3 btd steeds de meest voordelige optie is, met uitzondering van de regionale spoorlijnen waar door de aanwezigheid van assentellers weinig verschil is met level 2.

Conclusie

Geconcludeerd kan worden dat de meest geschikte strategie voor invoering van ERTMS op de OV SAAL corridor de invoeringsstrategie via level 3 btd is. Hiermee wordt vanaf de eerste ombouwstap de hoogste capaciteit geboden en de totale kosten zijn het laagst wanneer deze invoeringsstrategie gekozen wordt. Ook op andere onderzochte lijnen laat level 3 btd het beste resultaat zien.

Context

Deze conclusie moet gezien worden in de context van de initiëring van dit onderzoek waaruit moest blijken hoe level 3 met baangebonden treindetectie zich verhoudt tot level 2 en level 2 overlay. Het doel was na te gaan wat het verschil is tussen de drie invoeringsstrategieën. Alle drie zijn via dezelfde methode en met dezelfde aannames uitgewerkt. De ingevulde kosten betreffen de directe kosten en in de financiële eindvergelijking ontbreken de indirecte kosten. De gewenste vergelijking laat echter een duidelijk beeld zien, de gemaakte vergelijking is geldig. Wanneer de (in)directe kosten meer concreet bekend worden kunnen deze in het model ingevuld worden.

Verder onderzoek

Door de beperkte omvang van het studiegebied kan er alleen met zekerheid geoordeeld worden over hoe de drie onderzochte invoeringsstrategieën zich verhouden wat betreft de ombouwkosten, onderhoudskosten en storingskosten van de baan. Door de grote afstanden die het materieel aflegt kan dit niet zondermeer in het studiegebied meegerekend worden maar moet landelijk of op corridor niveau gekeken worden. Hetzelfde geldt voor de opbrengsten. In het studiegebied zijn in theorie opbrengsten te genereren door kortere rijtijden, maar het hangt van de mogelijkheden buiten het studiegebied af of deze baten ook geïncasseerd kunnen worden. Wat betreft de vermeden investeringen is er ook een grote afhankelijkheid van de ontwikkelingen buiten het studiegebied. Ook dit punt vraagt een corridor brede beschouwing.

Gestreefd is naar het geven van een totaaloverzicht van de kosten die gemoeid zijn met de invoering van ERTMS op de Flevolijn. Vanwege de niet altijd overeenkomende belangen van de vervoerders en de infrastructuurbeheerder is het nuttig te onderzoeken hoe de kosten en baten over de verschillende partijen verdeeld zijn en door welke factoren deze beïnvloed worden. Met deze informatie kan getracht worden de voorwaarden vast te stellen waarbinnen de invoering van ERTMS tot een positieve business-case kan leiden voor elke partij.

12

Bibliografie

- Beets, J., & Andel, A. (2008, mei 20). Implementatie ERTMS in Europa. Strategische analyse en benchmark van Europese implementatieplannen ERTMS voor het conventionele spoorwegnet. ProRail.
- Bowman, L. A., & Turnquist, M. A. (1981). Service, frequency, schedule reliability and passenger wait times at transit stops. 15a(6), 465-471.
- Goverde, R., Hansen, I., Corman, F., D'Ariano, A., & Trinckauf, J. (2013). Deelonderzoek I. Innovatie op het spoor en mogelijkheden van ERTMS in Nederland. TU Delft, Parlementair onderzoek Onderhoud en innovatie spoor.
- Horstink, R. P. (2012). Toelichting werkwijze en uitgangspunten HRP mengpaneel. Arcadis Nederland BV.
- Kennisinstituut voor Mobiliteitsbeleid. (2012). Kosten-batenanalyse bij integrale gebiedsverkenningen. Den Haag: Ministerie van Infrastructuur en Milieu.
- Mansveld, W. J. (2013, augustus 28). Besluit OV SAAL MT. Staatssecretaris van infrastructuur en milieu.
- Mansveld, W. J. (2013, april 5). OV SAAL Middellange termijn. Staatssecretaris van infrastructuur en milieu.
- Ministerie van Infrastructuur en Milieu. (2011). Rapportage OV SAAL 2020. Den Haag.
- Ministerie van Infrastructuur en Milieu. (2013). Railmap ERTMS Versie 1.0 - Startbeslissing.
- Ministerie van Infrastructuur en Milieu. (sd). OV SAAL. Opgeroepen op juli 10, 2013, van <http://www.rijksoverheid.nl/onderwerpen/openbaar-vervoer/groei-op-het-spoor/ov-saal>
- Nieuwsblad Transport. (2010, juni 4). Kasboek voor de Betuweroute gebruiker. Opgeroepen op juli 24, 2013, van <http://www.nieuwsbladtransport.nl/Dossiers/ArticleDossier/tabid/101/ArticleID/864/ArticleName/KasboekvoordeBetuweroutegebruiker/DossierID/2/DossierName/Betuweroute/Default.aspx>
- NS. (2012). Dienstregeling 2013. Opgeroepen op maart 12, 2013, van <http://www.ns.nl/reizigers/reisinformatie/informatie/informatie-tijdens-uw-reis/download-dienstregeling-2012-2013.html>
- NS. (2013). Jaarverslag 2012. Utrecht: NS Groep NV.
- Pachl, J. (2002). Railway Operation and Control (1 ed.). Mountlake Terrace WA USA: VTD Rail Publishing.
- Projectteam ERTMS Level 3 PoC. (2013). Proof of Concept ERTMS Level 3. Utrecht: ProRail.
- ProRail. (2005). Algemeen voorschrift - Seinstelsel en seingeving Remafstanden bij de seingeving.
- ProRail. (2010). Eindrapportage PHS en capaciteitsanalyse.

