



ATO verkenning Betuweroute Eindrapportage

ProRail

Verbindt. Verbetert. Verduurzaamt.

Documentgegevens	
Eigenaar	Rik van den Band
Auteurs	Siebe Hoekstra Dick Middelkoop Douwe de Vries Alfons Schaafsma Maarten Bartholomeus Julia Burggraaf Jelle van Luipen Jeroen Workum Thijs Assies Rik van den Band Tijl Hesselmann Johanna Knijff
Kenmerk	P20160080-523759942-1554
Versie	1.0
Datum	21-07-2020
Onderwerp	ATO verkenning Betuweroute Eindrapportage
Status van het document	Definitief

Voorwoord

Bij ProRail kijken we altijd vooruit. Want we willen niet alleen vandaag mensen, steden en bedrijven met elkaar verbinden, maar ook morgen. Met slimme ideeën en innovatieve oplossingen werken we aan een spoor dat klaar is voor de toekomst.

Dat is een enorme uitdaging, want we verwachten dat in 2040 het reizigers- en goederenvervoer met een derde zal zijn gestegen.

Daar komt bij: we willen beter, zodat iedereen straks (nog) sneller, efficiënter, comfortabeler en makkelijker kan reizen. En we willen dat het goederenvervoer (nog) sneller, efficiënter en makkelijker te regelen is. Bovendien staat duurzaamheid centraal: juist de spoorsector kan zorgen voor mobiliteit binnen een gezonde en leefbare omgeving.

Beter, meer en duurzamer: die ambities kunnen we alleen realiseren als we openstaan voor nieuwe ontwikkelingen en andere werkwijzen. Als we snel en flexibel inspelen op vragen uit de samenleving. Als we slimme oplossingen bedenken en 'out-of-the-box' denken. Kortom, als we innoveren.

Nieuwe technologie kan ons helpen onze ambities te realiseren. Een daarvan is Automatic Train Operation, ofwel ATO. ATO, Grade of Automation 2, neemt een deel van taken van de machinist over en stuurt het rijgedrag zodanig dat optimaal gebruik wordt gemaakt van het spoor. Dat betekent meer capaciteit op het spoor, zuiniger en veiliger rijden en hogere punctualiteit. In verschillende Europese landen voeren vervoerders momenteel testen uit met ATO. ProRail is daar in 2018 mee gestart, met het doel om het systeem uiteindelijk geschikt te maken voor de specifieke omstandigheden op het Nederlandse spoor.

Dit rapport is een verslag van deze eerste verkenning van de mogelijkheden van ATO. Dankzij de vruchtbare samenwerking met onze partners Alstom en Rotterdam Rail Feeding, hebben we voor Nederland unieke testen kunnen uitvoeren met deze veelbelovende technologie. De verkenning heeft veel nieuwe inzichten en aanbevelingen opgeleverd, waarmee we in de nabije toekomst concreet kunnen gaan werken aan deze vorm van innovatie. Met als stip aan de horizon: het Nederlandse spoor maken tot het slimste en meest innovatieve spoorstelsel ter wereld, dat onze 'urban delta' mobiel en leefbaar houdt.

Johanna Knijff
Programmamanager Automatic Train Operation

Leeswijzer

De managementsamenvatting is een kort overzicht van de doelstellingen, opzet en bevindingen van de verkenning.

In hoofdstuk 1 bevat basisinformatie over de verkenning, zoals de gebruikte technologie Automatic Train Operation (ATO), de opzet van de verkenning en de partners.

De hoofdstukken 2 t/m 6 zijn complete, op zichzelf staande verslagen of rapporten van de afzonderlijke onderdelen van de verkenning, met per onderdeel de daaruit volgende conclusies en aanbevelingen.

Een overzicht van conclusies en aanbevelingen uit alle onderdelen van de verkenning is te vinden in hoofdstuk 7. Ten slotte is er een sectie met bijlagen.

Inhoud

Voorwoord	3
Leeswijzer	4
Inhoud	5
Managementsamenvatting	7
Aanleiding voor de verkenning	7
Wat is ATO	7
Onderzoeksvragen	7
Partners	7
Aanpak	8
Samenvatting van de uitvoering en bevindingen per onderdeel.	8
1 Achtergrond, doel en opzet van de verkenning	12
1.1 Aanleiding	12
1.2 Wat is ATO	12
1.3 Doel van de verkenning	14
1.4 Opzet van de verkenning: Live, Virtual, Constructive	14
1.5 Betrokken partijen	15
2 Verslag en resultaten van het Live-onderzoek (praktijkproef)	18
2.1 Inleiding	18
2.2 Testopzet en inhoud	18
2.2.1 Testopzet	18
2.2.2 Totstandkoming testinhoud	19
2.3 Opzet van de analyse	21
2.4 Resultaten	23
2.4.1 Testuitvoering en data-analyse	23
2.4.2 Testresultaten	24
2.5 Conclusies	26
2.6 Aanbevelingen	28
3 Verslag en resultaten van het Virtual en human factors onderzoek	30
3.1 Virtual testen	30
3.2 Human factors	30
3.3 Conclusie Human Factors	31
3.4 Aanbevelingen voor vervolgonderzoek	31
4 Verslag en resultaten van het Constructive-onderzoek	32
4.1 Inleiding	32
4.2 Onderzoeksvraag en afbakening	32
4.3 Opzet simulaties	34
4.3.1 Simulatiesoftware FRISO	34
4.3.2 Remodelled	35
4.3.3 Geografie	38
4.3.4 Infrastructuur	38
4.3.5 Dienstregeling	38
4.3.6 Rijweginstelling	39
4.3.7 Materieelkarakteristieken	39
4.3.8 Gebruikte realisatiedata	39
4.3.9 Verstoringen	40
4.3.10 Inschatting validiteit simulaties	40
4.4 Resultaten simulaties	41
4.4.1 Vergelijking aankomstvertragingen zonder dienstregelingcompressie	41
4.4.2 Vergelijking aankomstvertragingen met ook dienstregelingcompressie	46
4.4.3 Vergelijking punctualiteit	47
4.4.4 Vergelijking planafwijking	50

4.4.5	Vergelijking ongeplande stops	52
4.4.6	Toepasbaarheid simulatie	53
4.5	Conclusies	54
4.5.1	Validiteit simulaties	54
4.5.2	Effecten van varianten	54
4.5.3	Samenvatting conclusies	55
4.6	Aanbevelingen	55
4.7	Mogelijk vervolgonderzoek	56
5	Verkenning ICT studie	57
5.1	Inleiding	57
5.2	Geschiedenis van ATO-onderzoek	57
5.3	Automatische Treinbesturing (ATO)	58
5.3.1	Inleiding tot het concept van ATO	58
5.3.2	Grote voordelen voor ProRail	59
5.3.3	Vereiste informatie voor ATO	60
5.4	Architectuur van de ATO-Technologie	61
5.4.1	Verantwoordelijkheden	63
5.5	Bestek van het onderzoek	63
5.5.1	Aannames	64
5.5.2	Buiten het bestek	65
5.5.3	Gerelateerde onderwerpen	65
5.6	Resultaten	66
5.6.1	Workflow van de adapter	67
5.6.2	Nieuwe concepten	68
5.6.3	Uitdagingen	69
5.7	Aanbevelingen / Vervolgstappen	74
6	Reportage demonstratierit en media-event	76
6.1	Het evenement	76
7	Overzicht van de belangrijkste conclusies en aanbevelingen	80
7.1	Algemeen	80
7.1.1	Conclusie Live test	80
7.1.2	Conclusie Human Factors	80
7.1.3	Conclusie Constructive simulaties	81
7.1.4	Conclusie Demonstratierit	81
7.1.5	Evaluatiebijeenkomst live testen	81
7.2	Overall conclusie	82
7.3	Aanbevelingen voor vervolgonderzoek	82
7.3.1	Aanbevelingen Live test	82
7.3.2	Aanbevelingen Human factors	83
7.3.3	Aanbevelingen Constructive	84
7.3.4	Aanbevelingen ICT Studie	84
	Bijlage I Overzicht van onderzoeksvragen	86
	Bijlage II Testresultaten Live per testscenario	88
	Bijlage III Simulaties	102
	A: Urenschema voor goederentreinen	102
	B: Vergelijking Agent simulatie met realisatiedata	103
	C: Beknopte beschrijving van de gesimuleerde varianten	108
	D: Gebruikte softwareversies en verbeteringen t.o.v. TOL studies 2017	108
	Bijlage IV: Annexen ICT studie	110
	Annex I: Abbreviations	110
	Annex II: Detailed study with Alstom	111
	Annex III: Technical Details	116
	Bijlage V: Uitkomsten evaluatiebijeenkomst	117

Managementsamenvatting

Aanleiding voor de verkenning

De verwachting is dat het vervoer per spoor de komende 15 tot 20 jaar fors zal blijven groeien. De prognose is dat bevolkingsgroei en toegenomen reizigerskilometers de mobiliteitsbehoefte met ca. 30 procent zullen doen stijgen. Geld voor uitbreiding van infrastructuur is er maar in beperkte mate. De spoorcapaciteit staat daarmee onder grote druk.

Voor ProRail betekent dat de grote uitdaging om meer treinen over het bestaande spoor te laten rijden.

Er zijn diverse innovatieve ontwikkelingen die daar perspectieven voor bieden. Eén daarvan is geautomatiseerd rijden (Automatic Train Operation, ofwel ATO).

Doel van deze verkenning is om de technische voorwaarden, mogelijkheden en effecten van ATO te verkennen. ProRail wil daarbij meerwaarde toevoegen aan bij testervaringen die al in het buitenland met ATO zijn opgedaan of nog gaande zijn.

Wat is ATO

ATO is een technologie die geautomatiseerd rijden op het spoor mogelijk maakt. Het ATO-systeem ondersteunt de machinist (en conducteur) en neemt taken van hen over. De handelingen die de machinist uitvoert kunnen, afhankelijk van het niveau van automatisering, voor een deel of volledig geautomatiseerd worden. In deze verkenning is het tweede niveau van automatisering getest. Dat houdt in dat het systeem het remmen en de tractie aanstuurt en de machinist en conducteur de overige taken uitvoeren. Dit niveau is vergelijkbaar met de automatische piloot in een vliegtuig.

Een ATO-systeem bestaat uit een on-board en eventueel een track-side unit. De ATO-OnBoard zit in de trein geïntegreerd en haalt data uit de boordcomputer en/of ETCS On-Board (zoals locatie, snelheid, rijtoestemming). Aan de hand van deze data kan de ATO-OnBoard de ideale snelheid, rem- en acceleratiecurve berekenen en kan het tractie- en remcommando's versturen.

ATO heeft de potentie om de spoorcapaciteit efficiënter te benutten. Door nauwkeuriger te rijden wordt de spreiding in de uitvoering van de treindienst verminderd. Treinen kunnen dichter op elkaar en met een hogere punctualiteit rijden, zodat lokale knelpunten kunnen worden opgelost en het spoor meer treinen tegelijk aankan. Ook kan met ATO energie bespaard worden omdat het mogelijk is om optrekken, snelheid en remmen optimaal in te stellen. Daarnaast biedt ATO kansen om de betrouwbaarheid en de veiligheid van het vervoer per spoor verder te verbeteren.

Onderzoeksvragen

De verkenning is bedoeld om een groot aantal vragen te beantwoorden die zicht moeten bieden op de mogelijkheden, belemmeringen, toepasbaarheid en meerwaarde van ATO. Voorbeelden zijn:

- De mate waarin ATO aansluit bij bestaande technische systemen, zoals VPT
- De werkzaamheid van ATO in tunnels
- De mate waarin de inframanager de trein kan beïnvloeden onder ATO
- De perspectieven van ATO voor de groei van het goederenvervoer per spoor
- Wat de winst is van ATO in termen van punctualiteit

Partners

Het onderzoek is door initiatiefnemer ProRail uitgevoerd in samenwerking met de volgende partijen:

- Rotterdam Rail Feeding (RRF), de goederenvervoerder waarmee de testritten zijn uitgevoerd

- Alstom, leverancier van de technologie
- VolkerRail, voor de (in)bouw van de apparatuur
- TÜV SÜD Nederland, voor toetsing aan wettelijke kaders en certificering
- Inspectie Leefomgeving en Transport, voor het verlenen van ontheffingen en vergunningen.

Aanpak

ProRail heeft de verkenning uitgevoerd volgens de innovatieve aanpak Live, Virtual, Constructive (LVC). Live houdt in dat mensen opereren in een realistische omgeving, virtual betekent dat mensen taken uitvoeren in een gesimuleerde omgeving en constructive wil zeggen dat aan de hand van modellen de realiteit wordt nagebootst. In het onderzoek is dit als volgt uitgewerkt:

- Live: proefritten met ATO op het traject Waalhaven Zuid en de Betuweroute. Gereden werd volgens GOA-2, de tweede graad van automatisering, wat betekent dat automatisch wordt gereden maar de machinist verantwoordelijk blijft voor de veiligheid
- Virtual/human factors: door middel van de NEO-cabinesimulator; hier werd met name ook gekeken naar de interactie mens-machine
- Constructive: door de effecten van ATO te onderzoeken met de FRISO-simulator.

De bevindingen uit deze drie modaliteiten hebben tezamen input gegeven aan de uiteindelijke conclusies en aanbevelingen. Daarnaast is onderzocht aan welke eisen de onderliggende ICT-infrastructuur moet voldoen.

Omdat het om een voor het Nederlandse spoor belangrijke en unieke vernieuwing gaat, is een media event georganiseerd, waarbij de minister van Infrastructuur Cora van Nieuwenhuizen meereed op de locomotief tijdens een van de testritten. Ook vertegenwoordigers van de spoorbranche en pers konden tijdens dit event kennismaken met ATO en de maatschappelijke betekenis van deze veelbelovende innovatie. De proefritten en simulaties werden eind 2018 uitgevoerd na een voorbereidingsperiode van een jaar.

Hoofdstuk 1 bevat een gedetailleerde beschrijving van de achtergronden, doelstellingen en opzet van de verkenning.

Samenvatting van de uitvoering en bevindingen per onderdeel.

Live

Eind 2018 hebben ProRail, Alstom en RRF de ATO-proeven op het spoor uitgevoerd en konden bijna alle testscenario's worden beproefd. Dit heeft een schat aan informatie opgeleverd over de techniek, de functionele aspecten en de kwaliteit van het rijgedrag van de geteste ATO en locomotiefcombinatie. In grote lijnen kan gesteld worden dat de basisfuncties van ATO allemaal naar behoren werkten. De trein probeerde de gestelde tijdvensters te halen en probeerde op de gestelde plekken tot stilstand te komen. Daarnaast probeerde de trein onder de ERTMS-veilige curve te blijven ook als die onverwacht slechter is, zoals bijvoorbeeld bij een verlate rijweginstelling.

Aan de ATO-proef is met veel inzet en enthousiasme gewerkt door de mensen van Alstom, RRF en ProRail. De conclusie is dat het mogelijk is gebleken om een bestaande BR203 locomotief met ATO uit te rusten en op een veilige manier ATO te testen. Daarmee zijn de eerste ritten onder ATO op Nederlands grondgebied een feit.

De Betuweroute bleek een goed testgebied te zijn voor het testen van ATO over ETCS. Het is een complexe omgeving waarin veel verschillende situaties getest kunnen worden. Een nadeel is dat de Betuweroute geen normale treinvrije periodes kent, dus moest tussen de commerciële treinen door getest worden. Hierdoor was er minder ruimte voor bijzondere testen en moest er continu gelet worden op het voorkomen van treinhinder.

De voor de test gebruikte locomotief van RRF was een wat oudere BR203 diesel-hydraulische locomotief. De keuze voor deze locomotief was gebaseerd op de basis vloot van testpartner RFF. De door Alstom gereviseerde en met onboard ETCS beschikbare BR203 was de meest logische keuze op dat moment. Dit maakte dat de besturing van de locomotief lastiger is dan een elektrische locomotief, vanwege tragere reacties en het niet lineaire tractie verloop. Daardoor was het rijden onder ATO een stuk uitdagender. Dit meewegende is de prestatie zeer indrukwekkend.

De daadwerkelijke besturing van de tractie en remmen door ATO was in de proef nog niet op het niveau van gelijkmatigheid, consistentie en precisie die nodig zijn voor een eventuele uitrol. Gedurende de testperiode heeft het systeem wel laten zien dat het deze potentie heeft. Er is wel meerdere keren nauwkeurig gestopt maar niet consistent, het rijprofiel was op punten zeer nauwkeurig en gelijkmatig maar ook niet consistent over alle ritten. Dit is een punt van aandacht bij de verdere ontwikkeling. De verschillen tussen resultaten van dezelfde scenario's op verschillende locaties en in verschillende dienstregeling duidt op invloeden van de infrastructuur ter plaatse en/of de gebruikte dienstregeling op de prestaties van ATO.

Het ligt in de lijn der verwachting dat ATO met verdere ontwikkeling prima in staat moet zijn om ook met een locomotief als een BR203 consistent, gelijkmatig en nauwkeurig genoeg te rijden voor een commerciële operatie. Welk niveau uiteindelijk gehaald kan worden is niet op te maken uit deze test.

De testresultaten wijzen uit dat ATO de potentie heeft om een bijdrage te leveren aan de voor ProRail broodnodige capaciteitsverbetering. Het beproeven van ATO heeft in korte tijd veel inzichten opgeleverd en heeft de ontwikkeling van ATO een boost gegeven en snel duidelijkheid gegeven over de effecten en ontwerpkeuzes.

Deze aanpak leert dat het ook bij andere techniekinnovaties en ontwikkelingen nuttig kan zijn om in een vroeg stadium al te testen. Hierdoor wordt snel veel geleerd over de betreffende innovatie of ontwikkeling en worden deze zichtbaar binnen en buiten ProRail.

Hoofdstuk 2 bevat een gedetailleerde beschrijving van de opzet, resultaten en aanbevelingen van dit deel van de verkenning.

Virtual en human factors

Dit deel van het onderzoek was gericht op de deugdelijkheid van de techniek van ATO en de ergonomische kanten daarvan. Om daarvan een eerste beeld te vormen is de testmachinisten gevraagd naar onder meer hun ervaringen, tevredenheid en invloed op hun rijgedrag.

Omdat het ATO-systeem dat gebruikt werd tijdens deze test zich nog in de ontwikkelingsfase bevond kon het nog niet gekoppeld worden aan de simulatieomgeving. Voor deze allereerste ATO-proef in Nederland is daardoor slechts een beperkt onderzoek uitgevoerd naar de effecten en het gedrag van het ATO-systeem op de werkzaamheden van de machinist. Wel was het mogelijk om een ATO-systeem te simuleren en hiermee over de Betuweroute te rijden.

Hoewel op basis van dit beperkte virtuele deel van het onderzoek nog geen echte conclusies te trekken zijn, geven de antwoorden en ervaringen van de machinisten wel een eerste impressie van de impact die ATO kan hebben op de werkzaamheden van de machinist.

Hieruit kwam onder meer naar voren dat ATO een positieve invloed heeft op de alertheid van de ondervraagde machinisten. Zij waren ook tevreden over het verloop van de testen. Vervolgonderzoek is nodig waarbij ATO wordt aangesloten op de NEO-simulator, om meer zicht te krijgen de werking van ATO en specifieke aspecten te onderzoeken zoals anticiperen op ETCS-remopdrachten, gelijkmatig rijden en de effecten van ATO op het gedrag van de machinist.

Hoofdstuk 3 bevat een korte beschrijving van de opzet, resultaten en aanbevelingen van dit deel van de verkenning.

Constructive

Dit deel van de verkenning bestaat uit een dienstregelingssimulatie waarmee het potentieel van rijden met behulp van ATO in beeld is gebracht. De onderzochte ATO-varianten gaan uit van automatisch rijden als ondersteunende 'cruise control' voor de machinist. De verwachting is dat door nauwkeurig volgens plan te kunnen rijden, de spreiding die optreedt in de dagelijkse operatie verminderd kan worden.

Om dit te onderzoeken is met behulp van FRISO een simulatie gemaakt van het treinverkeer op de Betuweroute. Hierbij is in- en uitvoegend verkeer op de drukke reizigerscorridor Utrecht-Den Bosch ("A2") meegenomen. Als basissituatie is een model gemaakt van de dienstregeling van 2019. Het goederenverkeer op de Betuweroute is aangevuld met extra treinen om een drukke situatie te creëren. Deze situatie werd blootgesteld aan een (stochastisch) verstoringsscenario en vergeleken met een aantal ATO-scenario's.

Een model van realistisch rijgedrag van machinisten die niet rijden met technische ondersteuning (machinist-Agent), is vergeleken met een situatie waarin elke trein rijdt met ATO-gedrag. In dit scenario ("ATO") probeerde elke trein de effecten van de geïntroduceerde verstoringen zo klein mogelijk te maken door de afwijking ten opzichte van de geplande tijden uit de dienstregeling te minimaliseren. Elke trein optimaliseert zo zijn eigen prestatie. Om ook de prestatie over alle treinen te optimaliseren is een derde scenario ("ATO + TMS") gedefinieerd. Hierin is een verkeersmanagementsysteem (TMS) actief dat conflicten tussen treinen tijdig signaleert en deze waar nodig oplost door dynamisch te herplannen, eventueel volgordewisseling toe te passen en adviessnelheden naar elke trein te communiceren.

Om het effect op de capaciteit te toetsen is ervoor gekozen de treinenmix gelijk te houden en te onderzoeken of deze in minder tijd is uit te voeren. De dienstregeling wordt als het ware gecomprimeerd. Een variant die bij hoge compressie nog steeds goede resultaten oplevert, bevat meer ruimte, bijv. voor het toevoegen van extra treinen.

De scenario's waarin ATO-rijgedrag is toegepast laten een drastische reductie van de spreiding ten opzichte van het basisscenario zien. Over de gehele lijn is een grote verbetering te zien van ATO of TMS+ATO ten opzichte van huidig rijgedrag (machinist-Agent), zonder ondersteuning van rijadviessystemen. De punctualiteit kan in belangrijke mate worden verhoogd en het aantal ongeplande stops (veiligheid en commercieel belang) kan aanzienlijk gereduceerd worden. Dit is een gevolg van de prestatieverbetering (minder afwijking t.o.v. de geplande tijden). Het effect op duurzaamheid in de vorm van energieverbruik kan slechts indicatief worden bepaald, hiervoor is aanvullende modellering van het tractie-energiesysteem nodig.

Mogelijk kunnen door toepassing van ATO en/of TMS buffers verkleind worden en is de capaciteit te verhogen zonder een verslechtering ten opzichte van de huidige situatie.

Zonder compressie van de dienstregeling presteert TMS+ATO vergelijkbaar met ATO. Met compressie van de dienstregeling presteert TMS+ATO beter dan ATO op het voorkomen van ongeplande stops en het reduceren van vertragingen. Dit betekent dat toepassing van TMS belangrijker wordt voor een goede afhandeling van het treinverkeer als het systeem voller wordt (bij verdere verhoging van het aantal treinen per uur).

Hoofdstuk 4 bevat een gedetailleerde beschrijving van de opzet, resultaten en aanbevelingen van dit deel van de verkenning.

ICT-studie

Doel van dit deel van het onderzoek was om te bepalen wat de benodigde data voor ATO moesten zijn, hoe de interface tussen ATO-TrackSide en ProRail eruit moest zien, welke technologie daarvoor beschikbaar is en welke lacunes zo nodig moeten worden ingevuld.

De verkenning heeft een aantal specifieke vragen opgeleverd aan de hand waarvan kan worden bepaald welke ICT-oplossingen nodig zijn om ATO adequaat te laten functioneren. Ook is meer zicht gekomen op

de aard en kwaliteit van de voor ATO benodigde configuratie van de infrastructuur en de bijbehorende concepten. Aanbevolen wordt de business case voor ATO verder uit te werken. Synergie met een ander en vergelijkbaar systeem, DAS, is wellicht ook mogelijk.

Hoofdstuk 5 bevat een gedetailleerde beschrijving van op opzet en uitkomsten en aanbevelingen van dit deel van de verkenning.

Demonstratie en media event

De demonstratierit en de bijbehorende media-aandacht heeft het onderwerp ATO op de kaart gezet als een ontwikkeling die al zover is dat er al met echte ATO-systemen getest kan worden. De reacties op de proeven geven aan dat hierdoor verschillende partijen in de spoorsector ATO serieus zijn gaan nemen als een ontwikkeling die de komende jaren gebruikt kan worden om baten zoals meer capaciteit, kortere reistijd en energiebesparing mogelijk te maken.

Hoofdstuk 6 bevat een (foto)reportage van de demonstratierit en het media event.

1 Achtergrond, doel en opzet van de verkenning

1.1 Aanleiding

De komende jaren wordt een forse groei verwacht in de mobiliteitsbehoefte op het Nederlandse spoorwegnet. De spoorcapaciteit staat hierdoor onder druk en daarmee de kwaliteit van het railvervoerssysteem. Dat geldt overigens niet alleen voor Nederland, maar ook voor andere landen in Europa.

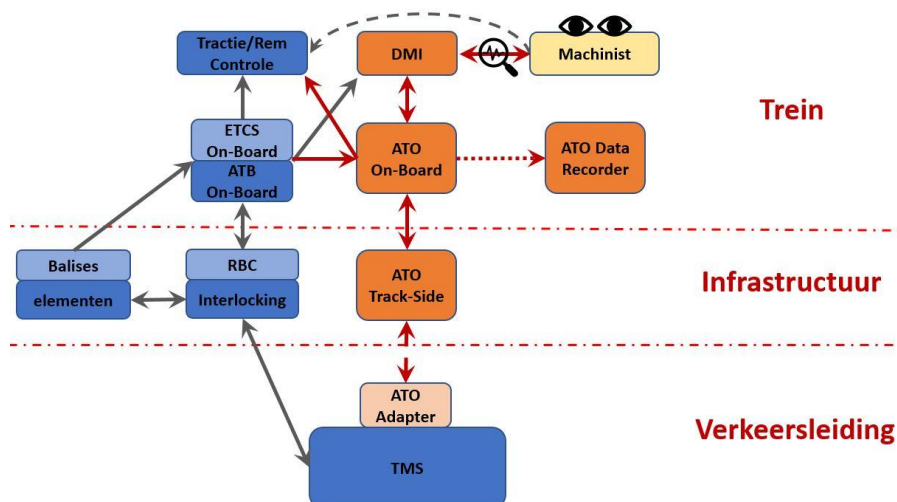
Nederland loopt voorop op het gebied van automatisch rijden op de weg en wil daarvoor het testland zijn. Vanuit technisch oogpunt is het spoor uitermate geschikt voor automatisch rijden, we willen werken aan dit concurrentievoordeel ten opzichte van de weg. Internationaal opererende leveranciers geven ook aan dat door de mate van georganiseerdheid op het Nederlandse spoor en de hoge frequentie van treinen Nederland een goed testland is.

Er zijn diverse innovatieve ontwikkelingen die ervoor kunnen zorgen dat het spoor een aantrekkelijk vervoersmodaliteit is en blijft. Eén van deze nieuwe ontwikkelingen is het geautomatiseerd rijden van treinen, ook wel Automatic Train Operation (ATO) genoemd. Hiermee wordt het niet alleen mogelijk om de capaciteit van het railvervoerssysteem te vergroten, maar ook de betrouwbaarheid en de veiligheid ervan verder te verbeteren. Eveneens levert het efficiënter rijden een energiebesparing op.

De benodigde ATO-technologie en systemen worden onderzocht en ontwikkeld door internationaal opererende industrie. ProRail wil de ontwikkeling stimuleren zodat de voordelen van ATO sneller beschikbaar zijn. De invulling die ze daaraan kan geven ligt met name op het gebied van het faciliteren van testen in de volgende stap in de ontwikkeling. In het buitenland wordt met verschillende ATO-niveaus al testervaringen opgedaan. Met de verkenning wil ProRail meerwaarde toevoegen op de reeds uitgevoerde testen in het buitenland en direct inzicht krijgen in wat geautomatiseerd rijden in Nederland betekent, zowel technisch als functioneel.

1.2 Wat is ATO

Automatic Train Operation (ATO) is een ruim begrip. In de praktijk wordt er onderscheid gemaakt naar de verschillende stappen in het automatiseren van de operationele taken van het rijdend personeel. Kortweg komt het erop neer dat de trein/het systeem de machinist (en conducteur) verder ondersteunt of taken overneemt. Geautomatiseerd rijden kan zowel zonder als met het ERTMS-beveiligingssysteem, maar de specificaties die door de EU worden ontwikkeld zijn op ERTMS gericht.



Figuur 1: Schematische weergave van een ATO-systeem

Een ATO-systeem bestaat uit een on-board en eventueel een track-side unit. De ATO-OnBoard zit in de trein geïntegreerd en haalt data uit de boordcomputer en/of ETCS On-Board (zoals locatie, snelheid, rijtoestemming). Aan de hand van deze data kan de ATO-OnBoard de ideale snelheid, rem- en acceleratiecurve berekenen en kan het tractie- en remcommando's versturen. Ook als ATO actief is blijven de treinbeveiligingsystemen (ATB, ERTMS) altijd leidend.

Om in te kunnen spelen op ander treinverkeer heeft de ATO-OnBoard data nodig vanuit de ATO-TrackSide of rechtstreeks vanuit het TMS (Traffic Management Systeem), zoals routeinformatie, vertragingen, dienstregelpunten en ander treinverkeer. In Europees verband wordt er gewerkt aan een Europese standaard om interoperabiliteit te garanderen. Er is echter nog geen definitieve standaard beschikbaar hoe een ATO-systeem er exact uit zal zien, dus mogelijk zal dit nog wijzigen ten opzichte van de huidige stand. Tijdens de ATO-proef die in het kader van deze verkenning is uitgevoerd werd er geen verbinding gemaakt met de ProRail-systemen.

De mate van automatisering van het rijden van treinen wordt uitgedrukt in Grades of Automation (GoA) volgens de standaard IEC 62290-1 (zie ook de figuur):

- GoA1 – huidige situatie: machinist rijdt en is verantwoordelijk voor het veilig rijden van de trein maar wordt wel ondersteund door beveiligings- en adviessystemen.
- **GOA2 – automatisch rijdt de trein volgens dienstregeling van A naar B, maar de machinist is nog steeds verantwoordelijk voor het veilig rijden van de trein.**
- GOA3 – automatisch rijdt volgens dienstregeling van A naar B, de machinist is niet meer verantwoordelijk voor het veilig rijden van de trein en hoeft niet in de cabine aanwezig te zijn, maar kan wel overige zaken regelen (bijv. deuren sluiten) en in noodsituaties ingrijpen.
- GOA4 – er is geen machinist meer op de trein aanwezig, alle functies zijn door automaten overgenomen; bij noodsituaties moet vanaf de wal worden ingegrepen.

Grade of Automation	Type of train operation	Setting train in motion	Stopping train	Door closure	Operation in event of Disruption
GoA 1 	ATP with driver	Driver	Driver	Driver	Driver
GoA 2 	ATP and ATO with driver	Automatic	Automatic	Driver	Driver
GoA 3 	Driverless	Automatic	Automatic	Train attendant	Train attendant
GoA 4 	UTO	Automatic	Automatic	Automatic	Automatic

ATP - Automatic Train Protection
ATO - Automatic Train Operation

Figuur 2: Schema Grades of Automation

De proef met ATO wordt op Grade of Automation 2 (GOA2-niveau) en onder het ERTMS-beveiligingsregime uitgevoerd.

1.3 Doel van de verkenning

De proef met ATO is bedoeld om de ontwikkeling van het ATO systeem een boost te geven, om meer inzicht te verkrijgen in het ATO systeem en om antwoord te geven op een aantal onderzoeksvragen:

- De werking van ATO in relatie met onze technische systemen, bijvoorbeeld integratie met ons VPT-systeem. In hoeverre kunnen we dat matchen?
- Hoe we als inframanager de trein kunnen beïnvloeden onder ATO
- Hoe ATO werkt in tunnels
- Level 1 ERTMS krijgt alle informatie vanuit balises — werkt dit onder ATO?
- Hoe verloopt de overgang van ETCS level 1 naar level 2?
- Hoe verloopt het rijden over het traject van 100 km met wissels; dat is nog niet uitgevoerd, eerdere proeven in Gotthardtunnel en bij Thameslink waren korter en op recht spoor.
- Wat kan ATO betekenen om de groei van het spoorvervoer in Nederland/Europa mogelijk te maken door treinen dichter op elkaar te laten rijden?
- Kan ATO een hogere punctualiteit leveren?

Bijlage I bevat een volledig overzicht van de onderzoeksvragen.

1.4 Opzet van de verkenning: Live, Virtual, Constructive

Binnen de afdeling Technische Vernieuwing en Innovatie is een Live, Virtual, Constructive (LVC) aanpak opgezet. Hierin vormen (live) proeven samen met simulatoronderzoek (virtual) en dienstregelings simulaties (constructive) de LVC-driehoek.

De LVC-aanpak dient ervoor om het lerend effect van de ontwikkeling te maximaliseren. Dit gebeurt door de opgedane technische kennis en karakteristieken van de live proeven te gebruiken om de simulator zo dicht mogelijk naar de werkelijkheid te configureren.

Vervolgens worden de resultaten van de simulaties, waarbij naar menselijk gedrag wordt gekeken, gebruikt om de dienstregelsimulaties zo veel mogelijk te voeden met realistische parameters.

Schematisch weergegeven ziet de LVC-methode er als volgt uit:



Deze LVC-aanpak wordt niet alleen voor deze ATO-verkenning gebruikt maar het programma zal ook investeren in de verdere ontwikkeling van LVC en daarvoor benodigde tooling, zodat deze voor alle ATO-toepassingen geschikt is. Voor de verkenning met ATO is dit op de volgende wijze uitgewerkt.

Live

Een proef in de vorm van testritten met ATO onder Grade of Automation 2 (GOA2) niveau. Dit houdt in dat de machinist verantwoordelijk blijft voor het veilig rijden van de trein, maar daarbij ondersteund wordt door ATO-techniek. ATO neemt het optrekken, rijden en afremmen van de trein over, waarbij rekening wordt gehouden met de maximum baanvakssnelheid (incl. vaste snelheidsbeperkingen), de toegelaten materieelsnelheid en de dienstregelingssnelheid.

De proefritten vonden plaats tussen Waalhaven Zuid en de Betuweroute (CUP Valburg) op ERTMS (L1 en L2) baanvakken op in dienst zijnde sporen tussen de reguliere treindienst door.



Figuur 4: Het traject waarop de testritten zijn uitgevoerd

Virtual

Simulaties met machinisten in de NEO-cabinesimulator, ter aanvulling of voorbereiding van de live testen, zoals:

- Rijden onder een tijdelijke snelheidsbeperking
- Met volle snelheid oprijden naar een Rood sein of een End-of-Authority
- Functies van een Traffic Management Systeem simuleren, zoals updates van passeertijden op timing punten
- Gebruikersonderzoeken met een bredere populatie van de goederenmachinisten dan in een praktijkproef mogelijk is
- Rijden tijdens hinder van een voorliggende trein
- Nieuwe logistieke processen beproeven, zoals rijdend intakken naar de A2 corridor bij Meteren.

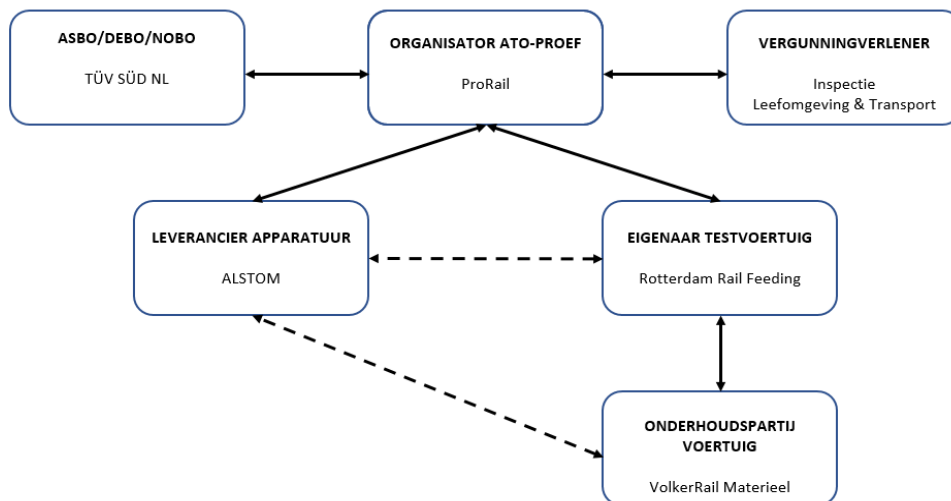
Constructive

Dit onderdeel bestond uit dienstregelingssimulaties met ervaringen uit de ATO-proef. Het gedrag van de ATO-techniek werd tijdens de Live-proeven verwerkt in de dienstregeling simulaties, zoals systeem reactietijden en ruis in de data.

De verkenning werd ondersteund door een uitgebreid onderzoek naar de voorwaarden en mogelijkheden op ICT-gebied voor de toepassing van ATO.

1.5 Betrokken partijen

Op hoofdlijnen kende het project de onderstaande structuur. De ononderbroken lijnen zijn hierbij de formele communicatieroutes, de onderbroken lijnen zijn informeel maar kunnen wel noodzakelijk zijn voor de voortgang van het project.



Figuur 5: Betrokken partijen en hun onderlinge communicatieroutes

ProRail

Als de spoorinfrastructuurbeheerder van Nederland is ProRail verantwoordelijk voor het gehele spoorwegnet van aanleg tot onderhoud, beheer en veiligheid. ProRail loopt tegen de grenzen van de capaciteit van het railnet aan. Daarom zijn innovatieve oplossingen noodzakelijk om het spoor beter te kunnen benutten en meer treinpaden aan te leveren.

- Rol in het project

Vanuit het oogpunt van het testen van innovatieve oplossingen voor de spoorcapaciteit is ProRail voor deze test de initiatiefnemer en opdrachtgever.

ProRail Verkeersleiding zal de test begeleiden vanuit de Verkeersleidingspost Kijfhoek. ProRail Asset Management is betrokken als 'leverancier' van het testspoor.

ProRail Capaciteitsverdeling verleent toestemming voor het gebruik van de treinpaden.

ProRail Veiligheid geeft advies over onder andere de te volgen veiligheidsprocedures.

ProRail Incidentenbestrijding staat met de reguliere calamiteitenorganisatie altijd paraat voor eventuele incidenten op het spoor. Er zijn voor deze proef geen aanvullende afspraken over de inzet van Incidentenbestrijding nodig.

Het projectteam van ProRail zal de test met de ATO-locomotief volgen vanuit een in te richten coördinatiecentrum.

Rotterdam Rail Feeding (RFF)

Rotterdam Rail Feeding is een onderdeel van het Amerikaanse Genesee & Wyoming Inc. en verzorgt in Nederland (onder de naam Rotterdam Rail Feeding) en België (onder de naam Antwerp Rail Feeding) rangeer- en feederprocessen voor de gehele spoorsector.

Rotterdam Rail Feeding werkt op de diverse emplacementen, goederenstations en terminals. Hier wordt het los- en laadproces van de goederentreinen ondersteund en worden er rangeerwerkzaamheden verricht. Dit wordt uitgevoerd door 8 locs type BR203 (uitgerust met o.a. ETCS), 6 rangeerloos van het type NS600, 8 rangeerloos type NMBS 73.3 en 2 locomotieven type G2000. Rail Feeding is ook toegelaten in Duitsland waar identieke diensten kunnen worden geleverd.

- Rol in het project

Rotterdam Rail Feeding is betrokken als vervoerder. Voor deze test stelt RRF een loc (BR203, #25) beschikbaar waar de ATO-apparatuur kan worden ingebouwd en vervolgens worden getest. Omdat de apparatuur in een loc van RRF zal worden ingebouwd, is RRF ook verantwoordelijk voor de inbouw. Tijdens de test is de loc bediend door een machinist van RRF.

Alstom

Meerdere partijen hebben met ProRail gesproken over het testen van ATO. Alstom heeft vervolgens als enige partij een passend voorstel voor een proef op de Betuweroute met ATO ingediend. Alstom is een zeer geschikte partij om een proef mee uit te voeren, gelet op het feit dat zij ERTMS geleverd hebben op de Betuweroute en zij daar kan beschikken over toegelaten materieel.

Alstom is in de transportsector op diverse terreinen actief als leverancier van vervoersmiddelen zoals treinen, trams, metro's maar ook schepen, treinbeveiligingssystemen en ondersteunende systemen zoals vliegveldverlichting. In dit project is met name de afdeling treinbeveiliging van Alstom betrokken.

- **Rol in het project**

Alstom is leverancier van het te testen ATO-systeem. In deze hoedanigheid is Alstom verantwoordelijk voor de ontwikkeling, in- en uitbouw en veilige werking van het systeem tijdens de test.

VolkerRail

VolkerRail is in de spoorsector een grote aannemer, vooral bekend van bouw van infra. Maar ook onder andere het technisch onderhoud van spoorvoertuigen is een activiteit van VolkerRail. Rail Feeding heeft VolkerRail aangesteld om de locs van RRF te onderhouden en veilig en inzetbaar te houden.

- **Rol in het project**

VolkerRail stelt hun werkplaats in Dordrecht beschikbaar waar Alstom de in- en uitbouw van de ATO-apparatuur kan uitvoeren. Tijdens die bouwactiviteiten (zowel in- als uitbouw) zal VolkerRail technische assistentie leveren en erop toezien dat de loc veilig blijft werken.

TÜV SÜD Nederland

De afkorting TÜV staat voor Technischer Überwachungs Verein, daarmee worden in Duitsland verenigingen (eingetragener Vereine) verstaan die zich bezighouden met wettelijk voorgeschreven keuringen van materieel en apparatuur en certificering van producten en managementsystemen. TÜV SÜD Nederland is onderdeel van de wereldwijd opererende TÜV SÜD groep. TÜV SÜD Rail businessunit levert mondiale consultancy- en certificeringsdiensten op het gebied van spoorwegen. TÜV SÜD Nederland maakt deel uit van deze unit en opereert binnen de mondiale spoorsector als NoBo, DeBo, AsBo en ISA op basis van de vigerende Europese en nationale wetgevingen. Andere delen houden zich bezig met engineering en consultancy diensten binnen de spoorsector.

- **Rol in het project**

In dit project is TÜV SÜD NL door ProRail ingeschakeld als NOBO/ASBO/DEBO. TÜV SÜD Nederland beoordeelt de ombouw van de locomotief en controleert conformiteit met de vigerende wetgevingen. Bevindingen worden in de relevante beoordelingsrapporten gedocumenteerd.

Inspectie Leefomgeving & Transport

De taak van de Inspectie Leefomgeving en Transport (ILT) is ervoor te zorgen dat bedrijven, organisaties en overheidsinstanties de wet- en regelgeving over de duurzame leefomgeving, de fysieke veiligheid en de woningcorporatiesector naleven. ILT bevordert de naleving van wetten en regels via vergunningverlening, door middel van handhaving en door onderzoek te doen.

- **Rol in het project**

ILT is de vergunningverlenende instantie, ook voor vergunning van treinen. ILT is de instantie verantwoordelijk voor onder andere het verlenen van een ontheffing of een vergunning. Een ontheffing wordt verleend voor het rijden met een niet toegelaten voertuig. Door de inbouw van het ATO-systeem voldoet de BR203 namelijk niet meer aan de verleende vergunning.

2 Verslag en resultaten van het Live-onderzoek (praktijkproef)

2.1 Inleiding

In november 2018 is ATO voor het eerst geïnstalleerd in de testlocomotief. Hiermee zijn een week lang zogenaamde karakteriseringsritten gereden. In deze karakteriseringsritten heeft het ATO-systeem verschillende voorgeprogrammeerde rem en tractie commando's uitgevoerd, en is de reactie van de locomotief gemonitord. Hieruit is het rem- en tractiegedrag van de gebruikte locomotief afgeleid.

Vervolgens zijn vanaf 15 december zeven dagen lang proefritten uitgevoerd met dezelfde locomotief en ATO-installatie. De eerste drie dagen zijn reguliere treinritten gereden om de ATO-besturing verder te optimaliseren.

De laatste vier dagen is een testprogramma uitgevoerd waarin een groot aantal scenario's getest zijn. Hierbij heeft het ATO-systeem (ATO-OnBoard) in de trein de opdrachten van de ATO-server (ATO-TrackSide) uitgevoerd. Voor de ATO-server is voor een deel van de testen een laptop in de trein zelf gebruikt, maar ook voor een deel de ATO-server in het Alstom kantoor te Utrecht. Hiermee is veel waardevolle informatie opgehaald over hoe ATO in een operationele context functioneert.

Om de prestaties van ATO te kunnen vergelijken met handmatig bestuurde treinen, zijn gedurende twee dagen referentieritten uitgevoerd. Tijdens deze ritten heeft een machinist hetzelfde testprogramma uitgevoerd als bij de ATO-testen.

Dit hoofdstuk beschrijft de resultaten van deze testen. Eerst worden de test opzet, testinhoud en de analyse opzet beschreven. Vervolgens zijn de testresultaten, conclusies en aanbevelingen beschreven.

2.2 Testopzet en inhoud

2.2.1 Testopzet

Bij de start van het project is vastgelegd dat de testen worden uitgevoerd op de Betuweroute met een ATO over ERTMS (European Rail Traffic Management System) systeem van Alstom, geïnstalleerd in een BR203 locomotief van Rotterdam Rail Feeding (RRF).

Het testgebied op de Betuweroute is vastgesteld op het traject tussen Waalhaven zuid en Container Uitwissel Punt (CUP) Valburg. Dit traject bevat lange rechte stukken, wisselende toegestane snelheden, intakkende en uittakkende baanvakken, wissels, tunnels, ERTMS-level 1 op de havenspoorlijn, ERTMS-level 2 op het A15 tracé en ERTMS-level transitie, zodat ATO in veel verschillende situaties getest kon worden.

Er is een testperiode van vier dagen ingepland voor het uitvoeren van een testprogramma, met daarvoor drie dagen om het ATO-systeem in te regelen. Omdat de Betuweroute 24 uur per dag gebruikt wordt, is er geen periode beschikbaar waarin het testtraject vrijgemaakt kan worden voor de testen. De testen zijn tussen het reguliere treinverkeer door uitgevoerd.

Er is gekozen voor twee retourritten per dag tussen Waalhaven Zuid en CUP Valburg. Tijdens deze ritten zijn zoveel mogelijk scenario's uitgevoerd en tussen de testscenario's door werd niet gestopt. Hierdoor pasten de testen in de dienstregeling, werd het reguliere treinverkeer zo min mogelijk gehinderd en is zo min mogelijk tijd verloren gegaan met stoppen en kopmaken.

Om te zorgen dat tussen de testscenario's niet gestopt hoefde te worden, zijn alle testscenario's zoveel als mogelijk verwerkt in de dienstregeling en de aansturing van het ATO-systeem (de Journey Profiles). Dit had als bijkomend voordeel dat slechts een enkel testscenario actieve medewerking vergde van de treindienstleider, en het succesvol uitvoeren van de testen veel minder afhankelijk waren van de beschikbaarheid van de treindienstleider.

Om andere treinen niet te hinderen is in het geval dat een testscenario niet goed werd uitgevoerd niet gestopt om het opnieuw te proberen. Dit is opgevangen door gedurende vier dagen elke dag zoveel als mogelijk hetzelfde testprogramma uit te voeren waarin alle testscenario's zijn opgenomen. Daarmee is de kans een stuk kleiner is dat een scenario geen enkele keer goed uitgevoerd is.

2.2.2 Totstandkoming testinhoud

De inhoud van de testen is bepaald door de testorganisatie in samenwerking met een aantal specialisten, te weten:

Siebe Hoekstra: ATO/ERTMS-specialist
Alfons Schaafsma: ATO specialist
Maarten Bartholomeus: Systeemspecialist ERTMS
Henk Tijssen: ICT-architect

Daarbij zijn de volgende stappen doorlopen:

Onderzoeksvragen

Om de vraag te beantwoorden wat er getest gaat worden, is door de specialisten zo breed mogelijk geïnventariseerd welke mogelijke onderzoeksvragen er zijn voor een ATO-systeem. Dit is vastgelegd in een apart onderzoeksvragen document. Een samenvatting hiervan is opgenomen in Bijlage I

Testscope

Voor elk van deze onderzoeksvragen zijn testen geformuleerd die antwoord moeten geven op de onderzoeksvraag. Op basis hiervan is door de testorganisatie gekeken welke testen mogelijk zijn met het beschikbare materieel, het beschikbare ATO-systeem en op het beschikbare testtraject.

Een aantal van de onderzoeksvragen, zoals het rijden met zware goederentreinen, bleek op voorhand niet uitvoerbaar te zijn in de voorziene testomgeving.

De specialisten hebben samen met de testorganisatie uit de mogelijke testen een selectie gemaakt van de testen die uitgevoerd worden, waarbij voorrang is gegeven aan het testen van de basisfunctionaliteit en de kwaliteitsaspecten van ATO als precisie in tijd en locatie. Hierbij is gestreefd zoveel mogelijk testen uit te voeren, passend binnen de beschikbare testtijd. De geformuleerde testen en de afwegingen welke testen worden uitgevoerd zijn beschreven in een apart testscope document.

Testscenario's

De geformuleerde testen in de testscope zijn verder uitgewerkt in testscenario's, waarin stap voor stap uitgewerkt is hoe een test uitgevoerd moet worden, met welke voorwaarden en wat gemonitord moet worden om de achterliggende onderzoeksvraag te beantwoorden.

Dit is uitgewerkt in testscenario's.

Testspecificaties

Met deze informatie is een basis-dagprogramma uitgewerkt waarin staat welke testscenario's in welke rit en op welke locatie uitgevoerd worden, rekening houdend met de voorwaarden van de testscenario's voor locatie, benodigde doorlooptijd etc.

Voor de meeste scenario's is een timing point (TP) op de testlocatie noodzakelijk. Dat is een gedefinieerde locatie op het spoor waarvoor ATO een opdracht kan krijgen om daar op een gestelde tijd te halteren, passeren of vertrekken. Er waren een beperkt aantal timing points beschikbaar, die ook grotendeels al waren vastgelegd. Uiteindelijk is het precies passend gekregen om elk scenario in het basis dagprogramma te krijgen.

