



Addendum ATO verkenning Groningen

Publicatiegegevens

Dit verkennend onderzoek is mogelijk gemaakt in samenwerking met onze partners:



STADLER



Dit rapport is een samenwerking van:

Voor ProRail

Rik van den Band (Projectmanagement)

Allard Katstra (Testmanagement)

Vincent Weeda (Prestatie Analyse Bureau)

Rosa Sterkenburg (Prestatie Analyse Bureau)

Voor de Provincie Groningen

Tim van Winsum (Review)

Voor Arriva

Yvonne Dubben (Review)

Details document	
Eigenaar	Rik van den Band
Referentie	
Versie	1.2
Datum	09/03/2022
Onderwerp	Addendum ATO verkenning Groningen
Documentstatus	Definitief

Leeswijzer

Dit rapport is een aanvulling op de Eindrapportage ATO verkenning Groningen (fase 1 en 2) dat is uitgebracht in september 2020. Dit rapport bevat de resultaten, conclusies en aanbevelingen van aanvullende tests (fase 2B), uitgevoerd in juli/augustus 2021. Voor algemene informatie over ATO, de algemene achtergrond en de opzet van het onderzoek verwijzen we naar het originele rapport (link: [Eindrapportage ATO Groningen](#)).

INHOUDSOPGAVE

LEESWIJZER.....	3
MANAGEMENTSAMENVATTING	5
1 ACHTERGROND EN DOEL.....	6
1.1 ACHTERGROND	6
1.2 DOEL.....	6
1.3 OPZET	6
2 VERSLAG EN RESULTATEN VAN DE LIVE TESTRITTEN	7
2.1 ANALYSEAANPAK	7
2.1.1 Bronnen.....	7
2.1.2 Testritnummers.....	7
2.1.3 Activiteiten.....	7
2.1.4 Signalen van ATBNG	8
2.2 ANALYSE VAN DE TESTCASES.....	8
1A NORMALE RIT MET GEPLANDE STOP (NAUWKEURIG STOPPEN).....	8
1A1 NADERING VAN EEN GEPLANDE STOP BIJ EoA.....	8
1A2 NADEREN VAN EEN GEPLANDE STOP, NIET IN DE BUURT VAN EoA.....	9
1A3 MET GEPLANDE STOP BIJ EoA	10
1A3A VERTREK NA EEN STOP OP EEN ATBNG-LUS.....	10
1A3B VERTREK NA EEN STOP, NIET OP EEN ATBNG-LUS.....	10
1A3C VERTREK NA EEN STOP, NIET IN DE BUURT VAN EEN EoA.....	11
1B NORMALE RIT MET KORTE OPVOLGTIJD (NAUWKEURIG RIJDEN)	11
1C NORMALE RIT MET VASTE SNELHEIDSBEPERKING.....	13
1D NORMALE RIT MET WISSEL GERELATEERDE SNELHEIDSBEPERKING.....	14
1E NORMALE RIT MET HELLING	14
3 JOURNEY PROFILE UPDATE TIJDENS RIT	15
3A SPOOR GEWIJZIGD IN JP TIJDENS RIT	15
3B PASSAGETIJD WIJZIGINGEN TIJDENS EEN RIT	15
4 ONGEPLANDE STOP EN HINDER VAN EEN ANDERE TREIN	16
5 AFWIJKEND SEGMENTPROFIEL: TSR.....	17
11 RIJPROFIELEN (SNEL VERSUS ENERGIE-EFFICIËNT).....	17
RIJTIDEN DOOR ATO VERSUS NORMALE WERKING	20
12 VERKORTEN MA DOOR HERROEPEN SIGNAAL	21
2.3 SAMENVATTING.....	22
2.4 AANVULLENDE WAARNEMINGEN TIJDENS FASE 2B.....	23
2.4.1 Niet-uitgesteld remmen.....	23
2.4.2 Implementatie van ATO-functies	23
2.4.3 Ontbreken tijdsynchronisatie	23
2.4.4 Positionering	23
2.4.5 Motorvermogen.....	23
3 EEN OVERZICHT VAN DE BELANGRIJKSTE CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN.....	24
3.1 CONCLUSIES	24
3.2 VERGELIJKING TUSSEN FASE 2B EN FASE 2.....	25
3.3 AANBEVELINGEN	25
4 BIJLAGEN.....	26
BIJLAGE 1: TESTPERIODES.....	26
BIJLAGE 2: OVERZICHT VAN TESTCASES	27
BIJLAGE 3: SAMENVATTING	31

Managementsamenvatting

Tijdens de vorige testfasen zijn de basisfuncties van een ATO-systeem getest. Fase 2B is geïntroduceerd om meer specifieke functies en mogelijkheden van ATO te testen:

- Aantonen dat het ATO-systeem volgens een dienstregeling kan rijden.
- Aantonen dat het ATO-systeem kan omgaan met veranderingen in de route.
- Aantonen dat het ATO-systeem vertragingen kan opvangen.
- Onderzoeken wat de mogelijke effecten zijn van ATO op het energieverbruik.