- ProRail. (2011). Beheerplan 2012.
- ProRail. (2012). OBE bladen. (eind 2012).
- ProRail. (2013). Infraconcepten in vogelvlucht.
- ProRail. (2013). Jaarverslag 2012. Opgeroepen op juni 26, 2013, van <http://www.jaarverslagprorail.nl/>
- Pundert, S., Touw, B., Bartholomeus, M., Duijker, M., & Verhagen, A. (2010). Technische vergelijking tussen NS'54 ATB-EG en ERTMS level 2. ProRail.
- Rail Infra Opleidingen. (2004). Algemene beveiligingsvakbekwaamheden onderhoudspersoneel. Amersfoort: Rail Infra Opleidingen.
- Railway Gazette. (2006-2012). Opgeroepen op juli 23, 2013, van www.railwaygazette.com
- Rijksoverheid. (sd). OV SAAL. Opgeroepen op maart 25, 2013, van <http://www.rijksoverheid.nl/onderwerpen/openbaar-vervoer/groei-op-het-spoor/ov-saal>
- Rutte, M., & Samsom, D. M. (2012). Bruggen slaan Regeerakkoord VVD - PvdA.
- Smolders, B., Van Altena, A., Pruntel, J., Steeghs, E., & Gout-van Sinderen, M. (2011). Parlementair onderzoek onderhoud en innovatie spoor.
- Sulmann, H. (2002). Railverkeersleiding van Sein tot Sein. Railverkeersleiding.
- Treinreiziger.nl. (2012). Kabel breekt: nieuwe dubbeldekker in tweeën. Opgeroepen op november 23, 2012, van http://www.treinreiziger.nl/actueel/binnenland/kabel_breekt_nieuwe_dubbeldekker_in_tweeen-144761
- UIC. (2004). UIC CODE 406 - Capacity. Parijs: UIC.
- UIC. (2013). What is ERTMS? Opgeroepen op juli 18, 2013, van <http://www.uic.org/spip.php?article381>
- Van den Top, J. (2010). Modelling Risk Control Measures in Raolways. Delft: Next Generation Infrastructures Foundation.
- Van Es, A. (2013). OV SAAL Cluster A FIS 2016 Versie 3.0. Arcadis Nederland BV.
- Van Velzen, T. (2013). Falende Fyra. De ingenieur, 24-27.
- Westfälischen Technischen Hochschule Aachen. (2008). Influence of ETCS on line capacity - Generic study. Parijs: ETF.
- Zweers, M. (2012). Engineering uren conventioneel of ERTMS.
- Zweers, M. (2012, september 7). Referentie/kostencalculatie ERTMS op OV SAAL. (0.1).
- Zweers, M. (2013, februari 14). Voorbereiding ERTMS op OV SAAL sinds juli 2012. Amersfoort.
- Zweers, M., & Bartholomeus, M. (2013). A recipe for fast nationwide migration to robust ERTMS L3. Signal + Draht (105), 43-48.
- Zweers, M., Bronsema, F., & Wulfse, M. (2011). Amsterdam-Utrecht: ERTMS L2 as an overlay to conventional signalling. Signal + Draht (103), 23-28.

Bijlage 1 Afkortingen

Algemeen

ARI	Automatische Rijweg Instelling
ATB-NS'54	Huidige treinbeïnvloedings- en beveiligingssystemen
ATB-EG	Automatische Trein-Beïnvloeding - Eerste Generatie
ATB-NG	Automatische Trein-Beïnvloeding - Nieuwe Generatie
ATB-Vv	Automatische Trein-Beïnvloeding - Verbeterde versie
EBI	Elektronische Interlocking van Bombardier
EBP	Elektronische Bedien Post
EBS	Elektronische Beveiliging SIMIS-C (interlocking van Siemens)
EoA	End of Authority
ERTMS	European Rail Traffic Management System
ES-las	Elektrische Scheidings las
ETCS	European Train Control System
ETD	End-of-Train Device
ETML	European Traffic Management Layer
EVC	European Vital Computer
FOK	Functioneel Ontwerpkader
FRED	Flashing Rear-End Device
GT	Goederentrein
GPRS	General Packet Radio Service
GSM-R	GSM voor Rail (Global System for Mobile communications for Rail)
HSL	HogeSnelheidsLijn
IC	InterCity
IenM	Ministerie van Infrastructuur en Milieu
KEV	Koppeling EBS met VPT
Knpt	Knooppunt
L2	ERTMS level 2
L2o	ERTMS level 2 overlay
L3	ERTMS level 3
L3 btd	ERTMS level 3 baangebonden treindetectie
MA	Movement Authority
MMI	Mens Machine Interface
NPV	Net Present Value (Netto Contante Waarde)
NS	Nederlands Spoorwegen
NS'54	NS seinstelsel uit 1954
NX	eNtrance/eXit (relais interlocking)
OBE	Overzicht Baan en Emplacement
OCCR	Operationeel Controle Centrum Rail
OPC	OutPutprocesContracten
OV SAAL	Openbaar Vervoer Schiphol – Amsterdam – Almere – Lelystad
PoC	Proof of Concept
PGO	Prestatie Gericht Onderhoud
RBC	Radio Block Centre
SLT	Sprinter Light Train
SMB	Stop Marker Bord