Er is geprobeerd om op alle testdagen zoveel als mogelijk het basis-dagprogramma uit te voeren, zodat alle testscenario's meerdere malen uitgevoerd werden. Daarmee is ook invulling gegeven aan de vraag om een aantal scenario's meerdere keren uit te voeren, zodat afgeleid kan worden wat de consistentie is van het testresultaat.

Daarnaast is deze aanpak ook een mitigatie tegen het risico dat een testscenario helemaal niet getest wordt als een testrit niet verloopt zoals gepland of helemaal niet door kan gaan. Een risico dat vrij groot is bij testen met een nog niet uitontwikkeld systeem.

Vervolgens is voor elke testdag een testspecificatie opgesteld. Hierin is in chronologische volgorde uitgewerkt hoe de testritten uitgevoerd dienen te worden; wanneer en waar welk testscenario wordt uitgevoerd, alle stappen die voor het testscenario doorlopen worden en wanneer er van welke test functionaris een specifieke actie verlangd wordt.

Testinhoud

De testscope bevat de volgende testscenario's:

1 Nominale rit

1a Normale rit met geplande stop

1a1 met geplande stop bij EoA

1a1a onder Level 1 na infill balise

1a1a2 Ruime marge in tijd in JP + krappe marge in plaats in SP

1a1a4 Krappe marge in tijd in JP + krappe marge in plaats in SP

1a1b onder Level 1 voor infill balise

1a1b2 Ruime marge in tijd in JP + krappe marge in plaats in SP

1a1b4 Krappe marge in tijd in JP + krappe marge in plaats in SP

1a1c onder Level 2

1a1c2 Ruime marge in tijd in JP + krappe marge in plaats in SP

1a1c4 Krappe marge in tijd in JP + krappe marge in plaats in SP

1a2 met geplande stop met doorgaande MA

1a22 Ruime marge in tijd in JP + krappe marge in plaats in SP

1a24 Krappe marge in tijd in JP + krappe marge in plaats in SP

1b Normale rit met korte opvolging

1b1 Meteren aansluiting richting Zv

1b1a "Korte opvolging" met tolerantie = 0 min

1b1b "Korte opvolging" met tolerantie = 2 min

1b2 Meteren aansluiting richting Kfh

1b2a "Korte opvolging" met tolerantie = 0 min

1b2b "Korte opvolging" met tolerantie = 2 min

1b3 Virtueel passeerpunt 1

1b3a "Korte opvolging" met tolerantie = 0 min

1b3b "Korte opvolging" met tolerantie = 2 min

1b4 Virtueel passeerpunt 2

1b4a "Korte opvolging" met tolerantie = 0 min

1b4b "Korte opvolging" met tolerantie = 2 min

1c Vaste snelheidsbeperkingen

1c1 Entreebord Sophiatunnel richting Zv

1c2 Entreebord Sophiatunnel richting Kfh

1d Wisselstand gerelateerde snelheidsbeperking

1d1 Betuweroute → CUP via 542

1d2 Betuweroute → CUP via 543

1e Tunnels/hellingen - max. en minimumsnelheid

1e1 Voorkomen te langzaam rijden op steile helling

1e2 LH problematiek

1f Transitie Level 1 → Level 2 v.v.

1f1 Transitie Level 1 → Level 2

1f2 Transitie Level 2 → Level 1

3 Tijdens rit aangepast Journey Profile

3a Aanpassen spoorgebruik

3a1 Aanpassen spoorgebruik

3a1a Spoorgebruik kort (2 min) van tevoren aangepast

3a1b Spoorgebruik lang (10 min) van tevoren aangepast

3a2 verkeerd spoorgebruik, route in ATO wijkt af van werkelijkheid

3b Aanpassen tijdligging

3b1 Passeertijd tolerantie = 0; 2 min van tevoren 5 min naar achteren geschoven

3b2 Passeertijd tolerantie = 0; 10 min van tevoren 5 min naar achteren geschoven

3b3 Passeertijd tolerantie = 2 min; 2 min van tevoren 5 min naar achteren geschoven

3b4 Passeertijd tolerantie = 2 min; 10 min van tevoren 5 min naar achteren geschoven

4 Overige operationele hinder

4a	ongeplande stop
4a1	ongeplande stop onder Level 1
4a2	ongeplande stop onder Level 2
4b	hinder door andere trein
4b1	intakkende trein is vertraagd, JP wordt niet aangepast
4b2	voorligger is vertraagd. JP wordt aangepast
4b3	voorligger is vertraagd. JP wordt niet aangepast
5	afwijkend Segment Profile
5a	TSB in ETCS
5a1	wel in SP verwerkt
5a2	niet in SP verwerkt

Van de meeste scenario's is het aantal uitvoeringen gepland zoals voorzien in de testscope. Van een gedeelte van de test scenario's zijn er minder uitvoeringen gepland omdat die niet in het basis dagprogramma pasten of vanwege het media event en de oefenruns voor dit event, maar minimaal 3: Van de tests uit de testscope zijn de volgende testscenario's niet ingepland:

- LH-problematiek
het was niet mogelijk om deze test representatief uit te voeren. Om dit representatief uit te voeren moest de rijkarakteristiek van de locomotief in ATO ingesteld worden als een complete goederentrein. Dit was niet mogelijk.
- TSB in ETCS

Het testen van de reactie op een TSB in ETCS maar niet in ATO is voorzien door op een locatie het ATO-segment profile een hogere snelheid te geven dan het ETCS-snelheidsprofiel. Het was echter niet mogelijk om een afwijkend segment profile te maken voor 1 test en alle testen met deze "TSB" rijden kostte te veel testtijd die voor andere testen nodig was.

2.3 Opzet van de analyse

Na afloop van de testperiode is de analyse van de testen uitgevoerd in samenwerking met het Prestatie Analyse Bureau van ProRail. Dit hoofdstuk beschrijft hoe de analyse is uitgevoerd.

Dataverzameling

Om de uitgevoerde ritten te kunnen analyseren is gebruik gemaakt van verschillende gegevensbronnen, deels uit de infrastructuur en deels gedownload uit de trein.

Sherlock

In deze ProRail tool wordt data van rijwegen, treinbewegingen en allerlei andere bronnen verzameld. Het bevat gegevens over wanneer een sectie bezet is, wanneer een rijweg is ingesteld en hoeveel vertraging een trein opgelopen heeft.

QATS

Deze ProRail tool logt alle berichten die over het GSM-R netwerk verstuurd zijn. ERTMS verstuurt informatie over GSM-R, dus alle tussen trein en RBC verstuurde ERTMS-informatie is in principe beschikbaar.

Belangrijkste hierin zijn de positierapporten van de trein. Elke circa 5 seconden verstuurt de trein een positierapport, waarin zijn actuele positie en snelheid zijn opgenomen. Hiermee is een preciezer snelheidsprofiel van een rit te reconstrueren dan met alleen sectie bezettingen. Daarnaast is te zien wanneer een trein een nieuwe rijtoestemming (MA) heeft gekregen.

Omdat er onder ERTMS-level 1 geen verbinding is met het RBC, is van de testen in het level 1 gebied geen informatie beschikbaar in QATS.

ATO-logdata

De log data van het ATO-systeem zelf is ontvangen van Alstom. Hierin is bijgehouden wat de status is van het ATO-systeem, de door ATO gebruikte snelheid en positie, en de ATO-commando output. Tijdens het synchroniseren van deze data met de Sherlock en QATS-data, bleek er sprake te zijn van een probleem met de ATO-timestamps waardoor deze niet bruikbaar waren. Dit is opgelost door voor tijdwaarnemingen de Sherlock en QATS-data te gebruiken.

De snelheidsmetingen waren in ATO juist nauwkeuriger dan in QATS. Snelheidsinformatie is daarom waar mogelijk via de positie uit de ATO-logdata afgeleid. Van 1 rit in de ATO-log niet teruggevonden en van sommige ritten staat niet de hele rit in de ATO-log. Wat niet in de ATO-logs was terug te vinden was wanneer de ATO-OnBoard volgens welk Journey Profile reed. Alstom heeft een aparte lijst verstrekt met gebruikte Journey Profiles en segment profile, en wanneer welke update verstuurd is, is uit de WhatsApp logs gehaald.

DRU/JRU

Dit zijn de ERTMS-logs in de trein waarin positie, snelheid en MA-informatie te vinden is. Deze informatie is grotendeels gelijk aan de informatie die QATS levert, met als belangrijk verschil dat de DRU wel informatie van testen in ERTMS-level 1 gebied bevat.

De DRU/JRU zijn niet succesvol gedownload. Dit heeft vooral consequenties gehad voor de analyse van de testen in level 1 gebied.

ARR

ARR staat voor Automatische Rit Registratie. Deze bron heeft de meest precieze data beschikbaar over positie en snelheid, waarmee ook het meest precieze snelheidsprofiel geconstrueerd kan worden. Deze is door de vervoerder RRF gedownload en beschikbaar van de referentieritten.

Versiegeschiedenis

Tijdens het testen is het ATO-algoritme meerdere malen aangepast om het rijgedrag te verbeteren. Deze bron geeft aan welke rit met welke versie van het ATO-algoritme is gereden.

Dagrapporten BPRL

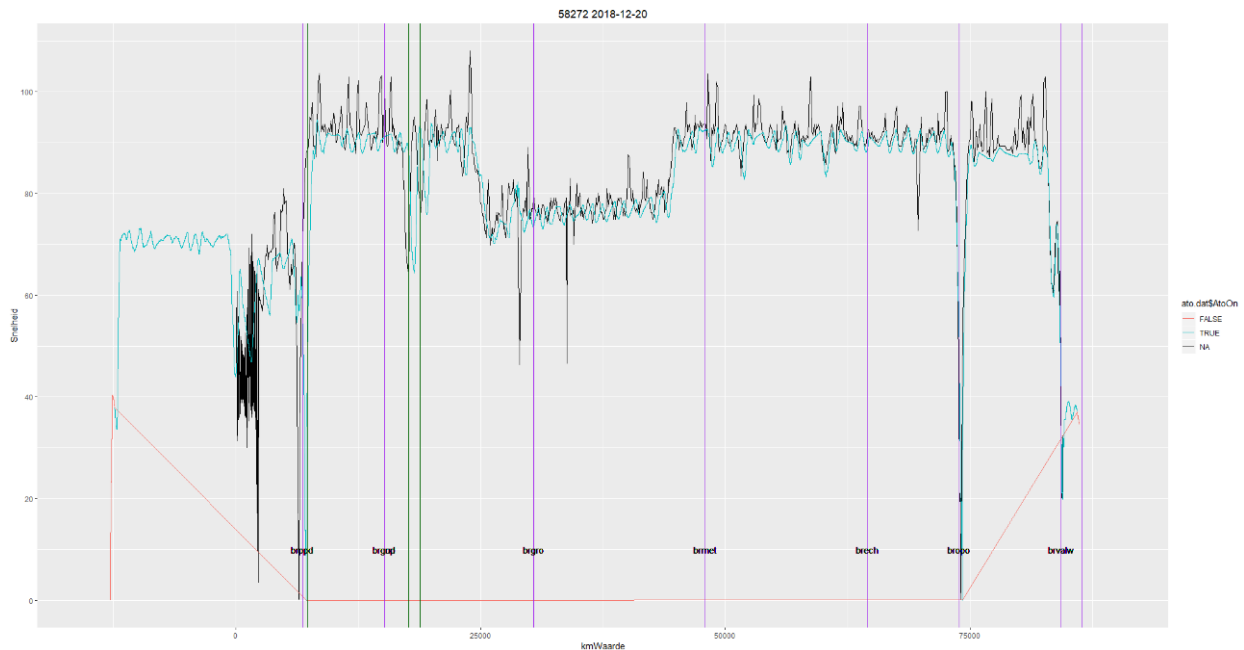
De tijdens de testen aanwezige Beproevingssritleider heeft van elke testdag een dagrapport geschreven met daarin een overzicht van de uitgevoerde ritten en de bijzonderheden.

WhatsApp-logs van testteam communicatie

Tijdens de testen is er door middel van een WhatsAppgroep gecommuniceerd met het testteam. Hierin is veel informatie over het verloop van de testen en de bijzonderheden gedeeld.

Datasamenstelling

Bovengenoemde bronnen zijn samengevoegd en met elkaar gesynchroniseerd op datum, tijd en treinnummer. Vervolgens is overbodige informatie eruit gefilterd zodat een overzichtelijke dataset tot stand gekomen is die geschikt is voor analyse. Dit is uitgevoerd door Wilco Tielman van het Prestatie Analyse Bureau. Resultaat was een Excelbestand met de logdata en ritprofiel zoals te zien in figuur 6.



Figuur 6: samengesteld ritprofiel

Data-analyse

Elk uitgevoerd testscenario is geanalyseerd in de dataset om de achterliggende onderzoeksvragen te beantwoorden. Daarbij zijn alle keren dat hetzelfde testscenario is uitgevoerd, de data naast elkaar gezet en met elkaar vergeleken.

Dit is uitgevoerd door Vincent Weeda van het PAB, ondersteund door het ATO-project.

2.4 Resultaten

Dit hoofdstuk beschrijft de testuitvoering en vervolgens de testresultaten. Alle geplande testritten zijn ook daadwerkelijk uitgevoerd en daarmee zijn ook bijna alle testscenario's getest. Dit heeft een schat aan informatie opgeleverd over de techniek, de functionele aspecten en de kwaliteit van het rijgedrag van de geteste ATO en locomotief combinatie.

Hierbij dient met klem vermeld te worden dat het ATO-systeem nog in ontwikkeling is en dat de prestaties van dit systeem niet representatief hoeven te zijn voor een mogelijk commercieel in te voeren ATO-systeem in de toekomst. Bij de conclusies worden de resultaten in de context geplaatst wat deze aantonen voor een eventuele commerciële implementatie.

2.4.1 Testuitvoering en data-analyse

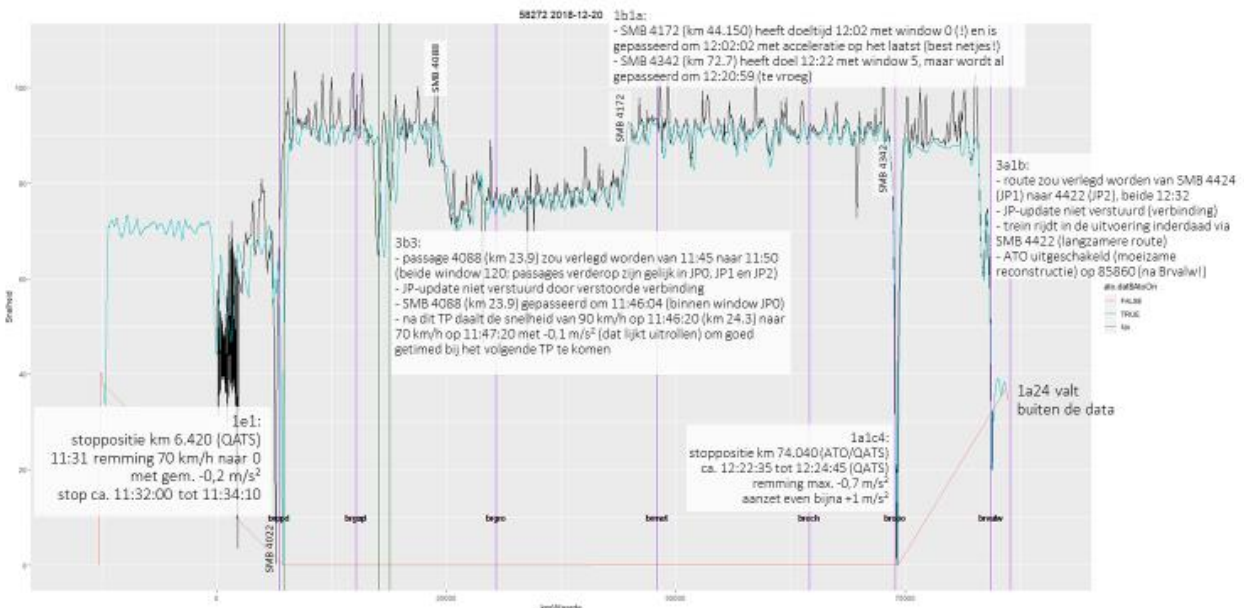
De testen zoals gepland zijn bijna allemaal uitgevoerd. Een enkel testscenario is niet uitgevoerd. Van ongeveer tien testscenario's waren geen data beschikbaar door het ontbreken van de ATO-log of de ETCS JRU. Uiteindelijk zijn door gebruik van vooral sectiebezettingen (TROTS) toch vrijwel alle level 1 testen geanalyseerd. Tijdens de testvoorbereiding zijn onvoldoende concrete afspraken gemaakt over het veiligstellen en verwerken van logdata, waardoor het na de tests lang geduurd heeft voordat data ontvangen en verwerkt is.

De testscenario's waarvan logdata beschikbaar zijn, zijn ook bijna allemaal succesvol uitgevoerd. Slechts circa tien test scenario's zijn mislukt door zaken als het niet kunnen versturen van een Journey Profile update of door te veel vertraging voorafgaand aan het testscenario. Eén timing point locatie lag op een andere plek dan voorzien waardoor de aard van de test anders was dan voorzien.

Een vijftal testen zijn niet correct uitgevoerd, dat kwam door of het niet laat genoeg instellen van een rijweg om treinhinder of een ongeplande stop te simuleren of doordat geen JP-update verstuurd is terwijl dat wel zou moeten.

Uiteindelijk zijn ongeveer 80 succesvolle testscenario's geanalyseerd. Figuur 7 geeft van een van de ritten een samengesteld ritprofiel met daarin analyses van de in die rit uitgevoerde testscenario's.

58272 do 20 dec >



Figuur 7: testscenario analyses in samengesteld ritprofiel

2.4.2 Testresultaten

In grote lijnen kan gesteld worden dat de basisfuncties van ATO naar behoren werkten. De trein probeerde de gestelde tijdvensters te halen en probeerde op de gestelde plekken tot stilstand te komen. Daarnaast probeerde de trein onder de ERTMS veilige curve te blijven ook als die onverwacht slechter is, zoals bijvoorbeeld bij een verlate rijweginstelling.

ATO-TrackSide

De ATO-TrackSide die de ATO-OnBoard van de rijopdrachten voorziet was in eerste instantie een laptop in de trein. Later in de week is ook succesvol getest met een ATO-TrackSide op de Alstom locatie in Utrecht, welke via GSM in contact stond met de ATO-OnBoard. Journey Profile updates verzonden door de ATO-TrackSide in Utrecht zijn door de trein succesvol ontvangen en uitgevoerd.

De verbinding tussen de ATO-TrackSide in Utrecht en de ATO-OnBoard in de trein bleek nog niet voldoende robuust te zijn. Meerdere malen is na het mislukken van het verzenden van Journey Profile updates daarom besloten om terug te vallen op de laptop in de trein.

Reageren op JP-updates

De testen waar de ATO-OnBoard tijdens de rit nog updates kreeg van tijdligging of spoorgebruik waren succesvol. De ATO-OnBoard probeerde de gewijzigde opdracht uit te voeren. Wat opviel is dat toen een spoorgebruik update niet aankwam bij de trein, ATO toch door bleef rijden, ondanks een conflict tussen de ATO-route en de werkelijk gereden route. Mogelijk omdat de werkelijk gereden route toch vooraf bekend was via ETCS en daarop overgeschakeld is.

Gelijkmatig rijden

Bij het omzetten van de ATO-opdracht in een nauwkeurige en gelijkmatige rijstijl door de ATO-OnBoard was zeker de eerste testdagen nog veel verbetering mogelijk. Dit is ook duidelijk te zien aan het samengestelde ritprofiel zoals te zien in figuur 1. Dit had meerdere oorzaken:

- Een van de oorzaken was dat de tractie van de loc afschakelt bij 97 km/h terwijl de toegestane snelheid 100 km/h is. Wanneer ATO een opdracht geeft om tot 100 km/h op te trekken, schakelde dus de tractie af en kon pas weer tractie gegeven worden na een ATO deactiveren en weer activeren.
- Daarnaast bleek het ATO-algoritme in de eerste versies niet goed te anticiperen op tunnels, waardoor er te hard de tunnel in gereden werd en vervolgens onderin de tunnel geremd. Voor de losse locomotief waarmee getest werd was dit geen probleem maar een goederentrein zou onderin de tunnel zijn gestrand.
- Het lukt in eerste instantie niet na het tractie uitschakelen, remmen en remmen lossen vervolgens weer tractie te geven. Er kon pas weer tractie gegeven worden na ATO te deactiveren en weer te activeren.
- Er waren situaties waar ATO-tractie gaf vrij kort voor het begin van een remcurve van een snelheidsverlaging. ATO begint dan pas zeer kort voor de ERTMS-remcurve uit te remmen en in meerdere gevallen kon ATO de ERTMS-remcurve niet volgen en volgde een remingreep van ERTMS.

Gedurende de testperiode is er hard gewerkt door Alstom om het algoritme te verbeteren. De laatste twee dagen van de testperiode is gereden met een volwassener versie van het ATO-algoritme. Deze versie reed gelijkmatiger en had minder moeite om na het remmen weer tractie te kunnen geven zonder ATO te moeten deactiveren.

Halteren

Het nauwkeurig op de aangegeven locatie stoppen lukte niet consistent. Het is meerdere keren gelukt binnen de 10m van de beoogde stoplocatie te stoppen, maar ook meerdere keren tientallen en zelfs meer dan 100m onnauwkeurig. Dit is inherent aan deze fase in de ontwikkeling. De nauwkeurigheid was verschillend per TP-locatie en duidelijk te zien is dat stoppen bij een timing point vlakbij een End of Authority (EoA) minder precies was. Mogelijk omdat de remcurve van deze EoA de ATO-remming negatief beïnvloedt.

Bij de test waarin de trein net na de tunnel, dus net na een helling, tot stilstand moest komen, had ATO veel moeite om nauwkeurig in tijd en locatie tot stilstand te komen. In de nadering waren ook veel rijregime wisselingen (uitrollen, remmen, kort tractie bijgeven, weer remmen). Bijkomende bijzonderheid is dat de locomotief wel tot stilstand wordt geremd, maar vrij snel erna de remmen weer lost. Op hellingen zorgde dit voor doorrollen of terugrollen. De ATO-installatie was niet aan de parkeerrem gekoppeld die normaal gebruikt wordt voor voorkomen van door- of terugrollen. In een aantal gevallen wanneer de trein te vroeg tot stilstand komt, accelereert ATO weer om toch bij het timing point te stoppen. In het geval dat het timing point vlak bij een EoA ligt, accelereert ATO in de remcurve naar deze EoA. Daarbij gebeurde het dat ATO niet op tijd begon met remmen voor de ERTMS-remcurve en deze niet bij kon houden, met een remingreep tot gevolg.

ATO kon na een stop zelfstandig weggrijden wanneer de beschikbare MA dat toeliet, zoals na een stop niet in de buurt van een EoA of een stop in level 2 gebied waarna de MA werd verlengd.

Passeren van timing points

Het binnen de tijd passeren van timing points met een arrival window van 120 seconden werd bij ongeveer de helft van de gevallen binnen het opgegeven tijdvenster uitgevoerd. Wanneer dat niet zo was kwam dit in de regel door eerder opgelopen vertraging.

Duidelijk is te zien dat ATO het beschikbare arrival window gebruikt wanneer dit nodig wordt geacht om achterliggende timing point binnen het arrival window te passeren.

Het passeren van timing point met een arrival window van 0 seconden is niet gelukt, maar er werd in de regel wel op 10 seconden nauwkeurig gepasseerd. Ook wanneer met een JP update de passeertijd naar achteren schuift weet de trein op verschillende locaties op ca 10 seconden nauwkeurig te passeren. Ook hier is een verschil in precisie te zien per locatie, mogelijk zit dit in de gebruikte dienstregeling of de infrasiuatie ter plaatse.

Treinhinder

Bij de testen met treinhinder zijn helaas niet alle voorziene testen goed uitgevoerd. De gesimuleerde treinhinder door stapsgewijze verlate rijweginstelling zou met en zonder JP-update getest moeten worden, maar is alleen zonder JP-update getest. In alle gevallen is te zien dat ATO bij een beperkende Movement Authority (MA, toestemming om verder te rijden) remt, indien nodig tot stilstand. Bij treinhinder zonder stilstand werd bij een MA-verlenging direct weer aangezet. Bij de stapsgewijze treinhinder is goed te zien dat dit tot een jojo-effect leidt.

Bij treinhinder tot stilstand schakelt ATO zichzelf af. In level 1 gebied moet de machinist dan oprijden naar de eerste ERTMS-balise om een nieuwe MA op te halen, wanneer deze MA ontvangen is komt ATO beschikbaar en kan de machinist ATO inschakelen.

In level 2 kan de machinist wachten tot deze MA-verlenging ontvangen wordt van het ERTMS RBC en ATO beschikbaar komt. Deze kan ATO dan inschakelen waarna ATO zelfstandig verder rijdt.

Een volledig overzicht van alle testuitvoeringen van alle testscenario's zoals geanalyseerd is te vinden in bijlage II.

2.5 Conclusies

Aan de ATO-proef is met veel inzet en enthousiasme gewerkt door de mensen van Alstom, RRF en ProRail. De eerste conclusie is dat het mogelijk is gebleken om een bestaande BR203 locomotief met ATO uit te rusten en daar op een veilige manier ATO testen mee uit te voeren. Daarmee zijn de eerste ritten onder ATO op Nederlands grondgebied een feit.

Dit hoofdstuk beschrijft welke conclusies zijn getrokken uit deze proef, gegroepeerd naar onderwerp.

Testopzet

De Betuweroute is een goed testgebied voor ATO over ETCS testen, het is een complexe omgeving waarin veel verschillende situaties getest kunnen worden. Een nadeel is dat de Betuweroute geen normale treinvrije periodes kent, dus moet tussen de commerciële treinen door getest worden. Hierdoor is er minder ruimte voor bijzondere testen en moet er continu gelet worden op het voorkomen van treinhinder.

De locomotief van RRF is een wat oudere diesel-hydraulische locomotief. Dit maakt dat de besturing van de locomotief lastiger is dan een elektrische locomotief, vanwege tragere reacties en het niet lineaire tractie verloop. Dit maakt het rijden onder ATO een stuk uitdagender.

Door zowel externe omstandigheden als ATO-storingen zijn niet alle scenario's elke dag uitgevoerd. Het 4 dagen herhalen van een vast dagprogramma heeft inderdaad gezorgd voor robuustheid waar bijna alle scenario's getest zijn en ook minimaal 3 keer.

Daarnaast is het ATO-algoritme gedurende de testweek nog verder gekalibreerd om de prestaties te verbeteren.

Met de testen zijn nu veel relatief korte testscenario's uitgevoerd. Daardoor is weinig inzicht verkregen in de rijeigenschappen over langere trajecten.

De voorbereiding van de Dienstregeling en de ATO Journey Profiles zodat de meeste testen automatisch door het ATO-systeem en de automatische rijweginstelling zijn uitgevoerd is haalbaar en praktisch gebleken. Zelfs als het druk was op de VL-post van Kijfhoek zijn de testen gewoon doorgegaan. De opzet om te testen met een ATO-server als laptop in de locomotief en een ATO-server in Utrecht was voldoende robuust omdat teruggevallen kon worden op de laptop toen de verbinding niet stabiel bleek.

Testvoorbereiding

Gezien het succesvolle verloop van de testen terwijl er in Nederland nog geen ervaring was met ATO testen, kan geconcludeerd worden dat de voorbereiding goed was. In de laatste weken voor de test zijn er nog testen geschrapt omdat deze niet mogelijk bleken en is onder hoge tijdsdruk gewerkt. Daardoor zijn er toch enkele onvolkomenheden in de testvoorbereiding geslopen.

Daarnaast zijn er vooraf onvoldoende expliciete afspraken gemaakt over het veiligstellen van datalogs. Dat resulteerde in het niet beschikbaar zijn van een deel van de gewenste informatie en in vertraging bij dataverwerking en -analyse.

Testinhoud/testprogramma

Het grootste en belangrijkste deel van de testscope is getest, dus daarin is het testprogramma succesvol geweest. Enkele test scenario's hadden beter ontworpen kunnen worden zodat de slagingskans groter was of het resultaat representatiever. Bij één scenario was consistent te veel vertraging waardoor de test niet succesvol uitgevoerd werd.

Testanalyse

Door de problemen met de data veiligstellen heeft het lang geduurd voordat begonnen kon worden met het verwerken en analyseren van de data.

Door de nieuwigheid van de ATO-techniek en de manier waarop ATO getest wordt, is er een steile leercurve geweest om de testen op een goede manier te analyseren. Daardoor zijn veel iteratieslagen nodig geweest om tot dit analyseresultaat te komen. Dit heeft gezorgd voor een langere doorlooptijd van de analyse dan in eerste instantie voorzien.

ATO-testresultaten

Uit de resultaten blijkt dat de basis functionaliteit, te weten de ATO-OnBoard, de ATO-TrackSide en de berichtenuitwisseling tussen de beide ATO-deelsystemen, redelijk volwassen is. De ATO-OnBoard interpreteerde de ontvangen rijopdrachten in de vorm van een JP en SP goed en probeerde deze uit te voeren. De communicatie met de ATO-TrackSide vanuit de trein was vlekkeloos, terwijl de communicatie met de ATO-TrackSide in Utrecht regelmatig last had van verbindingsproblemen. De verbinding via GSM/3g/4g is voor verbetering vatbaar, maar de communicatie tussen ATO-TS en ATO-OB is robuust gebleken.

De daadwerkelijke besturing van de tractie en remmen door ATO was in de proef nog niet op het niveau van gelijkmatigheid, consistentie en precisie wat nodig is voor een eventuele uitrol. Gedurende de testperiode heeft het systeem wel laten zien dat het deze potentie heeft. Er is wel meerdere keren nauwkeurig gestopt maar niet consistent, het rijprofiel was op punten zeer nauwkeurig en gelijkmatig maar ook niet consistent over alle ritten. Er is hier meer ontwikkeling voor nodig.

De verschillen tussen resultaten van dezelfde scenario's op verschillende locaties en in verschillende dienstregeling duidt op invloeden van de infrastructuur ter plaatse en/of de gebruikte dienstregeling op de prestaties van ATO.

Wanneer meegewogen wordt dat de gebruikte locomotief een diesel hydraulische aandrijving heeft is deze prestatie zeer indrukwekkend. Een diesel hydraulische locomotief kenmerkt zich door een niet lineair tractieverloop en lange reactietijden tussen tractievragen en geleverde tractie. Daarnaast is het remsysteem pneumatisch, waarvan de reactietijd relatief groot en de regelbaarheid beperkt is. Dit maakt het voor het ATO-systeem een stuk lastiger om de locomotief precies en gelijkmatig te besturen. Voor de ATO-besturing van deze specifieke locomotief moet het gebruikte rijkenmerkmodel verder verbeterd worden.

Gezien het feit dat de kwaliteit van de besturing gedurende de testweek beter werd, ligt het in de lijn der verwachting dat ATO met verdere ontwikkeling prima in staat moet zijn om ook met een locomotief als een BR203 consistent, gelijkmatig en nauwkeurig genoeg te rijden voor een commerciële operatie. Welk niveau uiteindelijk gehaald kan worden is niet op te maken uit deze test.

Locomotieven of treinstellen met een dieselelektrische of elektrische aandrijving zijn waarschijnlijk beter te besturen met een ATO-systeem en zullen dus makkelijker op een hoog niveau komen.

Goederentreinen zijn door hun variatie in lengte, gewicht, gewichtsverdeling en zijwindgevoeligheid een stuk lastiger te besturen. Hiervan is nu ook niet te zeggen hoe goed ATO dit zal kunnen, alhoewel het in theorie wel moet kunnen. Bijkomende factor is dat goederentreinen iedere keer een andere samenstelling hebben. Nu is het ATO-systeem gekalibreerd in uitgebreide karakteriseringsritten en het is niet werkbaar om dit met elke nieuwe treinsamenstelling van een goederentrein opnieuw te moeten doen. Een ATO-

oplossing zal dus op basis van voor ingevoerde data van bijvoorbeeld wagenlijsten gekalibreerd moeten worden zodat de goederentrein direct na samenstelling goed bestuurd kan worden door ATO.

2.6 Aanbevelingen

De volgende aanbevelingen worden gedaan op basis van de uitkomsten van de live proef, gegroepeerd naar onderwerp.

Testopzet

- Herhaal de testen op de Betuweroute, mogelijk met een simpeler te besturen (elektrische) locomotief, om betere conclusies te trekken over de rijkwaliteit van ATO.
- Onderzoek of het ATO-algoritme door middel van simulaties te testen en verbeteren is zodat tijdens de live testen het algoritme stabiel is en de performance consistent.
- Organiseer in een later stadium een proef met een goederentrein (inclusief lading).
- Neem indien mogelijk ook het testen van een kalibratie meer op basis van wagenlijst in plaats van karakteriseringsritten.

Testvoorbereiding

- Definieer de testdoelen voorafgaand aan het project en richt het project zo in dat net zo lang getest kan worden totdat het testdoel behaald is. Zo wordt er beter aangesloten bij de verwachtingen van de uitkomsten van een testproject.

Ga nadrukkelijker in gesprek met de ATO-leverancier over welke testen het systeem aankan en wat de verwachte performance is.

Om ontwerpfouten in test, dienstregeling of Journey Profiles te voorkomen, neem meer tijd voor de voorbereiding en standaardiseer het ontwerpen van Journey Profiles in combinatie met een dienstregeling.

Werk beter uit wat de dataregistratie mogelijkheden zijn en maak hier vooraf afspraken over om na de test sneller en effectiever de analyse te kunnen doen.

Testinhoud/testprogramma

- Concentreer bij vervolgtesten op de rijeigenschappen en doe minder maar langere testscenario's. Dit sluit beter aan bij het huidige ontwikkelingsniveau van ATO en geeft een beter beeld van de rijkwaliteit van ATO.

Bouw de moeilijkheidsgraad van de testen geleidelijk op zodat makkelijker geconcludeerd kan worden welke aspecten al wel goed geïmplementeerd zijn en welke nog aan gewerkt moet worden.

Richt je met de testinhoud meer op de vragen die voor de ontwikkeling van ATO en voor de business case belangrijk zijn. Test zo mogelijk verschillende ontwerpkeuzen.

Organiseer een testcampagne puur gericht op de GSM-verbinding tussen ATO-TrackSide en ATO-OnBoard, omdat deze van groot belang is voor de robuustheid van ATO.

Testanalyse

Maak gebruik van de inmiddels opgebouwde expertise.

Leg duidelijker de doelen en de structuur van de testen uit voor een beter begrip bij de analisten, wat de kwaliteit en snelheid van de analyse ten goede komt.

Maak gebruik van een analyseformat om de testen sneller en beter gestructureerd te analyseren.

Onderzoek hoe de resultaten makkelijker visueel gemaakt kunnen worden.

ATO-techniek

Verbeter het model van de rijkaracteristiek in de ATO-OnBoard om ook een locomotief als BR203 goed te kunnen besturen.

Onderzoek de mogelijkheden van een zelf-kalibrerend algoritme. Hiermee wordt het minder kritisch om vooraf precies de rijkaracteristiek te weten. Deze is in de gewenste nauwkeurigheid waarschijnlijk niet constant door wisselende treinsamenstelling, belading, remprestaties, etc.

Bekijk hoe het op de rem houden bij stilstand en het op de parkeerrem zetten geïmplementeerd kan worden.

Onderzoek hoe vanuit de huidige dienstregeling het beste ATO-opdrachten (JP) geformuleerd kunnen worden met betrekking tot Timing point locaties en arrival windows.

Algemeen

De testresultaten onderschrijven dat ATO de potentie heeft om een bijdrage te leveren aan de voor ProRail broodnodige capaciteitsverbetering. Het beproeven van ATO om van te leren heeft in korte tijd veel inzichten opgeleverd en heeft de ontwikkeling van ATO een boost gegeven.

In het algemeen kan daarom worden gesteld dat er alle reden is om door te gaan met het verder onderzoeken van de mogelijkheden en impact van ATO.

Lopende de ATO-onderzoekfase, -ontwikkelfase, -realisatiefase en -uitrolfase kunnen testcampagnes om snel duidelijkheid verschaffen over ATO-effecten en ontwerpkeuzes, zonder te hoeven wachten tot de verificatie- en validatietesten.

Ook bij andere techniekinnovaties en -ontwikkelingen kan in een vroeg stadium worden getest. Hierdoor wordt snel veel geleerd over de betreffende innovatie of ontwikkeling en maakt deze binnen en buiten ProRail zichtbaar.

3 Verslag en resultaten van het Virtual en human factors onderzoek

Dit deel van de verkenning was met name gericht op de technische onderzoeksvragen, gezien het feit dat deze proef de allereerste was op het Nederlandse spoornet. Met andere woorden, het onderzoek heeft zich eerst gericht op de vraag: werkt de techniek überhaupt?

Er is beperkt is gekeken naar de ergonomische (of human factors) aspecten van het systeem. Ergonomie is de wetenschappelijke discipline die zich bezighoudt met het begrijpen van de interactie tussen de mens en andere elementen van een systeem. Ergonomische theorie, principes, gegevens en methodes worden toegepast om systemen zo te ontwerpen dat het menselijk welzijn en de globale prestatie geoptimaliseerd worden.

Om een eerste beeld te vormen van de ergonomische kanten van ATO zijn enkele onderzoeksvragen beantwoord door de testmachinisten.

3.1 Virtual testen

Tijdens deze eerste proef is nog geen gebruik gemaakt van testen in de Virtual (simulator) omgeving met machinisten. De reden hiervoor is dat het ATO-systeem dat gebruikt wordt tijdens deze test zich nog in de ontwikkelingsfase bevindt en nog niet gekoppeld kan worden met de simulatieomgeving. Wel is het mogelijk om met de simulator een ATO-systeem te simuleren en hiermee over de Betuweroute te rijden. Het is de bedoeling dat in de toekomst de simulatieomgeving gekoppeld wordt aan een ATO-systeem zodat hiermee ook virtual onderzoek mogelijk wordt naar de menselijke aspecten bij het gebruik van ATO.

3.2 Human factors

Er is voor deze allereerste ATO-proef in Nederland een beperkt onderzoek uitgevoerd naar de effecten en het gedrag van het ATO-systeem op de werkzaamheden van de machinist. Daarbij werden de volgende vragen voorgelegd:

Vraag1:

In hoeverre kon u tijdens de rit voortdurend oplettend en alert blijven?

Antwoord: score 8/10

Vraag2:

Voelde u zich ontspannen tijdens de rit?

Antwoord: score 6/10

Vraag 3:

In hoeverre voelde u zich in controle over het materieel?

Antwoord: Score 7/10

Vraag 4:

Wist u tijdens de rit aldoor wat u moest weten om de trein goed te besturen?

Antwoord: Score 7/10

Vraag 5:

Ik wist precies wat er gebeurde tijdens de test

Antwoord: score 9/10

Vraag 6:

Met de beschikbare informatie kon ik de trein goed besturen

Antwoord: score 8/10

Vraag 7:

Ik ben tevreden met de beslissingen die ik tijdens de tests genomen heb

Antwoord: score 9/10

Vraag 8:

De werkdruk tijdens de test was acceptabel

Antwoord: score 6/10

Vraag 9:

Kunt u momenten noemen uit de ATO test, waar ATO zich vreemd gedroeg?

Antwoord: open

- ATO doet veel wat een machinist nu anders zou doen
- ATO remt en versnelt met alles of niets
- Remmen of versnellen op plekken die een machinist niet verwacht.

Vraag 10:

Wat is uw algemene indruk van het ATO-systeem?

Antwoord: open

- In dit stadium biedt ATO nog geen goede ondersteuning
- Gedrag van ATO wijkt te veel af van gedrag machinist
- ATO zoekt meer de grenzen van het mogelijke op (snelheid, rempunt, materieel).

Vraag 11:

Wat zijn leerpunten uit de test?

Antwoord: open

- Eerder anticiperen op remopdrachten ECTS
- Meer dienstregelingspunten om snelheid gelijkmatiger te krijgen
- Duidelijke instructies voor de machinisten (wat te doen)
- Aandacht voor uitvoering karakteriseringsritten
- Zoek niet continu de grenzen van materieel en remwegen op.

3.3 Conclusie Human Factors

Er zijn op basis van dit beperkte onderzoek nog geen goede conclusies te trekken maar het geeft wel een impressie van de impact die ATO kan hebben op de werkzaamheden van de machinist.

- Tijdens de ATO test blijven de machinisten alert, zijn minder ontspannen dan tijdens een reguliere rit en behouden de controle over de trein.
- De machinisten zijn tevreden over de manier waarop de testen zijn uitgevoerd.
- Het gebruikte ATO-systeem is nog onvoldoende ontwikkeld om een goede ondersteuning te bieden voor de machinist.
- Het acceleratie- en remgedrag van dit ATO-systeem is nog onvoldoende ontwikkeld om de verwachte baten te behalen.

3.4 Aanbevelingen voor vervolgonderzoek

Om ATO verder te ontwikkelen dient er bij vervolgonderzoek rekening te worden gehouden met de conclusies, resultaten en leerpunten uit de test op de Betuweroute.

- Vergroten validiteit door aansluiten van echte ATO-apparatuur aan de NEO-simulator
- Gedrag ATO-systeem dient gelijkmatiger ingesteld te worden en moet eerder anticiperen op ETCS-remopdrachten
- Dienstregelingspunten optimaliseren om snelheid gelijkmatiger te krijgen
- Uitgebreider Human Factors onderzoek naar de effecten van ATO op de werkzaamheden en het gedrag van de machinist.
- TMS-functionaliteit: updaten van passeertijden op timing punten tijdens het rijden.

4 Verslag en resultaten van het Constructive-onderzoek

4.1 Inleiding

Dit rapport geeft de resultaten van het Constructive onderzoek naar het gebruik van ATO op de Betuweroute. In deze simulatiestudies worden drie varianten voor het aansturen van treinen onderling vergeleken:

- Agent: Model van het rijgedrag van machinisten op reizigerstreinen en op goederentreinen die geen gebruik maken van Routelint, TIMTIM of andere hulpmiddelen. Noot: Ten tijde van het maken van dit model was nog onvoldoende informatie beschikbaar over rijgedrag van machinisten die wel gebruik maken van hulpmiddelen.
- ATO: Automatic Train Operation met Grade of Automation 2. Grade of Automation 2 (GoA2) betekent automatische besturing met een machinist die nog kan ingrijpen en waarbij het sluiten van de deuren nog door de bemanning wordt gedaan. Halteer- en vertrekverstoringen wijzigen daarom niet (pas bij GoA4 gebeurt het sluiten van de deuren ook automatisch).
- TMS+ATO: Traffic Management System in combinatie met ATO GoA2. Een TMS optimaliseert het treinverkeer door zelfstandig rijwegen te herplannen en volgorde te wisselen, en door het plan aan te passen op basis van de actuele situatie.

Deze gesimuleerde treinenlopen zijn vervolgens geanalyseerd op hun effecten en baten.

De verwachting is dat met ATO de capaciteit, punctualiteit, veiligheid en duurzaamheid verder verbeterd kunnen worden. Met ATO kan een trein nauwkeuriger volgens plan rijden en dus beter op tijd. Daardoor zullen treinen elkaar ook minder snel hinderen en dus minder vervolgvertragingen veroorzaken. Na het bereiken van deze meer nauwkeurige uitvoering kunnen de in de dienstregeling opgenomen marges voor afwijkingen op het plan verkleind worden. Hierdoor ontstaat er meer capaciteit op het spoor. Door beter volgens plan te rijden zullen ook minder ongeplande stops optreden wat de veiligheid vergroot. Door volgens een efficiënt snelheidsprofiel te rijden zal het energieverbruik afnemen.

Dit rapport beschrijft achtereenvolgens de onderzoeksvraag en afbakening, de opzet, de resultaten en de conclusies van dit onderzoek. Op basis daarvan volgen aanbevelingen, en worden mogelijke onderwerpen voor vervolgonderzoek genoemd.

4.2 Onderzoeksvraag en afbakening

Dit onderzoek betreft een simulatiestudie naar de effecten van geautomatiseerd rijden, ofwel Automatic Train Operation (ATO), op de Havenspoorlijn - Betuweroute en Houten - Den Bosch inclusief in- en uitvoegend verkeer bij Meteren. Hierbij is uitgegaan van Grade of Automation 2 (GoA2), eventueel gecombineerd met een Traffic Management System (TMS). Voor ATO GoA2 en voor een TMS + ATO GoA2 combinatie is onderzocht in welke mate er beter volgens plan gereden wordt als alle treinen geautomatiseerd rijden. Tevens is onderzocht welke effecten dit heeft op punctualiteit, capaciteit en veiligheid. Dit is gedaan door de resultaten te vergelijken met een model van het gedrag van machinisten op reizigerstreinen en op goederentreinen die geen gebruik maken van Routelint, TIMTIM of andere hulpmiddelen.

In de praktijk wordt in de uitvoering van de treindienst een zekere variatie gerealiseerd. Deze bandbreedte ontstaat doordat niet elke trein op exact dezelfde wijze rijdt. Mogelijke oorzaken zijn o.a. wisselende omstandigheden, kleine verstoringen, verschillende machinisten. De verwachting is dat de invoering van ATO deze bandbreedte kan versmallen. Hierbij kan met ATO op de gegeven dienstregeling worden gestuurd. Dan wordt voor iedere trein apart de betreffende rit geoptimaliseerd. De doelen kunnen ook centraal worden aangepast door een TMS, met inachtneming van de actuele status van alle treinen in het regelgebied, waarbij ATO vervolgens op deze doelen stuurt. Dan wordt de prestatie van de hele dienstregeling, inclusief interactie tussen treinen, geoptimaliseerd. Beide varianten worden in deze studie onderzocht.

In beide varianten is het resultaat van deze optimalisaties afhankelijk van de prestatie indicatoren waarop geoptimaliseerd wordt. In dit onderzoek wordt gestuurd op het minimaliseren van planafwijkingen. Er wordt niet op energieverbruik gestuurd, er wordt bijvoorbeeld geen gebruik gemaakt van uitrollen.

Daarvoor is een nog niet beschikbaar wegingsmechanisme tussen punctualiteit, veiligheid en energieverbruik nodig. Mogelijk is dit een onderwerp voor vervolgonderzoek. Dit betekent dat op basis van de uitgevoerde simulaties geen indicatie gegeven kan worden van het te verwachten energieverbruik van ATO of TMS+ATO omdat een daadwerkelijke implementatie waarschijnlijk wel ook op energieverbruik zal sturen.

De invoering van ATO zal effect hebben op het rijgedrag van individuele treinen. De onderzoeksvraag is of en in welke mate daarmee ook de prestatie van alle treinen samen verbetert. Naar verwachting zullen treinen met ATO beter de planning kunnen waarmaken en vaker op tijd gaan rijden. Dit betekent dat er minder hinder tussen treinen zal ontstaan. Treinen hoeven minder vaak op ongeplande locaties snelheid te verminderen of te stoppen. Beter rijgedrag zal de dagelijkse variatie verkleinen en daarmee effect hebben op de capaciteit en veiligheid van het spoorwegnet, de punctualiteit en mogelijk ook het energieverbruik.

De effecten worden gekwantificeerd door voor elke variant de dienstregeling bloot te stellen aan verstoringen. Een dienstregeling bevat buffers om kleine verstoringen en variaties in de dagelijkse praktijk op te kunnen vangen. In geval van grotere verstoringen schieten deze buffers te kort en zijn ingrepen in de planning vereist (bijsturing), denk aan volgorde wisselen, opheffen en omleiden van treinen. In deze studie zijn verstoringen beperkt tot een niveau waarvoor geen dienstregelingsaanpassingen nodig zijn. Onderzocht is dus hoe de normale uitvoering van de treindienst zal presteren. Dit betekent dat dit onderzoek geen uitspraken doet over de effecten bij grotere verstoringen, waarbij een treindienstleider in de praktijk zal gaan ingrijpen.

Toelichting punctualiteit

Punctualiteit is gedefinieerd als het percentage van de reizigers of treinen dat op tijd aankomt. Dit kan dus gaan over reizigerspunctualiteit of treinpunctualiteit. In dit onderzoek zijn treinsimulaties gedaan. Dit houdt in dat de treinpunctualiteit direct uit de simulatieresultaten is af te leiden. Reizigerspunctualiteit wordt in de praktijk wel gemeten. Op dit moment is het echter nog niet mogelijk om de reizigerspunctualiteit af te leiden uit de treinpunctualiteit. Daarvoor zijn aanvullende gegevens nodig over reizigersaantallen. Dit onderzoek richt zich daarom op treinpunctualiteit.

Voor de definitie van “op tijd” zijn verschillende normen te hanteren. In dit onderzoek is aangesloten bij twee voor de sector belangrijke normen, punctualiteit op 3 minuten (aankomstvertraging ≤ 180 seconden) en punctualiteit tussen -30 en +30 seconden ($-30 \leq \text{aankomstvertraging} \leq +30$ seconden). De eerste is een belangrijke KPI in de vervoersconcessies en de tweede wordt als maat gebruikt om na te gaan in hoeverre de sector klaar is voor een hoogfrequente dienstregeling.

Toelichting capaciteit

Waar punctualiteit goed gedefinieerd is en relatief simpel te bepalen, is dat voor capaciteit lastiger. Er is geen vastgestelde of algemeen geaccepteerde KPI die gebruikt kan worden. In 2017 is een inventarisatie uitgevoerd van hoe er binnen ProRail over capaciteit gedacht wordt [Netwerk capaciteit op het spoor, B. van Eeken, 2018].

Capaciteit wordt in het algemeen gedefinieerd als het aantal treinen dat per uur kan rijden. Dit wordt medebepaald door de buffers die in de dienstregeling zijn opgenomen voor het opvangen van planafwijkingen. De buffergrootte bepaalt met welke planafwijking nog gereden kan worden zonder andere treinen te hinderen. In de praktijk krijgt een deel van de treinen een grotere planafwijking dan de buffergrootte en hindert daarmee andere treinen. Treinen die elkaar hinderen hebben een negatief effect op de punctualiteit. Door de buffers te vergroten zullen minder treinen elkaar hinderen. Het effect op de capaciteit hangt af van de situatie. Grotere buffers betekenen niet altijd dat er een geheel aantal treinen per uur minder kan rijden. De buffergrootte is een afweging tussen een hoger aantal treinen en minder treinhinder/hogere punctualiteit. De in dit onderzoek gesimuleerde varianten hebben als doel om de planafwijkingen te verkleinen om daarmee het verkleinen van deze buffers mogelijk te maken. De planafwijking van de verschillende varianten is daarom vergeleken als indicatie voor hoeveel de buffers gemiddeld verlaagd zouden kunnen worden.