De test is uitgevoerd op een spoorlijn met een klasse B automatisch treinbeveiligingssysteem (ATBNG). Dit systeem heeft geen interfacespecificatie tussen het ATO-systeem en het ATB-systeem. Om consistente testresultaten te verkrijgen en de resultaten met de testfasen te kunnen vergelijken, is voor de testen tijdens fase 2B exact dezelfde trein gebruikt als voor fase 2. Het ATO-systeem dat werd gebruikt voor fase 2B was anders dan de versie die werd gebruikt voor fase 2 en vertrouwde hierbij volledig op ATBNG-gegevens voor positionerings- en signaalaspecten. Tijdens de vorige faseringen werd de positionering bepaald door GPS in combinatie met de kilometerteller.

De geteste oplossing is in staat om de gevraagde geavanceerde functionaliteiten uit te voeren. De testtrein kon op de juiste plaats (+/- 3 meter) en op het juiste tijdstip tot stilstand worden gebracht. Updates werden correct in het snelheidsprofiel verwerkt, mits ze van tevoren en binnen redelijke grenzen waren verzonden. Dit geldt voor updates van de dienstregeling, spoorwijzigingen en het segmentprofiel. Ook werd een duidelijke daling van het energieverbruik waargenomen tussen de verschillende ATO rijstijlen, rijden op volle snelheid en rijden met een economische rijstijl in combinatie met een hogere buffer.

Alle gevraagde geavanceerde functionaliteiten zijn waargenomen en aan het werk gezien. De resultaten waren echter niet consistent, wat te verwachten was, aangezien we met een prototype te maken hebben. Het positioneringssysteem leunde zwaar op ATBNG en er is verdere optimalisatie mogelijk in de manier waarop bepaalde functies worden geïmplementeerd en uitgevoerd. In vergelijking met de tests van fase 2, zijn we in staat geweest om meer gegevens te verzamelen en testritten uit te voeren die volgens de dienstregeling werden gereden, met een vermindering in energieverbruik in dienstregelingen met hoge buffers.

Al met al kunnen we concluderen, dat dit ATO-systeem heeft bewezen over het potentieel te beschikken om basis- en geavanceerde functionaliteit onder ATBNG uit te voeren, maar ook dat het moeilijk is gebleken om het ATO-systeem af te stemmen op het ATBNG-systeem waardoor signaleringsinformatie en positionering soms incorrect werd verwerkt. Op basis van dit ATO-systeem concluderen we dat er nog een flinke ontwikkelslag noodzakelijk is voor een stabiel en betrouwbaar ATO-systeem dat gebaseerd is op informatie vanuit ATBNG.

1 Achtergrond en doel

1.1 Achtergrond

Tijdens de vorige testfasen zijn de basisfuncties van een ATO-systeem getest. Fase 2B is geïntroduceerd om meer specifieke functies en mogelijkheden van ATO te testen:

1.2 Doel

Het doel van dit verkennend onderzoek is:

- Aantonen dat het ATO-systeem volgens een dienstregeling kan rijden.
- Aantonen dat het ATO-systeem kan omgaan met veranderingen in de route.
- Aantonen dat het ATO-systeem vertragingen kan opvangen.
- Onderzoeken wat de mogelijke effecten zijn van ATO op het energieverbruik.

1.3 Opzet

Om consistente testresultaten te krijgen en de resultaten voor beide fasen te kunnen vergelijken, is voor de testen tijdens fase 2B exact dezelfde trein gebruikt als voor fase 2.

Vanwege de gevraagde geavanceerde functies was het ATO-systeem dat werd gebruikt voor fase 2B anders dan de versie die werd gebruikt voor fase 2 en vertrouwd hierbij volledig op ATBNG-gegevens voor positionerings- en signaalaspecten. Tijdens de vorige fase 2 werd de positionering bepaald door GPS in combinatie met de kilometerteller.

Voor het uitvoeren van de testen is een veiligheidsdossier opgesteld en hiermee is een ontheffing aangevraagd en verkregen bij IL&T.

Fase 2B heeft geleid tot:

- 6 periodes met in totaal 21 testnachten
- In totaal 186 testritten
- Circa 3800 kilometer gereden onder ATO

De doelstellingen zijn verwerkt in verschillende testcases en deze zijn per case geanalyseerd. Een overzicht van de Testperiodes en Testcases is te vinden in de [Bijlagen](#).