SPR	Sprinter
STM	Specific Transmission Module
STS	Stop-Tonend Sein
TNV	Trein Nummer Volgsysteem
TOK	Technisch Ontwerp kader
UIC	Union Internationale des Chemins de fer (Internationale Spoorwegunie)
VIRM	Verlengd InterRegio Materieel
VOT	Value of Time
VPI	Vital Processor Interlocking (interlocking van Alstom)
VPT	Vervoer Per Trein

Stations

Alm	Almere Centrum
Almb	Almere Buiten
Almm	Almere Muziekwijk
Almo	Almere Oostvaarders
Almp	Almere Parkwijk
Ampo	Almere Poort
Asd	Amsterdam Centraal
Asdz	Amsterdam Zuid
Gn	Groningen
Gvc	Den Haag Centraal
Hfd	Hoofddorp
Lls	Lelystad Centrum
Ut	Utrecht Centraal
Wp	Weesp
Zl	Zwolle

Voor een landelijk overzicht zie bijvoorbeeld

http://nl.wikipedia.org/wiki/Lijst_van_afkortingen_van_Nederlandse_spoorwegstations

Bijlage 2 Overzicht studiegebied

Overzichtsk kaart



Bijlage 3 Overzicht ombouwkosten

Legenda

	Invoer cellen
	Systeemintegratietest en activiteiten tijdens de test
	Gezamenlijke activiteit in twee deelprocessen
	Omschakelmoment en activiteiten tijdens omschakelmoment
	Grens tussen activiteiten voor en na omschakelmoment

Ombouwkosten ombouwstap Huidige situatie - Level 2 overlay

Ombouwstap	Huidige situatie --> Level 2 overlay	Aantal	Kosten per stuk	Kosten totaal	Doorlooptijd (kwartalen)
1	START				
2	RBC toevoegen				
3	parallel				
4	(keuze) Al een RBC gereserveerd?				
5	(eventueel) Nieuwe RBC aanschaffen en neerzetten	1	€ 500.000	€ 500.000	1
6	RBC programmeren	1	€ 500.000	€ 500.000	1
7	parallel				
8	(keuze) Interface aansluitende RBC's nodig?				
9	(eventueel) Ontwikkelen interface aansluitende RBC's	1	€ 250.000	€ 250.000	1
10	Aansluiten	1	€ 15.000	€ 15.000	1
11	Interlocking aanpassen				
12	(keuze) Methode				
13	(of) Behoud bestaande interlocking				
14	Tijdelijke extra ruimte voor interfaces maken	1	€ 25.000	€ 25.000	1
15	Ontwikkelen interlocking - RBC interface	1	€ 100.000	€ 100.000	1
16	Aansluiten interlocking - RBC interface	1	€ 10.000	€ 10.000	1
17	(of) Eerst nieuwe interlocking dan RBC aansluiten (toekomstvast interlo				
18	(keuze) Al een interlocking gereserveerd?				
19	(eventueel) Nieuw systeemhuis bouwen of in een centrale ruimte bij verkeersleiding	1	€ 100.000	€ 100.000	1
20	(eventueel) Nieuwe ERTMS interlocking aanschaffen en neerzett	1	€ 500.000	€ 500.000	1
21	Interlocking voor ATB NS'54 programmeren	1	€ 100.000	€ 100.000	1
22	Nieuwe, deels tijdelijke, object controller huizen bouwen	7	€ 50.000	€ 350.000	1
23	(keuze) Type object controllers?				
24	(eventueel) Objectcontrollers aanschaffen				
25	- Wissels	28	€ 5.000	€ 140.000	1
26	- Seinen	70	€ 5.000	€ 350.000	1
27	- Spoorstroomlopen	90	€ 5.000	€ 450.000	1
28	- ATB signaal	90	€ 5.000	€ 450.000	1
29	(eventueel) Objectcontrollers ontwikkelen en produceren				
30	- Wissels	28	€ 10.000	€ 280.000	1
31	- Seinen	70	€ 10.000	€ 700.000	1
32	- Spoorstroomlopen	90	€ 10.000	€ 900.000	1
33	- ATB signaal	90	€ 10.000	€ 900.000	1
34	Vorbereiden kabels en leidingen			€ -	1
35	Tijdens buitendienststelling: Objectcontrollers aansluiten op interlocking en wissels, seinen, spoorstroomlopen en ATB signaal	278	€ 1.000	€ 278.000	1
36	Aanpassen VPT bedienlaag	1	€ 50.000	€ 50.000	1
37	Interlocking op VPT aansluiten	1	€ 10.000	€ 10.000	1
38	Buro engineering ERTMS level 2 overlay functionaliteit	1	€ 100.000	€ 100.000	1
39	Nieuwe software inladen en RBC aansluiten	1	€ 10.000	€ 10.000	1
40	Balises toevoegen				
41	(keuze) Blokprojectering?				
42	(eventueel) Blokprojectering maken	1	€ 50.000	€ 50.000	1
43	Balises aanschaffen	140	€ 500	€ 70.000	1
44	Balises plaatsen	140	€ 150	€ 21.000	1
45	GSM-R optimalisatie				
46	Systeemintegratietest				
47	Systeemintegratietest schaduwtest	1	€ 25.000	€ 25.000	1
48	ETCS in treinen installeren				
49	Omschakelmoment				
xx					
50	Interlocking aanpassen				
51	(keuze) Wat is gekozen?				
52	(of) Nieuwe ERTMS interlocking				
53	Oude relaihuizen ontmantelen en slopen	3	€ 15.000	€ 45.000	1
54	EIND				