Dit kan echter niet één op één vertaald worden naar capaciteit. Per locatie in het netwerk varieert hoeveel van de beschikbare capaciteit al is gebruikt, hoeveel ATO de planafwijkingen verkleint en hoeveel vervolgens de capaciteit op dat punt verhoogd kan worden.

Om vast te stellen of de capaciteit toeneemt door de invoering van een maatregel als ATO zijn twee methoden overwogen:

1. Treinen toevoegen aan de gekozen dienstregeling en vaststellen of dat past.
Deze aanpak roept de vraag op welke trein(en) toegevoegd moet worden. Afhankelijk van de keuze voor een intercity, stoptrein of goederen kan het antwoord anders zijn. Bovendien zal het gekozen baanvak voor de meeste treinen slechts een deel van hun route van herkomst naar bestemming representeren. Voor de te kiezen extra trein zal in verband met een positieve vervoerswaarde ook een herkomst- en bestemmingskeuze buiten het gekozen baanvak nodig zijn. Hiermee wordt buiten het baanvak ook het omliggende netwerk geraakt en is in feite een nieuw ontwerp van de dienstregeling nodig. Dit valt buiten de scope van dit onderzoek.
2. Toetsen of de gekozen dienstregeling, met de bestaande mix aan treinen, in minder tijd is uit te voeren. De dienstregeling heeft een repeterend karakter waardoor elk uur in principe gelijk is. Door de tijd van 60 minuten in een aantal stappen te verlagen, anders gezegd door de tijd te comprimeren, kan de capaciteitsgroei in beeld worden gebracht. Deze methode is toegepast in dit onderzoek. Buffers zijn verkleind waardoor de dienstregeling van 60 minuten bijvoorbeeld in 56 minuten past. Hierdoor rijden er dus meer treinen per uur. Onderzocht is vervolgens wat het effect op de KPI's is voor de verschillende varianten.

4.3 Opzet simulaties

Dit hoofdstuk beschrijft de opzet van de simulaties. Er is gebruik gemaakt van algemeen geaccepteerde bronnen en methodes binnen ProRail en NS.

De gebruikte software, modellen en hun instellingen worden beschreven en er wordt beoordeeld hoe goed deze de werkelijkheid benaderen. Vervolgens wordt een conclusie getrokken of het simulatie onderzoek als geheel de werkelijkheid nauwkeurig genoeg representeert om de simulatieresultaten als valide te kunnen beschouwen.

De gebruikte softwareversies worden gegeven in [bijlage III D](#). De belangrijkste verschillen met de software en modellering zoals gebruikt voor de Trein Op de Lijn studies van 2017 worden daar ook beschreven.

4.3.1 Simulatiesoftware FRISO

FRISO simuleert het rijden van treinen over de gegeven infra met het gegeven materieel en volgens de gegeven dienstregeling, waarbij rijmodellen het rijgedrag bepalen. Daarbij wordt rekening gehouden met:

- Wisselomlooptijden.
- De locatie van aankondigingspunten.
- Een gefaseerde rijweginstelling.
- Het aantal in te stellen seinstappen per Primair ProcesLeidings Gebied (PPLG).
- Instelvoorschriften.
- Een minimale halteertijd.
- Materieelaansluitingen.
- Beveiligingssysteem (NS'54 met seinverbetering volgens ATB of ERTMS-level 2).
- Bovenleidingspanning (1500 V of 25 kV of Diesel).
- Hellingen, behalve bij het gebruik van de Agent omdat deze nog niet met hellingen om kan gaan.

FRISO gebruikt een eenvoudig model van procesleiding. De geplande dienstregeling wordt niet aangepast en rijweginstelling wordt conform ARI (Automatische Rijweg Instelling) gedaan. Dit komt overeen met de praktijk bij kleine verstoringen. FRISO kent geen treindienstleider die in het geval van

grotere bijstuurt op de geplande dienstregeling en rijweginstelling. Voor scenario's waar dit aan de orde is kan een combinatie van FRISO met een echte treindienstleider worden ingezet. Dit valt buiten de scope van dit onderzoek.

FRISO-procesleiding wordt gebruikt bij de Agent en ATO. Voor de TMS+ATO-variant doet TMS de rijweginstelling volgens eigen optimalisatie. Hierbij mag TMS de volgorde van treinen wijzigen.

Een uitgangspunt in de simulatie is dat te vroeg vertrekken niet is toegestaan. Voor ATO en TMS+ATO wordt aangenomen dat ook in de praktijk niet te vroeg zal worden vertrokken. Voor wat betreft de Agent verschilt de simulatie hier van de praktijk waar te vroeg vertrekken wel voorkomt, met name bij goederentreinen. Voor het A2 traject (Houten – Den Bosch) vertrekt slechts 5% van de treinen die daar rijden meer dan 10 seconden te vroeg en is het effect gering. Voor het BR-traject (Maasvlakte/Waalhaven – Zevenaar Oost) vertrekt bijna 50% van de treinen die daar rijden meer dan 10 seconden te vroeg en 5% van de treinen meer dan 135 seconden te vroeg en is het effect aanzienlijk. Desondanks geeft de Agent ook voor het BR-traject een voldoende benadering van de realisatie voor punctualiteit bij aankomst, zie B: Vergelijking Agent simulatie met realisatiedata.

4.3.2 Remodelled

Een rijmodel simuleert het rijgedrag van een machinist of trein. Bij een simulatie van meerdere treinen wordt elke trein met dit rijmodel gesimuleerd. Er is een "Agent" rijmodel gemaakt dat het huidige machinistengedrag benadert en ook van ATO en TMS+ATO zijn rijmodellen gemaakt. Hieronder worden de functionele eigenschappen en gekozen instellingen van deze rijmodellen toegelicht. Een beknopte beschrijving wordt gegeven in C: Beknopte beschrijving van de gesimuleerde varianten.

4.3.2.1 Agent

Dit model benadert het rijgedrag van machinisten die geen gebruik maken van Routelint, TIMTIM of andere hulpmiddelen. Ten tijde van het maken van dit model was nog onvoldoende informatie beschikbaar over rijgedrag van machinisten die gebruik maken van hulpmiddelen. Het gedrag van machinisten op reizigerstreinen en op goederentreinen is gemodelleerd, en voor goederentreinen is het gedrag onder NS'54 en onder ERTMS-beveiliging gemodelleerd. Het model voor goederentreinen is voor dit onderzoek toegevoegd.

Dit model is tot stand gekomen door middel van machine learning op basis van realisatiedata. Met machine learning creëert de computer zelf een model. De computer krijgt een grote hoeveelheid data over de situaties die het gemodelleerde systeem tegenkomt en een goed gedefinieerd gewenst gedrag in die situaties. Uit de realisatiedata worden de situaties gehaald die de machinist tegenkomt, bijvoorbeeld een trein die op tijd vertrekt, een trein die gehinderd wordt, een trein die te laat vertrekt, een trein die een vertraging oploopt onderweg, etc. Het gewenste gedrag is uit dezelfde set realisatiedata gehaald, namelijk hoe de machinist op de situatie gereageerd heeft. De computer simuleert vervolgens verschillende zelf gegenereerde modellen met de gegeven data en evalueert steeds of het model het gewenste gedrag vertoont. Met elke model-iteratie die de computer evalueert, leert de computer steeds beter het gewenste gedrag te modelleren. Dus hoe meer iteraties, hoe beter het model het gewenste gedrag benadert. Omdat er niet genoeg data was om het learning algoritme helemaal zelf het model te laten samenstellen, is gestart met een basis rijmodel dat door middel van machine learning ontwikkeld is tot een model dat het huidige rijgedrag goed benadert.

Het model voor reizigerstreinen is gebaseerd op realisatiedata en simulatiedata verspreid over de periode 2013-2016. Het model voor goederentreinen is gebaseerd op realisatiedata uit 2018. De Agent detecteert zelf of een trein een reizigerstreinen of goederentrein is en wanneer deze onder NS'54 of ERTMS-beveiliging rijdt.

De Agent variant beschikt alleen over het originele rijplan. De Agent gebruikt voor remmen en aanzetten stochastische variatie die gefit is op realisatiedata. Omdat dit in de praktijk voorkomt kan de Agent beginnen met uitrollen voordat geremd hoeft te worden, waarbij het moment waarop begonnen wordt met uitrollen weer stochastische variatie heeft die gefit is op realisatiedata.

Verder geldt voor de Agent:

- In de Agent simulaties is de maximumsnelheid van goederentreinen met 5 km/h verhoogd op aanraden van Wilco Tielman omdat uit de realisatiedata blijkt dat goederentreinen soms iets harder rijden dan de inhaalsnelheid (100 km/h op de Betuweroute en 95 km/h op Htnc-Ht).
- Hellingen zijn niet meegenomen omdat de Agent software hier nog niet mee om kan gaan. Hellingen hebben een gering effect op rijtijden voor reizigerstreinen. Voor goederentreinen hebben hellingen een aanzienlijk effect ter plaatse. Het effect op de totale rijtijd is naar verwachting echter beperkt. Om het effect van hellingen nader te bepalen zijn de resultaten van simulaties met en zonder hellingen vergeleken voor ATO. Het verschil in gemiddelde vertraging bij aankomst in PPLG is slechts 1 seconde voor zowel Mvt/Whz-Zvo als Htnc-Ht. De Agent is ook vergeleken met de gefilterde realisatiedata van januari t/m juli 2017, zie B: Vergelijking Agent simulatie met realisatiedata. De conclusie daaruit is dat voor aankomstvertragingen in PPLG de Agent voor het traject Htnc-Ht een zeer goede benadering van de werkelijkheid geeft. Voor het traject Mvt/Whz-Zvo is de benadering voldoende om als indicatie te dienen.
- Rijweginstelling van ARI is gehandhaafd, dus ook handhaving van de geplande volgorde van treinen bij gelijk eindspoor.

4.3.2.2 ATO

ATO met GoA2 is gemodelleerd. GoA2 betekent automatische besturing van tractie en rem waarbij de machinist verantwoordelijk blijft en kan ingrijpen. Het sluiten van de deuren wordt nog door de bemanning gedaan. Het ATO-rijmodel is voor dit onderzoek toegevoegd.

Dit is een variant die alleen over het originele rijplan beschikt en dat altijd zo goed mogelijk probeert te volgen. Het model heeft verder de volgende eigenschappen:

- De door ATO berekende snelheid is dynamisch. Afhankelijk van de actuele positie van de trein ten opzichte van de dienstregeling zal ATO proberen op schema te blijven, vertraging in te halen of voorsprong op de dienstregeling terug te brengen. De dienstregeling is hierbij de vooraf gegeven dienstregeling en is dus statisch.
- ATO berekent bij iedere acceleratie of deceleratie en bij iedere seinpassage opnieuw de gewenste snelheid (vaker hoeft niet omdat de situatie dan niet wezenlijk anders wordt). Dit gebeurt lokaal en is dus zeer snel. In de simulatie is hiervoor 0 seconden genomen.
- Minimaliseren vertragingen op aankomsten en alle doorkomsten. Een trein zal dus altijd proberen zo snel mogelijk de vertraging in te lopen en niet pas op het volgende voor de dienstregeling kritische punt.
- Rijweginstelling van ARI is gehandhaafd, dus ook handhaving van de geplande volgorde van treinen bij gelijk eindspoor.

4.3.2.3 TMS+ATO

TMS+ATO is een Traffic Management Systeem (TMS) in combinatie met ATO. Omdat geen losse TMS-component beschikbaar is die kan communiceren met ATO is dit gemodelleerd door middel van TMS+CDAS (TMS in combinatie met een Connected Driver Advisory System) waarbij rijadviezen altijd en direct worden opgevolgd indien de beveiliging dit toelaat. Ook is de optimalisering van TMS+CDAS voor dit onderzoek verder verbeterd. Hierdoor kan deze variant als goede benadering van TMS+ATO met GoA2 worden gezien.

Dit is een variant die op basis van de actuele verkeerssituatie en een voorspelling van de toekomstige treinenloop de snelheden van treinen op elkaar afstemt en rijwegen aanpast. Het model heeft verder de volgende eigenschappen:

- Dit snelheidsadvies is ook dynamisch. Afhankelijk van de actuele positie van de trein ten opzichte van door TMS gegeven doeltijden zal CDAS proberen op schema te blijven, vertraging in te halen of voorsprong op deze doeltijden terug te brengen. De doeltijden worden hierbij door TMS aangepast aan de actuele verkeerssituatie en zijn dus ook dynamisch.
- Minimaliseren van vertragingen op aankomsten en laatste doorkomsten en voorkomen van ongeplande stops. Geel sein passage is toegestaan waar dit de aankomstvertraging reduceert. Door aankomstvertraging te minimaliseren wordt indirect ook de vertraging bij doorkomst op voor

de dienstregeling kritische punten geminimaliseerd. Voor doorkomsten op dienstregelpunten die niet kritisch zijn in de planning wordt geen vertraging geminimaliseerd.

- De positie en snelheid van de trein wordt iedere 5 seconden gemeten en doorgegeven aan de wal, die op basis van deze informatie indien nodig het advies aanpast en terugstuurt naar de trein. Voor de communicatietijd van trein-wal en wal-trein is allebei 5 seconden genomen. Het is nog niet bekend welke communicatietijden praktisch haalbaar zijn. De gevoeligheid van de frequentie en de communicatietijd is niet onderzocht.
- Door deze communicatietijden is TMS+CDAS niet precies hetzelfde als TMS in combinatie met een ATO. In beide gevallen wordt het aanpassen van plantijden op een centraal systeem aan de wal gedaan. Bij TMS in combinatie met een ATO worden deze aangepaste plantijden doorgegeven aan de trein, en wordt het gewenste snelheidsprofiel op de trein zelf uitgerekend en is hiervoor geen verdere communicatie met de wal meer nodig. In TMS+CDAS wordt iedere aanpassing van de gewenste snelheid echter ook op de wal berekend op basis van ontvangen positie en snelheid van een trein, en vervolgens wordt deze gewenste snelheid weer teruggestuurd naar de trein. Er wordt wel rekening gehouden met de communicatietijden die hierbij optreden. Het rijmodel voorspelt de situatie op het moment dat een snelheidsaanpassing op de trein aankomt en past de gewenste snelheid hierop aan. Dit compenseert deels voor deze communicatietijden.
De meeste commercieel verkrijgbare systemen berekenen gewenste snelheden wel op de trein zelf en hebben dus een kortere reactietijd. De verschillen met het rijmodel die dit compenseert door de situatie te voorspellen zijn klein.
- Het gebruikte CDAS-algoritme is vergelijkbaar met het gebruikte ATO-algoritme. Beide gebruiken cruisen en sturen op plantijden. CDAS is echter geïmplementeerd door OnAIR (als onderdeel van TMS) en ATO is geïmplementeerd door InControl (als onderdeel van FRISO).
- Geen reactietijd van de machinist voor het opvolgen van de snelheidsveranderingen omdat ATO wordt gemodelleerd en niet een adviessysteem.
- Aanpassen insteltijd rijwegen en volgorde wisselingen tussen treinen.
- Geen aanpassing van treinroutes of rijwegen.
- Treinen worden niet opgeheven of naar andere dienstregelpunten geleid (bijvoorbeeld keren van treinen). Haltingen worden ook niet opgeheven.

4.3.2.4 Gemeenschappelijke instellingen en kenmerken ATO en TMS+ATO

De ATO en TMS+ATO-varianten hebben de volgende gemeenschappelijke kenmerken:

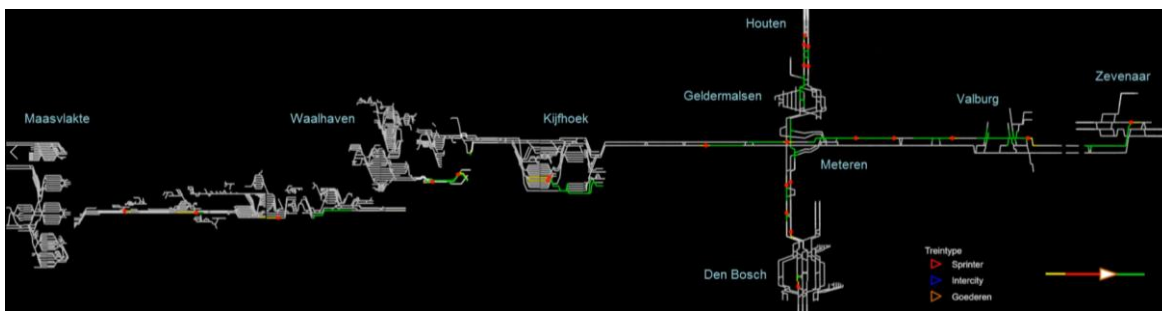
- ATO en TMS+ATO optimaliseren nog niet op energieverbruik.
- Er wordt gebruik gemaakt van cruisen gevolgd door remmen en niet van uitrollen. In de praktijk zal een combinatie van uitrollen en cruisen gebruikt worden. Met beide rijstrategieën kan evengoed volgens plan gereden worden. Dit heeft nauwelijks invloed op de spreiding van de aankomsttijden. Dit heeft wel invloed op het energieverbruik.
- Snelheden of snelheidsadviezen worden afgerond op 5 km/h. Dit is gedaan omdat afronden op 5 km/h in TMS+CDAS zit om adviezen goed opvolgbaar te maken voor een machinist, en TMS+CDAS is gebruikt om TMS+ATO te modelleren. Het effect op aankomsttijden hiervan lijkt gering omdat de snelheden en snelheidsadviezen gedurende de rit kunnen worden aangepast. Dit heeft wel invloed op het energieverbruik (minder glad snelheidsprofiel).
- Er wordt geremd met de dienstremvertraging en aangezet volgens de door Ricardo Rail geleverde materieelkarakteristieken. De remming met dienstremvertraging is gedaan omdat TMS+ATO in voorspellingen hiervan uitgaat. In een werkelijke implementatie in de praktijk zal minder hard worden geremd, en minder hard worden opgetrokken. Omdat beginpunt van het remmen vastligt vanwege de ATB-bewaking, zullen de gesimuleerde ATO en TMS+ATO treinen sneller hun snelheid verlagen en daarmee langzamer rijden dan in de praktijk. Dit effect wordt deels gecompenseerd omdat de gesimuleerde ATO en TMS+ATO treinen ook sneller optrekken dan in de praktijk.
- Voor de vertrekproceduuretijd is 0 seconden gekozen omdat de TMS-software deze parameter nog niet kent. De vertrekproceduuretijd is de tijd tussen het moment dat de rijweg beschikbaar komt en het gereed zijn voor vertrek. Voor een klein deel van de treinen wordt het vertrek

belemmerd door de vertrekproceduredtijd. Over het algemeen is de vertrekprocedure afgerond voordat betrokken dient te worden. Daarmee is de impact hiervan laag.

- Treinen mogen op Geel seinbeeld vertrekken en hoeven niet te wachten op Groen of het beste seinbeeld.
- Alle treinen zijn uitgerust met ATO dan wel TMS+ATO.
- Omdat GoA2 gemodelleerd is (het sluiten van de deuren gebeurt nog niet automatisch) zijn halte- en vertrekverstoringen hetzelfde als bij de Agent.
- Hellingen zijn wel meegenomen in de simulaties om resultaten te leveren die zo realistisch mogelijk zijn (het totale effect van hellingen blijkt echter beperkt).

4.3.3 Geografie

Het traject Maasvlakte/Waalhaven – Kijfhoek – Zevenaar Oost is samen met het traject Houten – Geldermalsen – Den Bosch gesimuleerd. Dit gebied is gekozen omdat de ATO-praktijkproef op de Betuweroute plaatsvindt. Het traject Houten – Geldermalsen – Den Bosch is meegenomen om het effect van in- en uitvoegende treinen op de A2 en de Betuweroute bij Meteren te kunnen onderzoeken.



4.3.4 Infrastructuur

De infra-gegevens zijn aangeleverd vanuit Infra Atlas. Deze data bevat alle borden, wissels, lassen, seinen en seinbeeldrelaties.

FRISO kent nog geen spanningssluizen en deze zijn daarom niet in het simulatiemodel opgenomen. In werkelijkheid zullen treinen hier uitrollen. Het effect daarvan op de rijtijd is gering, mits een trein niet ongepland tot stilstand komt in een spanningssluis. Als dit wel gebeurt dan is dit ook gelijk een grote verstoring (omdat de trein moet worden weggesleept) die buiten de scope van dit onderzoek valt.

4.3.5 Dienstregeling

Gesimuleerd is het BUP (Basis Uur Patroon) van 2019 voor de spits. Deze is overgenomen uit het plansysteem DONNA. De plantijden zijn echter aangepast. Plantijden waren in hele minuten. Voor ATO zijn nauwkeuriger plantijden nodig voor een realistisch snelheidsprofiel. Plantijden van doorkomsten zijn daarom handmatig aangepast naar tienden van minuten zodanig dat een glad snelheidsprofiel volgt. Dit is voor alle varianten gedaan om ze onderling vergelijkbaar te houden.

Voor goederentreinen is gebruik gemaakt van een urenschema omdat niet ieder goederenpad uit een BUP ieder uur gebruikt wordt of kan worden. Omdat het een studie naar capaciteit betreft zijn zoveel mogelijk goederenpaden gevuld, met uitzondering van de 6 goederenpaden Kijfhoek-Waalhaven tussen de 6 goederenpaden Kijfhoek-Maasvlakte, zie A: Urenschema voor goederentreinen. Er is rekening gehouden met de uitsluiting door de ICE bij Zevenaar. Ook zijn de bij Meteren intakkende goederenpaden Amsterdam-Emmerich gevuld, en is er één keer een bij Meteren intakkend pad Emmerich-Den Bosch gevuld omdat dit in de praktijk een lastige intakking is. Verder zijn meestal de paden Maasvlakte-

Emmerich gevuld. Er is beperkt afgewisseld met paden Waalhaven-Emmerich om de samenloop bij Waalhaven Aansluiting ook op te nemen. Waar paden Maasvlakte-Emmerich door uitsluitingen niet zijn gevuld zijn deze gevuld met paden Maasvlakte-Kijfhoek (paden van/naar Sloehaven, Essen, Venlo).

Er zijn dus veel meer paden gevuld dan in de praktijk. In werkelijkheid varieert het gebruik per uur en per dag. Uit de analyse van realisatiedata over 4-17 maart 2018 door Jarie Potuijt van het Prestatieanalysebureau (PAB) en over de eerste helft van 2018 door Ron Demmers van Capaciteitsverdeling blijkt dat er gemiddeld circa 1 goederentrein per uur per richting over de Betuweroute rijdt (en af en toe maximaal circa 2 tot 3). In de simulatie rijden circa 5 goederentreinen per uur per richting over de Betuweroute, dus 5 keer zo veel als het huidige gemiddelde.

In aanvulling op de BUP 2019 dienstregeling zijn ook gecomprimeerde versies van deze dienstregeling gesimuleerd. Hierbij is de dienstregeling van 60 minuten gecomprimeerd naar 58, 56 en 54 minuten door de rijtijden te verkorten. Halteertijden en verstoringen zijn niet gewijzigd.

Er zijn voor iedere variant voldoende replicaties van 6 uur met steeds andere gelote verstoringen gesimuleerd om statistisch betrouwbare uitspraken te kunnen doen (meer dan 40 replicaties). Het eerste uur is gebruikt om het model te vullen ('opstarten' van dienstregeling) en is niet meegenomen in de analyse van resultaten.

4.3.6 Rijweginstelling

Rijweginstelling is conform ARI en de Post Beheer Gegevens van VL posten voor de Agent en ATO-variant. Hierbij wordt de geplande volgorde van treinen gehandhaafd als deze een gelijk eindspoor hebben. Dit komt overeen met de praktijk bij kleine verstoringen.

Voor de TMS+ATO-variant doet TMS de rijweginstelling volgens eigen optimalisatie. Hierbij mag TMS de volgorde van treinen wijzigen.

4.3.7 Materieelkarakteristieken

Voor het materieel zijn in de simulatie de door Ricardo Rail aangeleverde materieelkarakteristieken gebruikt.

Voor de remdrukopbouwtijd van goederentreinen na een stop is 120 seconden gekozen. Dit betekent dat een goederentrein na een geplande of ongeplande stop minimaal 120 seconden stil moet staan alvorens deze weer mag gaan rijden. Verder is opbouwtijd of lostijd van remmen niet gemodelleerd in FRISO. Voor reizigerstreinen spelen deze nauwelijks een rol, voor goederentreinen kunnen deze een significant effect hebben.

4.3.8 Gebruikte realisatiedata

Voor dit onderzoek is een set realisatiedata gebruikt om de Agent simulaties mee te kunnen vergelijken. Op deze data wordt een filtering toegepast om dat deel van de realisatie te verkrijgen dat vergelijkbaar is met de condities van de simulatie: zonder incidenten of grote verstoringen en tijdens de drukste uren voor goederentreinen op de Betuweroute. De volgende stappen zijn doorlopen om een relevante set gegevens uit de realisatie te selecteren:

1. De data beslaat alle dagen (ook de weekenden) in de periode van januari t/m juli 2017. De data van 2017 is gebruikt omdat het bouwen van het simulatiemodel begin 2018 gestart is en er toen nog onvoldoende data over 2018 beschikbaar was.
2. Slechte dagen zijn verwijderd (dagen met 10 % lagere punctualiteit bij aankomst dan gemiddeld en dagen met 10 % minder treinen dan gemiddeld).
3. Treinen met aankomstvertragingen onder -20 of boven +20 minuten zijn verwijderd net als treinen die meer dan 5 minuten te vroeg vertrekken.
4. Treinen met activiteiten vóór 10:00 uur of na 15:00 uur zijn verwijderd, zodat alleen treinen overblijven die rijden tussen 10:00 en 15:00 uur (de drukste 5 uur voor goederentreinen op de Betuweroute)

5. Ook treinen met entreevertraging kleiner dan -6 of groter dan 6 minuten zijn verwijderd (de simulatie heeft geen entreevertragingen buiten dit interval), en treinen met kleinere of grotere vertragingen onderweg dan in de simulatie voorkomen.

4.3.9 Verstoringen

De simulaties worden gevoed met verstoringen bij entree en ieder vertrek. Dit zijn stochastische verstoringen die worden getrokken uit kansverdelingen. Deze kansverdelingen verschillen per treinserie, dienstregelpunt en activiteit (eerste doorkomst, ieder vertrek). De kansverdelingen zijn gefit op de realisatiedata zoals beschreven in paragraaf 4.3.8 stap 1 t/m 3 (en geen verdere filtering om voldoende goederentreinen over te houden voor het fitten). Alle kansverdelingen zijn daarna afgekapt zodat verstoringen tussen de -6 en +6 minuten liggen, omdat om “normaal bedrijf” gevraagd wordt.

Verstoringen zijn hetzelfde voor alle varianten. Voor ATO en TMS+ATO zijn verstoringen bij vertrek niet aangepast omdat ATO GoA2 is gesimuleerd waarbij het sluiten van de deuren nog steeds door de bemanning wordt gedaan. Pas bij ATO GoA4 gebeurt het sluiten van de deuren automatisch en zullen verstoringen bij vertrek mogelijk kleiner worden. Verder is alleen het effect van ATO en ATO+TMS in het studiegebied onderzocht. Als treinen al voor entree van het studiegebied ook onder ATO of TMS+ATO rijden dan zullen de verstoringen bij entree naar verwachting kleiner worden.

Zonder dienstregelingscompressie worden voor iedere gesimuleerde variant exact dezelfde verstoringen toegepast (naast dezelfde verdeling ook exact dezelfde waarden). Bij de vergelijking van prestaties voor verschillende mate van dienstregelingscompressie worden voor iedere variant dezelfde verstoringverdelingen gebruikt maar niet meer exact dezelfde waarden omdat de Agent simulaties vaak vastliepen en anders te weinig replicaties over bleven. Omdat voldoende replicaties zijn gebruikt is het effect hiervan verwaarloosbaar.

4.3.10 Inschatting validiteit simulaties

In een algemene validatie van verschillende simulatie tools zijn ongehinderde rijtijden in FRISO (waarbij wordt aangezet volgens de door Ricardo Rail geleverde materieelkarakteristieken, de maximaal toegestane snelheid wordt gereden en met dienstremming wordt geremd) door Wilco Tielman met het 10^e percentiel van de realisatie vergeleken voor een aantal treinen en aantal trajecten in Nederland. Rijtijden komen redelijk overeen, vergelijkbaar met Open Track en RailSys, waarbij de kwaliteit van het model belangrijker blijkt dan het gebruikte tool.

Ook zijn veel FRISO-simulaties op VL posten getoond. Simulaties werden als herkenbaar gezien en vooraf gesignaleerde conflicten bleken ook in werkelijkheid op te treden.

Het FRISO-model dat is gebruikt in dit onderzoek is van voldoende kwaliteit voor een onderlinge vergelijking van de gesimuleerde varianten. Het model is zorgvuldig gemaakt en uitgebreid gecontroleerd, bijvoorbeeld door te testen of treinen op tijd rijden zonder verstoringen en te testen of geen onverwacht grote vertragingen optreden met verstoringen.

De Agent simulatie is vergeleken met realisatiedata op dienstregelpunten, zie B: Vergelijking Agent simulatie met realisatiedata. Dit laat zien dat de Agent simulatie een zeer grote (voor de A2) of voldoende (voor de Havenspoorlijn en Betuweroute) mate van overeenkomst heeft met de realisatie. Deze Agent is gebruikt als referentie-variant.

De simulaties zijn nauwkeurig genoeg voor een kwantitatieve vergelijking van gesimuleerde varianten, waarmee het relatieve verschil tussen Agent, ATO en TMS+ATO voldoende nauwkeurig bepaald kan worden. De simulaties zijn echter niet nauwkeurig genoeg om de uitkomsten als absoluut aan te nemen. De werkelijkheid is complexer dan een model, vooral door het gedrag van machinisten en treindienstleiders en door de verstoringen en incidenten die optreden.

4.4 Resultaten simulaties

In dit hoofdstuk worden de resultaten van de uitgevoerde simulaties beschreven. De aankomstvertragingen van ATO en TMS+ATO worden vergeleken met de Agent. Vervolgens worden de prestaties op de gekozen KPI's (Kritische Prestatie Indicatoren) beschreven.

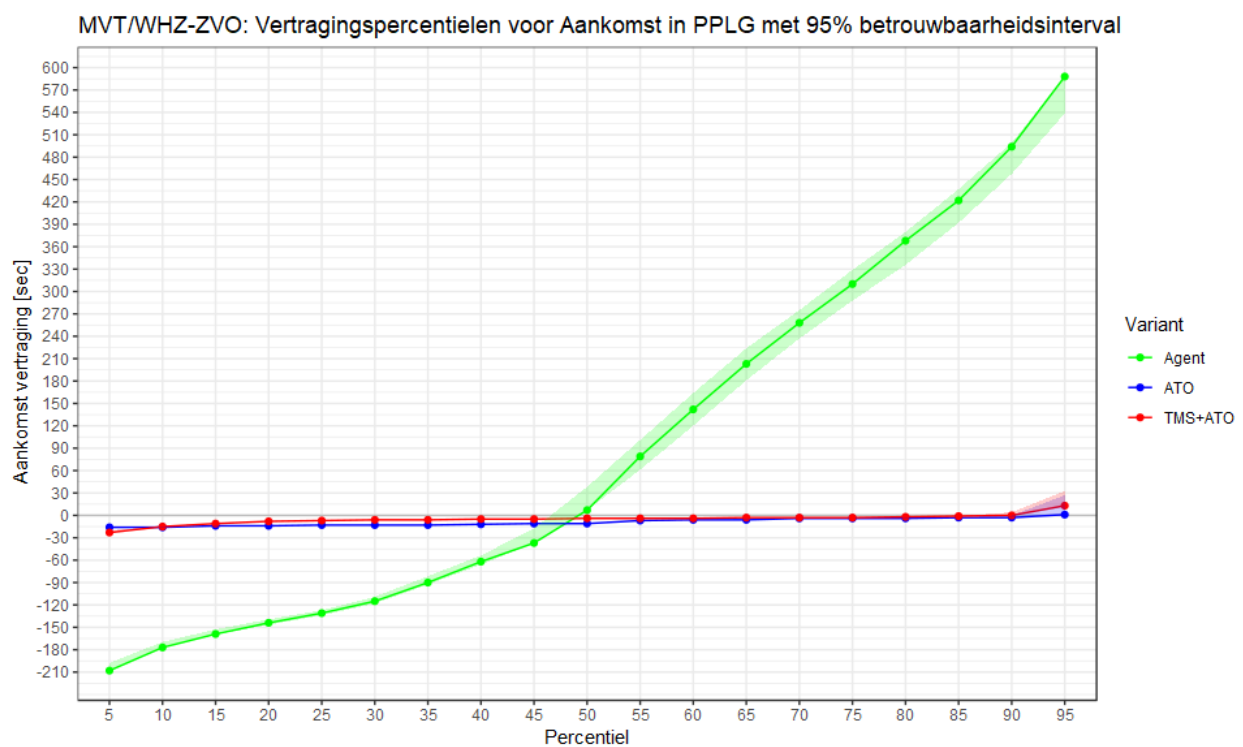
Om de potentiële baten ten opzichte van de huidige situatie in te schatten zijn ATO en TMS+ATO vergeleken met de Agent en niet met de realisatie. ATO en TMS+ATO zijn met dezelfde verstoringen, dienstregeling en treinsamenstelling gesimuleerd als de Agent, en daarmee beter vergelijkbaar met de Agent dan met de realisatie waarin de condities verschillen.

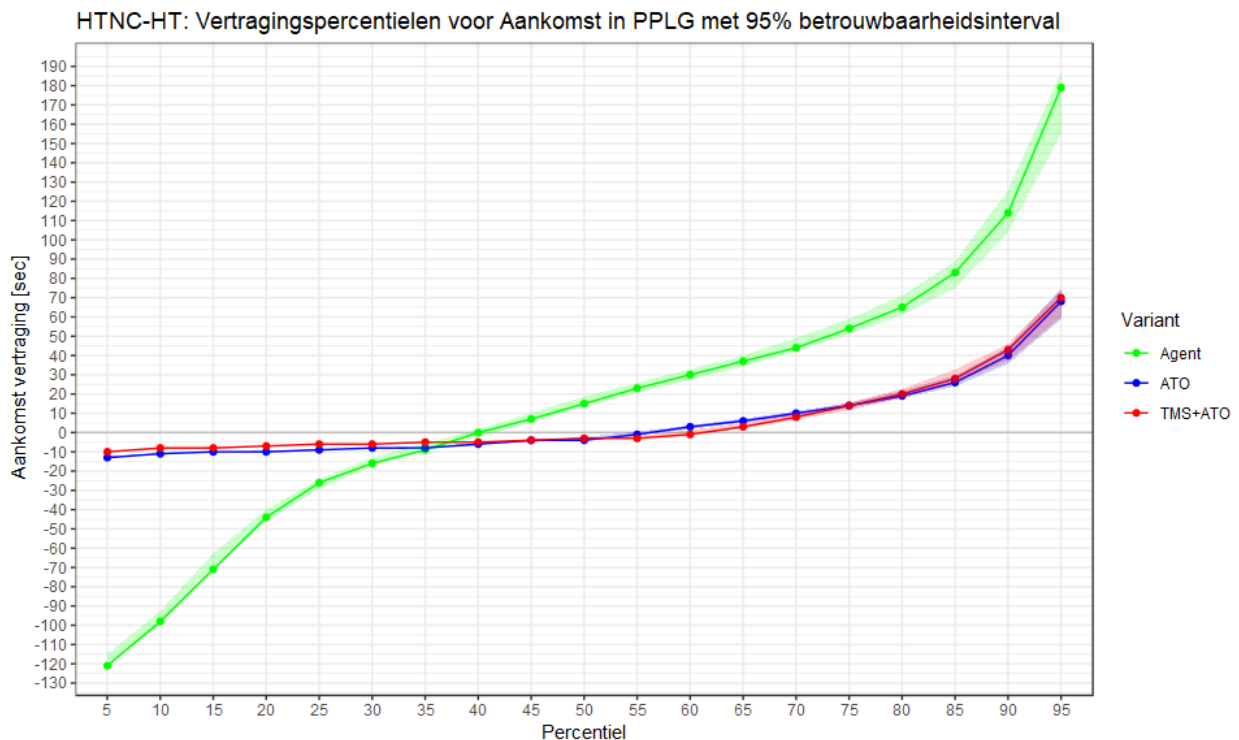
De vergelijking is uitgesplitst naar het BR traject (Mvt/Whz-Zvo) en het A2 traject (Htnc-Ht). Dit is gedaan om inzicht te krijgen in de effecten van ATO of TMS+ATO voor deze verschillende trajecten. Op het BR traject rijden alleen goederentreinen. Op het A2 traject rijdt een mix van intercity's, sprinters en goederentreinen met vaak weinig buffer en rijden hoofdzakelijk reizigerstreinen.

4.4.1 Vergelijking aankomstvertragingen zonder dienstregelingcompressie

Als eerste zijn de varianten zijn vergeleken op vertragingpercentielen bij aankomst omdat dit een genuanceerder beeld geeft en meer inzicht dan alleen een vergelijking op enkele KPI's.

De vertragingpercentielen bij aankomst worden voor beide trajecten gegeven in de figuren hieronder. De aankomstvertraging bij een percentielwaarde kan gezien worden als de maximale vertraging waar dat percentage treinen onder blijft. Bijvoorbeeld, bij het 80^e percentiel van de Agent staat 360 seconden voor Mvt/Whz-Zvo. Dit betekent dat 80% van de treinen een vertraging heeft kleiner dan 360 seconden.





Te zien is dat ATO en TMS+ATO veel kleinere afwijkingen hebben van het plan bij aankomst dan de Agent. Ook is de spreiding veel kleiner:

- Bij ATO en TMS+ATO komen de meeste treinen met een afwijking kleiner dan 30 seconden aan terwijl voor de Agent dit een veel kleiner deel van de treinen is. Bij ATO en TMS+ATO is dit circa 95% voor Mvt/Whz-Zvo en 85% voor Htnc-Ht terwijl dit bij de Agent 5% is voor Mvt/Whz-Zvo en 35% voor Htnc-Ht.
- Bij ATO en TMS+ATO is de bandbreedte van het 5^e tot het 95^{ste} percentiel veel kleiner dan bij de Agent. Bij ATO en TMS+ATO is deze bandbreedte circa 30 seconden voor Mvt/Whz-Zvo en 80 seconden voor Htnc-Ht terwijl dit bij de Agent 800 seconden is voor Mvt/Whz-Zvo en 300 seconden voor Htnc-Ht.

De aankomstvertragingen van ATO en TMS+ATO zijn veel meer om het nulpunt geconcentreerd. Een grote verbetering ten opzichte van de agent. Dat ATO en TMS+ATO een verbetering geven ten opzichte van de Agent is conform verwachting. De mate van verbetering is echter verrassend, deze is hoger dan verwacht.

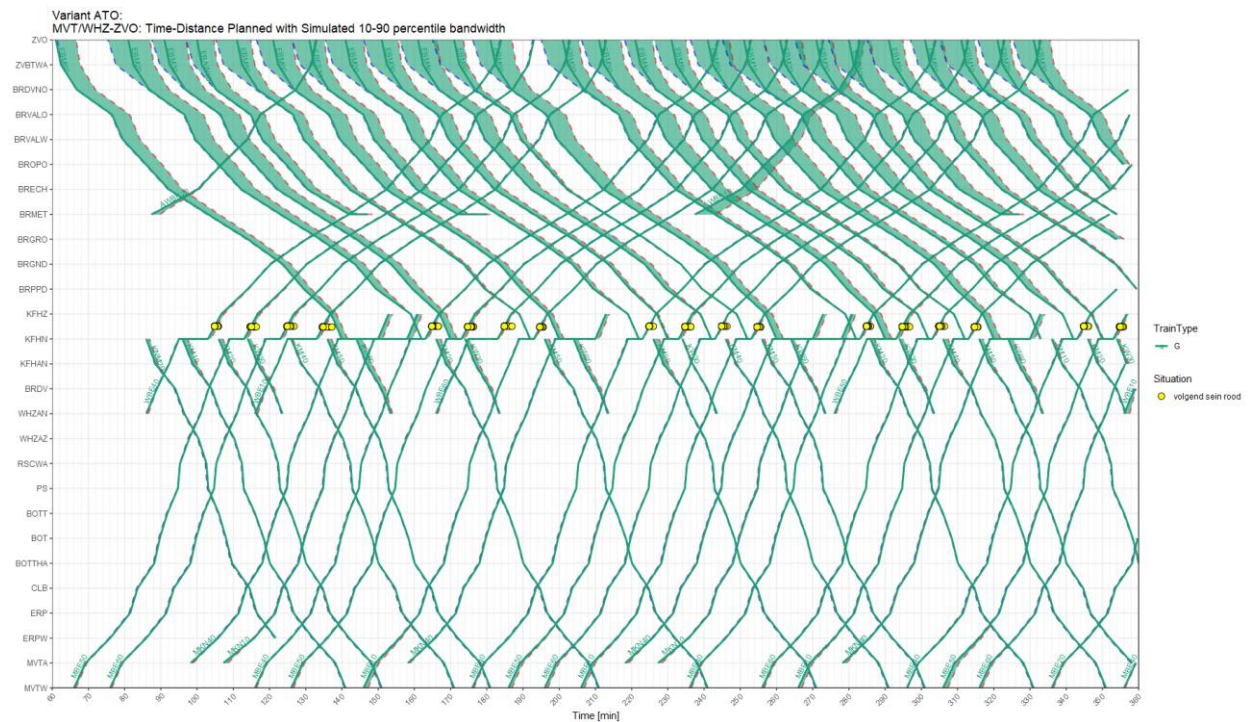
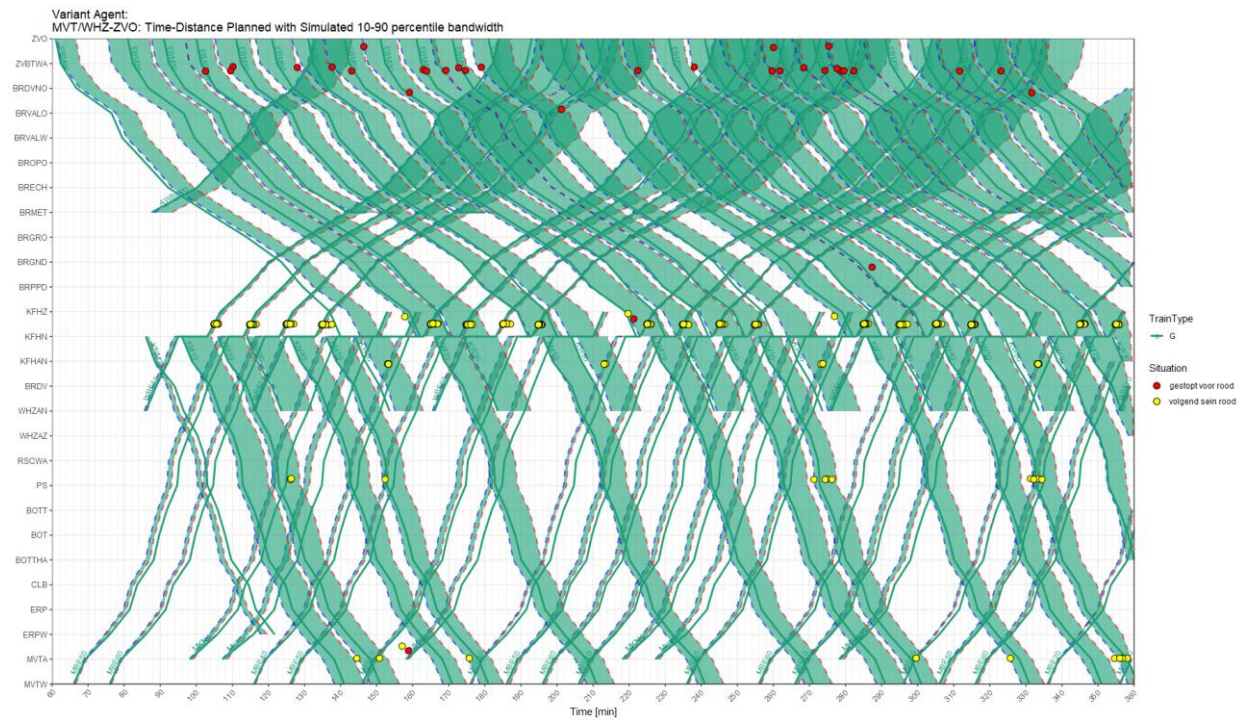
Te zien is ook dat de verschillen tussen ATO en TMS+ATO marginaal zijn. Bij de gebruikte kleinere verstoringen (tot 6 minuten) en zonder compressie van de dienstregeling is er met een TMS kennelijk nauwelijks extra winst te bereiken op deze trajecten.

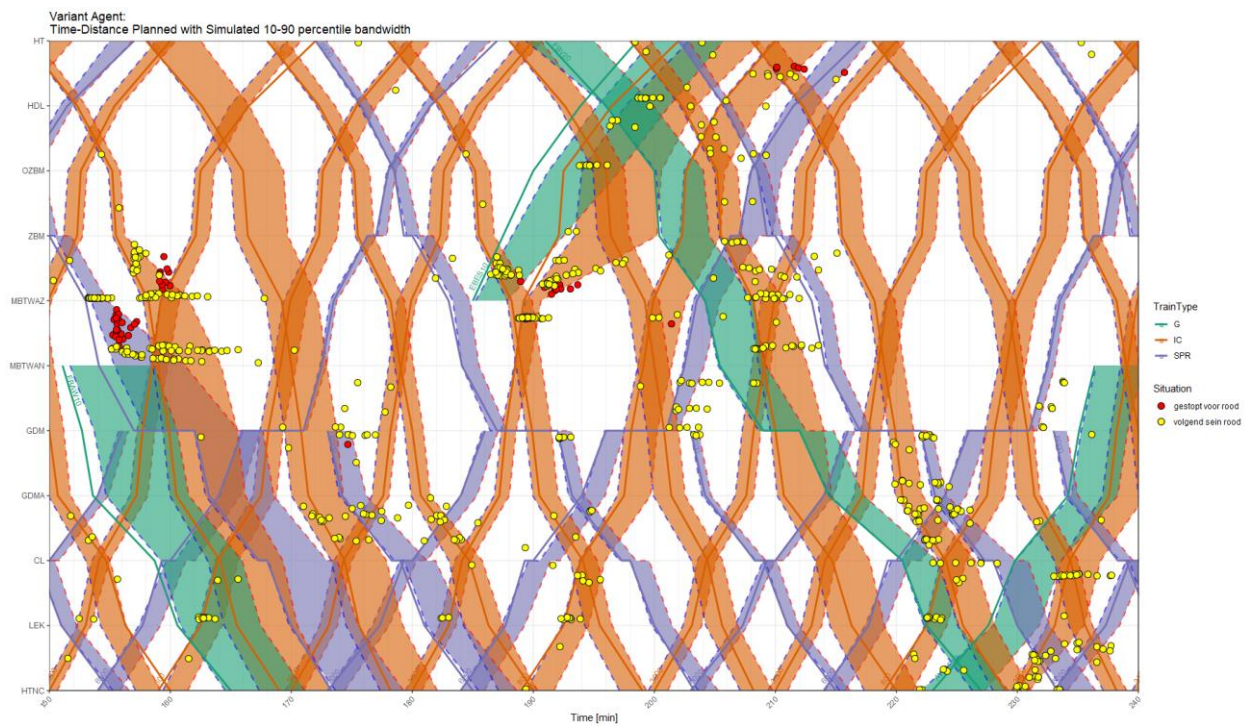
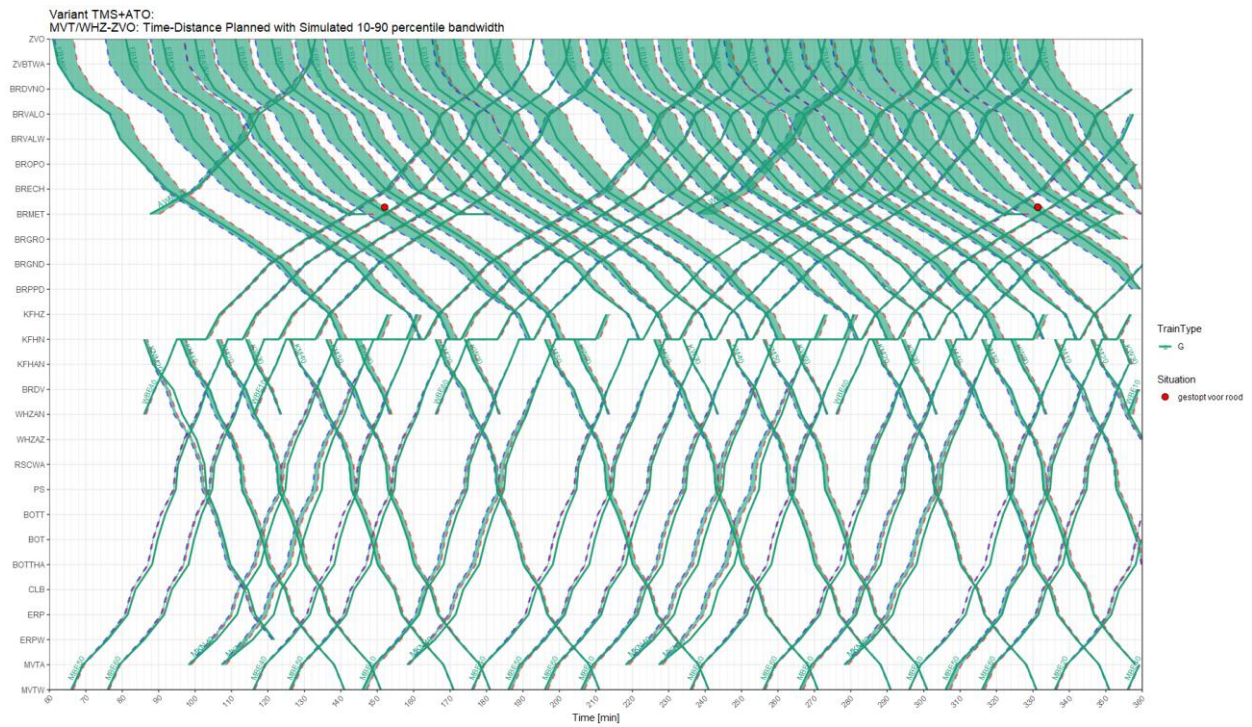
Opmerkingen hierbij zijn:

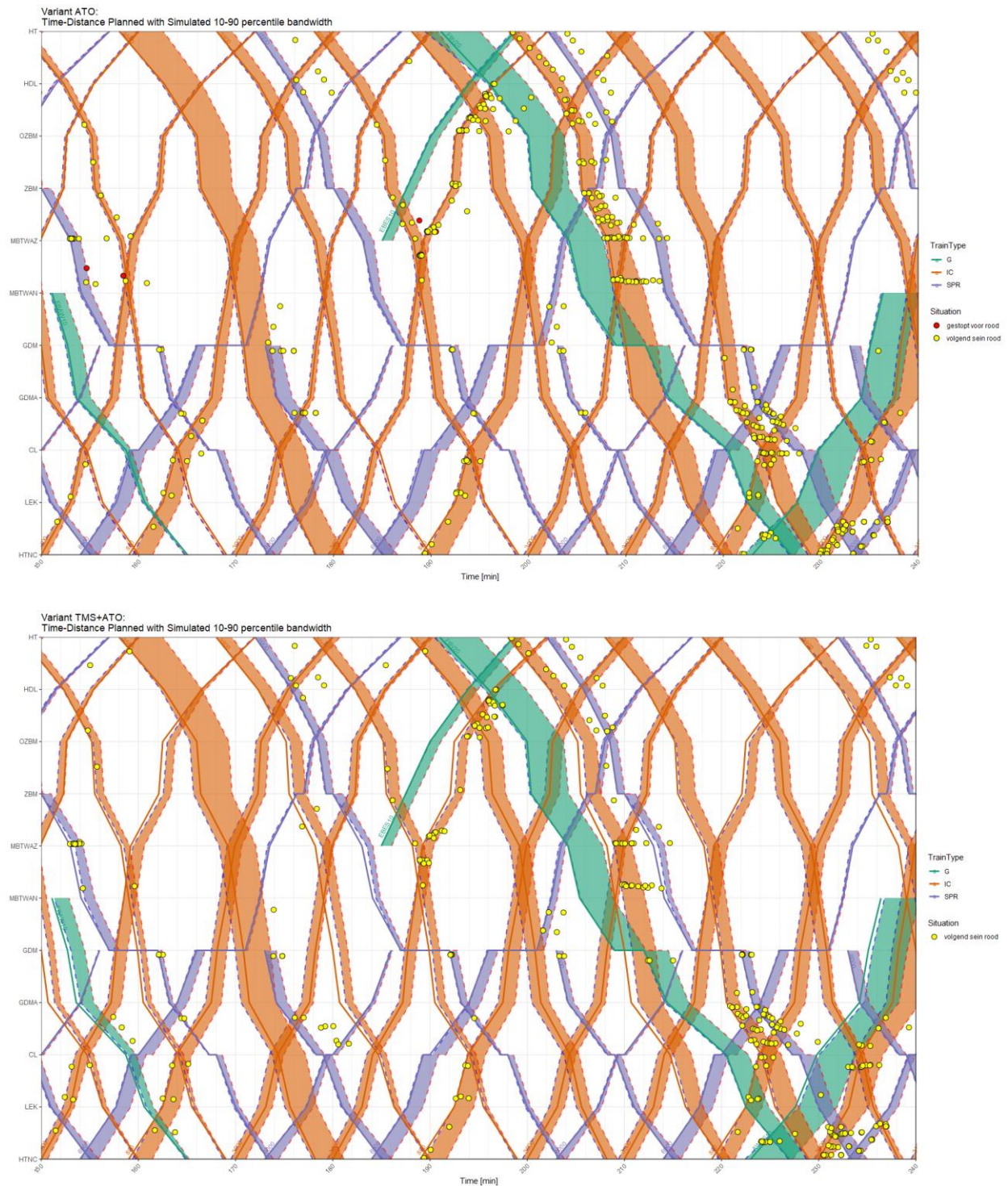
- Op het traject Htnc-Ht rijden voornamelijk reizigerstreinen en is het verkeer gemengd. Tevens is dit traject druk bezet. Er rijden 6 intercity's, 4 sprinters en gemiddeld 0.5 goederentreinen per uur per richting.
- Op het traject Mvt/Whz-Zvo rijden alleen goederentreinen. Dit traject is minder druk bezet. Er rijden circa 5 goederentreinen per uur per richting tussen Kijfhoek en Zevenaar.
- In de Agent simulaties zijn hellingen niet meegenomen terwijl deze voor ATO en TMS+ATO wel zijn meegenomen. De verwachting is dat resultaten van de Agent eerder zullen verslechteren dan verbeteren als hellingen daar ook meegenomen worden.

Bovenstaande verschillen blijken ook uit de onderstaande tijd-weg diagrammen waarin de 10-90 percentiel bandbreedte is gegeven (80% van de treinen rijdt dus binnen deze bandbreedte). Om de

verschillen tussen de varianten ook voor Htnc-Ht goed zichtbaar te maken wordt voor dat traject een korter tijdinterval gebruikt dan voor Mvtw-Zvo.







In bovenstaande tijd-weg diagrammen is duidelijk te zien dat ATO en TMS+ATO aanzienlijk kleinere bandbreedtes hebben bij aankomst dan de Agent. Ook is te zien dat ATO de trein naar de planlijn stuurt en er vervolgens op houdt waardoor de bandbreedte afneemt gedurende de rit. Dit is ook te zien voor TMS+ATO. TMS+ATO stuurt echter alleen op aankomsten en niet op doorkomsten en staat daarmee onderweg meer marge toe (dat is regelruimte voor de TMS, bijvoorbeeld voor het voorkomen van ongeplande stops).

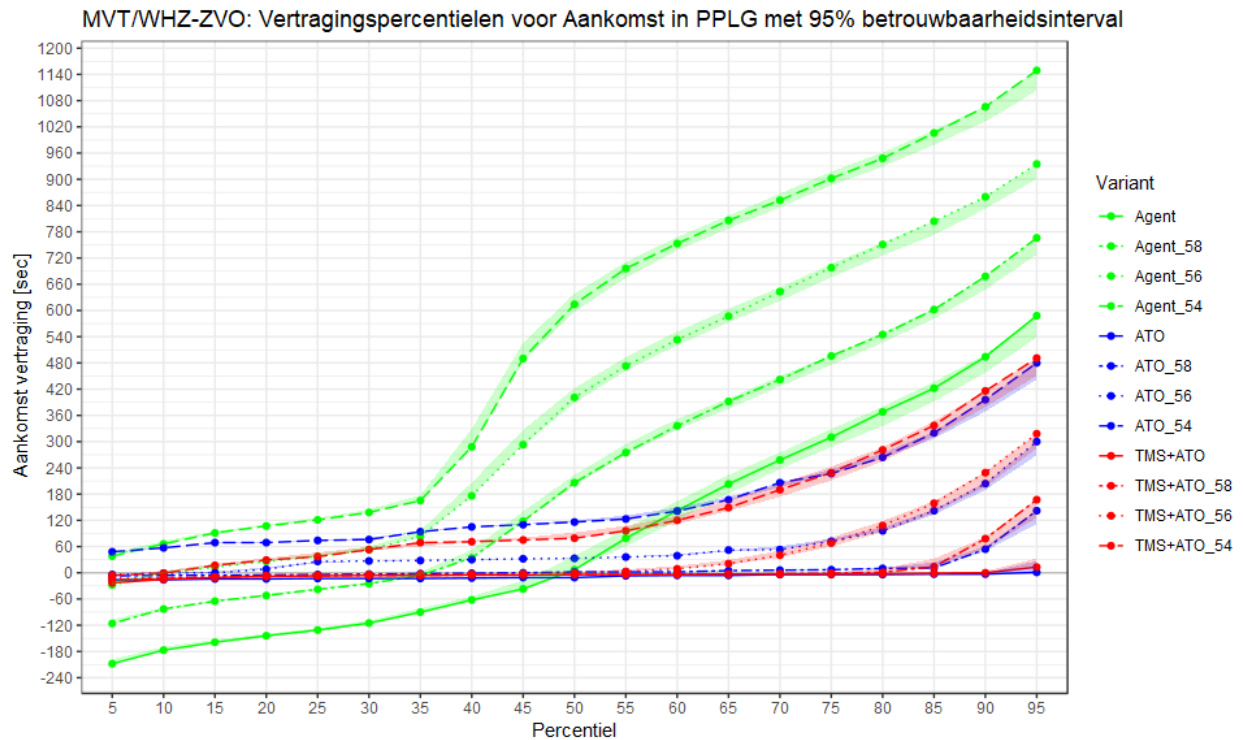
4.4.2 Vergelijking aankomstvertragingen met ook dienstregelingcompressie

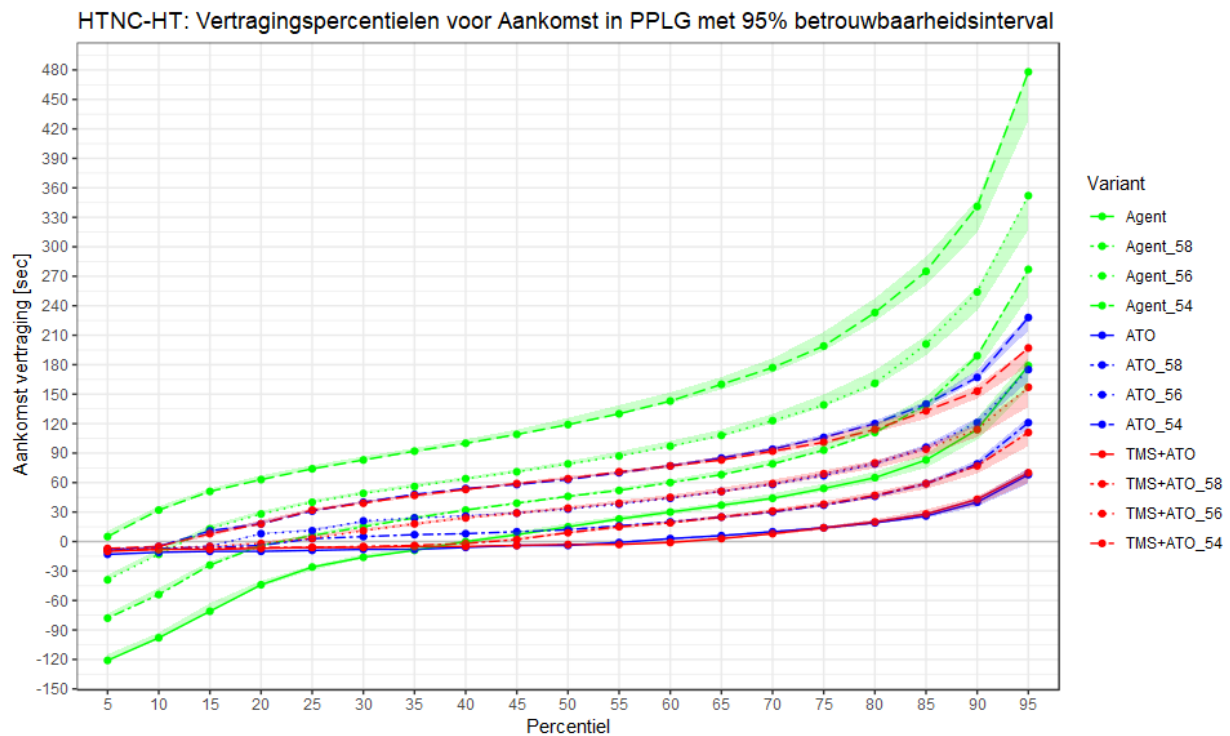
De varianten zonder en met compressie van de dienstregeling zijn vergeleken op vertragingpercentielen bij aankomst. Deze worden voor beide trajecten gegeven in de figuren hieronder.

In de grafieken betekent de op de horizontale as gegeven dienstregeling-compressie:

- 60: geen compressie.
- 58: dienstregeling van 60 minuten gecomprimeerd is naar 58 minuten.
- 56: dienstregeling van 60 minuten gecomprimeerd is naar 56 minuten.
- 54: dienstregeling van 60 minuten gecomprimeerd is naar 54 minuten.

Om de grafieken leesbaar te houden is het aantal kleuren beperkt, de lijnen met hogere vertragingen horen bij een hogere compressie van de dienstregeling.





Duidelijk is weer dat ATO en TMS+ATO aanzienlijk beter presteren dan de Agent. Ook is te zien dat TMS+ATO vertragingen tot een hoger percentiel in de buurt van nul kan houden dan ATO bij compressie van de dienstregeling naar 56 en 54 minuten voor Mvt/Whz-Zvo en bij compressie naar 58 minuten voor Htnc-Ht, en dat TMS+ATO een lagere vertraging heeft bij het 95^{ste} percentiel dan ATO bij compressie naar 56 en 54 minuten voor Htnc-Ht.

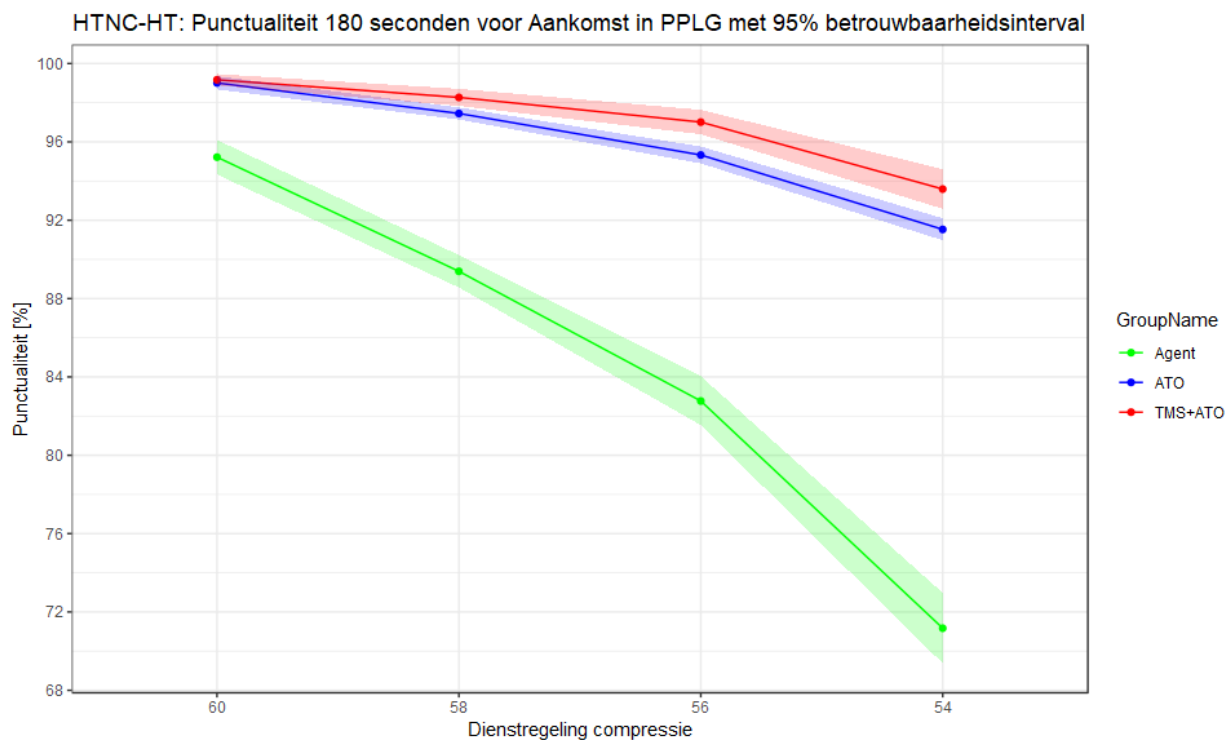
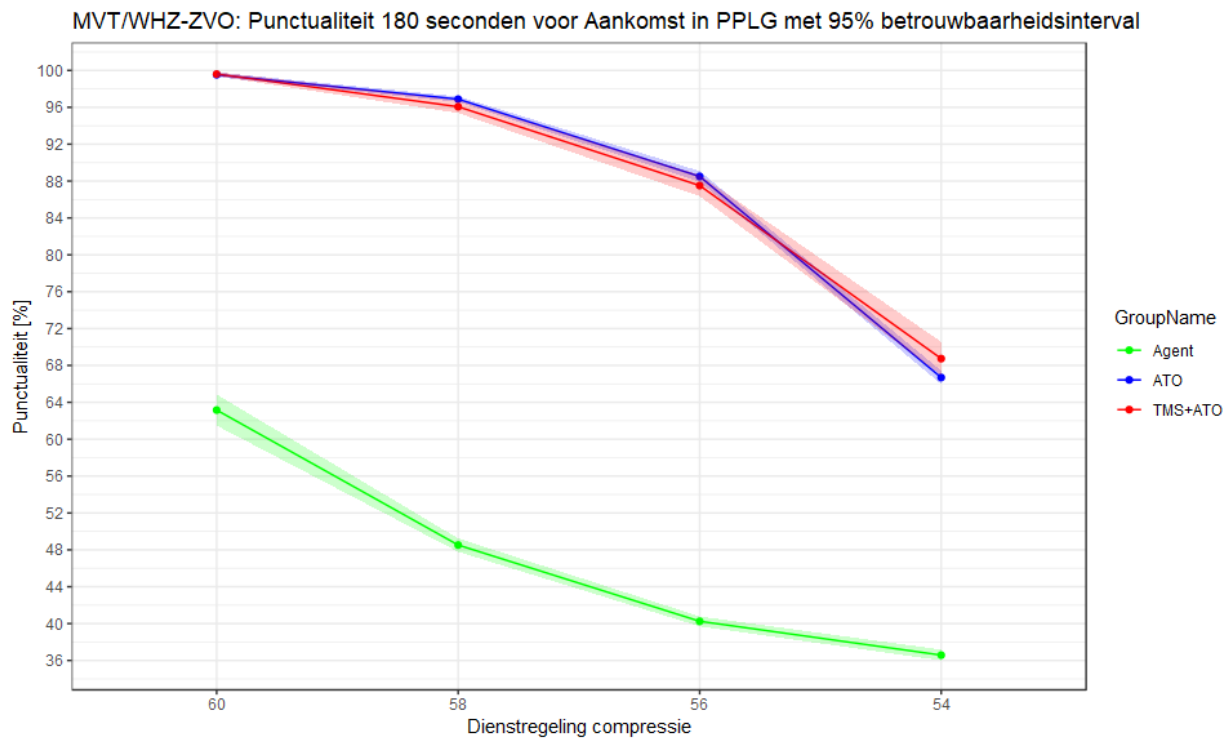
Dit is conform verwachting aangezien ATO en TMS+ATO strakker sturen op geplande aankomsttijden dan de Agent. Daarnaast optimaliseert TMS+ATO de treinenloop op basis van de actuele verkeerssituatie en stemt snelheidsadviezen aan treinen op elkaar af terwijl bij ATO iedere trein op het vooraf gegeven plan stuurt waarbij geen rekening wordt gehouden met de actuele positie van andere treinen.

Een kanttekening bij de Agent resultaten, met name voor Mvt/Whz-Zvo, is dat veel machinisten nu niet strak op plantijden sturen. Bij andere instructies, of als daadwerkelijk meer goederenpaden gevuld worden of de paden dichter op elkaar komen te liggen, gaan machinisten mogelijk nauwkeuriger op hun plan sturen omdat dit dan belangrijker wordt dan het nu is.

4.4.3 Vergelijking punctualiteit

Naast de percentiel-grafieken voor aankomstvertraging zijn voor specifieke KPI's de effecten bepaald. Dit is ook gedaan voor de simulaties waarbij de dienstregeling gecomprimeerd is. Deze KPI's worden hieronder weergegeven.

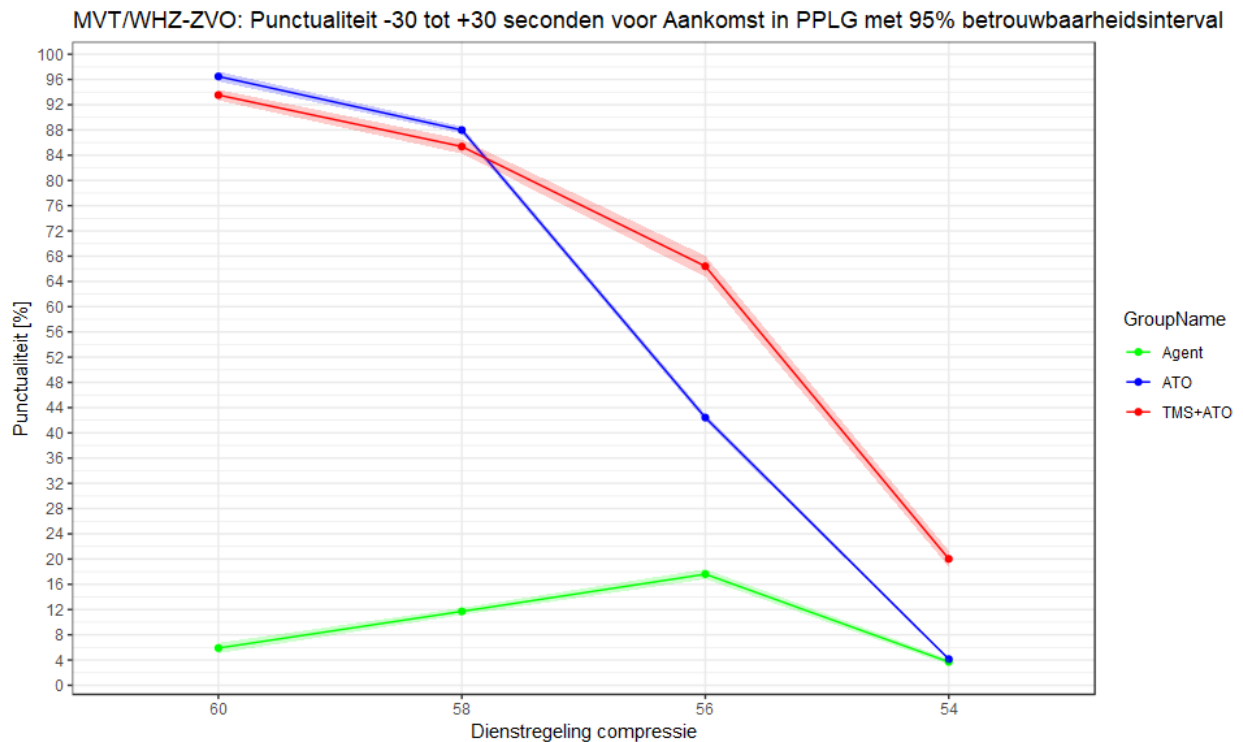
Een belangrijke waarde is de treinpunctualiteit op 180 seconden (het percentage treinen met een aankomstvertraging ≤ 180 seconden), een voor zowel ProRail als NS belangrijke KPI. Deze wordt in de onderstaande grafieken gegeven.

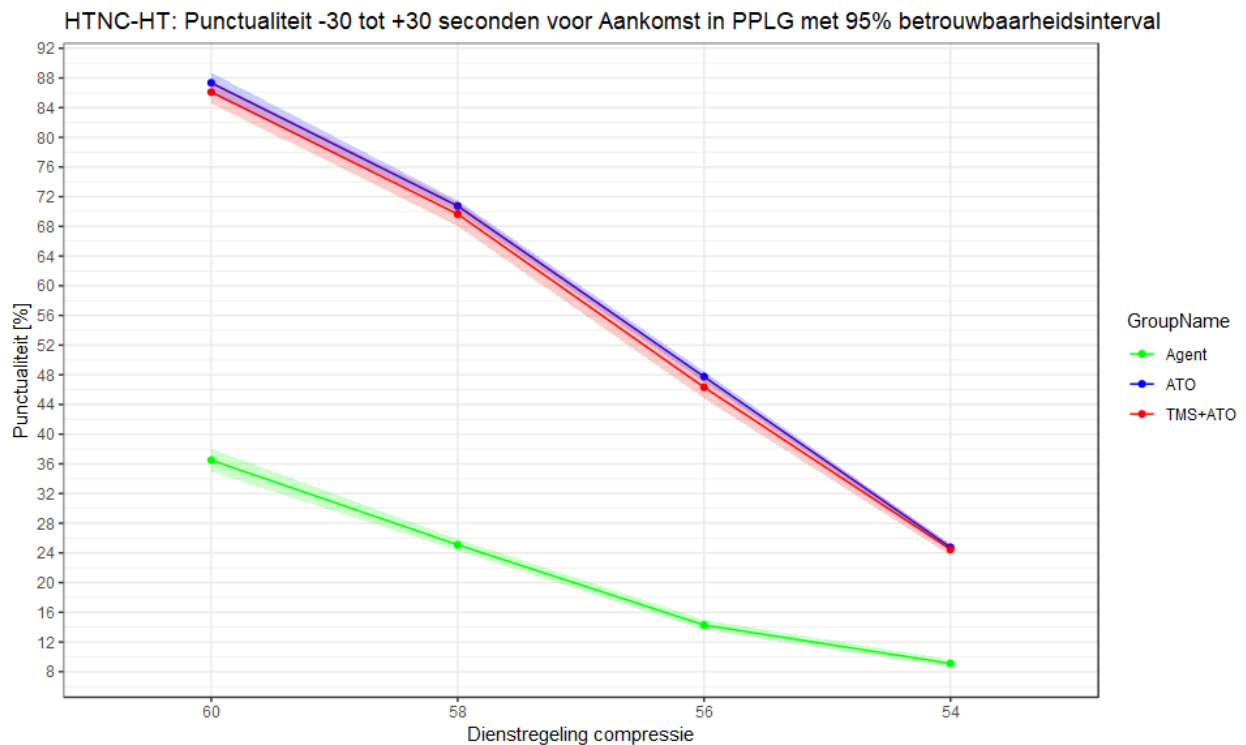


Duidelijk is te zien dat ATO en TMS+ATO beter scoren dan de Agent. Met ATO of TMS+ATO kan de punctualiteit dus aanzienlijk verhoogd worden of kunnen bij gelijkblijvende punctualiteit meer treinen rijden. Opvallend is dat het verschil met de Agent voor Mvt/Whz-Zvo al groot is zonder compressie van de dienstregeling en bij toenemende compressie eerst groter wordt en dan weer kleiner. Voor Htnc-Ht neemt het verschil juist sterk toe bij toenemende compressie van de dienstregeling. De afwijkende vorm van de lijn voor de Agent voor Mvt/Whz-Zvo komt mogelijk doordat ook zonder compressie de in de uitvoering

optredende bandbreedtes rond de planning (zoals gegeven in de tijd-weg diagrammen in paragraaf 4.4.1) al zo groot zijn dat deze gaan overlappen en er geen duidelijke omslag is van niet overlappen naar wel overlappen, terwijl deze omslag er voor Htnc-Ht wel is. Verder is te zien dat voor Mvt/Whz-Zvo de punctualiteit van TMS+ATO vergelijkbaar is met ATO, terwijl voor Htnc-Ht de punctualiteit van TMS+ATO bij compressie tot 56 en 54 minuten beter is dan ATO.

Een andere belangrijke maat die veel gebruikt wordt is het percentage treinen dat binnen -30 tot + 30 seconden vertraging aankomt ($-30 \leq \text{aankomstvertraging} \leq +30$ seconden). De KPI OTR (Op Tijd Rijden) van NS is ongeveer te omschrijven als de door het treinpersoneel beïnvloedbare afwijking op 30 seconden. Hier wordt dezelfde 30 seconden gebruikt, maar dan wel de gehele punctualiteit en niet alleen de door het treinpersoneel beïnvloedbare punctualiteit.





Ook hier is duidelijk een stijging ten opzichte van de Agent te melden. Dit keer is er juist verschil tussen TMS+ATO en ATO voor Mvt/Whz-Zvo, en niet voor Htnc-Ht. Voor Mvt/Whz-Zvo presteert TMS+ATO iets slechter zonder compressie en bij compressie tot 58 minuten en behoorlijk beter bij compressie tot 56 en 54 minuten.

Indien de prestaties van de Agent zonder compressie van de dienstregeling als referentie worden genomen, dus als prestaties niet slechter mogen worden dan de prestatie van de Agent zonder compressie van de dienstregeling, dan volgt uit bovenstaande grafieken dat voor de Agent geen compressie mogelijk is zonder een belangrijke verslechtering op één van deze KPI's. Voor ATO en TMS+ATO daarentegen is voor Mvt/Whz-Zvo een compressie tot 54 minuten mogelijk (10% compressie) en voor Htnc-Ht een compressie tot circa 55 minuten (8% compressie). Met TMS+ATO lijkt een iets hogere compressie haalbaar dan met ATO.

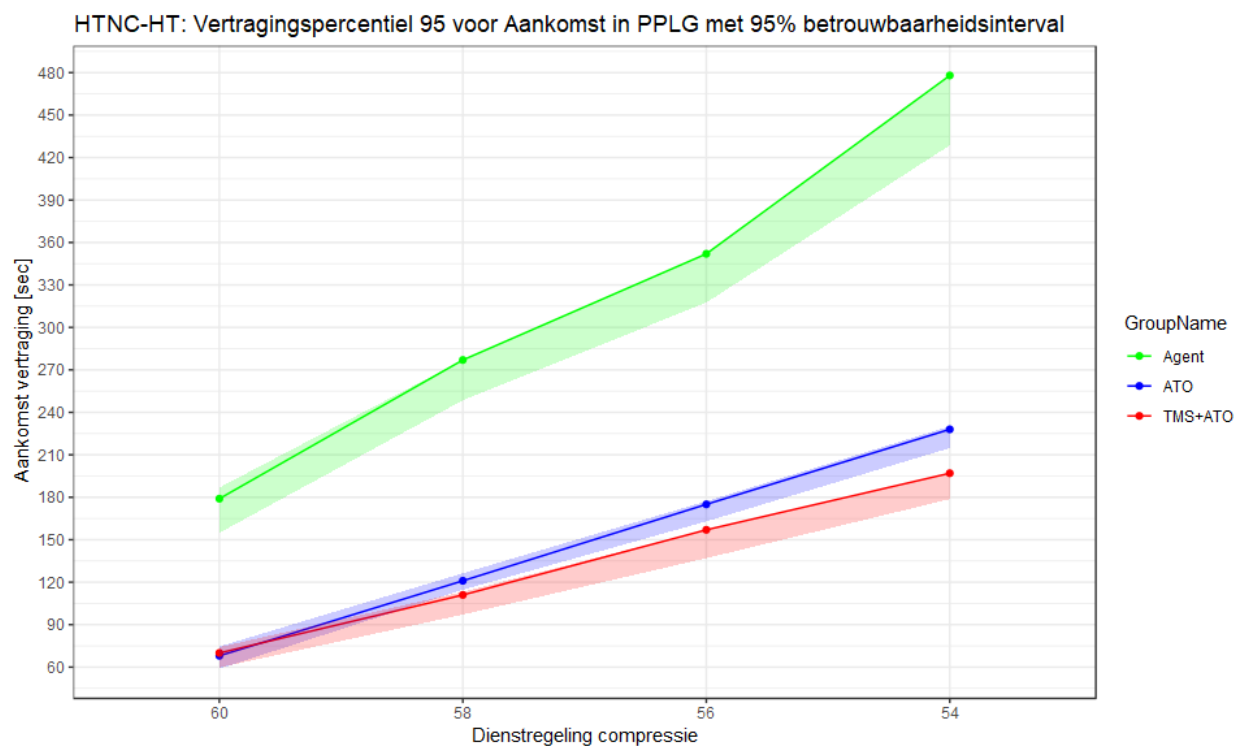
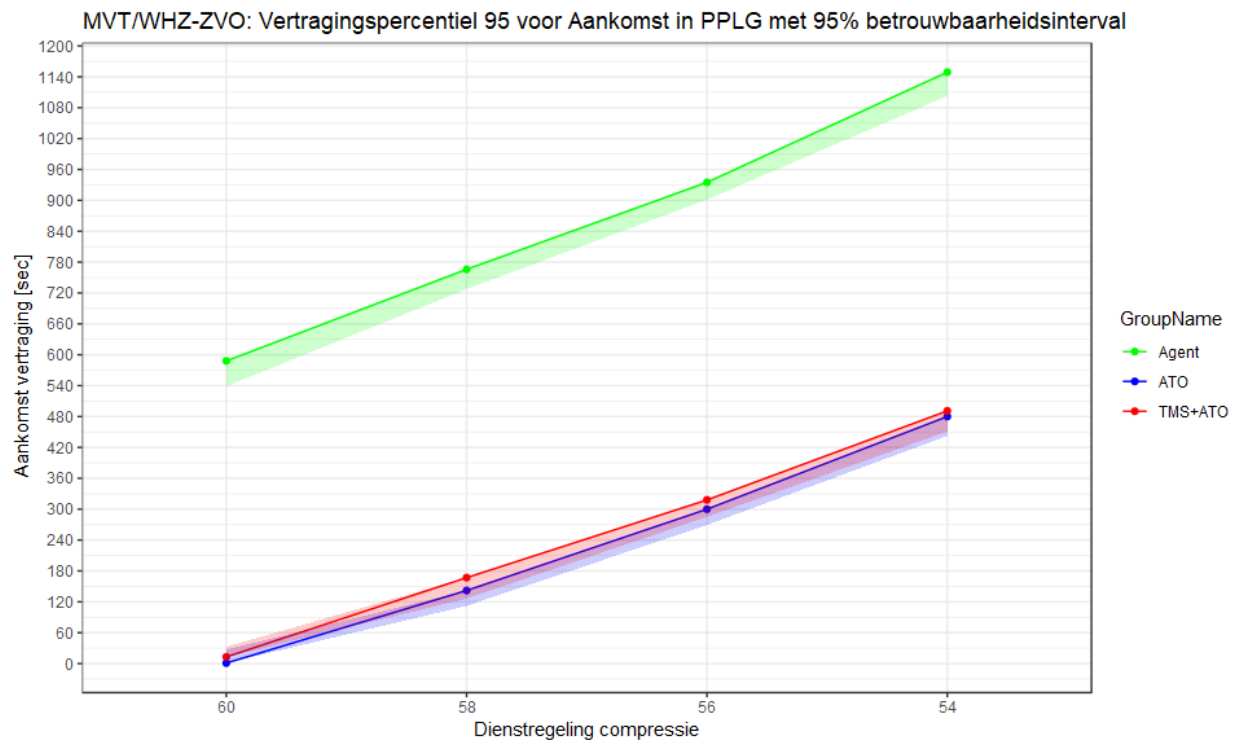
Dit is bij gelijkblijvende verstoringen. Als overall met ATO of TMS+ATO wordt gereden dan zullen verstoringen bij entree van het studiegebied kleiner worden, en als GoA4 wordt gebruikt nemen mogelijk ook de verstoringen bij vertrek af omdat het sluiten van de deuren dan automatisch zal gaan. Hierdoor zal een verdere verhoging van de capaciteit mogelijk zijn.

4.4.4 Vergelijking planafwijking

Eenzelfde beeld volgt als gekeken wordt naar de buffers. Een buffer is nodig om te zorgen dat de meeste planafwijkingen van treinen niet tot treinhinder leiden. De planafwijking van de verschillende varianten is vergeleken als indicatie voor hoeveel de buffers gemiddeld verlaagd zouden kunnen worden.

De vergelijking is gedaan op een percentielwaarde. De planafwijking op een percentielwaarde geeft aan welk percentage van de treinen binnen die planafwijking blijft.

De gebruikte percentielwaarde zou overeen moeten komen met het afgesproken percentage treinen waarvan de planafwijking binnen de buffer moet vallen. Vanzelfsprekend moet dit een hoge waarde zijn om de dienstregeling punctueel en stabiel te kunnen houden. Er is geen algemeen geaccepteerde waarde. In het theoretische kader van Plannen – Meten – Sturen (PMS) is 95% gebruikt [Trein Op Lijn (TOL); contextinformatie en snelheidsadvies aan machinist, J. Knijff & J. van Luipen, 2014]. Deze waarde zal hier ook worden gebruikt.



De grafieken laten zien dat met ATO of TMS+ATO aanzienlijk kleinere buffers nodig zijn dan met de Agent, ongeacht het compressieniveau.

Indien de prestaties van de Agent zonder compressie van de dienstregeling als referentie worden genomen dan volgt ook uit deze grafieken dat voor de Agent geen compressie mogelijk zonder een belangrijke verslechtering. Voor ATO en TMS+ATO daarentegen is voor Mvt/Whz-Zvo een compressie tot

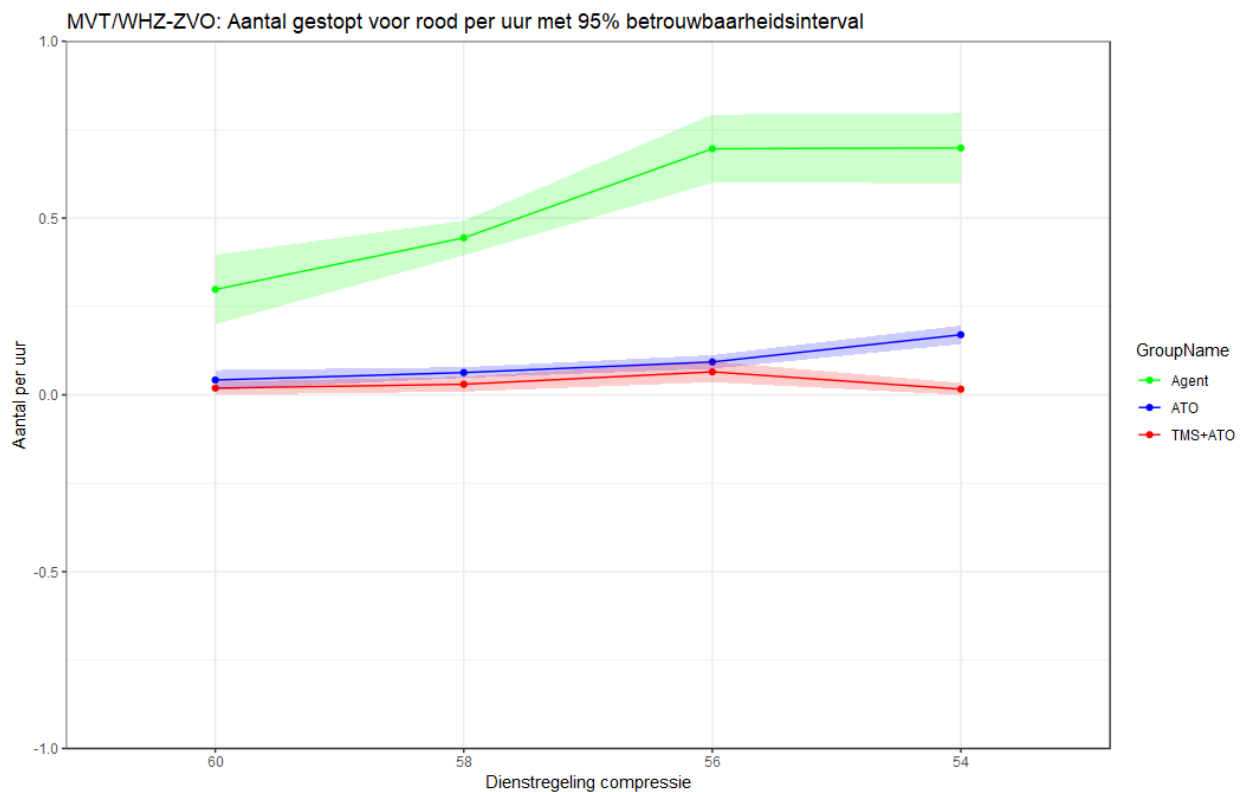
54 minuten mogelijk (10% compressie) en zelfs nog iets meer, en voor Htnc-Ht een compressie tot circa 55 minuten (8% compressie). Met TMS+ATO lijkt ook hier een iets hogere compressie haalbaar dan met ATO.

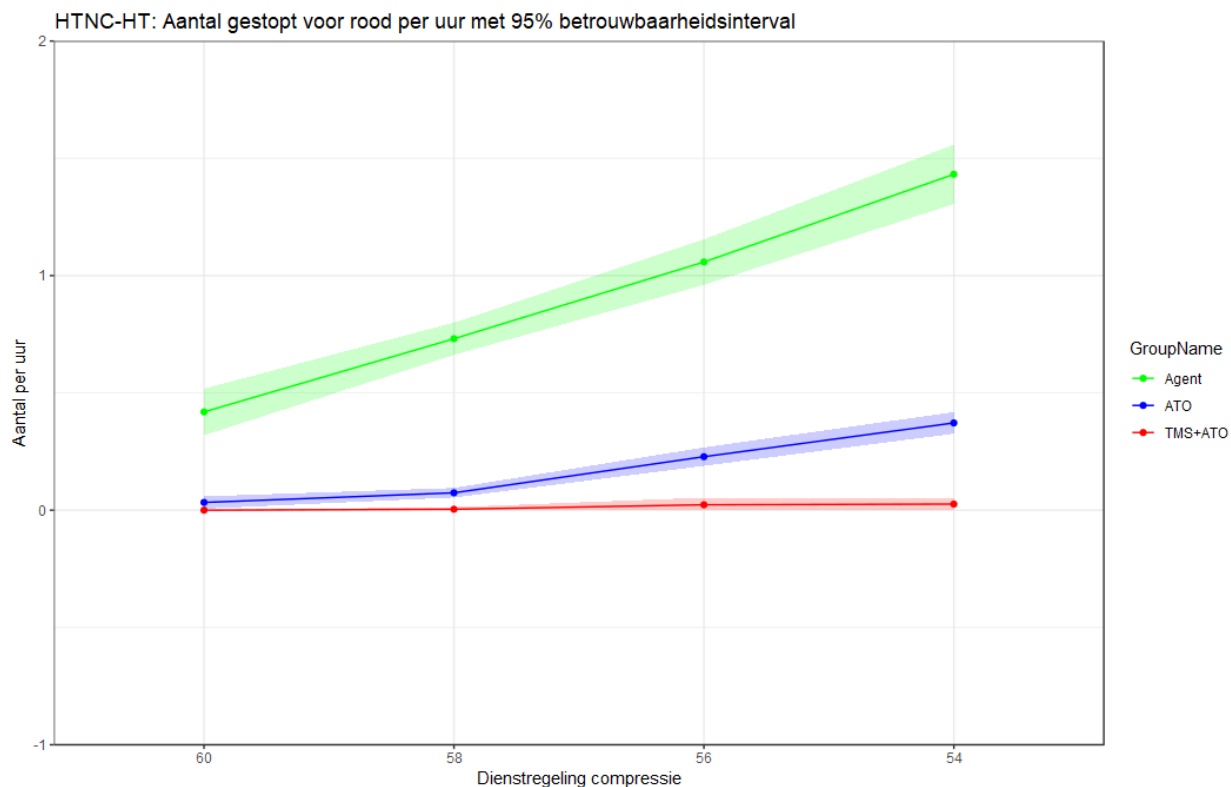
4.4.5 Vergelijking ongeplande stops

In onderstaande grafieken wordt het aantal ongeplande stops gegeven.

Ongeplande stops zijn met het oog op veiligheid ongewenst; de trein moet onverwacht stoppen voor een rood sein en als de trein door dit rode sein heen rijdt dan kan een botsing met een andere trein optreden. Bij ETCS en ATB-NG beveiliging kan dit niet optreden. Bij ATB-VV is het voorkomen van stoptonend sein passage niet gegarandeerd. De kans hierop is wel erg klein. ATB-EG voorkomt geen stoptonend sein passages. Voor de Betuweroute (Kijfhoek – Zevenaar) die met ETCS-beveiliging is uitgerust speelt deze KPI voor veiligheid dus geen rol. Landelijk zijn in de afgelopen 12 maanden 142 stoptonend sein passages voorgekomen waarbij in 32 gevallen het gevaarpunt werd bereikt (prestatie-dashboard ProRail op 01-02-2019). Hiervan waren er 14 in Kijfhoek waarbij in 4 gevallen het gevaarpunt werd bereikt, 8 in het gebied Maasvlakte – Kijfhoek (inclusief sporen buiten het doorgaande traject) waarbij in 3 gevallen het gevaarpunt werd bereikt, en geen op Houten – Den Bosch.

Ongeplande stops zijn ook ongewenst met het oog op energieverbruik en het comfort van reizigers.





De grafieken laten zien dat met ATO of TMS+ATO aanzienlijk minder ongeplande stops optreden dan met de Agent, ongeacht het compressieniveau.

Als naar ongeplande stops wordt gekeken dan is geen compressie mogelijk voor de Agent, terwijl voor ATO een compressie naar 54 minuten mogelijk is en voor TMS+ATO een nog hogere compressie.

4.4.6 Toepasbaarheid simulatie

De gevonden effecten gelden onder normaal bedrijf, dus zonder grote verstoringen of incidenten. Het prestatie-dashboard van ProRail (prestaties.prorail.nl) geeft over de afgelopen 12 maanden op 13-01-2019 de volgende landelijke prestaties:

- Treinpunctualiteit reizigersvervoerders: 91.5%.
- Dit is het percentage treinaankomsten waarbij het verschil tussen de oorspronkelijk geplande tijd en de vastgestelde realisatietijd kleiner is dan 3 minuten.
- Treinpunctualiteit goederenvervoer: 69.5%.
- Dit is het percentage goederentreinen waarbij de vertraging op het eindpunt minus de vertraging op het vertrekpunt kleiner is dan 3 minuten.
- Indien deze getallen als indicatie van normaal bedrijf worden gezien dan gelden de gevonden effecten voor ruim 90% van de reizigerstreinen en circa 70% van de goederentreinen.

Normaal bedrijf kan ook gedefinieerd worden als bedrijf met verstoringen tussen de -6 en +6 minuten. Dit komt beter overeen met de condities van de in dit onderzoek uitgevoerde simulaties waarin toegevoegde verstoringen bij entree met activiteit doorkomst en bij vertrek zijn afgekapt zodat deze tussen -6 en +6 respectievelijk 0 en +6 minuten liggen. Voor de realisatiedata januari t/m juli 2017 geldt landelijk zonder enige filtering:

- Treinentrees, aankomsten of vertrekken reizigersvervoerders tussen de -6 en +6 minuten: 96.9%.
- Treinentrees, aankomsten of vertrekken goederenvervoer tussen de -6 en +6 minuten: 73.3%.

4.5 Conclusies

4.5.1 Validiteit simulaties

In de simulaties is zo goed mogelijk de werkelijkheid nagebootst. Noodzakelijkerwijs zijn daarbij een aantal aannames gedaan, waarvan is ingeschat dat deze niet te veel afwijken van de praktijk of het resultaat niet te veel beïnvloeden. Ter verificatie is met het Agent model het huidige machinistengedrag benaderd en is de Agent simulatie vergeleken met de gefilterde realisatie data. Hieruit blijkt dat de Agent en de simulatieomgeving de werkelijkheid voldoende nauwkeurig benaderen om de gesimuleerde varianten onderling en met de Agent te kunnen vergelijken. De benadering voor Mvt/Whz-Zvo is voldoende voor een indicatie. De gevonden verbeteringen zijn dermate groot dat deze ook met de nodige marges nog ruim blijven gelden. De benadering voor Htnc-Ht is zeer nauwkeurig zodat resultaten voor dit traject een grote voorspellende waarde hebben.

Op basis hiervan kan gesteld worden dat de gevonden effecten ten opzichte van de Agent in grote lijnen ook in de praktijk te verwachten zijn.

4.5.2 Effecten van varianten

De effecten van ATO en TMS+ATO zijn bepaald ten opzichte van de Agent als referentie, waarbij de Agent het rijgedrag van machinisten modelleert die geen gebruik maken van Routelint, TIMTIM of andere hulpmiddelen. Dit is gedaan voor de normale uitvoering van de treindienst zonder grote verstoringen. Effecten bij grotere verstoringen vallen buiten de scope van dit onderzoek. ATO en TMS+ATO optimaliseren hierbij op het minimaliseren van planafwijkingen en houden geen rekening met energieverbruik.

Zonder compressie van de dienstregeling realiseren ATO en TMS+ATO op de 3 minuten punctualiteit een verbetering van 36 procentpunt punctualiteit voor het traject Mvt/Whz-Zvo en van 4 procentpunt punctualiteit voor het traject Htnc-Ht. De verbetering is afhankelijk van de referentie-punctualiteit zoals gegeven door de prestaties van de Agent. Bij een hoge referentie-punctualiteit is de ruimte voor verbetering kleiner.

Met compressie loopt dit eerst op tot 48 procentpunt bij compressie tot 58 en 56 minuten en neemt daarna af tot 30 procentpunt bij compressie tot 54 minuten voor Mvt/Whz-Zvo en loopt dit op tot 22 procentpunt voor Htnc-Ht bij compressie tot 54 minuten.

Zonder compressie verbetert de punctualiteit op -30 tot +30 seconden 90 procentpunt voor Mvt/Whz-Zvo en 50 procentpunt voor Htnc-Ht. De verbetering is hier afhankelijk van het traject.

Met compressie neemt de winst af, waarbij TMS+ATO nog 16 procentpunt verbetering geeft bij compressie tot 54 minuten voor Mvt/Whz-Zvo terwijl ATO dan geen verbetering meer geeft.

Zonder compressie verkleint de planafwijking op het 95^e percentiel van aankomstvertragingen voor Mvt/Whz-Zvo van 588 tot 1 seconden met ATO en tot 13 seconden met TMS+ATO en voor Htnc-Ht van 179 naar 70 seconden voor ATO en TMS+ATO. De verbetering is hier weer afhankelijk van het traject. Met compressie blijft de reductie circa 600 seconden voor Mvt/Whz-Zvo en neemt de reductie toe tot 250 seconden met ATO en tot 280 seconden met TMS+ATO voor Htnc-Ht.