Ombouwkosten ombouwstap Level 2 overlay - Level 2

Ombouwstap	Level 2 overlay --> Level 2	Aantal	Kosten per stuk	Kosten totaal	Doorlooptijd (kwartalen)
1	START				
2	RBC aanpassen				
3	Buro engineering Nieuwe blokindeling en eventueel nieuwe balises	1	€ 50.000	€ 50.000	1
4	's Nachts software update testen i.c.m. nieuwe balises	1	€ 10.000	€ 10.000	1
5	Nieuwe software inladen	1	€ 7.500	€ 7.500	1
6	Interlocking aanpassen				
7	(keuze) Wat is aanwezig?				
8	(of) Conventioneel met RBC interface				
9	(keuze) Al een interlocking gereserveerd?				
10	(eventueel) Nieuwsysteemhuis bouwen of in centrale ruimte bij verkeersleiding	1	€ 100.000	€ 100.000	1
11	(eventueel) Nieuwe ERTMS interlocking aanschaffen en neerzetten	1	€ 500.000	€ 500.000	1
12	Interlocking voor ERTMS Level 2 programmeren	1	€ 100.000	€ 100.000	1
13	Nieuwe objectcontrollerhuizen bouwen	3	€ 50.000	€ 150.000	1
14	(keuze) Type object controllers?				
15	(eventueel) Objectcontrollers aanschaffen				
16	- Wissels	28	€ 5.000	€ 140.000	1
17	- Assentellers	14	€ 5.000	€ 70.000	1
18	(eventueel) Objectcontrollers ontwikkelen en produceren				
19	- Wissels	28	€ 10.000	€ 280.000	1
20	- Assentellers	14	€ 10.000	€ 140.000	1
21	Voorbereiden kabels en leidingen			€ 0	1
22	Objectcontrollers aansluiten op interlocking en assentellers	42	€ 1.000	€ 42.000	1
23	Schaduwtesten assentelcomputer-interlocking verbinding	1	€ 25.000	€ 25.000	1
24	Aanpassen VPT bedienlaag	1	€ 50.000	€ 50.000	1
25	Nieuwe interlocking aansluiten op VPT en RBC. Wissels aansluiten en seinen doven.	1	€ 75.000	€ 75.000	1
26	(of) Nieuwe ERTMS interlocking				
27	Nieuwe, deels tijdelijke, objectcontroller huizen bouwen	3	€ 50.000	€ 150.000	1
28	(keuze) Type object controllers?				
29	(eventueel) Objectcontrollers aanschaffen				
30	- Assentellers	14	€ 5.000	€ 70.000	1
31	(eventueel) Objectcontrollers ontwikkelen en produceren				
32	- Assentellers	14	€ 10.000	€ 140.000	1
33	Voorbereiden kabels en leidingen			€ 0	1
34	Objectcontrollers aansluiten op interlocking en assentellers	14	€ 1.000	€ 14.000	1
35	Buro engineering ERTMS level 2 functionaliteit	1	€ 100.000	€ 100.000	1
36	's Nachts assentelcomputer-interlocking verbinding testen	1	€ 50.000	€ 50.000	1
37	Aanpassen VPT bedienlaag	1	€ 50.000	€ 50.000	1
38	Definitief assentellers aansluiten. Seinen, ATB signaal en spoorstroomlopen loskoppelen. Seinen doven. Nieuwe software inladen.	142	€ 2.500	€ 355.000	1
39	Assentellers toevoegen				
40	(keuze) Blokindeling bekend?				
41	(eventueel) Nieuwe blokindeling maken	1	€ 50.000	€ 50.000	1
42	Assentelsystemen aanschaffen	160	€ 20.000	€ 3.200.000	1
43	Assentelsystemen plaatsen	160	€ 1.000	€ 160.000	1
44	Voorbereiden kabels en leidingen			€ 0	1
45	Assentellers aansluiten en testen	160	€ 1.000	€ 160.000	1
46	Centrale assentelcomputer schaduw testen	14	€ 10.000	€ 140.000	1
47	of Schaduwtesten assentelcomputer-interlocking verbinding	1	€ 25.000	€ 25.000	1
48	of 's Nachts assentelcomputer-interlocking verbinding testen	1	€ 50.000	€ 50.000	1
49	Balises toevoegen				
50	(keuze) Wat is aanwezig?				
51	(eventueel) Nieuwe blokindeling maken	1	€ 50.000	€ 50.000	1
52	(eventueel) Balises aanschaffen	20	€ 500	€ 10.000	1
53	(eventueel) Balises (ver)plaatsen	50	€ 150	€ 7.500	1
54	SMB borden aanschaffen	160	€ 125	€ 20.000	1
55	SMB borden plaatsen	160	€ 100	€ 16.000	1
56	's Nachts nieuwe balises testen i.c.m. RBC software update	1	€ 10.000	€ 10.000	1
57	Omschakelmoment				
xx					
58	Interlocking aanpassen				
59	Oude relaishuizen ontmantelen en slopen	3	€ 15.000	€ 45.000	1
60	Seinen verwijderen				
61	Seinen verwijderen	70	€ 1.000	€ 70.000	1
62	Kabels verwijderen	70	€ 250	€ 17.500	1
63	Relaiskasten verwijderen	15	€ 1.000	€ 15.000	1
64	Objectcontrollers verwijderen	70	€ 250	€ 17.500	1
65	ATB signaal verwijderen				
66	Kabels verwijderen	90	€ 250	€ 22.500	1
67	Relaiskasten verwijderen	0	€ 1.000	€ 0	1
68	Objectcontrollers verwijderen	90	€ 250	€ 22.500	1
69	Spoorstroomlopen verwijderen				
70	Kabels verwijderen	90	€ 250	€ 22.500	1
71	Relaiskasten verwijderen	0	€ 1.000	€ 0	1
72	ES lassen verwijderen	100	€ 3.500	€ 350.000	1
73	Objectcontrollers verwijderen	90	€ 250	€ 22.500	1
74	EIND				