Ook op ongeplande stops presteren ATO en TMS+ATO aanzienlijk beter dan de Agent. Zonder compressie neemt het aantal ongeplande stops per uur voor Mvt/Whz-Zvo af van 0.298 naar 0.042 met ATO en 0.019 met TMS+ATO en voor Htnc-Ht van 0.419 naar 0.033 voor ATO en 0 voor TMS+ATO. Met compressie wordt het verschil met de Agent groter waarbij TMS+ATO met name voor Htnc-Ht aanzienlijk beter presteert dan ATO.

Indien de prestaties van de Agent zonder compressie van de dienstregeling als referentie worden genomen dan is voor de Agent geen compressie mogelijk zonder een belangrijke verslechtering op één van de KPI's. Dit is onder de aanname dat het gedrag van machinisten niet verandert. Als daadwerkelijk meer goederenpaden gevuld worden of paden dichter op elkaar komen te liggen kan het zijn dat machinisten nauwkeuriger op hun plan gaan mikken. Voor ATO en TMS+ATO daarentegen is een

compressie van 8% tot 10% mogelijk. Met TMS+ATO lijkt een iets hogere compressie haalbaar dan met ATO.

Op het traject Mvt/Whz-Zvo rijden nu maximaal 6 goederentreinen per uur per richting tussen Kijfhoek en Zevenaar. Een compressie van 10% levert hier geen extra trein op. Op het traject Htnc-Ht rijden nu maximaal 11 treinen per uur per richting (6 intercité's, 4 sprinters, 1 goederentrein). Bij 8% compressie zou er onder normale omstandigheden 1 trein extra kunnen rijden.

Indien gekeken wordt naar het verschil tussen ATO en TMS+ATO dan presteert TMS+ATO vaak gelijk, soms iets tot aanzienlijk beter dan ATO en een enkele keer slechter dan ATO, afhankelijk van de KPI waarnaar gekeken wordt, het traject en de mate van compressie van de dienstregeling.

Voor het traject Mvt/Whz-Zvo presteert TMS+ATO beter dan ATO op het voorkomen van ongeplande stops bij compressie naar 54 minuten, en aanzienlijk beter op de punctualiteit op -30 tot +30 seconden bij compressie naar 56 of 54 minuten. Op dit traject presteert TMS+ATO slechter dan ATO voor de punctualiteit op -30 tot +30 seconden zonder compressie en bij compressie tot 58 minuten.

Voor het traject Htnc-Ht presteert TMS+ATO bij compressie naar 56 of 54 minuten aanzienlijk beter dan ATO op ongeplande stops en beter op de 3 minuten punctualiteit en het 95^e percentiel van aankomstvertragingen.

4.5.3 Samenvatting conclusies

Over de gehele lijn is een grote verbetering te zien van ATO of TMS+ATO ten opzichte van de Agent als referentie. De punctualiteit kan in belangrijke mate verhoogd worden en het aantal ongeplande stops kan aanzienlijk gereduceerd worden, of de verbeterde sturing kan gebruikt worden om buffers te verkleinen en de capaciteit te verhogen zonder een verslechtering ten opzichte van de huidige situatie. De betere punctualiteit kan ook de planning van processen op Kijfhoek en in de Havens aanzienlijk nauwkeuriger maken.

Dit is bij gelijkblijvende verstoringen. Als overal met ATO of TMS+ATO wordt gereden dan zullen verstoringen bij entree van het studiegebied kleiner worden, en als GoA4 wordt gebruikt nemen mogelijk ook de verstoringen bij halteren en vertrekken af, dit is echter niet onderzocht. Hierdoor zullen vertragingen verder afnemen en zal een verdere verhoging van de capaciteit mogelijk zijn.

Zonder compressie van de dienstregeling presteert TMS+ATO vergelijkbaar met ATO. Met compressie van de dienstregeling presteert TMS+ATO beter dan ATO op het voorkomen van ongeplande stops en het reduceren van vertragingen. Dit betekent dat TMS belangrijker wordt voor een goede afhandeling van het treinverkeer bij verdere verhoging van het aantal treinen per uur.

4.6 Aanbevelingen

Dit onderzoek heeft de grote potentiële punctualiteits- en capaciteitsbaten van ATO en TMS+ATO aangetoond. Op basis hiervan wordt de invoering van ATO aanbevolen.

Voor de keuze voor ATO of combinatie van TMS en ATO is meer nodig dan alleen dit onderzoek.

Aanbevolen wordt om mee te wegen hoe de varianten scoren op:

- Kans dat een trein stuur op niet opvolgbare doelen, wat impact op veiligheid en de acceptatiegraad heeft.
- De mogelijkheid om planwijzigingen direct aan de betreffende machinisten en treinen op te kunnen sturen.
- Functioneren tijdens verstoringen/grotere vertragingen en hun effecten op de prestatie indicatoren.
- Mogelijkheden om de machinist en trein van actuele informatie te voorzien (spoorlopers, incidenten), wat het vertrouwen in en de acceptatie van ATO kan bevorderen.
- Mogelijkheden om verkeersleiding te voorzien van actuele informatie over positie, snelheid en verwachte doorkomsttijd van treinen.
- Doorgroeimogelijkheden voor procesleiding.

4.7 Mogelijk vervolgonderzoek

Op enkele punten kan dit simulatieonderzoek verder uitgewerkt worden:

- Meewegen van energieverbruik in de optimalisatie van het snelheidsprofiel bij ATO. Er kan bijvoorbeeld primair op vertragingreductie geoptimaliseerd worden en secundair op energieverbruik (dus waar dat kan zonder de punctualiteit te verslechteren) of er kan een gewogen optimalisatie op beide gedaan worden (waarbij de afweging kan verschillen per vervoerder, traject en tijd op de dag).
- Gebruik van uitgesteld remmen en remmen met een hogere remvertraging bij ATO om vertragingen in te lopen of geplande rijtijden te verkleinen.
- Uitbreiden van de Agent met modellen van machinisten die ondersteund worden met TIMTIM.
- Uitbreiden van de Agent zodat deze ook met hellingen om kan gaan.
- Scheiden van trein en wal functionaliteit in de sturing. TMS+CDAS is nu een geïntegreerde module. Gewenst is om TMS als aparte module beschikbaar te hebben die kan samenwerken met de ATO-module in FRISO. Daarmee kan dan de combinatie van TMS en ATO gesimuleerd worden conform de Europese standaard. Hierbij wordt aan de wal de herplanning gedaan. Vervolgens wordt deze nieuwe planning opgestuurd naar de trein. De ATO-module op de trein berekent dan het optimale snelheidsprofiel om deze nieuwe planning te realiseren.
- Verder uitwerken van procesleiding in FRISO zodat ook grotere verstoringen gesimuleerd kunnen worden. Opties zijn om een Agent model van treindienstleiders te maken of om (automatisch gegenereerde) Trein Afhandelings Documenten (TAD's) te gebruiken. Naast modellering van het huidige gedrag van treindienstleiders is juist ook uitwerking van innovatieve verbeteringen gewenst. Mogelijk kan hiervoor de bovengenoemde TMS-module gebruikt worden.
- Opnemen van reizigers in FRISO zodat ook de reizigerspunctualiteit bepaald kan worden.
- Opnemen van spanningssluizen in FRISO.
- Opnemen van aanpak- en lostijden van remmen voor goederentreinen in FRISO.

5 Verkenning ICT studie

5.1 Inleiding

Hoe gaat een van de drukste spoorweginfrastructuursystemen ter wereld om met de groeiende behoefte aan capaciteit en concurrentiekracht? Door de mogelijkheden om het huidige systeem met nieuwe technologie te verbeteren te onderzoeken.

Automatic Train Operation (ATO) is een veelbelovende innovatie met verschillende automatiseringsniveaus, van machinistondersteuning tot onbeheerde treinbesturing. Als ATO-treinen volledig worden doorgevoerd kunnen deze in de toekomst automatisch bestuurd worden, zonder de tussenkomst van een machinist. Deze studie is gericht op GoA-niveau 2¹, waarbij een machinist nog steeds aanwezig is. De spoor- en transportsector heeft op verscheidene manieren baat bij ATO: verhoogde capaciteit, energiebesparing en verhoogde punctualiteit. Bovendien profiteert de samenleving van een potentieel veiligere, efficiëntere en duurzamere oplossing. (TNO²)

In 2018 sprak ProRail de ambitie uit om de mogelijkheden voor ATO te onderzoeken, en besloot hiervoor de eerste stappen te zetten. Onder deze stappen waren twee praktijktests gericht op het besturen van echte treinen (één van de tests was gericht op passagierstreinen en de ander op goederentreinen) en een onderzoek naar de benodigde informatie voor ATO.

Dit document is het resultaat van dit onderzoek en bevat de onderzoeksresultaten en adviezen om de eerste stappen te nemen naar een oplossing binnen de IT-architectuur van ProRail.



Figuur 8 – ProRail en Alstom tekenen een overeenkomst voor een ATO-praktijktest met een goederentrein.

5.2 Geschiedenis van ATO-onderzoek

In 2016 voerde Network Rail in Engeland de eerste test met ATO uit. Het hoofdonderwerp was de verwachte toename in het verkeer op de Thames Link en de vraag of ATO een mogelijkheid bood om de capaciteit te vergroten. De Innovatieafdelingen van ProRail en Network Rail zijn partners. Hierdoor had ProRail toegang tot de resultaten van de testen van Network Rail.

¹ Hoofdstuk 3.1 bevat meer uitleg over de ATO-niveaus

² [TNO] ATO Whitepaper – Automatische Treinbesturing: Driving the future of Rail Transport - R. Poulus, E. van Kempen, J. van Meijeren (TNO; Juli 2018)

- ProRail besloot hierop om haar eigen onderzoek naar ATO te starten. In 2015 ontving ProRail een verzoek van DB Schenker Cargo om in samenwerking met andere spoorbeheerders, verenigd in het Europese “Shift2Rail”-programma, een test met ATO uit te voeren op de Betuweroute. Door verwachte problemen op het gebied van regelgeving werd de test echter in Zwitserland uitgevoerd.
- De Nederlandse provincie Groningen heeft expliciet aangegeven de locatie van de eerste zelfrijdende trein in Nederland te willen zijn, en heeft ProRail gevraagd een test te organiseren.
- Met deze verzoeken in het achterhoofd besloot ProRail een programma op te starten om de mogelijkheden van zelfstandig rijdende treinen te onderzoeken, waarop zowel interne als externe onderzoeken volgden.
- De Innovatieafdeling van ProRail organiseerde twee praktijktesten in Nederland. Eén met een goederentrein op de Betuweroute en één met een passagierstrein in Groningen.
- ATO heeft een enorme impact op IT-systemen. Daarom werd een onderzoek ingesteld om een indruk te krijgen van deze nieuwe technologie en de impact die deze zal hebben op de IT-architectuur van ProRail. Dit document is het resultaat van dat onderzoek.

5.3 Automatische Treinbesturing (ATO)

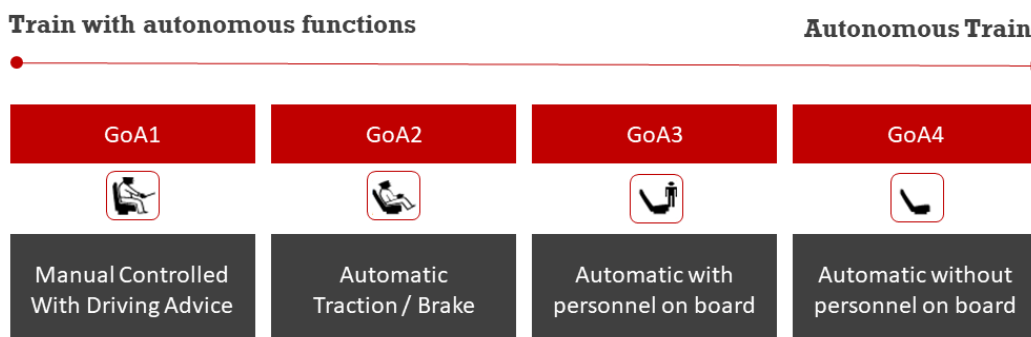
Om de gebruikte terminologie te begrijpen is het belangrijk om het algemene concept van ATO te begrijpen. In de volgende hoofdstukken wordt het bestek van dit onderzoek en de manier waarop dit in het grotere geheel past beschreven.

5.3.1 Inleiding tot het concept van ATO

De technologie die het gebruik van (deels) automatische treinen mogelijk maakt staat in de industrie bekend als Automatische Treinbesturing (ATO). Deze term beslaat een verscheidenheid aan mogelijkheden.

Vanuit een technologisch oogpunt werkt ATO door constant de status van de trein te berekenen (positie en snelheid) en dit te vergelijken met het reisplan van de trein. Hierdoor zorgt ATO ervoor dat de trein altijd zo optimaal mogelijk rijdt. Dit betekent dat het niveau van de resultaten die ATO kan bieden afhangt van de kwaliteit van de beschikbare informatie. De kwaliteit van de informatie is een belangrijke factor in het behalen van de verwachte voordelen van ATO.

Binnen ATO zijn er verscheidene besturingsniveaus (ook wel Grades of Automation of GoA genoemd). Deze bieden elk een ander niveau van automatisering. Deze niveaus verschillen van het simpelweg assisteren van de machinist door middel van extra informatie (GoA 1) tot volledig zelfstandige besturing (GoA 4). Deze niveaus zijn vastgelegd in de IEC 62290-1 norm, die hieronder te zien is:



Figuur 9 - Grades of Automation

De verschillende Grades of Automation worden als volgt gedefinieerd:

- GoA1 – The machinist bestuurt de trein en is verantwoordelijk; ATO-systemen assisteren de machinist met extra informatie. (Ook wel Driver Advisory System (DAS) genoemd).
- GoA 2 – Het systeem bestuurt de trein; De machinist blijft verantwoordelijk.
- GoA 3 – Het systeem bestuurt de trein; een medewerker is aan boord maar is niet verantwoordelijk. De medewerker kan in geval van storingen actie ondernemen.
- GoA 4 – Het systeem bestuurt de trein; Er is geen medewerker aan boord; het systeem bestuurt de trein volledig zelfstandig. In geval van storingen is hulp van buitenaf vereist.

ATO zal in al deze situaties de optimale manier van rijden berekenen op basis van het actuele reisplan van de trein.

De praktijktesten die ProRail in samenwerking met andere partijen heeft uitgevoerd waren op basis van GoA 2, het automatiseringsniveau waar ProRail gebruik van wil maken. GoA 2 is de primaire focus van dit document. De benodigde informatie voor GoA 2 of GoA 4 is echter waarschijnlijk vergelijkbaar. Dit betekent dat het verstandig is om een architectuur te ontwerpen waarbij uitbreiding naar GoA4 mogelijk is.

Het is belangrijk om te onthouden dat ATO, op welk niveau dan ook, niet als vervanging kan dienen voor een treinbeveiligingssysteem. ATO werkt binnen de veiligheidsgrenzen van een treinbeveiligingssysteem. ATO is zelfs afhankelijk van het veiligheidssysteem voor vitale informatie voor de benodigde berekeningen, zoals de huidige snelheid die de trein mag rijden. Dit onderzoek is gebaseerd op het ERTMS-veiligheidssysteem.

De term optimaal biedt ook ruimte voor discussie: in sommige gevallen betekent optimaal rijden dat het energieverbruik zo klein mogelijk moet zijn ('groen'), waar in andere gevallen de punctualiteit van groter belang is. Dit hangt uiteraard af van de specifieke situatie, maar ATO kan ons in beide gevallen van dienst zijn

5.3.2 Grote voordelen voor ProRail

ATO is in essentie een technologie gericht op het automatisch besturen van treinen. Als een infrastructuurbeheerder bestuurt ProRail echter geen treinen. Waarom is ProRail geïnteresseerd in dit onderwerp, en wat zijn de mogelijke voordelen?

Er zijn meerdere antwoorden op deze vraag:

Punctualiteit (afwijking verminderen)

Omdat ATO-treinen zich beter aan de planning kunnen houden dan menselijke machinisten of de machinist kunnen helpen om diezelfde prestatie te leveren (GoA 1 - DAS), is de verwachting dat de punctualiteit van de treinen omhoog zal gaan als ATO doorgevoerd wordt.

Energiebesparing

Hoewel dit de verantwoordelijkheid is van de Railway Undertakings (spoorbedrijven), des te minder energie de treinen gebruiken, des te beter dit is voor het milieu. Naar verwachting zullen ATO-treinen minder energie gebruiken. Hierdoor zal de milieuoetadruk van treinen afnemen. Naar verwachting zal dit een energiebesparing van 15% (Intercity) en 45% (Regionale treinen) opleveren.

De behoeftes van de sector ondersteunen

De spoorsector heeft innovatie nodig. Als een infrastructuurverschaffer is ProRail een essentiële deelnemer aan de ontwikkeling van de spoorsector.

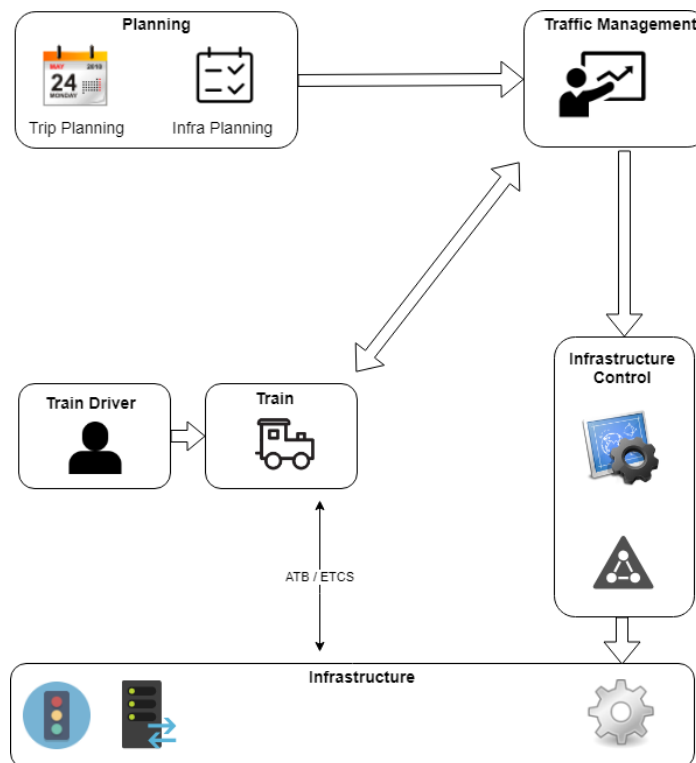
Capaciteitstoename

Naar verwachting zal de behoefte aan spoorvervoer de komende jaren verder toenemen, waardoor meer capaciteit nodig is. ATO is een technologie die capaciteit biedt door de planningsmarges te verkleinen en de punctualiteit te vergroten.

Er zijn ook indirecte voordelen. Bijvoorbeeld: ATO biedt informatie over de exacte locatie waar treinen versnellen of stoppen. Deze informatie kan gebruikt worden om spoorwgomstandigheden beter te voorspellen, onderhoudskosten te verlagen en uitval te voorkomen. Dit kan ook gebruikt worden voor crowd management op stations, omdat de stoplocatie van de trein nauwkeuriger bepaald kan worden. Dit zijn echter indirecte voordelen die (nog) niet duidelijk zijn, maar ATO is een ontwikkeling die tot veel spin-off zal leiden.

5.3.3 Vereiste informatie voor ATO

De informatiestroom in een ATO-systeem komt voort uit de planning/dienstregeling van de treinen op de beschikbare infrastructuur. Er wordt vooraf een operationeel plan opgesteld, en dit plan wordt uitgevoerd. Tijdens de uitvoering kunnen dingen veranderen door onvoorziene omstandigheden, zoals vertragingen, ongelukken of defecte treinen. Deze situaties worden door het verkeersmanagement afgehandeld. Het meest recente (actuele) plan wordt uitgevoerd door de fysieke infrastructuur te beheren. Dit actuele plan (vertaald voor de individuele trein) wordt naar de ATO-trein verzonden.



Figuur 10 – Informatiestroom met ATO

Een trein heeft veel informatie nodig om automatisch te kunnen rijden. Allereerst heeft de trein informatie nodig met betrekking tot het vertrekstation, de bestemming en de vereiste tussenstops. Deze informatiecategorie is een combinatie van plaats en tijd, en geeft simpelweg aan op welke tijd de trein waar hoort te zijn. Deze eerste informatiecategorie wordt *Timing points* (tijdsaanduidingen) genoemd, en vormt de basis van ATO. Dit komt grofweg overeen met de geplande dienstregeling.

Het is belangrijk om op te merken dat deze tijdsaanduidingen nog een belangrijke functie hebben: ze geven de TMS de mogelijkheid om de trein te dwingen op een specifieke tijd op een specifieke plaats te zijn. Dit hoeft niet per se een station te zijn. De tijdsaanduidingen kunnen worden gebruikt als een hulpmiddel om de verkeersstroom in het netwerk te optimaliseren. Een voorbeeld: de TMS kan een specifieke tijdsaanduiding instellen voor een knelpunt (een kruising van twee sporen, bijvoorbeeld) om te zorgen dat de trein dat punt voor een bepaalde tijd passeert. Zo wordt een mogelijk conflict met een

andere trein (en dus vertraging) voorkomen. ATO maakt het mogelijk voor de TMS om een tijdsaanduiding in te stellen en de trein zo te besturen dat deze instructie opgevolgd wordt. Het is echter belangrijk dat de locatie van deze tijdsaanduidingen nauwkeurig wordt bepaald. Meer tijdsaanduidingen geven de trein minder "vrijheid", maar maken nauwkeuriger verkeersmanagement mogelijk. Aan de andere kant geven minder tijdsaanduidingen de trein meer mogelijkheden om te optimaliseren, maar dit vermindert de mogelijkheden voor verkeersmanagement om de trein te beheren. Daarom moet zorgvuldig onderzocht worden wat de optimale hoeveelheid en locatie is voor tijdsaanduidingen.

Vervolgens moet de trein niet alleen weten waar de reis naartoe gaat, maar ook welke route moet worden gereden. Deze informatie is nodig omdat verschillende routes verschillende kenmerken hebben. Een voorbeeld: het kan zijn dat een bepaalde route de trein over een stuk spoor leidt waarvoor een snelheidsbeperking geldt. De trein moet zijn rijstijl kunnen aanpassen aan deze beperkingen. Hierdoor heeft de trein informatie nodig over de exacte route die gereden moet worden.

Dit soort informatie met betrekking tot de route wordt ook wel de *segment profiles* (segmentprofielen) genoemd, omdat het hele spoorwegnetwerk gezien wordt als een combinatie van kleine stukjes spoorinfrastructuur (ook wel segmenten genoemd). Een specifieke route over dat netwerk is dan een lijst van deze *segment profiles*. Zo'n lijst is wat het ATO-systeem nodig heeft.

Het heeft ook informatie nodig met betrekking tot tijdelijke beperkingen. Het verschil met de voorgaande informatiecategorie is dat beperkingen die statisch verbonden zijn aan een segment het resultaat zijn van de manier waarop het spoor gebouwd is: een bepaald viaduct heeft een bepaalde maximumsnelheid. Het verschil is dat tijdelijke beperkingen dynamisch zijn: het kan zijn dat een plotseling voorval op het netwerk tot problemen leidt, waardoor andere treinen langzamer moeten rijden. Zo'n tijdelijke begrenzing heet een *constraint* (beperking).

De trein heeft daarnaast ook algemene informatie nodig. (Bijvoorbeeld: het operationele treinnummer). Als deze informatie gecombineerd wordt resulteert dit in een set tijdsaanduidingen, *segment profiles* en *constraints* die een *journey profile* (reisprofiel) worden genoemd. Dit reisprofiel is eigenlijk een vertaling van een algemene dienstregeling naar een duidelijk reisplan voor een individuele trein op een specifieke route. Het concept van tijdsaanduidingen is verwant aan de huidige Dienstregelpunten, maar hoeft niet per se hetzelfde te zijn. Daarom wordt als volgende stap geadviseerd om te onderzoeken waar ATO-tijdsaanduidingen geplaatst moeten worden.

Aangezien een ATO-trein met de meest recente planning werkt is het uiterst belangrijk dat deze planning actueel, foutloos en optimaal is. Dit is echter geen triviale zaak: operationele veranderingen doen zich vaak voor, en de resultaten hiervan zijn lastig te voorspellen. Er is momenteel geen geautomatiseerde manier om vertragingen die het gevolg zijn van uitzonderingen tegen te gaan. Dit betekent dat het nog belangrijker is om het plan actueel te houden als ATO gebruikt wordt, aangezien er geen menselijke partij is die zich kan aanpassen aan de veranderingen.

ATO biedt een kanaal voor informatie van de trein naar het verkeersmanagement. Deze informatie bestaat uit gedetailleerde locatierapporten, maar ook treineigenschappen en timing point-voorspellingen. Het verkeersmanagement kan deze informatie gebruiken om de actuele status van de planning en de voorspellingen met betrekking tot de treinreis te verbeteren.

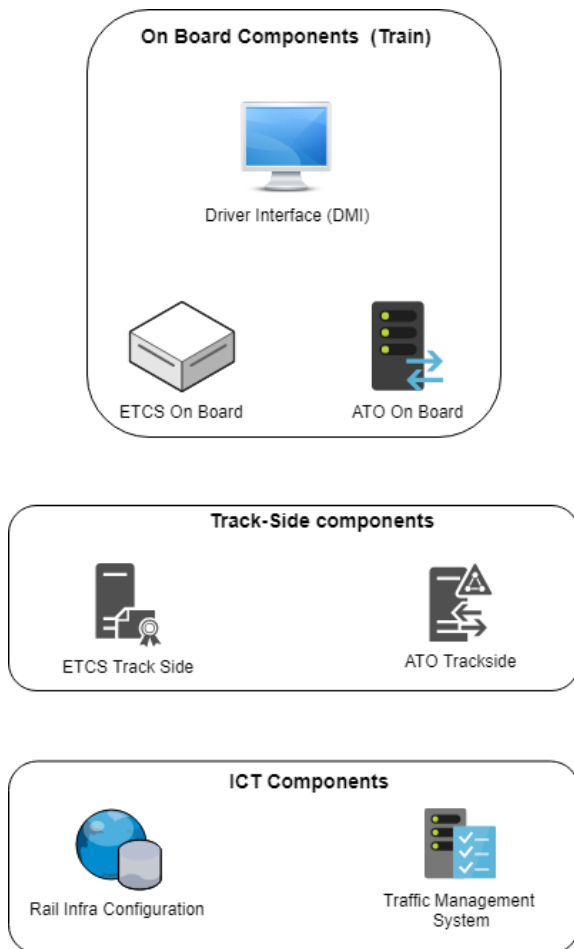
5.4 Architectuur van de ATO-Technologie

Vanuit een systeemperspectief bestaat de ATO-infrastructuur uit drie afzonderlijke delen: het boordgedeelte, dat alle taken binnen de trein afhandelt, het spoorgedeelte, dat voor een veilige route moet zorgen en als een poort tot de ICT-systemen dient, en het ICT-gedeelte, dat verantwoordelijk is voor het bepalen van de routes en de logistieke optimalisatie van het hele netwerk.

Deze onderdelen zijn allen van belang voor de gehele ATO-oplossing, maar maken niet allemaal onderdeel uit van de ATO-technologie zelf: de ETCS/ERTMS-onderdelen maken deel uit van het

Treinbeveiligingssysteem en zijn daarom altijd aanwezig, ongeacht de aanwezigheid van de ATO-technologie in de trein in kwestie.

De verantwoordelijkheden zijn als volgt ingedeeld:



Figuur 11 - ATO Architectuur

Driver Machine Interface (DMI):

Onderdeel van het Treinbeveiligingssysteem ETCS; Dit interface geeft de machinist toegang tot het systeem.

ETCS On Board:

Onderdeel van het Treinbeveiligingssysteem ETCS; dit onderdeel zorgt ervoor dat de trein binnen de veiligheidsgrenzen blijft.

ATO-OnBoard:

Onderdeel van de ATO-technologie; verantwoordelijk voor het berekenen van het optimale reisprofiel.

ATO Trackside:

Onderdeel van de ATO-technologie; verantwoordelijk voor het aanleveren van kloppende informatie aan het ATO-OnBoard systeem.

Traffic Management System:

Onderdeel van de ICT-systemen. Verantwoordelijk voor het bepalen van de treinroutes. NB: meer dan alleen een TMS-Systeem (zoals VOS).

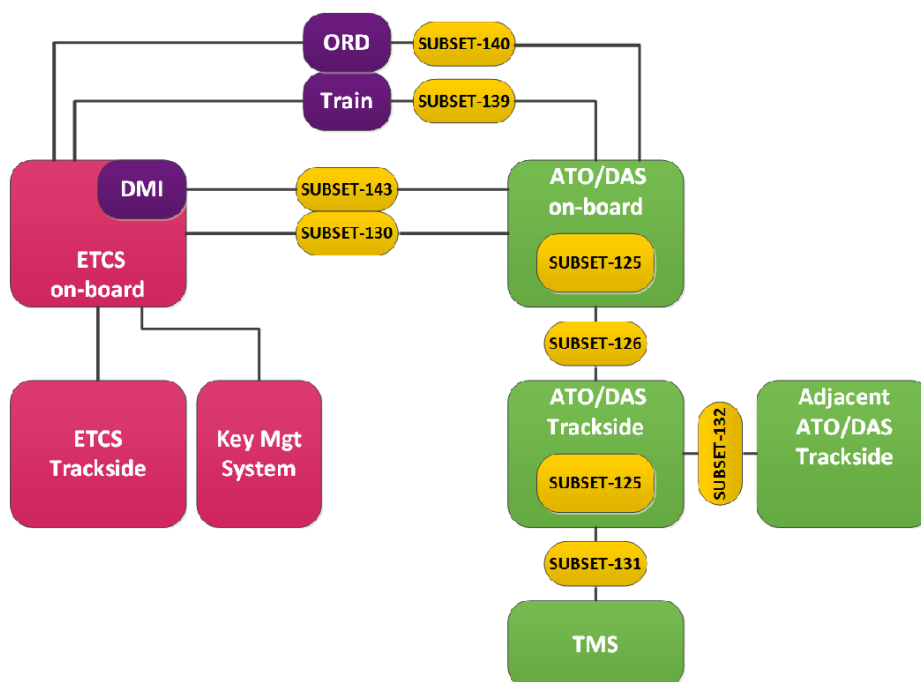
Rail Infrastructure Configuration

Onderdeel van de ICT-systemen; verantwoordelijk voor het opslaan van de indeling en configuratie van het spoornetwerk.

Deze onderdelen spelen elk een rol in de end-to-end-technologie van ATO. Deze overzichten gaan allemaal uit van het gebruik van ATO in combinatie met het ETCS-Treinbeveiligingssysteem. Zoals eerder gezegd wordt onderzocht of ATO geïntegreerd kan worden met

andere veiligheidssystemen. Voor het bestek van dit document wordt echter uitgegaan van ETCS.

Op een meer gedetailleerd niveau is in het kader van de ERTMS-standaardisering bepaald hoe de interfaces tussen al deze componenten gestandaardiseerd zullen worden. Dit betekent dat elk interface in detail is geïdentificeerd en gedefinieerd: sommige interfaces (die deel uitmaken van het ETCS-controlesysteem) zijn volledig beschreven, terwijl aan andere interfaces (onderdeel van de ATO-technologie) nog gewerkt wordt. Deze interfaces worden gedefinieerd in zogenaamde subsets, elk met een eigen nummer. De gele elementen in de afbeelding hieronder verwijzen naar de verschillende subsets.



Figuur 12 - ATO Interfaces

De interface tussen de Inframanager (IM) en Railway Undertakings (RU) is aanwezig op SubSet-126 (Tussen Trackside en Trein).

In verschillende werkgroepen in Europa wordt gewerkt aan de verdere definitie van deze standaarden. ProRail maakt deel uit van deze groepen. Het doel van deze aanpak is het vinden van een norm en het vermijden van leverancier-specifieke implementaties.

Hierdoor moet het makkelijker worden om onderdelen van verschillende leveranciers aan te sluiten. Dit zou positieve gevolgen moeten hebben voor de markt en de spoorsector in zijn geheel. Het is voor de interoperabiliteit belangrijk dat ProRail zich aan deze internationale normen aanpast.

5.4.1 Verantwoordelijkheden

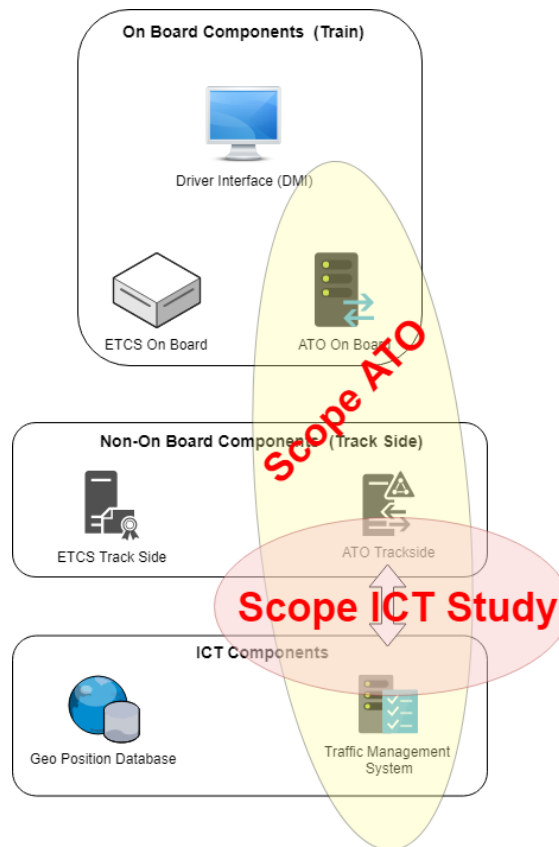
Naar verwachting zullen de ATO-onderdelen aan boord van de trein de verantwoordelijkheid van de RU zijn; de onderdelen die zich niet aan boord van de trein bevinden zijn de verantwoordelijkheid van de Infrastructuurbeheerder of de RU (afhankelijk van de situatie).

In dit model is ProRail verantwoordelijk voor ATO Trackside en zijn de RU's verantwoordelijk voor de On-Board-systemen. De gedetailleerde functionaliteit van ATO-Onboard en ATO Trackside kan zich in de komende jaren nog ontwikkelen. Hierdoor zouden de visies met betrekking tot de verantwoordelijkheden kunnen veranderen.

Momenteel wordt verwacht dat de ATO Trackside-onderdelen een kant-en-klaar product zullen zijn dat door verschillende leveranciers geleverd kan worden. Dit is echter slechts een verwachting, en dit besluit moet nog verder onderzocht worden door ProRail. Een Trackside-oplossing is een optie, maar het is voor ProRail ook mogelijk om de functionaliteit direct in het TMS te implementeren, zodat geen extern product nodig is. Dit moet in de toekomst besloten worden.

5.5 Bestek van het onderzoek

Zoals in het voorgaande hoofdstuk is uitgelegd bestaat de ATO-architectuur uit en berust op verschillende elementen die niet allemaal deel uitmaken van de ATO-architectuur zelf. In andere woorden is het bestek van de ATO-technologie slechts een onderdeel van de eerder beschreven architectuur; op zijn beurt is het ATO ICT-onderzoek (waarvan dit document een resultaat is) een nog kleiner onderdeel hiervan. Beide bestekken zijn te zien in figuur 13 hieronder.



Figuur 13 – Bestek van ATO en ICT onderzoek.

Dit betekent dat de focus van dit ICT-onderzoek ligt op de relatie tussen de ATO Trackside en het ProRail Traffic Management System. Afgebeeld op de technische interfaces (Zie Figuur 12 in het vorige hoofdstuk), wijst dit op **Subset-131**.

Aangezien elke IM echter een andere informatie-architectuur en TMS heeft wordt niet verwacht dat Subset-131 een volwassen staat zal bereiken. Dit maakt Subset-126 de relevantere interface. Dit is het interface tussen Trein en Trackside.

Dit is het interface tussen RU en IM en is daarom een bepalende interface in de algehele architectuur, omdat het vanuit zowel het oogpunt van de RU en de IM een extern interface is. Subset-126 is internationaal sterk gestandaardiseerd.

Het bestek van dit ICT-onderzoek heeft de volgende gespecificeerde doelen:

- De vereiste informatie voor ATO definiëren (hoofddocument).
- De voorgestelde interface tussen ATO Trackside en ProRail definiëren (Annex II en Annex III).

5.5.1 Aannames

Dit onderzoek is gebaseerd op een aantal basisaannames en -regels:

- Het onderzoek is uitsluitend gericht op de TMS - ATO TS interface.
- De RU is op dit moment niet bij het onderzoek betrokken. We richten ons uitsluitend op het onderzoeken van de technische vereisten voor een interface tussen TMS en ATO Trackside.
- Het ontwerp is deels gebaseerd op de behoeftes van de verkeersmanagementafdeling (gebruik van DAS-vereisten).

- Er is momenteel geen volwassen Europees standaardinterface (TMS <-> ATO).
- We volgen waar mogelijk de marktstandaardrichtlijnen (bijv. SFERA).
- Het doel is om GoA 1 - GoA 4 in de ICT-systemen te ondersteunen.
- Er is nog niet besloten of de ATO Tracksides een commercieel aangekocht product zal worden. Mogelijk wordt het een intern onderdeel van ProRail.
- Het onderzoek is uitgevoerd met Alstom op basis van de aanname dat het uitvoeren van dit onderzoek met een andere leverancier geen ingrijpende verschillen zou opleveren.
- Het in de Shift2Rail-werkgroep ontwikkelde concept wordt de hoofdarchitectuur voor de implementatie van ATO.
- Het TMS is niet één systeem.
- Er wordt aangenomen dat dit eerste onderzoek uitgevoerd kan worden zonder het bedrijfsleven.

Opmerkingen

Het doel van dit document is om algemeen te identificeren welke informatie nodig is om ATO te beheren en de bijbehorende uitdagingen vast te stellen. Dit betekent echter niet dat er al een keuze is gemaakt met betrekking tot de implementatie of architectuur. Dit wordt in een latere fase besloten.

Omdat de eerste test met ATO (Betuweroute) is uitgevoerd met Alstom als leverancier van de ATO-technologie is dit onderzoek een resultaat van ProRail ICT en Alstom samen. Ondanks het feit dat er met slechts een commerciële partij is samengewerkt was het onderzoek gericht op de algemene ATO-technologie, en niet de specifieke implementatie door één leverancier. Door de resultaten binnen het ATO Shift2Rail-programma te vergelijken en kennis uit te wisselen met IM's en RU's in Europa voorkomen we een zogenaamde *vendor lock-in*.

5.5.2 Buiten het bestek

De volgende onderwerpen zijn geen onderdeel van dit onderzoek:

- De impact op operationele processen is niet vastgesteld.
- Het is nog niet besloten of ProRail ATO zal doorvoeren.
- De bedrijfscasus voor ATO is nog niet berekend.
- Er is nog geen veiligheidsanalyse uitgevoerd.
- De grensoverschijding met andere landen is nog niet onderzocht.
- De samenwerking van meerdere ATO Tracksides.
- Het perspectief van de RU.
- Dit onderzoek beschrijft geen implementatieproject of veranderingsproces voor operationele processen.
- Er is nog geen eisenanalyse uitgevoerd.
- Er zijn nog geen tests of simulaties uitgevoerd om de resultaten van dit onderzoek te bevestigen.
- De veiligheid en zekerheid van de IT-oplossing is nog niet besproken.

5.5.3 Gerelateerde onderwerpen

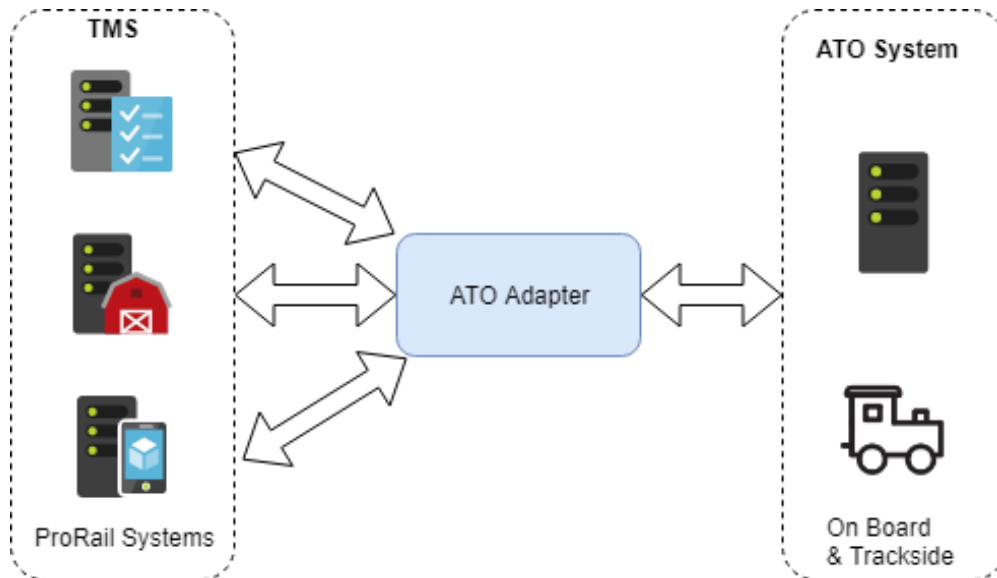
De volgende projecten zijn hieraan gerelateerd:

Project	Relatie
Visie VL 2027	Visie VL2027 ontwikkelt de toekomstige ProRail IT-architectuur. ATO moet een plaats krijgen in deze architectuur.
RCS	Project RCS heeft als doel het onderzoeken van de mogelijkheid om de Zwitserse TMS in Nederland toe te passen. RCS heeft al ontwikkelingsplannen voor ATO.
ERTMS	ATO gebruikt ETCS als treinbeveiligingssysteem en heeft hier dus banden mee.
DAS	DAS en ATO hebben vergelijkbare informatievereisten.

5.6 Resultaten

Het implementeren van de vereiste ICT-aanpassingen voor ATO en het aanleveren van de vereiste informatie vereist een wisselwerking tussen verschillende systemen binnen ProRail, aangezien de ICT-architectuur van ProRail complex is en bestaat uit vele applicaties en interfaces.

Omdat er geen enkelvoudige bron is die alle vereiste informatie voor het ATO-systeem op hetzelfde moment en in een aansluitend format levert, moet ProRail een nieuw ICT-onderdeel ontwikkelen om deze aanpassing van de informatie uit te voeren.



Figuur 14 - De ATO Adapter

Deze functie heeft de tijdelijke naam “ATO-Adapter” gekregen, omdat het de informatie in het ProRail-systeem omzet naar de informatie die door de ATO-subsystemen wordt gebruikt, en andersom. In andere woorden heeft de ATO-Adapter de volgende taken:

- Informatie uit de ProRail ICT-systemen verzamelen
- Deze informatie combineren en samenhangend maken
- De informatie naar een vooraf besloten format vertalen (Het Reisprofiel)
- De informatie naar de ATO Trackside sturen
- Informatie ontvangen vanuit de ATO Trackside
- De ontvangen informatie vertalen en naar de bijbehorende ICT-systemen sturen
- In dit onderzoek is de Trackside een extern onderdeel. ProRail kan in de toekomst het besluit nemen om dit in de adapter te integreren.

Een ander argument voor het kiezen van een adapter is ontkoppeling. De adapter schermt de interne ICT-architectuur af van de buitenwereld. Hierdoor kan de ProRail ICT-omgeving blijven groeien, zonder dat veranderingen aan de ATO Trackside nodig zijn.

Een gedetailleerde uitleg van het voorgestelde technische format van het reisprofiel is te vinden in Annex II en Annex III.

Deze ATO-adapter is gebruikt om te onderzoeken welke onderdelen van het ICT-landschap aandacht nodig hebben, maar het is nog niet besloten of ATO op deze manier geïmplementeerd zal worden. ProRail zou bijvoorbeeld de keuze kunnen maken om geen ATO Trackside te gebruiken, maar deze in de TMS te integreren. Deze keuzes moeten gemaakt worden wanneer ProRail het besluit neemt om ATO te implementeren.

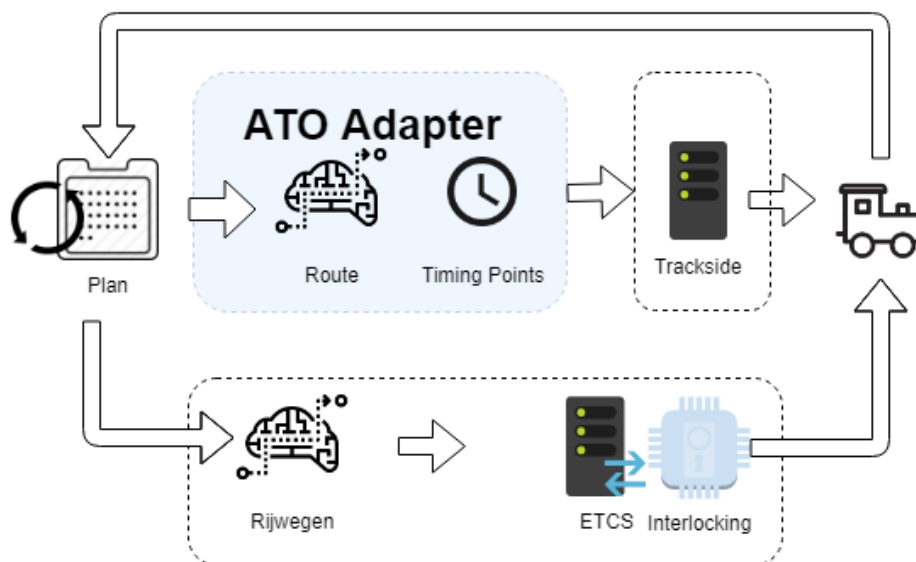
5.6.1 Workflow van de adapter

Het is voor ATO van belang dat het systeem aan boord zoveel mogelijk 'vrijheid' krijgt om de geplande route te optimaliseren. Als de informatie die de TMS naar een ATO-trein stuurt conflicteert met een andere trein zal dit leiden tot vertragingen in de route. Als het een deel van de spoorinfrastructuur nodig heeft dat al aan een andere trein is toegewezen, bijvoorbeeld. Het gevolg van die situatie is dat de voordelen van ATO (deels) verminderd worden.

In andere woorden: de workflow die het ATO-systeem aandrijft moet ervoor zorgen dat de verzonden informatie zo weinig mogelijk conflicten heeft. Dit vereist een gesloten systeem, waarbij de feedback uit de treinen wordt gebruikt om de huidige situatie te updaten. Het is nogmaals belangrijk om te begrijpen dat ATO alleen informatie terugstuurt naar de TMS. De interpretatie van deze informatie en het gebruik hiervan om bijvoorbeeld de dienstregeling te updaten valt buiten het bestek van de ATO-technologie. Dit is eerder een onderdeel van de TMS-optimalisatie.

Omdat het mogelijk moet zijn te reageren op veranderende omstandigheden (zoals een vernieuwde dienstregeling), is het niet mogelijk om de informatie voor ATO eenmalig vooraf te berekenen (voor de trein vertrekt) en daarna niet meer te veranderen. Hierdoor is de workflow van de adapter een voortdurende stroom van berekeningen, en geen eenmalige berekening. Dit heeft een grote invloed op de complexiteit van deze adapter.

De workflow die door de adapter aangehouden wordt zal de volgende stappen bevatten. Meer details over de uitdagingen van deze stappen zijn in het volgende hoofdstuk te vinden



Figuur 15 - ATO Workflow

1. Allereerst moet de adapter de ATO-treinen tussen alle andere geplande treinen identificeren. Op dit moment is de planning slechts simpel (bijvoorbeeld: vertrek uit Rotterdam om 9:45 en aankomst op Utrecht om 10:20). Deze informatie moet vanuit het planningsysteem aangeleverd worden. Hier dient ook het type van de geplande trein bij te zitten voor een betere berekening van de reistijden. Zie: 5.6.3.1 **Fout! Verwijzingsbron niet gevonden..**
2. Vervolgens moeten de exacte routes over de fysieke infrastructuur bepaald worden. Hiervoor is informatie nodig over de hele set van geplande 'Rijwegen' die voor deze trein gebruikt zullen worden. Zie: 5.6.3.2.
3. Vervolgens moeten de 'Rijwegen' naar een format vertaald worden dat door zowel ATO Trackside als de TMS gelezen kan worden. Zie 5.6.3.4 **Fout! Verwijzingsbron niet gevonden..**

- De Tijdsaanduidingen moeten bepaald worden. Omdat een tijdsaanduiding een locatie plus een tijd is moet de locatie ook in een format aangeleverd worden dat door zowel TMS als ATO TS gelezen kan worden. Zie: 5.6.3.6.

De *constraints* (bijvoorbeeld: Tijdelijke snelheidsbeperkingen) moeten vastgesteld worden. Deze moeten in het ATO-format worden aangeleverd vanuit het TMS/TCS. Dit betekent dat eenheden (zoals km/h en m/s) omgezet moeten worden.

- Het resultaat van de voorgaande stappen moet verzonden worden in het vooraf bepaalde interface-format (Reisprofiel).
- Vanaf dit moment kan de ATO aan boord het optimale snelheidsprofiel berekenen en de snelheid hierop aanpassen. Tijdens de besturing van de trein zal de ATO-OnBoard voortdurend updates sturen naar de Trackside en TMS. Deze updates bevatten de huidige locatie van de trein, het huidige Reisprofiel en de verwachte aankomst (voorspelling) op de ingestelde tijdsaanduidingen.

5.6.2 Nieuwe concepten

Om ATO te implementeren moeten twee aanvullende soorten informatie toegevoegd worden. ProRail heeft deze niet tot haar beschikking. Het reisplan en extra informatie over Rollend Materieel.

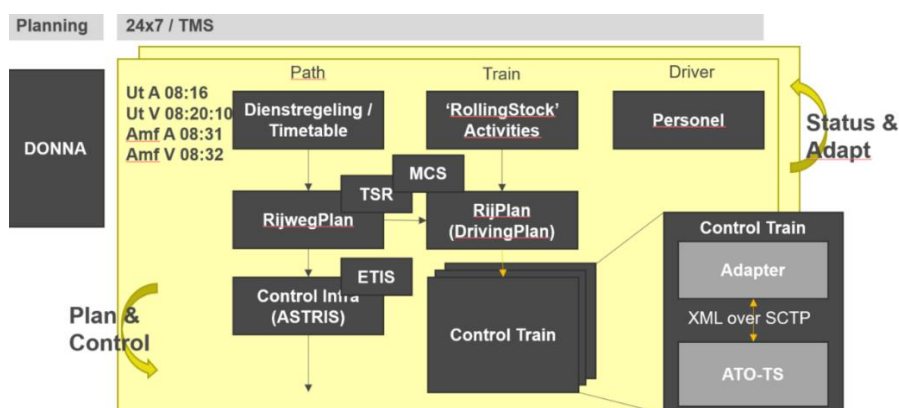
5.6.2.1 Het reisplan

Momenteel bestaat er binnen het TMS het concept van het productplan (dienstregeling), dat het op een hoog abstractieniveau bevat. Dit plan bevat alleen informatie die van belang is op dit abstractieniveau. De exacte route die een bepaalde trein neemt staat bijvoorbeeld niet in dit plan.

Daarnaast bestaat het concept van het infrastructuurplan (rijwegplan) dat de fysieke routes bevat die in de planning gebruikt gaan worden. Dit plan bevat de precieze infrastructuur die gereserveerd wordt voor een specifieke trein op een specifiek moment. Het bevat echter geen informatie over de tijd die een trein op een bepaald station zal doorbrengen voor vertrek.

ATO heeft echter een derde concept nodig dat de twee bovenstaande elementen combineert. ATO heeft routeinformatie van zowel het hoge abstractieniveau ("Welke trein moet waar en wanneer zijn") als het lage abstractieniveau nodig.

De combinatie van deze informatie leidt tot een nieuw concept, het reisplan: een plan dat zowel de planning als de route beschrijft.



Figuur 16 - Het Reisplan

5.6.2.2 Extra informatie over Rollend Materieel

Naar verwachting zal het TMS in de toekomst informatie nodig hebben over het rollend materieel. De informatie over het rollend materieel omvat bijvoorbeeld de treinlengte en andere kenmerken. Deze informatie, in combinatie met de routes en het plan, geeft de optie tot reistijdberekening. Reistijdberekening resulteert in een beter reisplan, en dit zal op zijn beurt de voordelen van ATO bevorderen. Het is echter mogelijk om ATO te gebruiken zonder deze informatie aan de kant van ProRail, maar als gevolg hiervan zal ATO minder voordelen bieden dan verwacht.

5.6.3 Uitdagingen

Er zijn verschillende uitdagingen als het aankomt op het implementeren van ATO in het de ProRail-omgeving. De uitdagingen uit de vorige paragraaf worden hier benoemd.

5.6.3.1 Het identificeren van ATO-treinen in het plan

Naar verwachting zullen sommige treinen ATO hebben en anderen niet: het is onwaarschijnlijk dat er een volledige migratie zal plaatsvinden waarbij alle treinen tegelijk van ATO gebruik gaan maken. Dit betekent dat er altijd een periode zal zijn waarin ATO-treinen samen met niet-ATO-treinen gebruikt zullen worden. Het hangt ervan af of de RU ATO in hun treinvloot zullen opnemen. Als Infrastructuurbeheerder moet ProRail alle RU's in Nederland van infrastructuur voorzien.

Zonder in detail te treden over de operationele processen (valt niet binnen het bestek van dit onderzoek), kan men aannemen dat veel belanghebbenden moeten weten of een specifieke trein al dan niet van ATO voorzien zal zijn.

Daarnaast heeft een ATO-trein naar verwachting andere rijkenmerken (strakker) dan een niet-ATO-trein. Dit betekent dat deze treinen mogelijk in een nauwer tijdvak kunnen werken. Aangezien een verhoogde capaciteit een van de kernpunten van ATO is, is het van uiterst belang voor de (vroege) planning om te weten of treinen al dan niet voorzien zijn van ATO.

Tegelijkertijd moeten de technische systemen die de ATO van informatie voorzien weten naar welke treinen deze informatie verzonden moet worden. Door deze perspectieven te combineren zou het mogelijk moeten zijn om te bepalen welke treinen van ATO voorzien zijn en welke niet (zowel in de vroege planningsfase als de operationele systemen).

Dit leidt tot een extra functie in de keten van operationele systemen.

Tijdens de (vroege) tests en proeven kan dit nog worden overgeslagen: in dit geval zal de ATO-adapter ofwel simpelweg de informatie genereren voor alle treinen (waarbij uitsluitend de ATO-treinen deze informatie ontvangen), of kan er een andere slimme omweg voor de vroege fases bedacht worden.

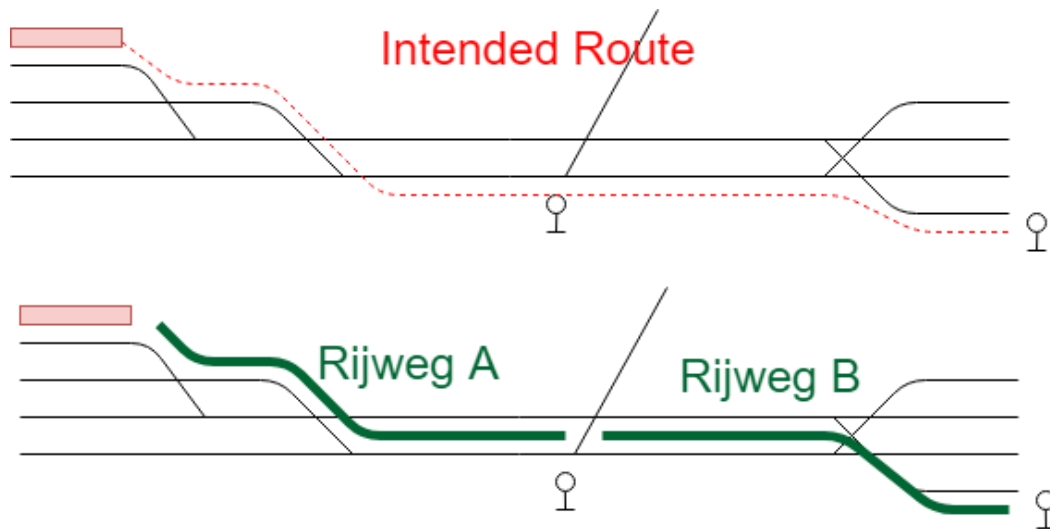
5.6.3.2 De volledige route voor de ATO-trein bepalen

De volgende uitdaging is het bepalen van de volledige route van de trein. Dit betekent dat men in het gedetailleerde infrastructuurniveau moet duiken. Het is van belang dat de ATO-OnBoard de exacte route weet, aangezien verschillende routes ook verschillende kenmerken hebben.

Als de route van punt A naar punt B bijvoorbeeld een rechte lijn is kan de trein op hogere snelheid rijden dan wanneer de route wissels met een lagere maximumsnelheid bevat. Over het algemeen moet de ATO zo vroeg mogelijk op de hoogte zijn van snelheidsbeperkingen zodat er tijd beschikbaar is voor aanpassingen en onnodig remmen en tractie voorkomen kunnen worden.

Het probleem ligt echter in de vertaling van het plan naar routes, omdat ProRail gebruik maakt van verschillende werkgebieden. Elke gebied heeft zijn eigen lokale beheerder, en de systemen zijn vaak alleen gericht op dat specifieke gebied. Voor treinen die door verschillende gebieden reizen is handmatige coördinatie tussen de gebieden nodig.

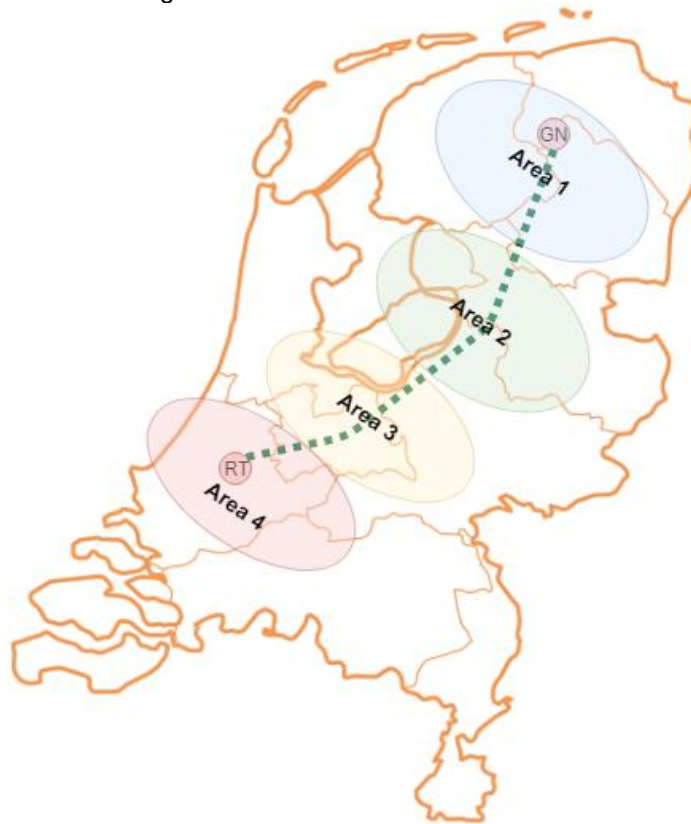
De infrastructuur wordt in de kleinst mogelijke stapjes voor een specifieke trein gereserveerd. Omdat de ATO aan boord echter de hele geplande route moet weten moeten deze kleine stapjes gecombineerd worden tot een volledige route.



Figuur 17 – Routeopbouw

Hierdoor is er niet één enkele bron om de route voor een specifiek reisplan te bepalen: deze moet worden opgebouwd uit verschillende kleinere stappen binnen een gebied (rijwegen), in combinatie met vergelijkbare informatie uit andere gebieden.

Een volledige treinreis ziet er als volgt uit:



Figuur 18 - Volledige treinreis (vereenvoudigd)

Deze specifieke trein reist van Groningen naar Rotterdam en komt door verschillende gebieden. In elk gebied is er een route voor deze trein die bestaat uit verschillende stukken (rijwegen).

De TMS moet de informatie uit al deze gebieden verzamelen en naar de trein sturen in de vorm van een reisprofiel. Dit profiel moet geüpdatet worden in het geval van wijzigingen.

5.6.3.3 Het vertalen van de (infrastructurele) informatie naar een compatibele taal

Omdat ATO een systeem is dat zich richt op het van A naar B bewegen van een trein is het van belang dat alle betrokken systemen op dezelfde manier zicht hebben op de infrastructuur. In het huidige proces van ProRail zijn er echter verschillende manieren waarop de infrastructuur wordt vormgegeven, elk met zijn eigen kenmerken.

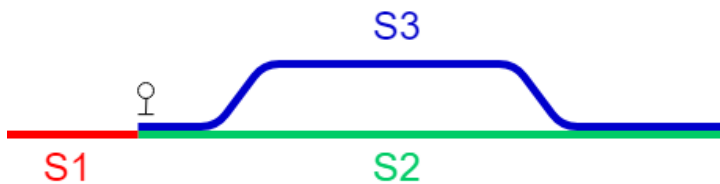
Omdat ATO bovenop ETCS zal worden uitgevoerd betekent dit dat ATO als een brug zal dienen voor informatie tussen TMS en ETCS. Het gevolg hiervan is dat de infrastructurale informatie op zo'n manier moet worden vormgegeven dat dit compatibel is met beide systemen.

5.6.3.4 De definitie van segmentprofielen

Segmenten bestaan uit één onderdeel van de infrastructuur. Er moet bepaald worden hoe segmenten worden vormgegeven. Er zijn twee manieren om dit te doen:

1. Segmenten lopen van sein tot sein

In dit geval beginnen de segmenten bij een sein en eindigen ze bij een sein. Dit betekent dat, in het geval van meerdere routes van sein A naar sein B, er overlap kan zijn tussen segmenten:



Figuur 19– Sein-tot-sein vormgeving

In dit voorbeeld zijn er drie segmenten: segment 1, dat eindigt bij het sein, en segmenten 2 en 3, die allebei via een andere route bij het sein beginnen. Een gedeelte (aan de rechterkant) beschrijft dezelfde infrastructuur via twee segmenten.

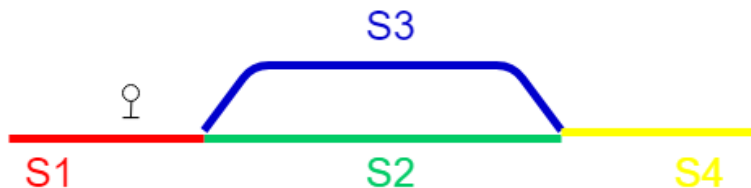
Het nadeel van deze aanpak is dat objecten en tijdsaanduidingen in relatie staan tot het begin van het segment: dit betekent dat een stop bij een perron op meerdere segmenten aanwezig kan zijn. Hierdoor moet de locatie bekend zijn met betrekking tot meerdere segmenten.

Het voordeel is echter dat dit model aansluit bij de huidige operationele workflow: de systemen die gebruikt worden om de routes te bepalen zijn ook nu gebaseerd op het sein-tot-sein model.

In het geval van ETCS is dit van SMB tot SMB.

2. Segmenten lopen van wissel tot wissel

De andere aanpak is het definiëren van segmenten van wissel tot wissel.



Figuur 20 – Wissel-tot-wissel vormgeving

In dit voorbeeld zijn er vier segmenten: Segment 1, dat eindigt bij de wissel, segmenten 2 en 3, die allebei een andere route vanaf de wissel tot de volgende wissel beschrijven, en segment 4, dat begint bij de tweede wissel.

Het voordeel is dat elk deel van het spoor beperkt is tot slechts één segment. Dit betekent dat de relevante locaties op een spoor (zoals perrons) slechts met betrekking tot één segment bepaald hoeven worden.

Het nadeel van dit model is dat het niet aansluit bij het huidige operationele systeem, dat op sein-tot-sein basis werkt.

Een keuze moet gemaakt worden die voor alle opstellingen werkt (zoals ATO zonder ETCS). Dit kan deze kwestie nog verder beïnvloeden. Verder onderzoek is nodig om de beste beslissing te kunnen nemen.

5.6.3.5 Treinkenmerken

Een trein heeft verschillende kenmerken (zoals lengte, gewicht, remcapaciteit en trekkracht). Deze kenmerken kunnen gebruikt worden om de kwaliteit van het reisplan te verbeteren. Daarom is het belangrijk dat de TMS deze treinkenmerken ontvangt van de RU.

De operationele systemen hebben bijvoorbeeld geen informatie over de lengte van elke trein. Het planningsproces heeft informatie, omdat deze nodig is voor een zorgvuldige planning. Er is echter geen garantie dat de geplande treinen ook daadwerkelijk de treinen zijn die de reis maken. Het kan bijvoorbeeld gebeuren dat een deel van de trein defect is en wordt achtergelaten.

Voor goederentreinen is deze informatie ook niet altijd even betrouwbaar. De operationele systemen hebben hoe dan ook niet het juiste niveau van informatie over de treinlengte voor de ATO-besturing.

Voor een goede werking en voor toekomstige toepassingen is het raadzaam dat ProRail dit probleem oplost en voor betrouwbare informatie over treinkenmerken zorgt. Dit vereist echter samenwerking van alle RU's en vrachtvervoerders en zou mogelijk een grote uitdaging kunnen zijn.

5.6.3.6 Bepalen van tijdsaanduidingen en stoplocaties

De volgende uitdaging lijkt eenvoudig genoeg: bepalen waar de trein moet stoppen. Op een hoog abstractieniveau is dit bekend op basis van de planning. Een trein moet bijvoorbeeld van spoor 5 op Rotterdam vertrekken en op spoor 3 in Utrecht aankomen.

ATO heeft echter specifieke informatie nodig. Het moet weten wat we precies bedoelen met "Rotterdam, Spoor 5". Om dit probleem te begrijpen is het belangrijk om de huidige workflow te begrijpen.

Wanneer een trein aankomt op een perron is het de taak van de machinist om de trein tot volledige stilstand te brengen. De machinist doet dit door naar de borden naast het perron te kijken.

De locatie van deze borden verschilt per perron. Dit hangt af van de indeling van het station: de hoofdingang zou bijvoorbeeld aan het begin (of eind) van het perron kunnen zijn. In dit geval moet de trein dus zo dicht mogelijk bij het begin/eind tot stilstand komen. Op andere stations zou de hoofdingang in het midden van het perron kunnen zijn, waardoor de trein zo dicht mogelijk bij het midden moet stoppen.

Er is geen manier om deze informatie automatisch te verkrijgen. Het is onderzocht of de locaties van de borden op de platforms ergens zijn opgeslagen en gebruikt kunnen worden als een bron van informatie, maar dit leverde niets op. Deze informatie is essentieel. Fouten zullen onmiddellijk resulteren in treinen die op verkeerde (en mogelijk gevaarlijke) plaatsen stoppen. Daarom is het niet verstandig hier informatie uit tweede hand voor te gebruiken.

Het is voor ATO belangrijk om deze informatie op een gedetailleerde manier te beheren, omdat er geen menselijke machinist betrokken is bij het stoppen van de trein.

Omdat de informatie niet automatisch verkregen kan worden zou het nodig zijn om de informatie handmatig vast te stellen. Dit zou echter slechts een eenmalige taak zijn. De informatie hoeft alleen geüpdatet te worden als een nieuw station wordt gebouwd of als er een noemenswaardige renovatie plaatsvindt.

Dit legt ook meer druk op de bouw van de infrastructuur: de processen rondom het ontwerp van de infrastructuur moeten uitgebreid worden om het ontwerp van de tijdsaanduidingen toe te voegen.

Daarnaast verwacht ATO twee tijdsaanduidingen wanneer het de instructie krijgt te stoppen bij een station: één voor de aankomst en één voor het vertrek. Op kleinere stations is er in de huidige dienstregeling slechts één tijdsaanduiding. Dit moet onderzocht worden.

5.6.3.7 Definitie van tijdsaanduidingen

Een tijdsaanduiding is een bredere term dan een stoppunt. Een tijdsaanduiding geeft een plaats en een tijd aan waarmee de trein rekening moet houden. De locatie van tijdsaanduidingen lijkt op die van de huidige Dienstregelpunten, maar is niet in alle aspecten hetzelfde. Sommige Dienstregelpunten zijn bijvoorbeeld niet relevant voor ATO (wanneer een trein een wissel passeert die geen logistiek knelpunt is, bijvoorbeeld).

Een deel van de tijdsaanduiding geeft een locatie op de infrastructuur aan. Daarom is de kwaliteit van deze tijdsaanduiding van belang. Zoals eerder gezegd met betrekking tot stopposities moet een tijdsaanduiding over het algemeen zeer precies zijn, aangezien een foutieve tijdsaanduiding kan leiden tot allerlei ongewenste situaties die het spoorverkeer negatief kunnen beïnvloeden. Daarom moet de informatie hetzelfde kwaliteitsniveau hebben als de informatie die in de huidige besturingssystemen wordt gebruikt, of zelfs van een hoger niveau zijn.

Het exacte kwaliteitsniveau en de bepalingsmethode moeten verder onderzocht worden. Het zou mogelijk kunnen zijn om een op regels gebaseerd systeem in te zetten (waarbij tijdsaanduidingen automatisch afgeleid worden van reeds bestaande concepten). Anders zijn aparte informatieconcepten nodig.

Het tijdsaspect van de tijdsaanduiding vergt ook meer aandacht. De ETCS-specificatie beveelt aan om een tijd te gebruiken die op de seconde precies is. De nieuwste planningsmethode gebruikt tussenstappen van 6 seconden. In toekomstige studies moet onderzocht worden of dit nauwkeurig genoeg is. Is dit niet het geval, dan moet de nauwkeurigheid vergroot worden (naar tussenstappen van één seconde, bijvoorbeeld). Naar verwachting zal timing met tussenstappen van 6 seconden echter nauwkeurig genoeg zijn voor de eerste implementatie van ATO

5.6.3.8 Bochten en andere standaardiseringsuitdagingen

De bochten van de rails zijn onderdeel van de geografische informatie over het spoor. De interface tussen spoor en trein (SS-126) vereist dat deze informatie naar de ATO aan boord wordt gestuurd.

Het is mogelijk dat deze informatie momenteel al onderdeel is van de snelheidsbeperkingen op een spoor, maar het is nog steeds een expliciete vereiste in de interface. Het gevolg hiervan zou kunnen zijn dat beperkingen twee keer opgelegd worden (een keer door ETCS en een keer door ATO). Dit moet onderzocht worden.

Dit rapport is geschreven op een tijdstip waarop uitdagingen zoals bochten nog niet zijn opgelost. Andere vergelijkbare uitdagingen zijn bijvoorbeeld constante snelheidsproblemen en rijden met lage wrijving. Deze uitdagingen worden onderzocht door Europese werkgroepen. ProRail zal deelnemen aan deze werkgroepen en naar oplossingen zoeken. Er zijn op dit moment geen aanvullende stappen genomen.

5.7 Aanbevelingen / Vervolgstappen

Dit onderzoek is slechts de eerste verkenning van de ATO-technologie. Verscheidene vervolgstappen zijn vastgesteld. Omdat we aan het begin staan van de introductie van ATO staan sommige van deze aanbevelingen en vervolgstappen buiten het bestek van IT. Desondanks zijn ze zeer belangrijk voor het verdere onderzoek naar de relevantie van ATO voor ProRail. Deze aanbevelingen zijn nog niet SMART. Ze kunnen SMART gemaakt worden op basis van het tijdsbestek waarin deze onderwerpen van groter belang worden voor ProRail of de tijd die besteed kan worden om hieraan te werken.

1. Bepalen van de bedrijfscasus voor ATO voor ProRail

ATO is een veelbelovende technologie. Op dit moment is er echter nog geen duidelijke vraag naar. De bedrijfscasus moet de kosten en de baten voor ProRail beschrijven. Op basis hierop zal besloten worden of en wanneer investeringen gemaakt moeten worden. Daarnaast moeten afhankelijkheden met alternatieven/andere strategische initiatieven (zoals VL2027) onderzocht worden.

2. Zoek naar wisselwerking tussen DAS en ATO

Er zijn verschillende initiatieven die voordelen lijken te beloven voor dezelfde doelen. Twee van deze initiatieven zijn DAS en ATO. Er is veel overlap op het gebied van informatie en IT. De initiatieven hebben allebei hun eigen uitdagingen, maar er is veel wisselwerking mogelijk.

3. Focus eerst op GoA 1-2

De ontwikkeling met betrekking tot ATO bestaat ruwweg uit twee delen: een daarvan is de ontwikkeling van GoA 1&2, en de ander GoA 3&4. Op dit moment is het verstandig te focussen op GoA 1&2.

4. Bepaal zakelijke eisen

De Operationele Processen zijn geen onderdeel van dit onderzoek. Deze moeten verder onderzocht worden. ATO is een technologie. ProRail moet een visie en rol binnen de sector definiëren en de afweging maken of ATO toegevoegde waarde heeft in de processen van ProRail.

5. De technologie van ATO is gericht op het verzamelen en verbeteren van informatie

Veel informatieconcepten zijn al aanwezig in de organisatie, maar nog niet allemaal. ProRail moet deze informatie verzamelen, onderhouden en toevoegen aan de operationele processen. Eigendom van deze informatie (naast IT) is een belangrijk onderdeel.

6. Leren door te Doen

Om een goed overzicht te krijgen van de precieze vereisten voor ICT-integratie wordt aanbevolen om een Proof of Concept-omgeving op te zetten. Dit zal tot waardevolle inzichten leiden.

De volgende punten zijn praktisch en zijn de directe resultaten van het onderzoek.

1. Voer een analyse uit van de plaatsing van de tijdsaanduidingen

De Tijdsaanduidingen van ATO geven de TMS de mogelijkheid om de verkeersstroom te regelen. De technologie biedt echter geen optimale werkwijze voor het plaatsen van deze tijdsaanduidingen. Naar verwachting zal de locatie van deze tijdsaanduidingen een grote invloed hebben op de voordelen die ATO kan leveren. Er moet daarom onderzoek gedaan worden naar de beste aanpak voor het bepalen van deze tijdsaanduidingen.

2. Onderzoek de informatievereisten met betrekking tot stoppunten

Er is momenteel geen opgeslagen informatie met betrekking tot de exacte stoppunten van treinen bij de perrons. Deze informatie is echter nodig voor ATO. ProRail kan vast beginnen met het zoeken naar een oplossing voor dit onderwerp.

3. Onderzoek de beste oplossing voor segmentprofielen

Er zijn verschillende manieren waarop de infrastructuur vormgegeven kan worden. Er is onderzoek nodig om te bepalen wat het beste model is voor ATO met betrekking tot de omgeving.

4. Verzamel meer informatie van de RU's

ProRail heeft meer informatie nodig van de RU's. Treinkenmerken zoals compositie, trekkracht en lengte zullen steeds belangrijker worden.

5. Implementeer een oplossing in de geest van een ATO-adapter

Of de ATO-adapter een opzichzelfstaand onderdeel wordt of geïntegreerd wordt in het systeem blijft een ontwerpkeuze. ProRail kan echter wel beginnen met de ontwikkeling van een onderdeel dat voor de verzameling en vertaling van ProRail informatie naar een Industry ATO-format kan zorgen.

6 Reportage demonstratierit en media-event

Het doel van de proef was om zoveel mogelijk te leren en deze kennis te delen met alle betrokken partijen. ProRail is ervan overtuigd op deze wijze de innovatie rondom ATO een boost te kunnen geven. Mede daarom is het van groot belang om veel aandacht te besteden aan communicatie rondom de ATO-ontwikkeling. Daarnaast is het draagvlak bij stakeholders in deze ontwikkeling van grote waarde.

Met deze eerste proef in Nederland brengt ProRail samen met haar partners geautomatiseerd rijden op het spoor dichterbij. ProRail hoopt om met deze ontwikkeling in de toekomst capacitaire knelpunten het hoofd te kunnen bieden en in te spelen op de vraag van haar klanten. Deze eerste testen met een ATO-systeem in Nederland zijn daarmee een belangrijke ontwikkeling voor het spoor van de toekomst. Een mooie bijkomstigheid is dat deze proef heeft geleid tot een positief imago van de organiserende partijen, innovatief, vooruitstrevend en vernieuwend.

Om het succes van de proef te delen en de omgeving te informeren over de potentie van ATO is tijdens een van de testritten een exclusief evenement gehouden met belangrijke stakeholders (politiek, spoorwereld en de pers). ProRail wilde daarmee, samen met haar partners, laten zien dat ATO de potentie heeft om succesvol toegepast te worden op het Nederlandse spoor.

6.1 Het evenement

De stakeholders kregen de gelegenheid om het ATO-systeem te leren kennen en zelf te ervaren. Speciaal voor de minister van Infrastructuur, mevrouw Cora van Nieuwenhuizen en CEO ProRail Pier Eringa, is een testrit georganiseerd op het emplacement Kijfhoek te Zwijndrecht. Belangrijke stakeholders konden zo zelf ervaren wat er anders is tijdens een rit met een geautomatiseerde trein, waarbij de machinist verantwoordelijk blijft voor het veilig rijden. ATO is moeilijk uit te drukken in beeld en geluid, daarom is het van meerwaarde als de aanwezigen de techniek zelf beleven.



*Aankomst van Minister Cora van Nieuwenhuizen met ontvangst door ProRail CEO Pier Eringa.
Fotograaf: Stefan Verkerk*

Na de ontvangst van de minister door ProRail CEO Pier Eringa vertrokken zij richting de verkeersleidingspost Kijfhoek voor een rondleiding onder leiding van de Directeur Verkeersleiding Roel Salden.



*De Minister krijgt een rondleiding op de Verkeersleidingspost Kijfhoek van Directeur Verkeersleiding Roel Salden.
Fotograaf: Stefan Verkerk*

Omdat op het emplacement Kijfhoek treinen met gevaarlijke stoffen worden gerangeerd gelden hier aangescherpte regels. Daarom was voor een evenementlocatie gekozen net buiten Kijfhoek. Op deze locatie kregen de overige gasten een uitgebreide uitleg over het ATO-systeem door ProRail en de leverancier Alstom.

Na de rondleiding volgde de testrit met de minister en de ProRail CEO. Voordat zij konden instappen volgde er eerst een veiligheidsinstructie.



*Hierna volgt een veiligheidsinstructie door de Beproevingssritleider.
Fotograaf: Stefan Verkerk*



Minister Cora van Nieuwenhuizen, ProRail CEO Pier Eringa en de Testmachinist zijn klaar voor vertrek.
Fotograaf: Stefan Verkerk

Tijdens de testrit was er een Beproevingssritleider aan boord om een veilige rit te kunnen garanderen en een testmachinist die kan ingrijpen als dit noodzakelijk wordt geacht. Alle overige gasten konden door middel van een livestream meekijken met de testrit.



De testtrein in actie.
Fotograaf: Stefan Verkerk



Terugkoppeling op de testrit en de ontwikkeling van ATO door Minister Cora van Nieuwenhuizen en ProRail CEO Pier Eringa.

Fotograaf: Stefan Verkerk

Na afloop van de testrit gaven Minister Cora van Nieuwenhuizen en ProRail CEO Pier Eringa een terugkoppeling van hun ervaring en hun beeld over de toekomst van ATO. Gasten en pers kregen de gelegenheid om vragen te stellen.



Het Projectteam van ProRail, Alstom en Rotterdam Rail Feeding samen met Minister Cora van Nieuwenhuizen en ProRail CEO Pier Eringa.

Fotograaf: Stefan Verkerk

Het evenement heeft geleid tot veel positieve publiciteit en heeft daarmee het doel bereikt. ATO heeft veel bekendheid gekregen binnen en buiten Nederland.

7 Overzicht van de belangrijkste conclusies en aanbevelingen

Een groot deel van de onderzoeksvragen is (gedeeltelijk) beantwoord, met name de vragen gericht op functionaliteit van het ATO-systeem. We kunnen concluderen dat de manier van testen (LVC aanpak) zeer geschikt is om onze onderzoeksvragen te beantwoorden. Hiervoor zijn wel aanvullende testprojecten nodig die specifiek gericht worden op bepaalde vragen.

7.1 Algemeen

Aan de ATO-proef is met veel inzet en enthousiasme gewerkt door de mensen van Alstom, RRF en ProRail. De eerste conclusie is dat het mogelijk is gebleken om een bestaande BR203 locomotief met ATO uit te rusten en daar op een veilige manier ATO-testen mee te doen. Daarmee zijn de eerste ritten onder ATO op Nederlands grondgebied een feit.

7.1.1 Conclusie Live test

Locatie

De Betuweroute is een goed testgebied voor ATO over ETCS testen, het is een complexe omgeving waarin veel verschillende situaties getest kunnen worden. Een nadeel is dat de Betuweroute geen normale treinvrije periodes kent, dus moet tussen de commerciële treinen door getest worden. Hierdoor is er minder ruimte voor bijzondere testen en moet er continu gelet worden op het voorkomen van treinhinder.

Materieel

De locomotief van RRF is een wat oudere diesel-hydraulische locomotief. Dit maakt dat de besturing van de locomotief lastiger is dan een elektrische locomotief, vanwege tragere reacties en het niet lineaire tractieverloop. Dit maakt het rijden onder ATO een stuk uitdagender.

Functionaliteit

Uit de resultaten blijkt dat de basisfunctionaliteit, te weten de ATO-OnBoard, de ATO-TrackSide en de berichtenuitwisseling tussen de beide ATO-deelsystemen, redelijk volwassen is. De ATO-OnBoard interpreteerde de ontvangen rijopdrachten in de vorm van een JP en SP goed en probeerde deze uit te voeren. De communicatie tussen ATO-TrackSide en ATO-OnBoard is robuust gebleken.

De daadwerkelijke besturing van de tractie en remmen door ATO was in de proef nog niet op het niveau van gelijkmatigheid, consistentie en precisie wat nodig is voor een eventuele uitrol. Gedurende de testperiode heeft het systeem wel laten zien dat het deze potentie heeft. Er is wel meerdere keren nauwkeurig gestopt maar niet consistent, het rijprofiel was op punten zeer nauwkeurig en gelijkmatig maar ook niet consistent over alle ritten.

Wanneer meegewogen wordt dat de gebruikte locomotief een diesel hydraulische aandrijving heeft is deze prestatie zeer indrukwekkend. Voor de ATO-besturing van deze specifieke locomotief moet het gebruikte rijkarakteristiek model verder verbeterd worden.

7.1.2 Conclusie Human Factors

Er zijn op basis van dit beperkte onderzoek nog geen goede conclusies te trekken maar het geeft wel een impressie welke impact ATO kan hebben op de werkzaamheden van de machinist.

- Tijdens de ATO test blijven de machinisten alert, zijn iets minder ontspannen dan tijdens een reguliere rit en behouden de controle over de trein.
- De machinisten zijn tevreden over de manier waarop de testen zijn uitgevoerd.
- Het gebruikte ATO-systeem is nog onvoldoende ontwikkeld om een goede ondersteuning te bieden voor de machinist.
- Het acceleratie- en remgedrag van dit ATO-systeem is nog onvoldoende ontwikkeld om de verwachte baten te behalen.

7.1.3 Conclusie Constructive simulaties

De conclusie is dat over de gehele linie een grote verbetering te zien is van ATO of TMS+ATO ten opzichte van de Agent als referentie. De punctualiteit kan in belangrijke mate verhoogd worden en het aantal ongeplande stops kan aanzienlijk gereduceerd worden, of de verbeterde sturing kan gebruikt worden om buffers te verkleinen en de capaciteit te verhogen zonder een verslechtering ten opzichte van de huidige situatie. De betere punctualiteit kan ook de planning van processen op Kijfhoek en in de Havens aanzienlijk nauwkeuriger maken.

Als overal met ATO of TMS+ATO wordt gereden dan zullen verstoringen bij entree van het studiegebied kleiner worden, en als GoA4 wordt gebruikt nemen mogelijk ook de verstoringen bij halteren en vertrekken af, dit is echter niet onderzocht. Hierdoor zullen vertragingen verder afnemen en zal een verdere verhoging van de capaciteit mogelijk zijn.

Zonder compressie van de dienstregeling presteert TMS+ATO vergelijkbaar met ATO. Met compressie van de dienstregeling presteert TMS+ATO beter dan ATO op het voorkomen van ongeplande stops en het reduceren van vertragingen. Dit betekent dat TMS belangrijker wordt voor een goede afhandeling van het treinverkeer bij verdere verhoging van het aantal treinen per uur.

7.1.4 Conclusie Demonstratierit

De demonstratierit en de bijbehorende media-aandacht heeft het onderwerp ATO op de kaart gezet als een ontwikkeling die al zover is dat er al met echte ATO-systemen getest kan worden. De reacties op de proeven geven aan dat hierdoor verschillende partijen in de spoorsector ATO serieus zijn gaan nemen als een ontwikkeling die de komende jaren gebruikt kan worden om baten zoals meer capaciteit, kortere reistijd en energiebesparing mogelijk te maken.

7.1.5 Evaluatiebijeenkomst live testen

Bij de projectevaluatie houden we het resultaat tegen het licht. Met deze informatie willen leren voor vervolgtrajecten. Omdat dit de eerste ATO test ooit in Nederland, met een zeer strak schema, is deze evaluatie van extra belang. Voor de evaluatie zijn de meningen, lessons learned en adviezen verzameld van de projectleden die een rol hadden tijdens de test.

Onderwerpen waren onder meer: is het doel bereikt, welk effect heeft de test gehad en wat hebben we geleerd?

Aanpak

Tijdens de evaluatiebijeenkomst vormden de deelnemers 4 kleinere groepen om het project te bespreken van het begin tot de laatste testritten. De resultaten van deze discussies werden opgeschreven op post-its en besproken met de hele groep.

Voorafgaand aan deze sessie is door RRF al een interne evaluatie gehouden, de uitkomst van deze vergadering is hierin meegenomen. Ook Alstom heeft een korte beoordeling gegeven met de belangrijkste lessons learned.

7.1.5.1 Conclusies van de evaluatie

Doel

Het doel, om te kijken of ATO geschikt is voor het spoor, is behaald. Geautomatiseerd rijden in Nederland is mogelijk gebleken. Deze eerste test betekende een grote stap voor ATO in heavy rail. Daarnaast heeft de ATO test veel positieve media aandacht gekregen.

Samenwerking

De samenwerking tussen de projectleden en het testteam verliep goed en werd als zeer positief ervaren. Ook de snelheid waarmee het team reageerde op vragen werd als goed beoordeeld.

Techniek

ATO staat nog in de kinderschoenen maar biedt veel potentie. Tijdens de test werd gebruik gemaakt van het ATO metro systeem. De rijeigenschappen werden tijdens de start van de test als te agressief ervaren

(laat remmen, snel aanzetten). Dit vraagt nog om verdere ontwikkelingen en verfijning. Er is echter veel waardevolle informatie tijdens deze test opgehaald om het systeem te kunnen verbeteren.

Testen

Van belang is om de testmachinisten tijdig te betrekken. Het testen van een nieuwe technologie vraagt om een langere testperiode dan nu gepland, om zo beter de onderzoeksvragen te kunnen beantwoorden en in de tussentijd het systeem te kunnen verbeteren.

7.1.5.2 Lessen projectbeheersing

Tijd

Het project moest onder druk worden uitgevoerd om zo de afspraken met de opdrachtgever te kunnen nakomen. Van te voren was bekend dat de planning ambitieus was. Doordat ATO een volledig nieuw begrip was binnen de sector heeft ook de ILT aanvraag langer geduurd. Dit is van invloed geweest op de doorlooptijd. Dit betekende onder meer tekort de tijd om het systeem te fine tunen. Daarnaast moesten er last minute aanpassingen aan de testdocumenten worden uitgevoerd.

Zie Bijlage V: Uitkomsten evaluatiebijeenkomst.

7.2 Overall conclusie

De testen op de Betuweroute hebben aangetoond dat ATO technisch mogelijk is en de potentie heeft om de capaciteit en punctualiteit op het Nederlandse spoor te verbeteren. Dit heeft ertoe geleid dat er binnen ProRail een programma wordt opgezet om dit verder te onderzoeken.

Daarnaast hebben deze testen veel positieve media-aandacht opgeleverd en de interesse gewekt bij vervoerders, spoorpersoneel, vakbonden en de spoorbranche in het algemeen. Het doel om de ontwikkeling van ATO een boost te geven is behaald.

7.3 Aanbevelingen voor vervolgonderzoek

7.3.1 Aanbevelingen Live test

7.3.1.1 Testopzet

- Herhaal de testen op de Betuweroute, mogelijk met een simpeler te besturen (elektrische) locomotief, om betere conclusies te trekken over de rijkwaliteit van ATO.
- Onderzoek of het ATO-algoritme door middel van simulaties te testen en verbeteren is zodat tijdens de live testen het algoritme stabiel is en de performance consistent.
- Organiseer pas in een later stadium een proef met een goederentrein (inclusief lading). Indien mogelijk ook het testen van een kalibratie op basis van wagenlijst in plaats van karakteriseringsritten.

7.3.1.2 Testvoorbereiding

- Definieer de testdoelen voorafgaand aan het project en richt het project zo in dat net zo lang getest kan worden totdat het testdoel behaald is. Zo wordt er beter aangesloten bij de verwachtingen van de uitkomsten van een testproject.
- Ga nadrukkelijker in gesprek met de ATO-leverancier over welke testen het systeem aankan en wat de verwachte performance is.
- Om ontwerpfouten in test, dienstregeling of Journey profiles te voorkomen, neem meer tijd voor de voorbereiding en standaardiseer het ontwerpen van Journey Profiles in combinatie met een dienstregeling.
- Werk beter uit wat de data registratie mogelijkheden zijn en maak hier vooraf afspraken over om na de test sneller en effectiever de analyse te kunnen doen.

7.3.1.3 Testinhoud/testprogramma

- Concentreer bij vervolgtesten op de rij eigenschappen en doe minder maar langere testscenario's. Dit sluit beter aan bij het huidige ontwikkelingsniveau van ATO en geeft een beter beeld van de rijkwaliteit van ATO.
- Bouw de moeilijkheidsgraad van de testen geleidelijk op zodat makkelijker geconcludeerd kan worden welke aspecten al wel goed geïmplementeerd zijn en welke nog aan gewerkt moet worden.
- Richt je met de testinhoud meer op de vragen die voor de ontwikkeling van ATO en voor de business case belangrijk zijn. Test zo mogelijk verschillende ontwerpkeuzen.
- Organiseer een testcampagne puur gericht op de GSM-verbinding tussen ATO-TrackSide en ATO-OnBoard, omdat deze van groot belang is voor de robuustheid van ATO.

7.3.1.4 Testanalyse

- Maak gebruik van de inmiddels opgebouwde expertise.
- Leg duidelijker de doelen en de structuur van de testen uit voor een beter begrip bij de analisten, wat de kwaliteit en snelheid van de analyse ten goede komt.
- Maak gebruik van een analyseformat om de testen sneller en beter gestructureerd te analyseren.
- Onderzoek hoe de resultaten makkelijker visueel gemaakt kunnen worden.

7.3.1.5 ATO-techniek

- Verbeter het model van de rijkaracteristiek in de ATO-OnBoard om ook een locomotief als BR203 goed te kunnen besturen.
- Onderzoek de mogelijkheden van een zelf kalibrerend algoritme. Hiermee wordt het minder kritisch om vooraf precies de rijkaracteristiek te weten. Deze is in de gewenste nauwkeurigheid waarschijnlijk niet constant door wisselende treinsamenstelling, belading, remprestaties, etc.
- Bekijk hoe het op de rem houden bij stilstand en het op de parkeerrem zetten geïmplementeerd kan worden.
- Onderzoek hoe vanuit de huidige dienstregeling het beste ATO-opdrachten (JP) geformuleerd kunnen worden met betrekking tot Timing point locaties en arrival windows.

7.3.1.6 Algemeen

De testresultaten onderschrijven dat ATO de potentie heeft om een bijdrage te leveren aan de voor ProRail broodnodige capaciteitsverbetering. Het beproeven van ATO om van te leren heeft in korte tijd veel inzichten opgeleverd en heeft de ontwikkeling van ATO een boost gegeven.

In het algemeen kan daarom worden gesteld dat er alle reden is om door te gaan met het verder onderzoeken van de mogelijkheden en impact van ATO.

Lopende de ATO-onderzoekfase, -ontwikkelfase, -realisatiefase en -uitroffase kunnen testcampagnes om snel duidelijkheid verschaffen over ATO-effecten en ontwerpkeuzes, zonder te hoeven wachten tot de verificatie- en validatietesten.

Ook bij andere techniekinnovaties en -ontwikkelingen kan in een vroeg stadium worden getest. Hierdoor wordt snel veel geleerd over de betreffende innovatie of ontwikkeling en maakt deze binnen en buiten ProRail zichtbaar.

7.3.2 Aanbevelingen Human factors

- Vergroten validiteit door aansluiten echte ATO-apparatuur aan de NEO-simulator
- Uitbreider Human Factors onderzoek naar de effecten van ATO op de werkzaamheden en het gedrag van de machinist.
- Machinisten actief betrekken in de ontwikkeling van de DMI. Gezamenlijk uitzoeken welke informatie een machinist wil ontvangen van een ATO-systeem.
- Onderzoek naar de communicatie tussen machinist en treindienstleiding i.c.m. ATO.

- Verkeersleiding actief betrekken bij de ontwikkeling van ATO. Gezamenlijk uitzoeken welke informatie de treindienstleiding wil ontvangen van een ATO-systeem.
- Human Factors onderzoek naar de effecten van ATO op reizigers en omgeving.

7.3.3 Aanbevelingen Constructive

Dit onderzoek heeft de grote potentiële punctualiteits- en capaciteitsbaten van ATO en TMS+ATO aangetoond. Op basis hiervan wordt de invoering van ATO aanbevolen.

Voor de keuze voor ATO of combinatie van TMS en ATO is meer nodig dan alleen dit onderzoek. Aanbevolen wordt om mee te wegen hoe de varianten scoren op:

- Kans dat een trein stuurt op niet opvolgbare doelen, wat impact op veiligheid en de acceptatiegraad heeft.
- De mogelijkheid om planwijzigingen direct aan de betreffende machinisten en treinen op te kunnen sturen.
- Functioneren tijdens verstoringen/grotere vertragingen en hun effecten op de prestatie indicatoren.
- Mogelijkheden om de machinist en trein van actuele informatie te voorzien (spoorlopers, incidenten), wat het vertrouwen in en de acceptatie van ATO kan bevorderen.
- Mogelijkheden om verkeersleiding te voorzien van actuele informatie over positie, snelheid en verwachte doorkomsttijd van treinen.
- Doorgroeimogelijkheden voor procesleiding.

Op enkele punten kan dit simulatieonderzoek verder uitgewerkt worden:

- Meewegen van energieverbruik in de optimalisatie van het snelheidsprofiel bij ATO. Er kan bijvoorbeeld primair op vertragsreductie geoptimaliseerd worden en secundair op energieverbruik (dus waar dat kan zonder de punctualiteit te verslechteren) of er kan een gewogen optimalisatie op beide gedaan worden (waarbij de afweging kan verschillen per vervoerder, traject en tijd op de dag).
- Gebruik van uitgesteld remmen en remmen met een hogere remvertraging bij ATO om vertragingen in te lopen of geplande rijtijden te verkleinen.
- Uitbreiden van de Agent met modellen van machinisten die ondersteund worden met TIMTIM.
- Uitbreiden van de Agent zodat deze ook met hellingen om kan gaan.
- Scheiden van trein en wal functionaliteit in de sturing. TMS+CDAS is nu een geïntegreerde module. Gewenst is om TMS als aparte module beschikbaar te hebben die kan samenwerken met de ATO-module in FRISO. Daarmee kan dan de combinatie van TMS en ATO gesimuleerd worden conform de Europese standaard. Hierbij wordt aan de wal de herplanning gedaan. Vervolgens wordt deze nieuwe planning opgestuurd naar de trein. De ATO-module op de trein berekent dan het optimale snelheidsprofiel om deze nieuwe planning te realiseren.
- Verder uitwerken van procesleiding in FRISO zodat ook grotere verstoringen gesimuleerd kunnen worden. Opties zijn om een Agent model van treindienstleiders te maken of om (automatisch gegenereerde) Trein Afhandelings Documenten (TAD's) te gebruiken. Naast modellering van het huidige gedrag van treindienstleiders is juist ook uitwerking van innovatieve verbeteringen gewenst. Mogelijk kan hiervoor de bovengenoemde TMS-module gebruikt worden.
- Opnemen van reizigers in FRISO zodat ook de reizigerspunctualiteit bepaald kan worden.
- Opnemen van spanningssluizen in FRISO.
- Opnemen van aanpak- en lostijden van remmen voor goederentreinen in FRISO.

7.3.4 Aanbevelingen ICT Studie

Definieer de business case van ATO voor ProRail

ATO is een veelbelovende technologie. Maar op dit moment is er nog geen duidelijk verzoek van de markt. In de business case moeten de kosten versus de baten voor ProRail/de spoorbranche worden beschreven. Dit bepaalt of en wanneer investeringen moeten worden gedaan. Ook afhankelijkheden met alternatieven/ andere strategische initiatieven (zoals VL2027) moeten worden onderzocht.

Zoek naar synergie tussen DAS en ATO

Er zijn meerdere initiatieven die voordelen beloven voor dezelfde doelen. Twee van die initiatieven zijn DAS en ATO. Er is een grote overlap op het gebied van informatie en IT. Beide hebben hun eigen uitdagingen, maar er is veel synergie mogelijk.

Focus als eerste op GoA 1&2

De ontwikkeling met betrekking tot ATO is ruwweg in tweeën gesplitst: het ene deel ontwikkelt GoA 1&2, de andere GoA 3&4. Op dit moment is het verstandig om te focussen op GOA 1&2.

Bedrijfsvereisten definiëren

In deze studie hebben we de operationele processen niet opgenomen. Ze moeten verder worden geanalyseerd. ATO is een technologie. ProRail moet een visie en rol binnen de sector definiëren en beslissen of ATO een voordeel heeft in ProRail-processen.

De technologie van ATO gaat over het verzamelen en verbeteren van informatie

Er zijn veel informatieconcepten aanwezig in de organisatie, maar niet allemaal. ProRail moet deze informatie verzamelen en onderhouden en opnemen in haar operationele processen. Het eigendom van deze informatie (afgezien van IT) is een belangrijk element.

Leren door te doen

Om een goed beeld te krijgen van de exacte behoeften die nodig zijn om te integreren met ICT, is het raadzaam om een Proof of Concept omgeving op te zetten. Dit geeft waardevolle inzichten.

Bijlage I Overzicht van onderzoeksvragen

Om een gedegen studie te verrichten naar de potentie van toekomstige ATO-systemen zijn er onderzoeksvragen opgesteld. Deze onderzoeksvragen zijn onder te verdelen in techniek, punctualiteit, capaciteit, veiligheid, energiegebruik en reizigersbeleving. We zijn ons ervan bewust dat tijdens een eerste test met een nieuw systeem niet alle onderzoeksvragen direct beantwoord kunnen worden.