Ombouwkosten ombouwstap Huidige situatie - Level 2

Ombouwstap	Huidige situatie --> Level 2	Aantal	Kosten per stuk	Kosten totaal	Doorlooptijd (kwartalen)
1	START				
2	RBC toevoegen				
3	parallel				
4	(keuze) Al een RBC gereserveerd?				
5	(eventueel) Nieuwe RBC aanschaffen en neerzetten	1	€ 500.000	€ 500.000	1
6	RBC programmeren	1	€ 500.000	€ 500.000	1
7	parallel				
8	(keuze) Interface aansluitende RBC's nodig?				
9	(eventueel) Ontwikkelen interface aansluitende RBC's	1	€ 250.000	€ 250.000	1
10	Aansluiten	1	€ 15.000	€ 15.000	1
11	Interlocking aanpassen				
12	(keuze) Al een interlocking gereserveerd?				
13	(eventueel) Nieuw systeemhuis bouwen of in centrale ruimte bij verkeersleiding	1	€ 100.000	€ 100.000	1
14	(eventueel) Nieuwe ERTMS interlocking aanschaffen en neerzetten	1	€ 500.000	€ 500.000	1
15	Interlocking voor nieuw gebied programmeren	1	€ 100.000	€ 100.000	1
16	Nieuwe, deels tijdelijke, objectcontrollerhuizen bouwen	3	€ 50.000	€ 150.000	1
17	(keuze) Type object controllers?				
18	(eventueel) Objectcontrollers aanschaffen				
19	- Wissels	28	€ 5.000	€ 140.000	1
20	- Assentellers	14	€ 5.000	€ 70.000	1
21	(eventueel) Objectcontrollers ontwikkelen en produceren				
22	- Wissels	28	€ 10.000	€ 280.000	1
23	- Assentellers	14	€ 10.000	€ 140.000	1
24	Voorbereiden kabels en leidingen			€ 0	1
25	Objectcontrollers aansluiten op interlocking en assentellers	42	€ 1.000	€ 42.000	1
26	Aanpassen VPT bedienlaag	1	€ 50.000	€ 50.000	1
27	Nieuwe elektronische interlocking aansluiten op VPT en RBC. Wissels aansluiten en seinen doven.	1	€ 75.000	€ 75.000	1
28	Assentellers toevoegen				
29	Nieuwe blokindeling maken	1	€ 50.000	€ 50.000	1
30	Assentelsystemen aanschaffen	160	€ 20.000	€ 3.200.000	1
31	Assentelsystemen plaatsen	160	€ 1.000	€ 160.000	1
32	Voorbereiden kabels en leidingen			€ 0	1
33	Assentellers aansluiten en testen	160	€ 1.000	€ 160.000	1
34	Centrale assentelcomputer schaduwtesten	14	€ 10.000	€ 140.000	1
35	Balises toevoegen				
36	Nieuwe blokindeling maken	1	€ 50.000	€ 50.000	1
37	Balises aanschaffen	160	€ 500	€ 80.000	1
38	Balises plaatsen	160	€ 150	€ 24.000	1
39	SMB borden aanschaffen	160	€ 125	€ 20.000	1
40	SMB borden plaatsen	160	€ 100	€ 16.000	1
41	GSM-R optimalisatie				
42	Systeemintegratietest				
43	Systeemintegratietest schaduwtest	1	€ 25.000	€ 25.000	1
44	ETCS in treinen installeren				
45	Omschakelmoment				
xx					
46	Interlocking aanpassen				
47	Oude relaishuizen ontmantelen en slopen	3	€ 15.000	€ 45.000	1
48	Seinen verwijderen				
49	Seinen verwijderen	70	€ 1.000	€ 70.000	1
50	Kabels verwijderen	70	€ 250	€ 17.500	1
51	Relaiskasten verwijderen	15	€ 1.000	€ 15.000	1
52	Objectcontrollers verwijderen	70	€ 250	€ 17.500	1
53	ATB signaal verwijderen				
54	Kabels verwijderen	90	€ 250	€ 22.500	1
55	Relaiskasten verwijderen	0	€ 1.000	€ 0	1
56	Objectcontrollers verwijderen	90	€ 250	€ 22.500	1
57	Spoorstroombalisen verwijderen				
58	Kabels verwijderen	90	€ 250	€ 22.500	1
59	Relaiskasten verwijderen	0	€ 1.000	€ 0	1
60	ES lassen verwijderen	100	€ 3.500	€ 350.000	1
61	Objectcontrollers verwijderen	90	€ 250	€ 22.500	1
62	EIND				

Ombouwkosten ombouwstap Huidige situatie - Level 3 btd

Ombouwstap	Huidige situatie --> Level 3 baangebonden treindetectie	Aantal	Kosten per stuk	Kosten totaal	Doorlooptijd (kwartalen)
Deelproces	Proces (Blokje)				
1	START				
2	RBC toevoegen				
3	parallel				
4	(keuze) Al een RBC gereserveerd?				
5	(eventueel) Nieuwe RBC aanschaffen en plaatsen	1	€ 500.000	€ 500.000	1
6	RBC programmeren	1	€ 500.000	€ 500.000	1
7	parallel				
8	(keuze) Interface aansluitende RBC's nodig?				
9	(eventueel) Ontwikkelen interface aansluitende RBC's	1	€ 250.000	€ 250.000	1
10	Aansluiten	1	€ 15.000	€ 15.000	1
11	Interlocking aanpassen				
12	(keuze) Al een interlocking gereserveerd?				
13	(eventueel) Nieuw systeemhuis bouwen of in centrale ruimte bij verkeersleiding	1	€ 100.000	€ 100.000	1
14	(eventueel) Nieuwe ERTMS interlocking aanschaffen en neerzetten	1	€ 500.000	€ 500.000	1
15	Interlocking voor ERTMS Level 3 btd programmeren	1	€ 100.000	€ 100.000	1
16	Nieuwe, deels tijdelijke, objectcontrollerhuizen bouwen	3	€ 50.000	€ 150.000	1
17	(keuze) Type object controllers?				
18	(eventueel) Objectcontrollers aanschaffen				
19	- Wissels	28	€ 5.000	€ 140.000	1
20	- Spoorstroomlopen	90	€ 5.000	€ 450.000	1
21	(eventueel) Objectcontrollers ontwikkelen en produceren				
22	- Wissels	28	€ 10.000	€ 280.000	1
23	- Spoorstroomlopen	90	€ 10.000	€ 900.000	1
24	Voorbereiden kabels en leidingen			€ 0	1
25	Objectcontrollers aansluiten op interlocking en spoorstroomlopen	118	€ 1.000	€ 118.000	1
26	Aanpassen VPT bedienlaag	1	€ 50.000	€ 50.000	1
27	Nieuwe interlocking aansluiten op VPT en RBC en wissel en spoorstroomloop objectcontrollers	1	€ 75.000	€ 75.000	1
28	Balises toevoegen				
29	Nieuwe virtuele blokdeling maken	1	€ 50.000	€ 50.000	1
30	Balises aanschaffen	100	€ 500	€ 50.000	1
31	Balises plaatsen	100	€ 150	€ 15.000	1
32	SMB borden aanschaffen	100	€ 125	€ 12.500	1
33	SMB borden plaatsen	100	€ 100	€ 10.000	1
34	GSM-R optimalisatie				
35	Systeemintegratietest				
36	Systeemintegratietest schaduwtest	1	€ 25.000	€ 25.000	1
37	ETCS in treinen installeren				
38	Omschakelmoment				
xx					
39	Interlocking aanpassen				
40	Oude relaishuizen ontmantelen en slopen	3	€ 15.000	€ 45.000	1
41	Seinen verwijderen				
42	Seinen verwijderen	70	€ 1.000	€ 70.000	1
43	Kabels verwijderen	70	€ 250	€ 17.500	1
44	Relaiskasten verwijderen	0	€ 1.000	€ 0	1
45	Objectcontrollers verwijderen	70	€ 250	€ 17.500	1
46	ATB signaal verwijderen				
47	Kabels verwijderen	90	€ 250	€ 22.500	1
48	Relaiskasten verwijderen	0	€ 1.000	€ 0	1
49	Objectcontrollers verwijderen	90	€ 250	€ 22.500	1
50	EIND				

Ombouwkosten ombouwstap Level 2 -> Level 3

Ombouwstap	Level 2 --> Level 3	Aantal	Kosten per stuk	Kosten totaal	Doorlooptijd (kwartalen)
1	START				
2	RBC aanpassen				
3	Buro engineering ERTMS Level 3 functionaliteit	1	€ 100.000	€ 100.000	1
4	Nieuwe software inladen	1	€ 7.500	€ 7.500	1
5	Interlocking aanpassen				
6	Nieuwe virtuele blokindeling maken	1	€ 50.000	€ 50.000	1
7	Buro engineering ERTMS Level 3 functionaliteit	1	€ 100.000	€ 100.000	1
8	's Nachts virtuele blokindeling testen	1	€ 5.000	€ 5.000	1
9	Aanpassen VPT bedienlaag	1	€ 50.000	€ 50.000	1
10	Nieuwe software inladen en assentellers ontkoppelen	1	€ 7.500	€ 7.500	1
11	Omschakelmoment				
xx					
12	Interlocking aanpassen				
13	Aantal object controller huizen slopen	3	€ 15.000	€ 45.000	1
14	Assentellers verwijderen				
15	Assentellers verwijderen	160	€ 500	€ 80.000	1
16	Kabels verwijderen	160	€ 250	€ 40.000	1
17	Aansluitkasten verwijderen	10	€ 500	€ 5.000	1
18	Objectcontrollers verwijderen	160	€ 250	€ 40.000	1
19	EIND				