- Kan ATO de tractie en rem besturen?
- Kan ATO de tractie geleidelijk opbouwen en afbouwen?
- Kan ATO optrekken zonder te slippen?
- Kan ATO de rem geleidelijk opbouwen en afbouwen?
- Kan ATO remmen zonder te slippen?
- Kan ATO-remmingen continue en constant uitvoeren, zonder veel variaties in remkracht of tussendoor lossen van de remmen?
- Kan ATO een rit rijden zonder onnodige snelheidsaanpassingen/ tractie en rem acties?
- Kan ATO ook bij hellingen een rit rijden zonder onnodige snelheidsaanpassingen/ tractie en rem acties?
- Kan ATO in glad spoor situaties optrekken?
- Kan ATO in glad spoor situaties snelheidsverlagingen op tijd bereiken?
- Kan ATO alle gangbare rijtoestemmingen verwerken? Hier hoort ook verbeteringen van rijtoestemming na stop bij.
- Kan ATO-rijtoestemmingen opvolgen?
- Kan ATO tijdelijke snelheidsbeperkingen verwerken?
- Kan ATO tijdelijke snelheidsbeperkingen opvolgen?
- Kan ATO op tijd halteren?
- Kan ATO op tijd een punt passeren?
- Kan ATO op tijd vertrekken?
- Kan ATO omgaan met dienstregeling wijzigingen?
- Kan ATO omgaan met route wijzigingen?
- Kan ATO nauwkeurig genoeg langs het perron halteren, ook als dit bij einde rijtoestemming is?
- Kan ATO zorgen dat er snel genoeg gereden wordt in overweg aankondiging gebied?
- Welke door ATO geautomatiseerde taken moeten door de machinist gemonitord worden?
- Kan de machinist de machinist deze monitoringstaken adequaat uitvoeren?
- Kan de machinist de niet door ATO geautomatiseerde taken adequaat blijven uitvoeren bij invoering van ATO?
- Hoe nauwkeurig op tijd kan ATO op een punt aankomen?
- Hoe nauwkeurig op tijd kan ATO vertrekken?
- Hoe nauwkeurig op tijd kan ATO een punt passeren?
- Welke verbetering van nauwkeurigheid realiseert ATO ten opzichte van handmatig rijden
- Wat is de relatie tussen de locatie van timing points; de mogelijkheid om de dienstregeling op andere punten te definiëren en de spreiding?
- Wat is de relatie tussen capaciteitswinst en nauwkeurigheid van volgen dienstregeling?
- Hoeveel tijdswinst kan ATO behalen bij optrekken?
- Hoeveel tijdswinst kan ATO behalen bij stoppen op een station/halte?
- Wat is de relatie tussen sneller halteren en capaciteitswinst?
- Hoe nauwkeurig op tijd kan ATO op een punt aankomen?
- Hoe nauwkeurig op tijd kan ATO vertrekken?
- Hoe nauwkeurig op tijd kan ATO een punt passeren?
- Welke verbetering van nauwkeurigheid realiseert ATO ten opzichte van handmatig rijden
- Wat is de relatie tussen punctualiteitswinst en nauwkeurigheid van volgen dienstregeling?
- Hoe goed kan ATO-vertragingen eruit rijden?
- Hoe goed kan ATO omgaan met hinder door een andere trein voor zich?
- Hoe goed kan ATO omgaan met een gewijzigde dienstregeling?

- Welke verbetering in het aantal ongeplande stops is mogelijk met ATO?
- Wat is de relatie tussen ongeplande stops en het veiligheidsniveau?
- Hoeveel minder energie heeft ATO nodig voor een treinrit?
- Welk communicatienetwerken kan ATO gebruiken?
- Welke aanpassingen aan communicatie netwerken zijn nodig voor ATO?
- Hoe kan ATO hierop aangesloten worden?
- Welke aanpassingen aan het systeemlandschap zijn nodig om de ATO-functionaliteit te implementeren? Hoe wordt de functionaliteit verdeeld over systemen?
- Welke aanpassingen aan infradatakwaliteit en beheer zijn nodig voor ATO?
- Welke technische impact heeft volledig vrije keuze voor locatie timing points?

Bijlage II Testresultaten Live per testscenario

1a1a geplande stop bij EoA onder Level 1 na infill balise

1a1a1 Ruime marge in tijd in JP + krappe marge in plaats in SP

testspecificatie: stop bij EoA voor sein 3026

Het Segment profile heeft deze stop foutief geplaatst voor sein 3004 (18m na baken 3302 km 200.078), terwijl de EoA wel bij 3026 was.

Daarmee zijn de uitgevoerde testen te zien als een test 1a2

Baken 3302: km 200 060

Datum + Trein nummer	JP tijd		Realisatie tijd		SP stoplocatie	Realisatie stoplocatie	EoA
	Aankomst	Vertrek	Aankomst	Vertrek			
di 18 dec 58271	10:28:00	10:30:00	10:27	10:30	200.078	200.104	3026
do 20 dec 58271	10:28:00	10:30:00	10:28	10:32	200.078	200.050	3026
vr 21 dec 58271	10:28:00	10:30:00			200.078	200.027	3026

Bijzonderheden:

vr 21 dec 58271

niet duidelijk of MA toen al tot 3026: volgens TROTS wel (sein 832 gepasseerd 10:24:47, sein 322 gepasseerd 10:25:30, rijweg achter sein 3004 ingesteld 10:24:04) maar volgens ATO-data was de stop tussen bakens 3296 en 3302 nog maar 130m tot EoA. Mogelijk omdat in level 1 gebied MA update naar trein pas bij passeren balise is.

De stop is uitgevoerd zonder beperkingen van een EoA. De trein heeft respectievelijk 26m na, 18m te vroeg en 51m te vroeg gestopt.

Vertrek na stop:

18 dec met ATO

20 dec handmatig tot 7,3 km/h en vervolgens ATO

21 dec met ATO

1a1a4 Krappe marge in tijd in JP + krappe marge in plaats in SP

Specificatie: stop bij EoA voor sein 3026

Het Segment profile heeft deze stop foutief geplaatst voor sein 3004 (18m na baken 3302 km 200.078), terwijl de EoA wel bij 3026 was.

Daarmee zijn de uitgevoerde testen te zien als een test 1a2

Datum + Trein nummer	JP tijd		Realisatie tijd*		SP stoplocatie	Realisatie stoplocatie	EoA
	Aankomst	Vertrek	Aankomst	Vertrek			
wo 19 dec 58275	14:27:00	14:29:00	14:31:10	14:31:30	200.078	200.040	3026
do 20 dec 58273	14:27:00	14:29:00	14:29:30	14:29:50	200.078	200.078	3026
vr 21 dec 58273	14:27:00	14:29:00	14:30:30	14:31:30	200.078	200.085	3004

* Tijden geschat o.b.v. sectiebezetting, foutmarge 10s

58275 wo 19 dec

Uitgevoerd:

- 3026 ingesteld om 14:35:02 en voorgaand sein 3004 reeds gepasseerd om 14:31:38

58273 do 20 dec

Uitgevoerd:

- stop vlakbij baken 3302 (80m voor sein 3004) hoewel ingestelde rijweg toen al tot 3026 liep

58273 op vr 21 dec

Opmerkelijk:

- Wel EoA en stop 73m voor sein 3004
- Volgens grafiek beide keren optrekken uit stilstand even zonder ATO; in Excelsheet is dit niet terug te vinden.

en 1 keer precies op de juiste locatie en 1 keer 7m te ver

1a1b geplande stop bij EoA onder Level 1 voor infill balise.

1a1b4 Krappe marge in tijd in JP + krappe marge in plaats in SP

geen data van test

1a1c geplande stop bij EoA onder Level 2

1a1c1 geplande stop bij EoA te Bropo op TP17 = SMB4342 + 1391m = 74.110

10m voor sein 4362

Wo 58270:

- km **74.060** (zowel ATO als QATS)
- ca. 8:43:28 tot 8:46:08 (QATS)
- JP: aankomst 8:43:00 vertrek 8:46:00
- remming gem. $-0,25 \text{ m/s}^2$
- op km 73.965 lijkt een kleine acceleratie van 8 naar 11 km/h
- aanzet max. $+0,9 \text{ m/s}^2$ met ATO

Do 58270:

- km **74.043** (zowel ATO als QATS)
- ca. 8:43:12 tot 8:46:19 (QATS)
- JP: aankomst 8:43:00 vertrek 8:46:00
- remming gem. $-0,4 \text{ m/s}^2$
- op km 73.940 al 10 km/h bereikt, daarna aanzet tot 20 km/h
- aanzet max. $+0,6 \text{ m/s}^2$ met ATO

Vr 58270:

- km **74.021** (zowel ATO als QATS)
- ca. 8:43:56 tot 8:45:32 (QATS) dus te vroeg vertrokken (ATO aan!)
- JP: aankomst 8:43:00 vertrek 8:46:00
- 8:42:00 start remming $-0,7 \text{ m/s}^2$
- 8:42:30-8:42:40 constant 40 km/h
- doorremmen $-0,7 \text{ m/s}^2$ tot 4 km/h
- laatste 20m uitrollen (duurt 1 min)
- ATO even uit over km 74.013-016

De trein stopt 50 67 en 89m te vroeg daarnaast bereikt de trein te vroeg een lage snelheid waarna na de trein in 2 gevallen weer accelereert om niet te vroeg tot stilstand te komen en in 1 geval de trein laat uitrollen op lage snelheid

De trein komt 82,12 en 56 seconden te laat aan en vertrekt 28 seconden te vroeg, en 8 en 19 seconden te laat

1a1c1 - geplande stop bij EoA te Brcup op TP6 = SMB4582 + 1214m = 3.513

Ruim voor de stoplocatie is in alle drie de gevallen ATO uitgeschakeld, ATO test niet uitgevoerd

1a1c4 - geplande stop bij EoA te Bropo op TP17 = SMB4342 + 1391m = 74.110

Wo 58274

- JP: aankomst 12:22 vertrek 12:24.

12:20:55 remming gem. $-0,6 \text{ m/s}^2$

12:21:50 gestopt 73.825, meteen weer optrekken naar 40 km/h

- Van 12:22:23 tot 12:23:18 is stilgestaan op km 74.040 (ATO) ruim voor SMB 4362 (EoA).

-Om 12:23:02 wordt de rijweg ingesteld voorbij SMB 4362 (km 74.120) en om 12:23:31 wordt het sein gepasseerd (tijden uit TROTS en dat is heel nauwkeurig).

-Van 12:23:45 tot 12:24:11 is weer stilgestaan op km of 74.230 (ATO). na de stop aanzet gem. $+0,7 \text{ m/s}^2$ met ATO

do 58272:

stoppositie km 74.040 (ATO/QATS)

ca. 12:22:35 tot 12:24:45 (QATS)

remming max. $-0,7 \text{ m/s}^2$

aanzet even bijna $+1 \text{ m/s}^2$ met ATO

vr 58272:

stoppos. 1 km of 73.866 (ATO) ca. 12:22:50 tot 12:23:53 (QATS) EoA

remming gem. $-0,7 \text{ m/s}^2$, aanzet gem. $+0,6 \text{ m/s}^2$

stoppos. 2 ca. of 74.184 (ATO)

ca. 12:24:40 tot 12:25:05 (QATS) doorgaande MA

remming gem. $-0,7 \text{ m/s}^2$, aanzet gem. $+0,5 \text{ m/s}^2$ met ATO

Bij 2 tests stopt trein meerdere keren, eerst 150 en 70 m te vroeg en vervolgens 120 en 65 m te laat. 1 test stopt de trein 70m te vroeg

De eerste stop is 23, 35 en 50 s te laat en vertrek is 42s te vroeg, 45s te laat en 7s te vroeg

1a2 met geplande stop met doorgaande MA

1a21 geplande stop met doorgaande MA TP14 = SMB 4116 op km 29.541

58271 di 18 dec

JP1 aankomst 9:54 vertrek 9:56

uitvoering stop op km 29.592 van 9:54:45 tot 9:57:20 (QATS)

remming gem. $-0,7 \text{ m/s}^2$, aanzet gem. $+0,7 \text{ m/s}^2$

Wo 58271

km 29.580 (ATO)

ca. 9:54:05 tot 9:56:20 (QATS)

plan: aankomst 9:54 vertrek 9:56

accelereert nog vlak voor remming

remming gem. $-0,7 \text{ m/s}^2$

aanzet max. $+0,8 \text{ m/s}^2$

do 58271

km 29.520 (ATO)

ca. 9:56:40 tot 9:57:10 (QATS)

remming gem. $-0,7 \text{ m/s}^2$

aanzet max. $+0,7 \text{ m/s}^2$

vr 58271

km 29.636 (ATO)

ca. 9:54:10 tot 9:56:07 (QATS)

remming grotendeels $-0,9 \text{ m/s}^2$

aanzet begint $+0,9 \text{ m/s}^2$

51m te vroeg 39m te vroeg en 95m te vroeg, 21 m te laat

45, 5, 160 en 10 s te laat aangekomen en 80,20,70.7 s te laat vertrokken

1a24 met geplande stop met doorgaande MA TP14 = SMB 4116 op km 29.541

58273 di 18 dec

stop uitgevoerd op km 29.564 (ATO/QATS)
van 14:01:50 tot 14:03:05 (QATS)
specificatie: aankomst 14:02 vertrek 14:03
remming: gem. $-0,8 \text{ m/s}^2$
aanzet: grotendeels $+0,8 \text{ m/s}^2$, vlakt af boven 60 km/h.

58275 wo 19 dec

stop uitgevoerd op km 30.015 (ATO) / 29.563 (QATS)
van 14:02:33 tot 14:03:05 (QATS)
specificatie: aankomst 14:02 vertrek 14:03
remming: gem. $-0,6 \text{ m/s}^2$
aanzet: begint met $+0,8 \text{ m/s}^2$, vlakt geleidelijk af.

58273 do 20 dec

stop uitgevoerd op km 29.567 (ATO/QATS)
van 14:01:50 tot 14:03:08 (QATS)
specificatie: aankomst 14:02 vertrek 14:03
remming: gem. $-0,6 \text{ m/s}^2$
aanzet: begint met $+0,9 \text{ m/s}^2$, vlakt af boven 60 km/h.

Vr 58273

km 29.550 (ATO en QATS)
ca. 14:01:52 tot 14:03:04 (QATS)
plan: aankomst 14:02 vertrek 14:03
 $-0,3 \text{ m/s}^2$, dan 0, dan $-0,6 \text{ m/s}^2$
aanzet ca. $+0,7 \text{ m/s}^2$

continue remmingen zonder acceleraties ertussen, 23m,22,26,9m te vroeg
aankomst 10s te vroeg, 33s te laat, 10s en 8s te vroeg
vertrek 5s,5s,8s en 2s te laat

1b Normale rit met korte opvolging

1b1a "Korte opvolging" met tolerantie = 0 min

TP4 (SMB4172 @ km 44.150) JP 12:02 window 0 seconden

Wo 58274

- Realisatie 12:01:58 (netjes)
- Nadering op "maximumsnelheid" (met het gebruikelijke zaagpatroon)

Do 58272

- SMB 4172 (km 44.150) heeft doeltijd 12:02 met window 0 (!) en is gepasseerd om 12:02:02 met acceleratie op het laatst (best netjes!)

Vr 58272

- SMB 4172 (km 44.150) heeft doeltijd 12:02 met window 0 (!), is gepasseerd om 12:02:45 (te laat maar kon wsch niet sneller)

TP is 2 keer met 2s precisie gepasseerd, 1 keer 45s te laat maar dat was waarschijnlijk door opgelopen vertraging.

1b2a "Korte opvolging" met tolerantie = 0 min

58271 di 18 dec

JP1 schuift TP8 e.v. integraal 4 min later
TP8 (44.144) heeft nieuwe doeltijd 9:45:09 window = 0s
Uitvoeringstijd o.b.v. TOON 9:44:43 (iets te vroeg maar best aardig)
In de nadering rijdt de trein met wisselende snelheid (alleen QATS-data beschikbaar); rommelig,

Wo 58271:

- JP1 schuift TP8 e.v. integraal 4 min later
- Dit TP (44.144) heeft doeltijd 9:45:09 window 0, maar al 9:44:05 bereikt
- De nadering is rommelig
- ATO lijkt een paar keer eventjes overgenomen te zijn door mcn (rode lijn)

Do 58271:

- SMB 4176 (km 45.444) heeft in JP0 onhaalbare doeltijd 9:41 met window 0
- In JP1 wordt de rest van het pad integraal 4 min naar achter geschoven
- Zelfde punt, nieuwe doeltijd 9:45:09, passage 9:44:35 (te vroeg)

Vr 58271:

- SMB 4176 (km 45.444) heeft in JP0 doeltijd 9:41 met window 0
- JP1 zet rest van het pad integraal +4 min
- Zelfde punt, nieuwe doeltijd 9:45:09, passage 9:43:15 (te vroeg)
- Gezien snelheidsverloop lijkt boodschap niet doorgekomen of opzet anderszins mislukt

26s, 63s, 34s en 112s te vroeg op TP, dit komt waarschijnlijk door de JP1 update later verstuurd is dan bedoeld. De trein kreeg een latere doorkomsttijd op het TP

1b3b “Korte opvolging” met tolerantie = 2 min

58272 do 20 dec (p.8)

JP doorkomst op TP2 (location ID 8462) 11:20 window = 120s
Uitvoering o.b.v. sectiebezetting: passage las op km 39.758 (iets eerder) om 11:19:04 dus op tijd.

58272 vr 21 dec

JP doorkomst op km 39.568 (location 8462) om 11:20 window = 120s
Uitvoering o.b.v. sectiebezetting: passage las op km 39.758 (iets eerder) om 11:19:11 dus op tijd.

190m verschil tussen meetpunt en TP, 90 km/h is ongeveer 25m/s dus ca 8 seconden eerder

48s en 41s eerder dan doeltijd, maar binnen window van 120s

1b4a “Korte opvolging” met tolerantie = 0 min

58271 di 18 dec

JP doorkomst op km 38.152 (location 8122, 100m na sein 812 bij tunnel Brd) om 10:23:18 window = 0s
Uitvoering o.b.v. sectiebezetting: passage las op km 38.062 (iets eerder) om 10:23:29 dus wat laat.

58271 do 20 dec

JP doorkomst op km 38.152 (location 8122, 100m na sein 812 bij tunnel Brd) om 10:23:18 window = 0s
Uitvoering o.b.v. sectiebezetting: passage las op km 38.062 (iets eerder) om 10:24:06 dus wat te laat.

58271 vr 21 dec

JP doorkomst op km 38.152 (location 8122, 100m na sein 812 bij tunnel Brd) om 10:23:18 window = 0s
Uitvoering o.b.v. sectiebezetting: passage las op km 38.062 (iets eerder) om 10:24:02 dus wat te laat.

90m eerder is meetlocatie dan TP, 90 km/h is ongeveer 25m/s dus ca 4 seconden eerder

TP doorkomst 15s, 52s, 48s te laat

1b4b “Korte opvolging” met tolerantie = 2 min

58275 wo 19 dec

Doorkomst op km 38.152 (TP 10) om 14:20:43 window = 0s

13:53 Update JP1 op dit punt ongewijzigd

Uitvoering o.b.v. sectiebezetting:

Doorkomst las op km 38.062 om 14:27:34 (te laat)

Vertraging ontstaan rond Brnd

58273 do 20 dec

locationID 8122 = sein 812

Doorkomst op km 38.152 (TP 10) om 14:20 window = 0s

13:53 Update JP1 op dit punt ongewijzigd

Uitvoering o.b.v. sectiebezetting:

Doorkomst las op km 38.062 om 14:27:13 (te laat)

Vertraging ontstaan rond Brnd

58273 op vr 21 dec

Doorkomst op km 38.152 (TP 10) om 14:20 window = 0s

JP Update om 13:41

Doorkomst op km 38.152 (TP 10) om 14:20 window = 0s (op dit punt ongewijzigd)

Uitvoering o.b.v. sectiebezetting:

Doorkomst las op km 38.062 om 14:28:02

Vertraging ontstaan tussen Brppd en Kfz

alle doorkomsten zijn ongeveer 7 minuten te laat, door vertraging eerder in de rit

1c Vaste snelheidsbeperkingen**1c1 Entreebord Sophiatunnel richting Zv**

De aangegeven entreesnelheid is in alle gevallen gerespecteerd (niet overschreden). Dit is bepaald o.b.v. sectiebezettingen. Trein 58270 (do) en trein 58274 (di,wo) hadden voorafgaand aan de beperking een snelheid van 60 km/h of minder. Trein 58272 (di,do,vr) reed voor het bord 70-80 km/h dus heeft daadwerkelijk geremd.

1c2 Entreebord Sophiatunnel richting Kfh

De aangegeven entreesnelheid is in alle gevallen gerespecteerd. De snelheid over sectie BRPPD\$4025T bedroeg 47-59 km/h.

1d Wisselstand gerelateerde snelheidsbeperking**1d1 Betuweroute → CUP via 542****1d2 Betuweroute → CUP via 543****1e Tunnels/hellingen - max. en minimumsnelheid****1e1 stop net na een tunnel**

TP20 = km 6.425

Wo 58274

- planning 11:32 tot 11:34

- stop van 11:34:45 tot 11:35:09 op km 6.470 (QATS)

- remming of uitrol-helling-op -0,25m/s²

- vervolgens aanzet 45 naar 65 km/h

- eindremming -0,6 m/s²

Do 58272

stoppositie km 6.420 (QATS)

11:31 remming 70 km/h naar 0

met gem. -0,2 m/s²

Trein trekt op in opgaande helling einde Sophiatunnel tot km 4.9 (80 km/h); uitrollen -0,25 m/s² tot 5.5 (60 km/h); optrekken +0,15 m/s² tot 70 km/h; even uitrollen, remmen -0,6 m/s² tot 6.3, uitrollen tot stilstand op 6.4. Na stop vol optrekken naar 95 km/h.

stop ca. 11:32:00 tot 11:34:10

vr 58272

stoppositie km 6.410 (QATS)

11:30:50 remming 70 km/h naar 0

met gem. $-0,3 \text{ m/s}^2$

In de grafiek lijkt hier een stukje 'ATO not selected' maar de positie waar dit gebeurt, ligt in de ATO-data buiten het gebied waar het kilometerlint gereconstrueerd is.

Op 5.8 wordt nog ruim 70 km/h gereden; dan volgt een remming met $-0,5 \text{ m/s}^2$ tot 6.3; vervolgens kruipt de trein met constant 15 km/h naar de stoppositie.

stop ca. 11:32:00 tot 11:34:05

stop 45m erna, 5m ervoor en 15m ervoor. In de aanloop naar de stop zie je de trein meerdere malen versnellen, uitrollen en remmen.

De aankomsttijd is 2 keer precies op tijd en 1 keer bijna 3 min te laat. Vertrek is 2 keer op tijd en 1 keer 1 minuut te laat.

1f Transitie Level 1 → Level 2 v.v.

ATO log data bekeken aan de hand van bakenummers rondom de transitie.

1f1 Transitie Level 1 → Level 2

- Vr 21 dec 58270 'ATO selected' door de hele leveltransitie heen. Distance-to-EoA daalt naar 3892m en komt dan een hele tijd rond de 7km te liggen. In de transitie trekt de trein op van 70 naar 90 km/h.

1f2 Transitie Level 2 → Level 1

- Wo 19 dec 58271 'ATO selected' door de hele leveltransitie heen. Distance-to-EoA is steeds meer dan 2 km. Transitie bevindt zich in een geleidelijke snelheidsdaling van deze trein (ter plaatse van de transitie van 70 naar 60 km/h).
- Do 20 dec 58271 'ATO selected' door de hele leveltransitie heen. Distance-to-EoA is steeds meer dan 2 km. In de transitie rijdt de trein vrij constant 80 km/h.

3a1 Tijdens rit aangepast Journey Profile Aanpassen spoorgebruik

3a1a Spoorgebruik kort (2 min) van tevoren aangepast

Fout in TP locatie SMB 4422 (JP1) naar 4424 (JP2), liggen 700m naar achteren tijdwaarneming niet correct

Wo 58270

- Route verlegd van SMB 4422 (JP1) naar 4424 (JP2), beide JP-doeltijd 8:54.

- Volgens logboek verstuurd 8:50:52 (na rijweginstelling, tamelijk laat)

- Trein rijdt in de uitvoering SMB 4424 (snellere route) 83.930

trein maakt gebruik van de hogere snelheid die bij de route via SMB 4424 mogelijk is

- ATO blijft continu actief

- JP 8:54 w30, werkelijk ca. 8:55:20 (nog relatief laat doordat deze stilgestaan heeft op wissel 4439 bij oversteken tegenrichting BR),

Do 58270

- route verlegd van SMB 4422 (JP1) naar 4424 (JP2), beide JP-doeltijd 8:54.

- geen informatie wanneer

- trein rijdt in de uitvoering inderdaad via SMB 4424 (snellere route) 83.930

- trein maakt gebruik van de hogere snelheid die bij de route via SMB 4424 mogelijk is

- ATO blijft continu actief

- JP 8:54 w30, werkelijk ca. 8:54:45

Vr 58270

- Route verlegd van SMB 4422 (JP1) naar 4424 (JP2), beide JP-doeltijd 8:54.

- JP update om 8:50 logboek

- Trein rijdt in de uitvoering inderdaad via SMB 4424 (snellere route) 83.930

trein maakt gebruik van de hogere snelheid die bij de route via SMB 4424 mogelijk is

- ATO blijft continu actief

- JP 8:54 w30, werkelijk ca. 8:54:30

De trein rijdt over de nieuwe route zonder dat ATO uitvalt en ATO maakt ook gebruik van de hogere snelheid van de aangepaste route. Daarmee is de conclusie dat in alle gevallen de JP route update is ontvangen en succesvol verwerkt.

ATO maakt ook gebruik van de hogere snelheid die op de nieuwe route is toegestaan, maar komt toch nog 30 tot 120 seconden te laat.

3a1b Spoorgebruik lang (10 min) van tevoren aangepast

Wo 58274

- route zou verlegd worden van SMB 4424 (JP1) naar 4422 (JP2), beide 12:32
- JP-update verstuurd 12:25:27.
- trein rijdt in de uitvoering inderdaad via SMB 4422 (83.958, langzamere route)
- geen ATO meer vanaf km 82.340, 500m voor afwijkende route, zou niet moeten gebeuren

Do 58272:

- route zou verlegd worden van SMB 4424 (JP1) naar 4422 (JP2), beide 12:32
- JP-update niet verstuurd (verbindingsprobleem)
- trein rijdt in de uitvoering inderdaad via SMB 4422 (langzamere route)
- ATO blijft ingeschakeld ondanks dat ATO route afwijkt van ETCS en werkelijke route

Vr 58272:

- route verlegd van SMB 4424 (JP1) naar 4422 (JP2), beide 12:32
- JP-update verstuurd om 12:21
- trein rijdt in de uitvoering inderdaad via SMB 4422 (langzamere route)
- ATO blijft ingeschakeld tot aan TP achter 4422 omdat dit laatste TP van de route is. Wat opvalt is dat ATO uitschakelt voordat bij TP gestopt wordt zoals aangegeven in TP

3b Aanpassen tijdigging

3b1 Passeertijd tolerantie = 0; 2 min van tevoren 5 min naar achteren geschoven

58273 di 18 dec

- JP1 zet SMB4176 (45.444) 5 min later maar alles verderop ongewijzigd
- Nieuwe doeltijd 13:48 window = 0s
- Passage 13:50:12 (te laat door hinder eerder op de lijn)
- Nadering: al geruime tijd gem. 90 km/h terwijl iets sneller wel mogelijk blijkt (na stop Brgr 95 km/h)

58275 wo 19 dec

- JP1 zet SMB4176 (45.444) 5 min later maar alles verderop ongewijzigd
- Nieuwe doeltijd 13:48 window = 0s
- Passage 13:51:44 (te laat door hinder eerder op de lijn)
- Nadering: al geruime tijd gem. 90 km/h terwijl iets sneller wel mogelijk blijkt (na stop Brgr 95 km/h)

58273 do 20 dec

- JP1 zet SMB4176 (45.444) 5 min later maar alles verderop ongewijzigd
- Nieuwe doeltijd 13:48 window = 0s
- Passage 13:48:02 (netjes!)
- Nadering: enige tijd gem. 90 km/h, eventjes gem. 80 km/h en vervolgens gem. 86 km/h dus de trein lijkt in een actieve regelcyclus bezig met sturen op het doel.

Vr 58273

- JP1 zet SMB4176 (45.444) 5 min later maar alles verderop ongewijzigd
- Nieuwe doeltijd 13:48 window 0
- Passage 13:47:51, netjes
- Nadering: eerst 90 km/h, vervolgens -0,1 m/s² (lijkt uitrollen), dan weer optrekken naar ca. 73 km/h
- Volgende TP ligt bij SMB 4116 14:02 en komt overeen met een stop

Bij 2 ritten was de trein eerder al vertraagd en daarom is ook de doorkomst op het TP 2 a 4 min te laat. Bij 2 ritten was de doorkomst wel mogelijk en verlaagde ATO de snelheid of liet de trein uitrollen, doorkomst op 9s te vroeg en 2s te laat.

3b1 Passeertijd tolerantie = 0; 2 min van tevoren 5 min naar achteren geschoven

Di 58270 3b1

- TP4 (SMB4172 @ km 44.150) doeltijd 8:15:39 (oud) 8:20:39 (nieuw)
- realisatie **8:32:14** (vertraagd)
- Vanwege opgelopen vertraging door externe oorzaken heeft ATO maar een deels gereden.

Wo 58270 3b1

- JP1 zet TP4 (SMB4172 @ km 44.150) 5 min later, rest ongewijzigd
- Logboek: JP update verzendtijd 8:12
- Nieuwe doeltijd 8:20:39 window 0, TP bereikt **8:20:34**
- Rond 8:12:00 start uitrollen naar lagere snelheid, iets eerder dan JP update
- Snelheid daalt eerst te veel, dan weer optrekken naar gem. 78 km/h

Do 58270 3b1

- JP1 zet TP4 (SMB4172 @ km 44.150) 5 min later, rest ongewijzigd
- onduidelijk of JP1 update verstuurd is
- Nieuwe doeltijd 8:20:39 window 0, TP bereikt **8:17:24** (veel te vroeg)
- Opmerkelijk: tot TP volle snelheid, daarna snelheidsverlaging...

Vr 58270 3b1

- JP1 zet TP4 (SMB4172 @ km 44.150) 5 min later, rest ongewijzigd
- Logboek: JP update verzendtijd 8:13
- Nieuwe doeltijd 8:20:39 w0, TP bereikt **8:20:35**
- Rond 8:13:30 / km 37.3 start uitrollen naar lagere snelheid
- Snelheid daalt eerst te veel, dan weer optrekken naar gem. 58 km/h

1 test is mislukt door externe oorzaken, 1 test is waarschijnlijk de JP update niet uitgevoerd. 2 test komt de trein 4 en 5 seconden eerder aan. Buiten het window van 0s maar zeer netjes

3b2 Passeertijd tolerantie = 0; 10 min van tevoren 5 min naar achteren geschoven

58270 di 18 dec

- TP15 (SMB4088 @ km 23.9) doeltijd 8:02:13 (oud) 8:07:13 (nieuw)
- realisatie **8:18:43** vertraagd door externe oorzaken
- N.B. deze 58270 heeft de soepelste passage van de Giessentunnel met ATO van alle dagen (in/uitrit beperkte dip)

58270 wo 19 dec

- JP1 zet TP15 (SMB4088 @ km 23.9) 5 min later, rest ongewijzigd
- Logboek meldt JP-update 7:53:04
- Nieuwe doeltijd 8:07:13 window 0, TP bereikt **8:05:45** (te vroeg)
- Opmerkelijk: nadering op volle snelheid.

58270 do 20 dec

- JP1 zet TP15 (SMB4088 @ km 23.9) 5 min later, rest ongewijzigd
- onduidelijk of JP1 update verstuurd is
- Nieuwe doeltijd 8:07 window 0, TP bereikt **8:03:54** (veel te vroeg)
- Opmerkelijk: rond km 19 langzaam, daarna weer voluit. Mislukte poging tot anticiperen of onhandige passage van de Giessentunnel?

58270 vr 21 dec

In mijn JP-bestand zie ik 8:07:00 staan en geen :13

- JP1 zet TP15 (SMB4088 @ km 23.9) 5 min later, rest ongewijzigd
- Logboek niet gevonden
- Nieuwe doeltijd 8:07 w0, TP bereikt 8:04:31 (veel te vroeg)
- Opmerkelijk: nadering op volle snelheid dus dat moet beter kunnen.

3b3 Passeertijd tolerantie = 2 min; 2 min van tevoren 5 min naar achteren geschoven

58274 wo 19 dec

- JP1 zet TP15 (SMB4088 @ km 23.9) 5 min later, rest ongewijzigd
- JP-update verstuurd 11:46:28
- Nieuwe doeltijd 11:50:13 w120
- Passage 11:48:36 met 62 km/h
- Nadering: vanaf 80 km/h uitrollen 60, optrekken 80, uitrollen 60
- In de nadering is ATO even uit op km 21.080-98 en 23.740-60

58272 do 20 dec

- passage 4088 (km 23.9) zou verlegd worden van 11:45:13 naar 11:50:13 (beide window 120; passages verderop zijn gelijk in JP0, JP1 en JP2)
- JP-update niet verstuurd door verstoorde verbinding
- SMB 4088 (km 23.9) gepasseerd om 11:46:04
- na dit TP daalt de snelheid van 90 km/h op 11:46:20 (km 24.3) naar 70 km/h op 11:47:20 met $-0,1 \text{ m/s}^2$ (dat lijkt uitrollen) om goed getimed bij het volgende TP te komen

58272 vr 21 dec

- passage 4088 (km 23.9) wordt verlegd van 11:45:13 naar 11:50:13 (beide window 120; passages verderop zijn gelijk in JP's)
- JP-update verstuurd om 11:43
- opmerkelijk snelheidsverloop: 90 km/h tot km 17, eventjes 50 km/h, nog even 90 km/h en dan zeer korte stop op km 18.7 om 11:43:20
- vervolgens rommelig maar effectief met 50-60 km/h naar TP: SMB 4088 (km 23.9) gepasseerd 11:49:00 (binnen window)

1 test is de update te laat verstuurd en komt de trein 97s te vroeg dus binnen window

1 test is de update niet verstuurd en komt de trein iets later aan dan de originele tijd

1 test is de update op tijd verstuurd en komt de trein 73 s te vroeg aan, binnen window

4a ongeplande stop

4a1 ongeplande stop onder Level 1

58275 wo 19 dec

Trein komt bij WHZAN\$3042 in minuut 14:37; rijweg ingesteld 14:37:29 (buiten window).

Trein gaat gem. 75 km/h rijden (sectiebezetting 3047 t/m 3525BT), toegestane snelheid 80 km/h. OBE-blad

ATO log loopt niet ver genoeg om te zien of er voor sein gestopt is. Waarschijnlijk wel: gemiddelde snelheid over de 750m lange sectie is slechts 29 km/h terwijl op de vorige en volgende sectie gem. 55 km/h gereden wordt.

58273 do 20 dec

Trein komt bij sein rond 14:32; rijweg ingesteld 14:32:02, seinpassage 14:32:50

Trein gaat de toegestane snelheid van 80 km/h rijden.

Rijweg was al ingesteld trein heeft niet gestopt

58273 op vr 21 dec

Trein komt bij sein rond 14:34; rijweg ingesteld 14:35:07.

Trein stopt ongeveer 78m voor het sein. ATO schakelt zichzelf in standby mode AV

Mcn rijdt over balise 1579 wanneer SMB lichtsein verbetert. MA wordt ontvangen en ATO gaat naar state RE(ready) vervolgens wordt ATO Engaged en rijdt ATO verder.

Slechts 1 test is correct uitgevoerd. Daarin stopte de trein ver (78m) voor het SMB, vervolgens is handmatig verder gereden totdat een nieuwe MA is ontvangen uit de balise. ATO heeft niet onder release speed gereden.

4a2 ongeplande stop onder Level 2

58271 di 18 dec

dienstregeling aankomst 10:08 vertrek 10:10

rijweg achter SM4046 (km 13.150) ingesteld door ARI, "sein veilig" om 10:09:02

uitvoering: geremd naar 7 km/h en weer optrekken om 10:08:50 op km 13.415

trein niet gestopt

58271 wo 19 dec

4a2	T1_Start	T2b_Vrij	T3_Rijweg	T5_Veilig	T6_Pass	Totaal	Oorzaak
BRGND\$4066	10:03:26	09:27:46	09:59:15	09:59:17	10:05:56	-249	
BRGND\$4046	10:05:45	09:29:48	10:08:00	10:08:02	10:08:28	137	rijweg_ARlwachtopvertrektijd (10:09)
BRPPD\$4038	10:08:19	09:32:22	10:08:00	10:08:02	10:10:34	-17	

trein niet gestopt omdat MA tijdig verlengd werd

58271 do 20 dec

Sein	T1_Start	T2b_Vrij	T3_Rijw	T5_Veilig	T6_Pass	Totaal	Oorzaak
BRGND\$4066	10:04:28	09:34:49	09:46:05	09:46:07	10:07:09	-1101	
BRGND\$4046	10:06:57	09:36:50	10:08:55	10:08:58	10:09:42	121	rijweg_ARlwachtop vertrektijd (10:09)
BRPPD\$4038	10:09:33	09:39:11	10:08:57	10:08:59	10:11:56	-34	

trein niet gestopt omdat MA tijdig verlengd werd

58271 vr 21 dec

4a2	T1_Start	T2b_Vrij	T3_Rijw	T5_Veilig	T6_Pass	Totaal	Oorzaak
BRGND\$4066	10:03:05	09:57:58	09:59:02	09:59:04	10:05:32	-241	
BRGND\$4046	10:05:22	10:00:06	10:09:00	10:09:01	10:09:31	219	rijweg_ARlwachtopvertrektijd (10:10)
BRPPD\$4038	10:09:22	10:02:22	10:09:01	10:09:02	10:11:40	-20	

SMB 4046 staat op km 13.150

Trein stopt op ca 90m voor het SMB

ATO disengaged naar mode AV, na ontvangen MA via RBC gaat ATO naar mode RE (in 200 ms). ATO wordt engaged 1,4 s later door mcu en ATO geeft al na 0,5 s tractie, maar trein rijdt pas 7s later zelfstandig weg

Stop ca. 10:07:53 tot 10:09:15

Nadering -0,6 m/s², aanzet +0,7 m/s²

4b treinhinder

4b1a intakkende trein is vertraagd, JP wordt niet aangepast

58271 di 18 dec

Specificatie: rijweg te laat ingesteld.

Uitvoering: rijweg voorbij sein 3042 is tijdig ingesteld (voordat de trein sein 3026 gepasseerd heeft). Trein is niet gestopt bij 3042.

58271 do 20 dec

Specificatie: rijweg te laat ingesteld.

Uitvoering: rijweg voorbij sein 3042 is tijdig ingesteld (reeds enkele seconden na de rijweg achter sein 3026 dus ruim voordat de trein er was). Trein is niet gestopt bij 3042.

58271 vr 21 dec

Specificatie: rijweg te laat ingesteld.

Uitvoering TOON: laatste sectie voor sein bezet 10:31:56 (las km 202.145), sein veilig 10:32:05, trein passeert sein 10:32:54 (las km 202.895).

Snelheidsverloop niet te bepalen want ligt buiten ATO log data.

Geen van de testen zijn uitgevoerd conform specificatie, dus geen test resultaat

4b2 voorligger is vertraagd, JP wordt aangepast

58271 di 18 dec

4b2	T1_Start	T2b_Vrij	T3_Rijw	Spec	T5_Veilig	T6_Pass	Totaal	Oorzaak
BROCH\$4386	09:15:38	08:59:29	09:13:12		09:13:13	09:18:16	-145	
BROCH\$4366	09:18:06	09:00:23	09:21:03	09:22	09:21:04	09:22:01	178	rijweg_PPR
BROCH\$4346	09:21:50	09:01:31	09:22:05	09:23	09:22:07	09:23:06	17	rijweg_PPR
BROCH\$4336	09:22:55	09:03:36	09:24:03	09:25	09:24:05	09:24:58	70	rijweg_PPR
BROCH\$4326	09:24:47	09:05:42	09:27:02	09:28	09:27:04	09:27:59	137	rijweg_PPR
BROCH\$4316	09:27:49	09:06:42	09:28:03	09:29	09:28:04	09:30:23	15	rijweg_PPR
BROCH\$4306	09:30:12	09:08:50	09:30:53	09:32	09:30:55	09:31:43	43	rijweg_PPR
BROCH\$4296	09:31:34	09:10:44	09:30:53		09:30:55	09:34:02	-39	

JP update om 9:37, dit is pas nadat het testscenario is afgereden. Voor test is JP dus niet aangepast.

Opmerkelijk: de rijweg wordt steeds ingesteld een minuut voor de gespecificeerde tijd. Ofwel ik lees het verkeerd, ofwel de specificatie en de interpretatie van de treindienstleider vertonen een mismatch.

58271 wo 19 dec

4b2	T1_Start	T2b_Vrij	T3_Rijw	T5_Veilig	T6_Pass	Totaal	Oorzaak
BROCH\$4386	09:17:56	09:07:39	09:16:07	09:16:09	09:20:08	-107	
BROCH\$4366	09:19:57	09:08:32	09:21:12	09:21:14	09:22:10	77	rijweg_PPR
BROCH\$4346	09:21:58	09:09:41	09:22:15	09:22:18	09:23:09	20	rijweg_PPR
BROCH\$4336	09:22:58	09:11:46	09:24:02	09:24:04	09:24:58	66	rijweg_PPR
BROCH\$4326	09:24:47	09:13:51	09:27:03	09:27:05	09:27:47	138	rijweg_PPR
BROCH\$4316	09:27:37	09:14:52	09:28:36	09:28:37	09:29:56	60	rijweg_PPR
BROCH\$4306	09:29:45	09:16:55	09:29:56	09:29:58	09:30:58	13	rijweg_ARI
BROCH\$4296	09:30:49	09:18:44	09:29:56	09:29:58	09:33:05	-51	

JP update om 9:34, dit is pas nadat het testscenario is afgereden. Voor test is JP dus niet aangepast.

58271 do 20 dec

Sein	T1_Start	T2b_Vrij	T3_Rijw	Insteltijd	T5_Veilig	T6_Pass	Totaal	Oorzaak
BROCH\$4386	09:18:07	09:05:29	09:16:21		09:16:23	09:20:18	-104	
BROCH\$4366	09:20:07	09:06:20	09:21:06	09:22	09:21:08	09:22:25	61	rijweg_PPR
BROCH\$4346	09:22:16	09:07:25	09:22:02	09:23	09:22:05	09:23:30	-11	
BROCH\$4336	09:23:19	09:09:23	09:24:02	09:25	09:24:04	09:24:51	45	rijweg_PPR
BROCH\$4326	09:24:40	09:11:22	09:27:01	09:28	09:27:03	09:27:39	143	rijweg_PPR
BROCH\$4316	09:27:28	09:12:20	09:28:01	09:29	09:28:03	09:29:53	35	rijweg_PPR
BROCH\$4306	09:29:42	09:14:20	09:31:01	09:32	09:31:03	09:32:40	81	rijweg_PPR
BROCH\$4296	09:32:31	09:16:18	09:31:01		09:31:03	09:34:58	-88	

JP update om 9:34, dit is pas nadat het testscenario is afgereden. Voor test is JP dus niet aangepast

58271 vr 21 dec

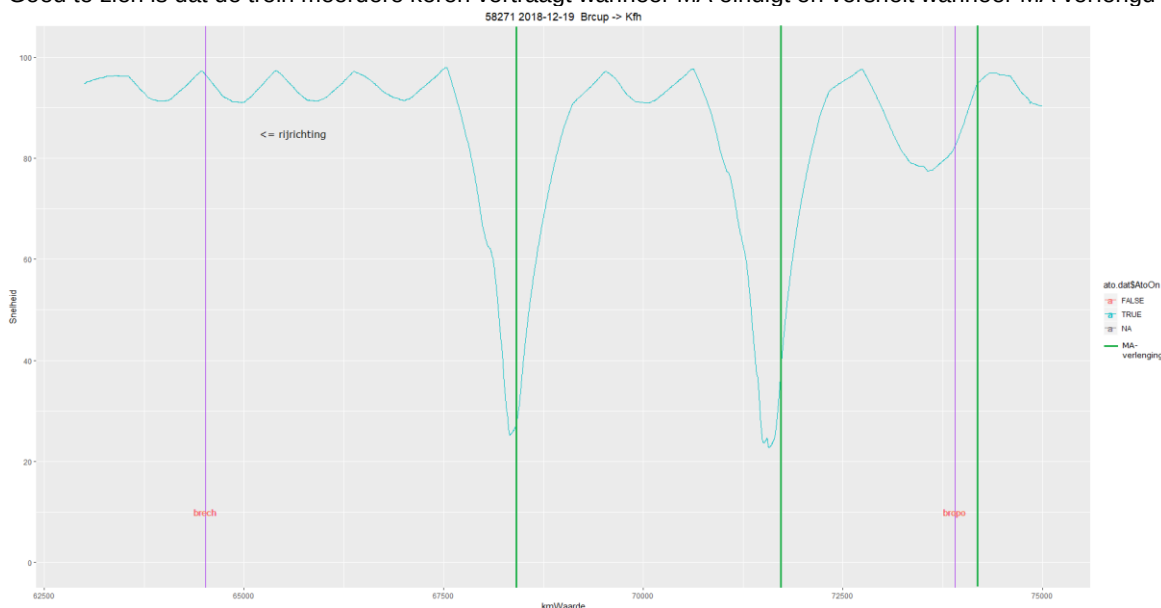
4b2	T1_Start	T2b_Vrij	T3_Rijw	Insteltijd	T5_Veilig	T6_Pass	Totaal	Oorzaak
BROCH\$4386	09:18:54	09:15:27	09:16:49		09:16:50	09:21:14	-124	
BROCH\$4366	09:21:05	09:16:23	09:21:00	09:22	09:21:02	09:23:21	-3	

BROCH\$4346	09:23:12	09:17:35	09:22:00	09:23	09:22:02	09:24:17	-70	
BROCH\$4336	09:24:08	09:19:47	09:24:00	09:25	09:24:01	09:25:29	-7	
BROCH\$4326	09:25:19	09:22:00	09:25:43	09:28	09:25:44	09:27:41	25	rijweg_PPR
BROCH\$4316	09:27:30	09:23:04	09:28:00	09:29	09:28:02	09:29:52	32	rijweg_PPR
BROCH\$4306	09:29:41	09:25:27	09:30:39	09:32	09:30:41	09:31:31	60	rijweg_PPR
BROCH\$4296	09:31:22	09:27:27	09:30:39		09:30:41	09:33:42	-41	

JP update om 9:34, dit is pas nadat het testscenario is afgereden. Voor test is JP dus niet aangepast.

Testuitvoering niet correct, het JP is niet geupdate om de trein soepeler met een "vertraagde trein" om te laten gaan. Daarmee is test equivalent aan 4b3.

Goed te zien is dat de trein meerdere keren vertraagt wanneer MA eindigt en versnelt wanneer MA verlengd wordt



4b3 voorligger is vertraagd. JP wordt niet aangepast

58273 di 18 dec

4b3	T1_Start	T2b_Vrij	T3_Rijw	Spec	T5_Veilig	T6_Pass	Totaal	Oorzaak
BROCH\$4386	13:22:46	13:23:46	13:23:47		13:23:49	13:25:06	63	48710 -2
BROCH\$4366	13:24:55	13:24:37	13:27:04	13:25	13:27:06	13:27:44	131	rijweg_PPR
BROCH\$4346	13:27:34	13:25:42	13:28:05	13:26	13:28:06	13:28:55	32	rijweg_PPR
BROCH\$4336	13:28:44	13:27:41	13:30:02	13:28	13:30:04	13:30:50	80	rijweg_PPR
BROCH\$4326	13:30:39	13:29:40	13:33:03	13:31	13:33:05	13:33:43	146	rijweg_PPR
BROCH\$4316	13:33:33	13:30:37	13:34:03	13:32	13:34:04	13:35:57	31	rijweg_PPR
BROCH\$4306	13:35:46	13:32:37	13:37:00	13:35	13:37:02	13:37:52	76	rijweg_ARI
BROCH\$4296	13:37:43	13:34:23	13:37:00		13:37:02	13:40:37	-41	

Deze keer zat er een echte trein voor. Hier was geen JP-update op berekend dus trein dipt 4x tot 30 km/h (rijdt tussendoor 90 km/h).

58275 wo 19 dec

4b3	T1_Start	T2b_Vrij	T3_Rijw	Spec	T5_Veilig	T6_Pass	Totaal	Oorzaak
BROCH\$4386	13:23:57	13:25:19	13:25:20		13:25:21	13:26:20	84	41724 -9

BROCH\$4366	13:26:09	13:26:14	13:28:30	13:25	13:28:32	13:29:15	143	rijweg_PPR
BROCH\$4346	13:29:04	13:27:27	13:30:05	13:26	13:30:07	13:30:50	63	rijweg_PPR
BROCH\$4336	13:30:40	13:29:39	13:32:03	13:28	13:32:04	13:32:44	84	rijweg_PPR
BROCH\$4326	13:32:33	13:31:51	13:35:03	13:31	13:35:05	13:35:45	152	rijweg_PPR
BROCH\$4316	13:35:34	13:32:58	13:36:04	13:32	13:36:06	13:38:02	32	rijweg_PPR
BROCH\$4306	13:37:51	13:35:15	13:39:03	13:35	13:39:05	13:39:51	74	rijweg_PPR
BROCH\$4296	13:39:42	13:37:12	13:39:03		13:39:05	13:42:08	-37	

Deze keer zat er een echte trein voor. Hier was geen JP-update op berekend dus trein dipt 4x tot 30 km/h (rijdt tussendoor 90 km/h).

58273 do 20 dec

4b3	T1_Start	T2b_Vrij	T3_Rijw	Spec	T5_Veilig	T6_Pass	Totaal	Oorzaak
BROCH\$4386	13:21:38	13:11:10	13:16:03		13:16:05	13:23:56	-333	
BROCH\$4366	13:23:45	13:12:03	13:25:04	13:25	13:25:06	13:26:02	81	rijweg_PPR
BROCH\$4346	13:25:51	13:13:11	13:26:04	13:26	13:26:06	13:26:57	15	rijweg_PPR
BROCH\$4336	13:26:46	13:15:16	13:28:01	13:28	13:28:03	13:28:44	77	rijweg_PPR
BROCH\$4326	13:28:33	13:17:22	13:31:01	13:31	13:31:03	13:31:45	150	rijweg_PPR
BROCH\$4316	13:31:34	13:18:23	13:32:01	13:32	13:32:03	13:34:01	29	rijweg_PPR
BROCH\$4306	13:33:50	13:20:38	13:35:00	13:35	13:35:02	13:35:48	72	rijweg_PPR
BROCH\$4296	13:35:39	13:22:32	13:35:00		13:35:02	13:38:08	-37	

58273 vr 21 dec

Trdl volgt gespecificeerde insteltijden nauwkeurig op. Dit leidt echter niet tot een soepel snelheidsverloop: opnieuw 3x dip amper boven de 20 km/h, tussendoor 90 km/h. Ik zie ook geen JP-update die dit had kunnen voorkomen: JP0 bij SMB 4296 is 13:31 (window = 300s; niet haalbaar met de ontworpen insteltijden van voorgaande blokken) en pas verderop volgt een JP-update.