Ombouwkosten ombouwstap Level 3 btd - Level 3

Ombouwstap	Level 3 baangebonden treindetectie --> Level 3	Aantal	Kosten per stuk	Kosten totaal	Doorlooptijd (kwartalen)
1	START				
2	RBC aanpassen				
3	Buro engineering ERTMS Level 3 functionaliteit	1	€ 100.000	€ 100.000	1
4	Nieuwe software inladen	1	€ 7.500	€ 7.500	1
5	Interlocking aanpassen				
6	Buro engineering ERTMS Level 3 functionaliteit	1	€ 100.000	€ 100.000	1
7	's Nachts nieuwe software testen	1	€ 5.000	€ 5.000	1
8	Aanpassen VPT bedienlaag	1	€ 50.000	€ 50.000	1
9	Nieuwe software inladen en spoorstroomlopen ontkoppelen	1	€ 7.500	€ 7.500	1
10	Omschakelmoment				
xx					
11	Interlocking aanpassen				
12	Aantal object controller huizen slopen	3	€ 15.000	€ 45.000	1
13	Spoorstroomlopen verwijderen				
14	Kabels verwijderen	90	€ 250	€ 22.500	1
15	Relaiskasten verwijderen	15	€ 1.000	€ 15.000	1
16	ES lassen verwijderen	100	€ 3.500	€ 350.000	1
17	Objectcontrollers verwijderen	90	€ 250	€ 22.500	1
18	EIND				

Ombouwkosten ETCS in treinen installeren

Ombouwstap	ETCS	Aantal	Kosten per stuk	Kosten totaal	Doorlooptijd (kwartalen)
1	START				
2	Toevoegen ETCS in treinen				
3	(keuze) Variant				
4	(of) Zonder STM				
5	ETCS plaatsen in test trein	4	€ 0	€ 0	1
6	Testen communicatie met RBC van relevante fabrikanten	4	€ 0	€ 0	1
7	ETCS trein systeem aanschaffen	100	€ 400.000	€ 40.000.000	12
8	ETCS plaatsen in alle treinen	100	€ 0	€ 0	2
9	(of) Met STM				
10	ETCS met STM plaatsen in test trein	4	€ 0	€ 0	0
11	Testen communicatie met RBC van relevante fabrikanten	4	€ 0	€ 0	0
12	ETCS met STM trein systeem aanschaffen	100	€ 500.000	€ 50.000.000	12
13	ETCS met STM plaatsen in alle treinen	100	€ 0	€ 0	0
14	Systeemintegratietest				
15	Integratie test trein-baan per trein en systeemcombinatie	100		€ 0	1
16	EIND				

Bijlage 6

Rijtijdwinstberekeningen

Huidige dienstregeling												
Dienstregering		Reistijd			Systeem		Gewogen gemiddelde		Winst	VOT	Winst	
Treinserie	Frequentie (per uur)	Huidig (sec.)	ERTMS (sec.)			sec.	uren	In uren t.o.v. huidig	Euro's per uur	Per reiziger per dag	Per reiziger per jaar	
IC Vs-Asdz-Asd-Lls	2	684	672			ATB-NS'54	903,51105	0,2509753	0	€ 7,75	€ -	€ -
IC Gvc-Asdz-Alm-Gn/Lw	2	684	672			ERTMS	887,5491	0,2465414	0,00443	€ 7,75	€ 0,0344	€ 10,72
SPR Asd-Zl	2	1107	1103									
SPR Hfd-Asdz-Almo	2	1153	1124									
SPR Ut-Almo	2	1153	1124									
4/4/2/2 zonder inhaling												
Dienstregering		Reistijd			Systeem		Gewogen gemiddelde		Winst	VOT	Winst	
Treinserie	Frequentie (per uur)	Huidig (sec.)	ERTMS (sec.)			sec.	uren	In uren t.o.v. huidig	Euro's per uur	Per reiziger per dag	Per reiziger per jaar	
IC Asd-Alm	2	409	377			ATB-NS'54	693,93042	0,1927584	0	€ 7,75	€ -	€ -
IC Asd-Alm	2	409	377			ERTMS	672,62514	0,1868403	0,00592	€ 7,75	€ 0,0459	€ 14,31
IC Gvc-Asdz-Alm-Gn	2	684	672									
IC Gvc-Asdz-Alm-Lls	2	684	672									
SPR Ut-Alm	2	610	586									
SPR Hfd-Asdz-Zl	2	1107	1103									
SPR Hfd-Asdz-Almo	2	1153	1124									
4/4/2/2 met inhaling												
Dienstregering		Reistijd			Systeem		Gewogen gemiddelde		Winst	VOT	Winst	
Treinserie	Frequentie (per uur)	Huidig (sec.)	ERTMS L2o (sec.)	ERTMS L2 (sec.)	ERTMS L3 (sec.)	sec.	uren	In uren t.o.v. huidig	Euro's per uur	Per reiziger per dag	Per reiziger per jaar	
IC Asd-Alm	2	409	377	377	377	ATB-NS'54	813,52637	0,2259795	0	€ 7,75	€ -	€ -
IC Asd-Alm	2	409	377	377	377	ERTMS L2o	783,2514	0,2175698	0,00841	€ 7,75	€ 0,0652	€ 20,33
IC Gvc-Asdz-Alm-Gn	2	684	672	672	672	ERTMS L2	767,80359	0,2132788	0,0127	€ 7,75	€ 0,0984	€ 30,71
IC Gvc-Asdz-Alm-Lls	2	684	672	672	672	ERTMS L3	757,33895	0,2103719	0,01561	€ 7,75	€ 0,1210	€ 37,74
SPR Ut-Alm	2	610	586	586	586							
SPR Hfd-Asdz-Zl	2	1587	1547	1485	1443							
SPR Hfd-Asdz-Almo	2	1633	1568	1506	1464							
6/6/6 zonder inhaling												
Dienstregering		Reistijd			Systeem		Gewogen gemiddelde		Winst	VOT	Winst	
Treinserie	Frequentie (per uur)	Huidig (sec.)	ERTMS (sec.)			sec.	uren	In uren t.o.v. huidig	Euro's per uur	Per reiziger per dag	Per reiziger per jaar	
IC Asd-Alm	2	409	377			ATB-NS'54	735,2254	0,2042293	0	€ 7,75	€ -	€ -
IC Asd-Alm	2	409	377			ERTMS	714,66526	0,1985181	0,00571	€ 7,75	€ 0,0443	€ 13,81
IC Gvc-Asdz-Alm-Gn	2	684	672									
IC Gvc-Asdz-Alm-Lls	2	684	672									
IC Ut-Alm	2	610	586									
SPR Hfd-Asdz-Zl	2	1107	1103									
SPR Hfd-Asdz-Almo	2	1153	1124									
SPR Hfd-Asdz-Almo	2	1153	1124									
6/6/6 met inhaling												
Dienstregering		Reistijd			Systeem		Gewogen gemiddelde		Winst	VOT	Winst	
Treinserie	Frequentie (per uur)	Huidig (sec.)	ERTMS L2o (sec.)	ERTMS L2 (sec.)	ERTMS L3 (sec.)	sec.	uren	In uren t.o.v. huidig	Euro's per uur	Per reiziger per dag	Per reiziger per jaar	
IC Asd-Alm	2	409	377	377	377	ATB-NS'54	876,84609	0,2435684	0	€ 7,75	€ -	€ -
IC Asd-Alm	2	409	377	377	377	ERTMS L2o	847,88394	0,2355233	0,00805	€ 7,75	€ 0,0623	€ 19,45
IC Gvc-Asdz-Alm-Gn	2	684	672	672	672	ERTMS L2	826,87889	0,2296886	0,01388	€ 7,75	€ 0,1076	€ 33,56
IC Gvc-Asdz-Alm-Lls	2	684	672	672	672	ERTMS L3	817,07653	0,2269657	0,0166	€ 7,75	€ 0,1287	€ 40,15
IC Gvc-Asdz-Alm-Lls	2	684	672	672	672							
IC Ut-Alm	2	610	586	586	586							
SPR Hfd-Asdz-Zl	2	1587	1547	1485	1443							
SPR Hfd-Asdz-Almo	2	1633	1568	1506	1464							
SPR Hfd-Asdz-Almo	2	1710	1663	1562	1541							