4b3	T1_Start	T2b_Vrij	T3_Rijw	Insteltijd	T5_Veilig	T6_Pass	Totaal	Oorzaak
BROCH\$4386	13:20:19	13:09:33	13:18:17		13:18:19	13:22:37	-120	
BROCH\$4366	13:22:27	13:10:23	13:24:26	13:25	13:24:27	13:25:11	120	rijweg_PPR
BROCH\$4346	13:25:00	13:11:27	13:25:39	13:26	13:25:41	13:26:25	41	rijweg_PPR
BROCH\$4336	13:26:15	13:13:25	13:26:59	13:28	13:27:00	13:27:45	45	rijweg_PPR
BROCH\$4326	13:27:34	13:15:24	13:29:59	13:31	13:30:01	13:30:44	147	rijweg_PPR
BROCH\$4316	13:30:34	13:16:22	13:32:00	13:32	13:32:01	13:33:06	87	rijweg_PPR
BROCH\$4306	13:32:56	13:18:22	13:34:00	13:35	13:34:01	13:34:43	65	rijweg_PPR
BROCH\$4296	13:34:34	13:20:07	13:34:10		13:34:12	13:36:56	-22	

Goed te zien is dat de trein meerdere keren vertraagt wanneer MA eindigt en versnelt wanneer MA verlengd wordt

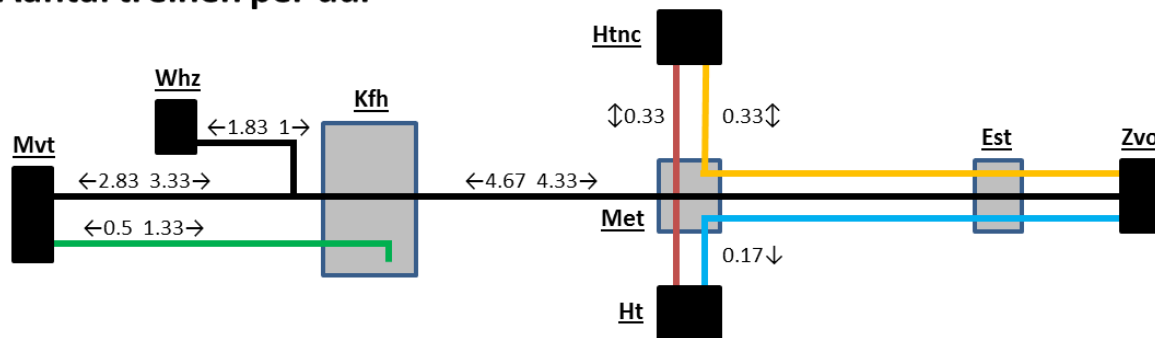
Bijlage III Simulaties

A: Urenschema voor goederentreinen

Hieronder wordt het in de simulaties gebruikte uren schema voor goederentreinen gegeven. De lichtgroen gemarkeerde velden geven de sub-selectie die is gebruikt voor de vergelijking tussen de realisatie en de Agent simulatie. Hiervoor zijn minder goederenpaden gevuld om de simulatie vergelijkbaar te maken met de realisatie.

Warmup										
Trein	Van	Naar	Uur 1	Uur 2	Uur 3	Uur 4	Uur 5	Uur 6	Som	
Vanaf Zevenaar		Som	5	5	6	5	6	4	31	
EBAW10-H-1	Zvo	Htnc		1			1		2	
EBAW20-H-1	Zvo	Htnc							0	
EBES10-H-1	Zvo	Ht			1				1	
EBM10-H-1 plus KM10-H-1	Zvo	Mvtw	1				1	1	3	
EBM20-H-1 plus KM20-H-1	Zvo	Mvtw	1	1	1	1	1	1	6	
EBM30-H-1 plus KW30-H-1	Zvo	Whz	1	1	1	1	1	1	6	
EBM40-H-1 plus KM40-H-1	Zvo	Mvtw	1		1	1			3	
EBM50-H-1 plus KM50-H-1	Zvo	Mvtw	1	1	1	1	1		5	
EBM60-H-1 plus KW60-H-1	Zvo	Whz		1	1	1	1	1	5	
Kfhn-Mvt		Som	2	1	0	0	0	0	3	
KNM20-H-1	Kfhn	Mvt	1	1					2	
KNM40-H-1	Kfhn	Mvt	1						1	
Ht-Htnc v.		Som	0	2	0	1	1	0	4	
FBV20-H-1	Ht	Htnc				1			1	
LUBV10-H-1	Ht	Htnc		1					1	
BVF10-H-1	Htnc	Ht		1					1	
BVF20-H-1	Htnc	Ht					1		1	
Richting Zevenaar		Som	4	6	4	5	4	5	28	
AWBE10-H-1	Htnc	Zvo				1			1	
AWBE20-H-1	Htnc	Zvo		1					1	
ESBE20-H-1	Ht	Zvo							0	
MBE10-H-1	Mvtw	Zvo	1		1	1	1		4	
MBE20-H-1	Mvtw	Zvo	1					1	2	
MBE30-H-1	Mvtw	Zvo							0	
MBE40-H-1	Mvtw	Zvo		1	1	1	1	1	5	
MBE50-H-1	Mvtw	Zvo		1	1	1		1	4	
MBE60-H-1	Mvtw	Zvo	1	1		1	1	1	5	
WBE10-H-1	Whz	Zvo		1				1	2	
WBE20-H-1	Whz	Zvo							0	
WBE30-H-1	Whz	Zvo							0	
WBE40-H-1	Whz	Zvo	1	1					2	
WBE50-H-1	Whz	Zvo					1		1	
WBE60-H-1	Whz	Zvo			1				1	
Mvt-Kfhz		Som	2	2	1	2	1	0	8	
MKN10-H-1	Mvt	Kfhz	1	1		1			3	
MKN20-H-1	Mvt	Kfhz	1						1	
MKN30-H-1	Mvt	Kfhz							0	
MKN40-H-1	Mvt	Kfhz		1	1	1	1		4	

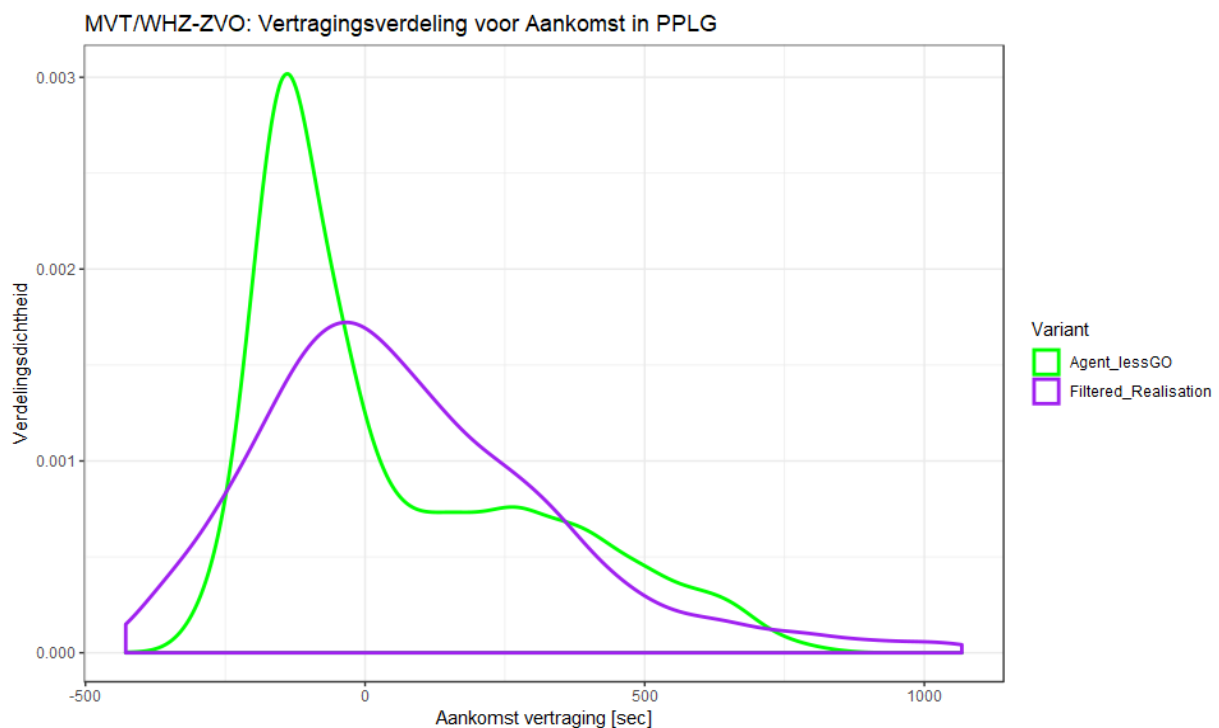
Aantal treinen per uur

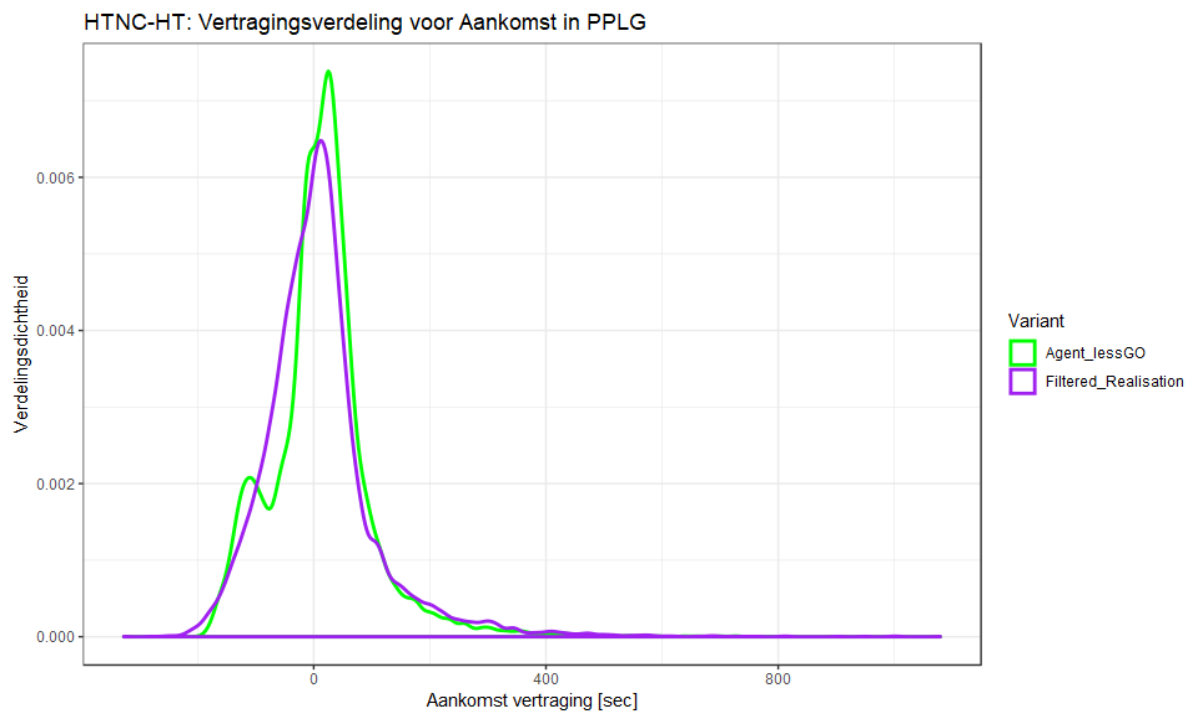


B: Vergelijking Agent simulatie met realisatiedata

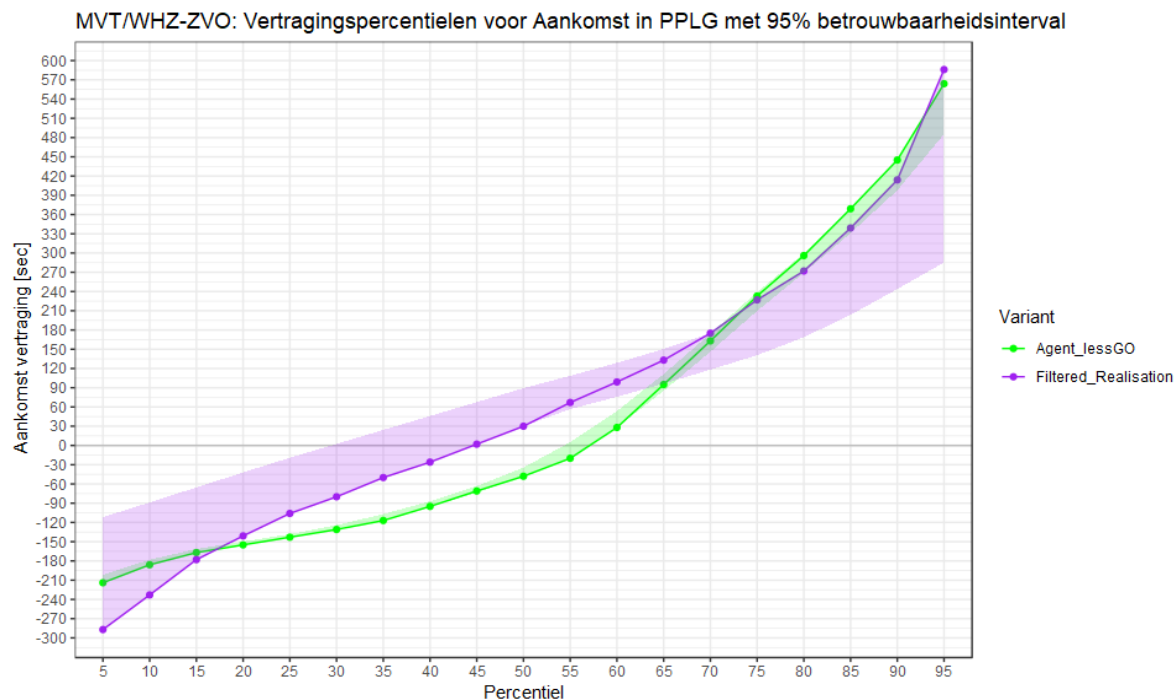
Om de kwaliteit van de Agent simulatie te bepalen is een Agent simulatie met minder goederentreinen uitgevoerd, zodat de vulling van goederenpaden een benadering is van de realiteit. Het blijft een benadering omdat het gebruik van goederenpaden in de praktijk per dag varieert wat niet in een urenschema te vangen is. Deze Agent simulatie is vergeleken met de gefilterde realisatiedata zoals beschreven in paragraaf 4.3.8. De vergelijking is uitgesplitst naar het BR traject (Mvt/Whz-Zvo) en het A2 traject (Htnc-Ht).

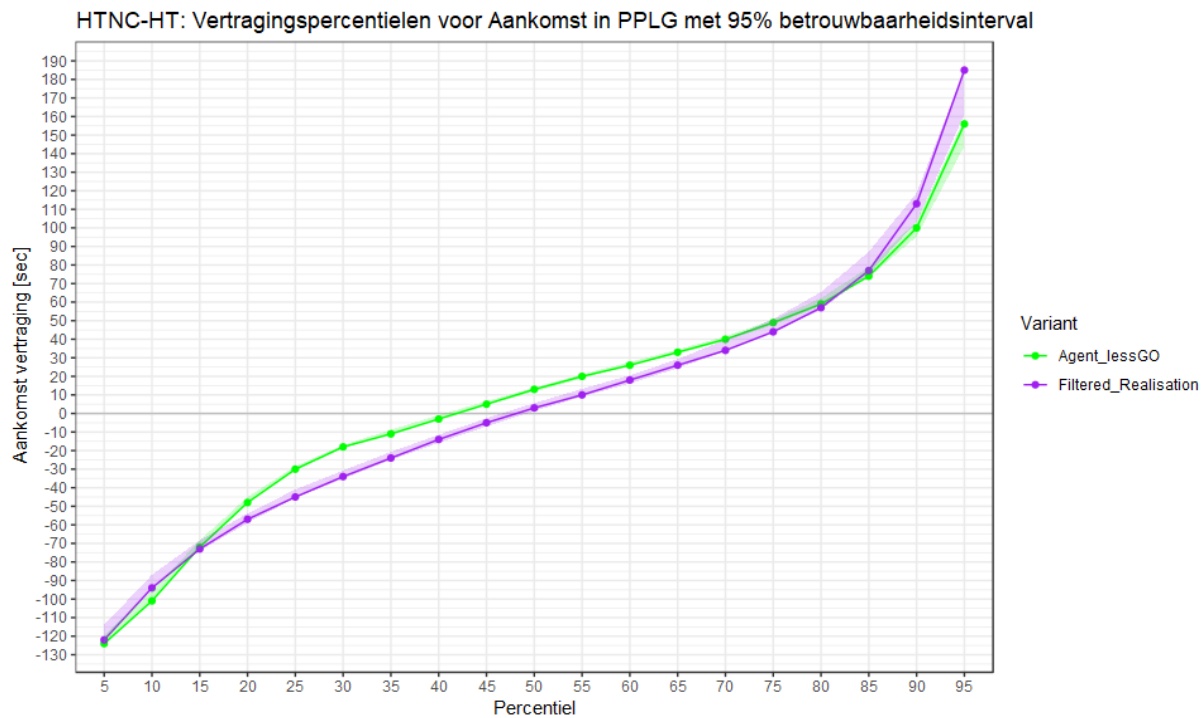
De eerste vergelijking die gedaan is, is de verdeling van de aankomstvertragingen. In de figuren hieronder is te zien dat de verdelingen van gefilterde realisatiedata en de Agent matig overeenkomen voor Mvt/Whz-Zvo en zeer goed overeenkomen voor Htnc-Ht.



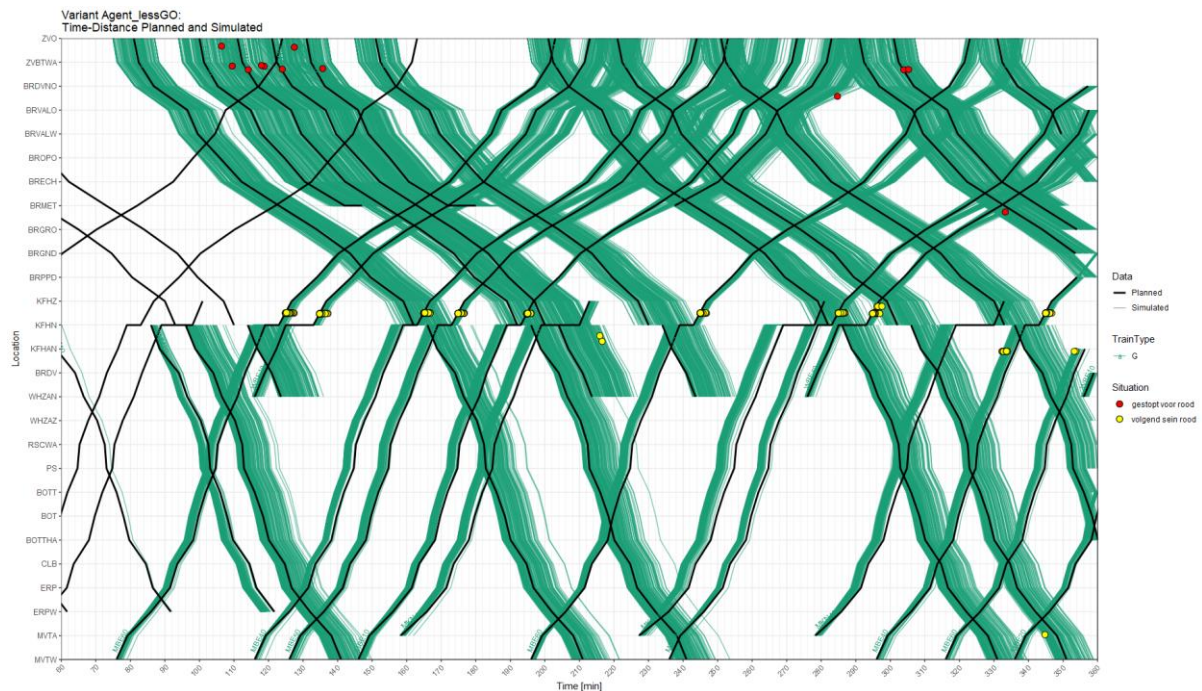


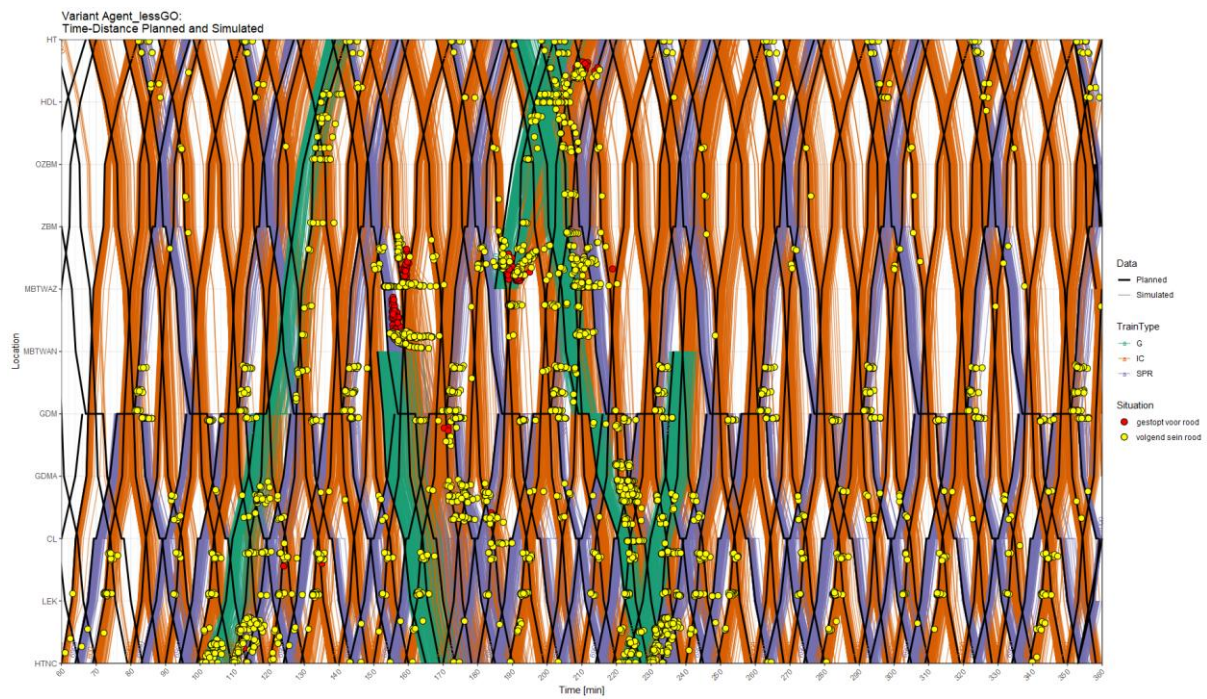
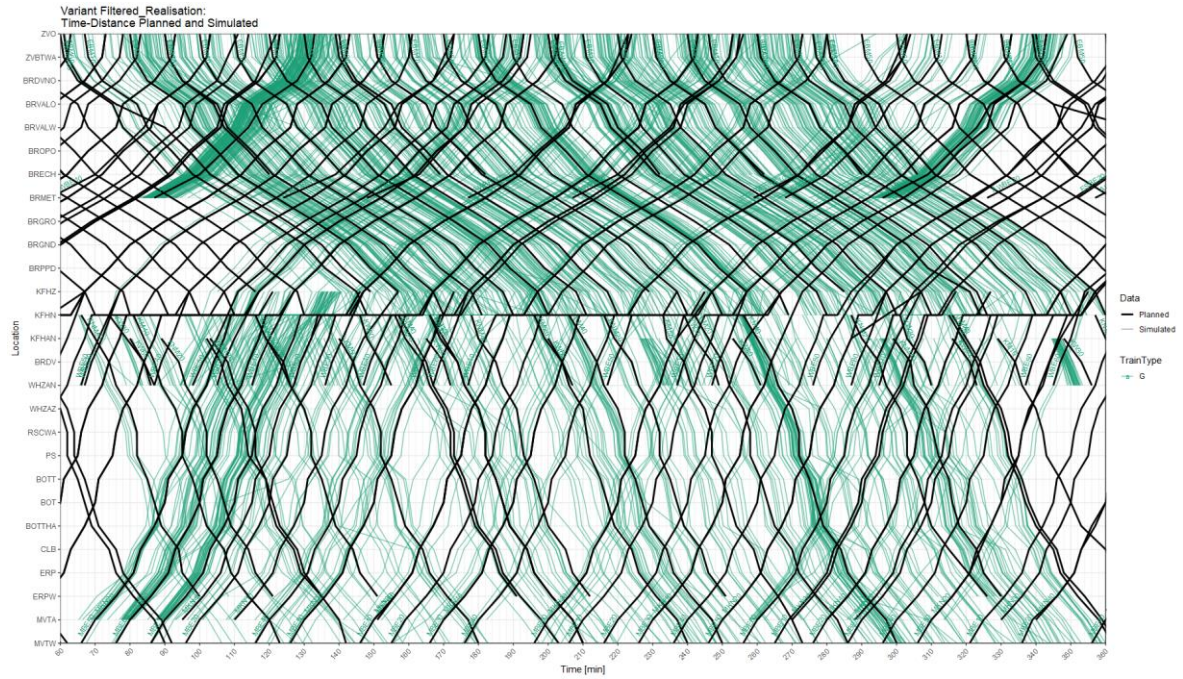
De aankomstvertraging kan ook in de vorm van vertragspercentielen weergegeven worden zoals in de figuren hieronder. Ook hieruit blijkt dat de verdelingen van gefilterde realisatiedata en de Agent matig overeenkomen voor Mvt/Whz-Zvo en zeer goed overeenkomen voor Htnc-Ht. Tegelijk is te zien dat ook voor Mvt/Whz-Zvo de Agent nog een bruikbare benadering geeft van de gefilterde realisatiedata.

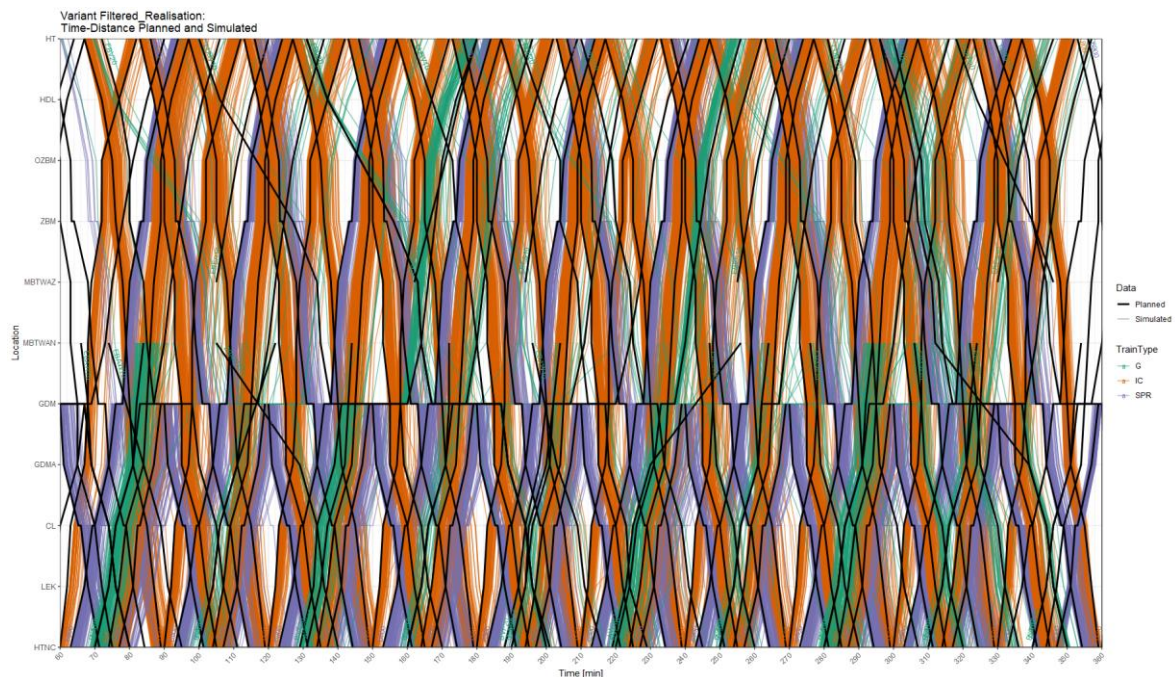




De tweede vergelijking die gedaan is, is op tijd-weg diagrammen waarin het rijgedrag van iedere trein te zien is. De verschillende lijnen in een bundel geven het rijgedrag in verschillende replicaties dan wel dagen. In de figuren hieronder is te zien dat rijgedrag van de Agent lijkt op dat in de gefilterde realisatiedata: er wordt niet zichtbaar geprobeerd om afwijkingen van het plan te corrigeren. Ook is te zien dat in de Agent simulatie een deel van de treinen van Kfh naar Zvo rond Brgr te langzaam blijft rijden. Hier gaat dus soms iets mis in de Agent simulatie. Dit heeft echter geen invloed op aankomstvertragingen omdat deze treinen geen aankomsten meer hebben. Overigens worden rood sein naderingen alleen weergegeven voor de simulatie. Voor de realisatie is het inlezen en verwerken hiervan nog niet beschikbaar.







Tenslotte is een vergelijking gemaakt op KPI's. Deze worden in de onderstaande tabellen gegeven.

MVT/WHZ-ZVO

Variant	Activiteit	Percentiel 95 [sec]	Punctualiteit 180 sec [%]	Punctualiteit -30 tot +30 sec
Agent	Aankomst in	564	71,11	6,85
Filtered Realisation	Aankomst in	586	70,62	11,07

HTNC-HT

Variant	Activiteit	Percentiel 95 [sec]	Punctualiteit 180 sec [%]	Punctualiteit -30 tot +30 sec
Agent	Aankomst in	156	96,24	38,21
Filtered Realisation	Aankomst in	185	94,77	36,47

De conclusie is dat de Agent voor het traject Htnc-Ht een zeer goede benadering van de werkelijkheid geeft, en voor het traject Mvt/Whz-Zvo een benadering die voldoende goed is om als indicatie te dienen.

De matige benadering voor het traject Mvt/Whz-Zvo komt vermoedelijk door:

- In de simulatie mag een trein niet te vroeg vertrekken, terwijl in de realisatie bijna 50% van de goederentreinen op dit traject meer dan 10 seconden te vroeg vertrekt en 5% meer dan 135 seconden te vroeg vertrekt.
- De in de simulatie gevulde goederenpaden wijken af van de in de realisatie gevulde goederenpaden. De in de realisatie gevulde goederen paden variëren sterk en zijn meer gespreid over de uren, zoals te zien is in de tijd-weg diagrammen. Ook zijn voor het traject tussen Kijfhoek en de havens in de realisatie goederenpaden gevuld die in de simulatie niet worden gebruikt.
- De gefitte verstoringen wijken af van de realisatie. Het is voor goederentreinen lastiger om deze goed in een mathematische verdeling te vangen.
- De werkelijke materieelinzet wijkt af van de in het BUP 2019 genoemde materieelinzet (andere locs, ander gewicht en lengte van de wagons).
- De realisatiedata is van 2017 en de simulatie is BUP 2019. De realisatiedata van 2017 is gebruikt omdat het bouwen van het simulatiemodel begin 2018 gestart is en er toen nog onvoldoende data over 2018 beschikbaar was.

- De Agent is mogelijk minder nauwkeurig voor goederentreinen op Mvt/Whz-Zvo omdat hier alleen goederentreinen rijden en het rijgedrag daardoor anders kan zijn.

C: Beknopte beschrijving van de gesimuleerde varianten

Deze bijlage geeft een beknopte beschrijving van de gesimuleerde varianten.

Agent:

- Model van het rijgedrag van machinisten op reizigerstreinen en op goederentreinen die geen gebruik maken van Routelint, TIMTIM of andere hulpmiddelen.
- Variatie in rijgedrag volgens gefitte kansverdelingen.
- Er wordt gebruik gemaakt van uitrollen.
- Rijweginstelling conform ARI (dus ook handhaving van de geplande volgorde van treinen bij gelijk eindspoor).

ATO:

- Alleen berekening van de gewenste snelheid.
- Gewenste snelheid stuurt op de vooraf gegeven statische dienstregeling. De gewenste snelheid is dynamisch. Deze kijkt alleen naar de actuele vertraging van de eigen trein ten opzichte van de statische dienstregeling. De gewenste snelheid ligt dus niet al vooraf vast.
- Minimaliseren van vertragingen op alle activiteiten.
- Er wordt gebruik gemaakt van cruisen (lagere gemiddelde snelheid gevolgd door remmen i.p.v. optrekken naar maximum snelheid en uitrollen).
- Rijweginstelling conform ARI.

TMS+ATO:

- Berekening van de gewenste snelheid.
- Gewenste snelheid houdt rekening met alle treinen. De gezamenlijke stroom van treinen over de infra wordt geoptimaliseerd. Naast de eigen trein wordt dus naar andere treinen gekeken en worden conflictenesignaleerd en zo goed mogelijk opgelost.
- Centraal geleid. Er wordt een herplanning gemaakt op basis van de actuele verkeerssituatie en een voorspelling van de toekomst. Hier is dus ook het plan dynamisch en de gewenste snelheid stuurt op dit nieuwe plan.
- Minimaliseren van vertragingen op aankomsten en laatste doorkomsten en voorkomen van ongeplande stops.
- Er wordt gebruik gemaakt van cruisen.
- Bepaling van het insteltijdstip van rijwegen (grijpt dus ook in op procesleiding en niet alleen op de trein).
- Volgorde wisseling van treinen is toegestaan.
- Gebruik van alternatieve rijwegen of het opheffen van activiteiten of treinen is niet toegestaan.

D: Gebruikte softwareversies en verbeteringen t.o.v. TOL studies 2017

De in dit onderzoek gebruikte software versies zijn: FRISO 4.7.3, TMS 11.11, Agent 23-11-2018.

De belangrijkste verbeteringen ten opzichte van de software en modellering zoals gebruikt in de Trein Op de Lijn (TOL) simulatiestudies van 2017 zijn:

- ATO rijmodel is toegevoegd. Dit model stuurt nauwkeuriger op de plantijden dan het rijmodel bij gebruik van een Driver Advisory System (DAS) zoals onderzocht in de TOL simulatiestudies.
- Agent model van machinistengedrag op goederentreinen is toegevoegd, onder NS'54 en ERTMS beveiliging.
- Hellingen zijn gemodelleerd en worden meegenomen in het rijgedrag van treinen, behalve voor de Agent.

- Verschillende bovenleidingsspanningen voor verschillende delen van de infrastructuur zijn toegestaan.
- Verschillende beveiligingssystemen voor verschillende delen van de infrastructuur zijn toegestaan.
- Opbouwtijd van de aanzet en de massa van roterende delen is toegevoegd in de aanzetkarakteristieken van materieel.
- Optimalisatiealgoritmes van TMS zijn verder verbeterd.

Bijlage IV: Annexen ICT studie

Annex I: Abbreviations

AoE	ATO over ETCS
ARS/ ARI	Automatic Route Setting
ATC	Automatic Train Control
ATO	Automatic Train Operation
ATO OB	ATO-OnBoard
ATO TS	ATO TrackSide
ATP	Automatic Train Protection
DAS	Driver Advisory System
DE	ATO Disengaging
DMI	Driver Machine Interface
DONNA	Planning system
EB	Emergency brake
ETCS	European Train Control System
ERTMS	European Traffic Management System
GoA	Grade of Automation
GSM-R	Global System for Mobile Communications – Railway
HMI	Human Machine Interface
ID	Identity
IM	Infrastructure Manager
IXL	Interlocking
IIS	Infrastructure [Passenger] Information System
JP	Journey Profile
MA	Movement Authority
N/A	Not Applicable
POC	Proof Of Concept
PRL	Procesleiding (Dispatcher system)
RBC	Radio Block Centre
RU	Railway Undertaking
SMB	Stop Marker Board
SP	Segment Profile
SRS	System Requirements Specification
TMS/ VOS/ VPT	Traffic Management System
TSI	Technical Specification for Interoperability

Annex II: Detailed study with Alstom

To investigate how to connect a ATO trackside to the ProRail systems, a study is performed together with Alstom. The results and remarks of the study are mentioned in this annex. They're organized by subject.

The Interface between ProRail and ATO trackside

As described in detail in the main document several key pieces of information need to be exchanged between ProRail and the ATO trackside. The main elements are:

Item	Description
<i>Journey Profile</i>	The complete set of information for one train.
<i>Segment Profiles</i>	References to the physical infrastructure the train will use.
<i>Timing Points</i>	References to the timing of the journey.
<i>Constraints</i>	Limitation that apply during the journey.
<i>Train information</i>	Generic information regarding the train. Eg: number, type, but also information about doors.
<i>Status Report</i>	The status report reports information from the train back to the TMS.

Important to understand is that the *status report* and *journey profile* are the two main types of messages:

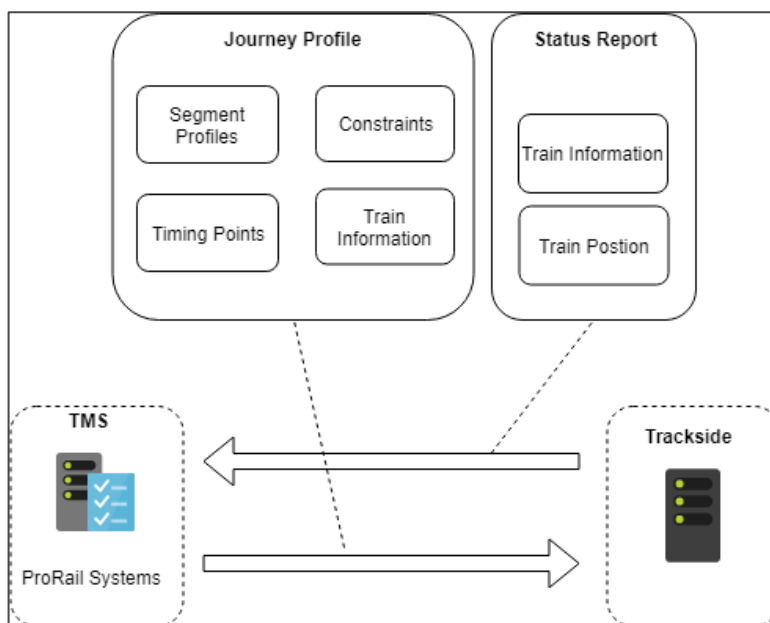


Figure 14 – High level overview of the ATO information exchange

In the following chapters the types of information will be described in further detail.

Segment Profiles

A choice was presented about the representation of segments. As described earlier segments describe a piece of the infrastructure. Since a segment only describes a small part of the infrastructure, there needs to be a definition of how such a segment is constructed. There are two ways of representing this:

- Signal to signal
- Switch to switch

This is described in more detail in chapter 6.3.4.

The ATO trackside is expected to know the geographical location of the signals, and as a result the TMS does not need to send the details of the segment profiles (like geographic gradients), but only a reference to the profile. That means that the segment profile part of the message consists of only two fields:

<i>Item</i>	<i>Description</i>
<i>Order</i>	The order of the segment. Eg the train will pass segment #1 first.
<i>Segment</i>	Refers to the segment itself.

For example this might look like this:

```
<Segment>  
  <SegmentOrder>22</SegmentOrder>  
  <SegmentId>VTN$2094-VTN$2074</SegmentId>  
</Segment>
```

This defines a segment by the starting signal (VTN\$2094) and end signal (VTN\$2074).

Timing Points

The following pieces of information are required to define a valid timing point:

<i>Item</i>	<i>Description</i>
<i>Identifier</i>	The information allows to uniquely name all timing points. As a result it becomes possible to report on the accuracy of timing points. This gives room for later analysis and optimization.
<i>Segment</i>	Refers to the segment where the timing point is located.
<i>Offset</i>	Defines the offset within the segment.
<i>Time</i>	The time of the specified timing point.
<i>Type</i>	The type of Timing point. For example DEPARTURE, PASSING or STOPPING.
<i>Train Position</i>	This information allows to define which part of the train the timing point applies to. It can for example be defined that the REAR of the train should stop at a specific place next to the platform, and on other stations using the FRONT. This is required to deal with the large deviation in type of stations and platforms.

During the study phase, it was found that the timing points are defined in the segment profiles, and are referred to when needed.

However, this means that an update to the ATO Trackside is required whenever a timing point is newly added. Since the timing point is the key piece of information to guide the train, it is expected that timing points will be added and removed in the ongoing process of optimizing the logistical flow. It is very hard to predict exactly which timing points will be used in the future.

As a result, it is expected that timing points will be updated frequently. This means that the process of changing timing points need to be flexible enough to allow frequent changes.

An example message can look like this:

```
<TimingPoint>
  <TimingPointId>20181019_2029_5</TimingPointId>
  <SegmentId>GD$242-GD$224</SegmentId>
  <TimingPointTime>082700</TimingPointTime>
  <TimingPointType>DEPARTING</TimingPointType>
  <TimingPointPositionInMeters>0</TimingPointPositionInMeters>
  <TimingPointTrainPosition>MID</TimingPointTrainPosition>
</TimingPoint>
```

This specific example defines the starting point of a train. At 08:27:00, the train needs to depart. The departing point is defined here as 0 meters from the start of segment “GD\$242-GD\$224”.

Constraints

Constraints are used to define temporary limitation in the infrastructure. There can be two types of constraints: a Temporary Speed Restriction (TSR) or a Low Adhesion warning. As a result the required information as part of a constraint is:

<i>Item</i>	<i>Description</i>
<i>Identifier</i>	This identifies the constraint and is required to distinguish between multiple constraints on the same route.
<i>Location</i>	The start & End of the constraint, relative to segment profiles. A constraint can span multiple segments.
<i>Speed</i>	The speed applicable for the constraint, and whether this is applicable for the front, rear or full train.
<i>Low adhesion</i>	The amount of reduced adhesion.

An example message looks like this:

```
<TempConstraint>
<TempConstraintIdentifier>2143</TempConstraintIdentifier>
  <ConstraintLocation>
    <ConstraintSegmentStart>GVC$46-BKH$442</ConstraintSegmentStart>
    <ConstraintStartInMeters>100</ConstraintStartInMeters>
    <ConstraintSegmentEnd>GVC$46-BKH$442</ConstraintSegmentEnd>
    <ConstraintEndInMeters>800</ConstraintEndInMeters>
  </ConstraintLocation>
  <TempSpeedRestriction>
    <SpeedRestrictionValueInMS>14</SpeedRestrictionValueInMS>
    <SpeedRestrictionTrainPosition>FULL</SpeedRestrictionTrainPosition>
  </TempSpeedRestriction>
  <LowAdhesion>
    <LowAdhesionRatePercent>50</LowAdhesionRatePercent>
  </LowAdhesion>
</TempConstraint>
```

Train / Generic Information

The train information is generic information regarding the train. For example the train number and the location of the doors.

The following information is relevant for Train Information:

<i>Item</i>	<i>Description</i>
<i>TrainId</i>	This is the train number that uniquely identifies the train.
<i>Date</i>	The date to which the journey starts.
<i>Last updated</i>	A timestamp indicating when the message was generated.
<i>Version</i>	A version identifier for the journey profile.

Please see Annex III for a full example of a Journey Profile.

Status Report

The technology of ATO allows status reporting to be send back from the train to the IM, consisting of two parts of information:

- Current location + Speed
- Planned Journey

The first type of information is interesting, but may have an overlap with the information retrieved from ETCS / ETIS. This is however still interesting given the fact that the information is also relevant outside of ETCS protected areas.

The second type of information describes the current journey of the train, and how the train expect to perform. This can give valuable insight into the expected journey of the train, and this information can thus be used to signal conflicts in an early stage.

This offers huge possibilities compared to position-based reporting, where the train only reports its current location, and it is up to the TMS to calculate if that position still allows for a successful completion within the defined journey. The problem with this approach is that the calculations are performed by the TMS, and do not necessarily give the same results as the on board calculations.

On the other hand, when the train reports back its intended journey and what time it *expects* to be at a certain point, this can give a more precise prediction of future events. The result is that the TMS is no longer required to predict the journey of the train but can instead rely on the prediction done by the on board unit. This means that the expected journey that the TMS uses for calculation is exactly the same as the real world. It will becomes easier for the TMS to calculate possible conflicts.

The following information is relevant for Train Status:

<i>Item</i>	<i>Description</i>
<i>Train ID</i>	This is the train number that uniquely identifies the train.
<i>Timestamp</i>	The timestamp of the report.
<i>Speed</i>	The current speed.
<i>Location</i>	The current location.
<i>Prediction</i>	The current prediction of the ATO on board.

In more detail the following is send as a status report:
(Print screen from “A-0000109562-6A VPT-ATO interface description (proposal)” by Alstom)

Variable Name	Description	Length	Resolution/Formula
Nid_operational	Identification for the train		
Time_stamp			
M_ATO_State	The current ATO State in use.		0 = Unknown, 1 = CO, 2 = NA, 3 = AV, 4 = RE, 5 = EG, 6 = DE; 7 = FA, [8-15] = Spare
Q_STR_Indicators	Bitset with the indicators state.		bit0 = Data inconsistency, bit1 = Next Stopping Point Skip, bit2 = Low adhesion reported by the driver, bit3 = Slip/Slide indication detected by external system, bit4 = Operational conditions fulfilment, bit5 = Train is moving, bit6 = Unable to stop at the next Stopping Point, [bit7-bit15] = Spare Values.
V_TRAIN_ATO	Current Speed of the train when the STR is sent.		Binary to numeric. Resolution: 1 km/h
Driver_ID	Driver identifier number as defined in SUBSET-027 v300 §4.2.3.7.		16 alphanumeric characters (ISO 8859-1, also known as Latin Alphabet #1)
Signal	Identification of the last signal/SMB passed		Same format as defined in the §3.2
D_Sending_Position	Position of the estimated front end of the train at the moment the STR is sent (relatively from the beginning of the given SP).		Binary to numeric (in centimetres). 16777215 = Undefined location
TP_ID	Previous TP identity passed. The NID_TP is unique.		Same Id as defined in the §3.2
Q_Pass_Stop_Depart	Qualifier to indicate if train has stopped at the TP, has departed from the TP or has passed the TP.		0 = Train passed the TP, 1= Train stopped at the TP, 2 = Train departed from the TP, 3 = Undefined
Q_Accurate_Stopping	[If Q_Pass_Stop_Depart = Train stops at the TP] This qualifier specifies if the train has stopped accurately or not at the Operational Stopping Point.		0 = Undershoot, 1 = Accurate, 2 = Overshoot
N_ITER	Number of iterations of TPs information. If N_ITER is 0 then no data set is following.		
NID_TP (k)	Next TP identity. The NID_TP is unique within a NID_C.		Same Id as defined in the §3.2
T_Arrival_time (k)	Estimated time to arrive at the TP.		Same format as defined in the §3.2

Technical description of the interface

In general the choice has been made to use XML based information exchange. The reason being that this is an industry-standard practice for interfaces.

The physical interface between the TMS and ATO-TS can be a redundant connection based on IP (for network layer) and the proposal is to use SCTP as the protocol for the transport layer.

Rationale: SCTP is a reliable transport protocol operating on top of a potentially unreliable connectionless packet service such as IP. It offers acknowledged error-free non-duplicated transfer of messages. Detection of data corruption, loss of data and duplication of data is achieved by using checksums and sequence numbers. A selective retransmission mechanism is applied to correct loss or corruption of data. This format is also used for ASTRIS and ETIS.

Annex III: Technical Details

An example of the journey profile is created to investigate which information is useful and which information is missing. These documents (XML and XSD) are added in this annex.

A full example of a Journey Profile:



JourneyProfileProRail.xml

And the XSD that describes the message:



JourneyProfileProRail.xsd

Bijlage V: Uitkomsten evaluatiebijeenkomst

Wat ging goed?

- Ontheffing ILT en ontheffingsdossier
- Ambitieuze project (planning en techniek): Uitdagend
- Veiligheidsorganisatie (met BPRL)
- Voorbereidingen test bijna perfect
- Samenwerking en communicatie tussen de bedrijven
- Snelheid van het team om te reageren op problemen of vragen
- Iedereen werkte hard aan het doel
- Volledige ATO-systeem werkte
- Geen veiligheidsissues
- Veel en positieve media-aandacht tijdens ATO-event

Wat kon beter?

- Opstellen van testplannen (laat)
- Finetunen systeem te kort op event
- Meer tijd nodig om te kunnen finetunen
- Camera's nu gericht op cabinepersoneel in plaats van loc of systeem
- Planning wel heel erg ambitieus
- ATO reageert erg agressief, laat remmen en snel aanzetten
- Tijdens referentieritten geen goede focus teams meer (doel?)
- Grenzen van veiligheid opzoeken (remmen) en materieel (oud)
- Trein remde en accelereerde gelijktijdig
- Korte tijd tussen 1e rit en evenement
- Verschillende versies testdocumenten op 1 testdag (last minute updates)
- Ambitieuze project (planning en techniek): Stressvol

Wat nemen we mee naar de volgende testen?

- Meer betrokkenheid machinist tijdens ontwikkeling
- Meer geplande stops en meetpunten
- Rijeigenschappen systeem waren te agressief
- Start aanvraag bij ILT eerder
- Voorbereidende testen niet simuleren maar op echte trein
- Test is gelukt, maar neem meer tijd om dit echt goed te doen
- Koppeling met verkeersleidingsystemen
- Testen met een volledige goederentrein i.p.v. alleen een loc
- Testtijd langer maken en minder willen: focus op bepaalde items die je wil testen
- Geen test protocol beschikbaar bij ProRail voor dit soort testen
- Nu hebben we een referentie voor de ontheffing van ILT

Terugkoppeling Alstom:

- Deze ATO-versie was gebaseerd op een metro systeem, heeft ontwikkeling nodig
- Test gebruikt om te leren, waardevolle informatie opgehaald
- Voor volgende tests: betrek machinisten eerder, niet alleen tijdens uitvoering test
- Grote stap in ontwikkeling ATO voor heavy rail

Terugkoppeling RRF

- Geweldig project om aan te werken
- Rijstijl ATO is nog erg agressief, laat remmen en hard optrekken
- Geen voordelen energiezuinig(er) rijden in deze fase van ontwikkeling: veel minder voordeel dan gedacht (machinist wint nog)
- Volgende stappen ATO: Verfijn het ATO-systeem en verifieer de aannames uit de white paper