Bijlage 7 Data landelijke toepassing

Tabel 23 bevat de vuistregels aan de hand waarvan tabel 24 is ingevuld.

Tabel 23: Gehanteerde vuistregels bij maken schattingen in hoofdstuk 9.

Item	Referentie
RBC	1 per onderzochte lijn
ERTMS interlocking	1 per onderzochte lijn
Systeemhuizen	1 per station of emplacement en 2 voor grote stations
Wissels	Bestaand aantal
Seinen	Bestaand aantal
Spoorstroomlopen	Gelijk aan aantal bestaande secties
ATB signaal	Gelijk aan aantal bestaande secties
Assentellers	Lijn: Totaal aantal m spoor / 400 m Knpt: Gelijk aan aantal bestaande secties
Centrale assentelcomputer	1 per 12 assentellers
Totaal objectcontrollers	Per ombouwstap optellen
Balises aanschaffen per sein	Aantal seinen x2
Balises aanschaffen nieuwe blokindeling	Lijn: Totaal aantal m spoor / 400 m Knpt: Gelijk aan aantal bestaande secties
Kosten programmeren e.d.	Schatting aan de hand van de OV SAAL casus
Kosten ontwikkelingen	Project onafhankelijk, per project één keer
Kosten versperring	Schatting aan de hand van de baanvakbelasting

Tabel 24: Gehanteerde aantallen na toepassen vuistregels op de betreffende spoorlijnen, zie hoofdstuk 9.

Item	Berekende aantallen						Vergelijk Almere
	Regio - lijn	Regio - knpt	Randstad - lijn	Randstad - knpt	Int. corri- dor - lijn	Int. corri- dor - knpt	
RBC	0	1	0	1	0	1	1
ERTMS interlocking	0	1	0	1	0	1	1
Systeemhuizen	0	2	2	6	3	4	3
Wissels	16	37	29	171	59	171	28
Seinen	38	39	136	159	140	235	70
Spoorstroomlopen	n.v.t.	50	220	224	239	246	90
ATB signaal	55	50	220	224	239	246	90
Assentellers	55	50	258	224	264	246	160
Centrale assentelcomputer	5	5	22	19	22	21	14
Totaal objectcontrollers							
Balises aanschaffen per sein	76	78	272	318	280	469	140
Balises aanschaffen nieuwe blokindeling	n.v.t. → 55	50	258	224	264	246	160
Kosten programmeren e.d.	x 0	x 1	x 1	x 4	x 1	x 4	x 1
Kosten ontwikkelingen	x 0	x 1	x 0	x 1	x 0	x 1	x 1
Kosten versperring	€ 1.000	€ 1.000	€ 20.000	€ 20.000	€ 10.000	€ 10.000	€ 16.816