2 Verslag en resultaten van de live testritten

2.1 Analyseaanpak

2.1.1 Bronnen

De analyse van fase 2B is gebaseerd op verschillende gegevensbronnen. De kwaliteit van de gegevens is verbeterd sinds de eerdere fase 2: hogere beschikbaarheid, nauwkeurige snelheidsmeting en dezelfde kloksnelheid. Bronnen zijn samengevoegd:

- De belangrijkste gegevensbronnen zijn automatische ritregistratie (ARR), voertuigcontrollerlogboek en ATO-logboek.
- De frequentie varieert van 1 tot 20 Hz. Voor analyses is 1 Hz voldoende en worden bronnen samengevoegd tot een resolutie van 1 sec.
- Tijdens de tests werden de klokken niet gesynchroniseerd. Voor het samenvoegen werden de off-sets bepaald op basis van het snelheidsprofiel, die in alle bronnen goed is gemeten.
- Het nummer van de testrit en het treinnummer van de verkeersleiding werden samengevoegd voor een snelle referentie.

2.1.2 Testritnummers

Testritten worden in dit systeem genummerd:

- De letters A-F verwijzen naar de 6 testperiodes. De eerste periodes werden grotendeels gebruikt om het ATO-systeem te laten werken, zijn minder representatief voor de testresultaten en hebben te maken met een aantal ontbrekende gegevens. Daarom richtten de analyses zich op de periodes D, E en F (eind juli en begin augustus). Voor zover de periodes B en C zijn opgenomen, zijn deze afzonderlijk zichtbaar.
- De volgende positie geeft de nacht van een periode aan: 1 is de eerste nacht, enz.
- De laatste twee cijfers nummeren de ritten tijdens de nacht. Oneven nummers (01, 03, enz.) hebben betrekking op testritten in westelijke richting, even nummers op ritten in oostelijke richting. Het nummer verandert niet na een stop in Zuidhorn of Grijpskerk.
- Voorbeeld: D3-02: Testperiode D, 3e nacht, rit 2

2.1.3 Activiteiten

Voor veel onderzoeksvragen zijn werkelijke tijden van treinactiviteiten nodig. Die worden op deze manier bepaald:

- Vertrek (Hoogkerk Aansluiting, Zuidhorn, Grijpskerk, Buitenpost) is de laatste seconde na stilstand, waarin de snelheid lager is dan 0,1 km/uur.
- Passage (Hoendiep, Grijpskerk Aansluiting) is het moment, dat de treinpositie gelijk is aan een bepaalde afstand na het laatste ATBNG baken.
- Aankomst (dezelfde locaties als vertrek) is de eerste seconde waarin de snelheid onder de 0,1 km/uur komt.

Vertrek en passage tellen als "onder ATO" wanneer ATO in die seconde is ingeschakeld. Bij aankomst heeft de ATO-status de neiging om vlak voor stilstand in Ready te veranderen; daarom wordt de toestand genomen van 5 sec. eerder, om te bepalen of aankomst onder ATO is gerealiseerd.

Rondom sommige haltes maakt een trein een tweede (meestal onbedoelde) stop op korte afstand van de doellocatie. In dergelijke gevallen is het bepalen van aankomst/vertrek minder eenvoudig en kunnen afwijkingen in de rijtijd optreden.

De stoppositie wordt bepaald aan de hand van ARR-gegevens: afstand volgens de kilometerteller van de trein na passeren van ATBNG-baken. Dit heeft een geschatte meetafwijking van slechts enkele meters.

2.1.4 Signalen van ATBNG

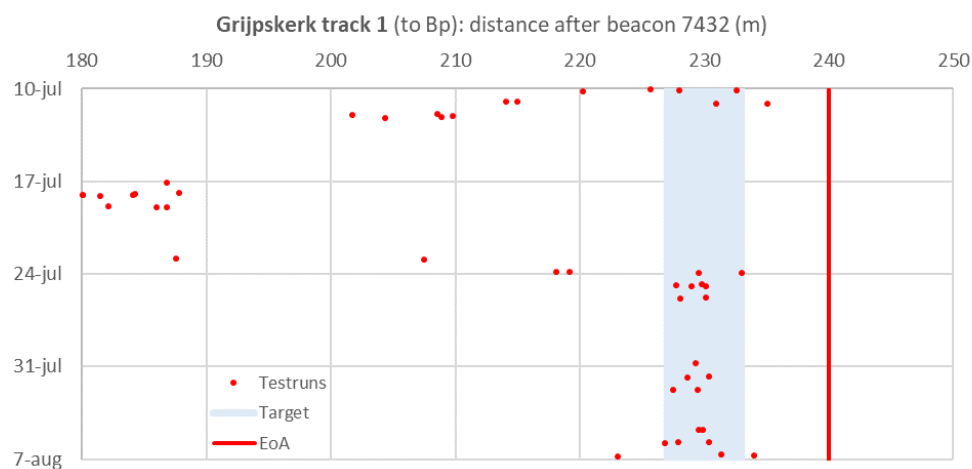
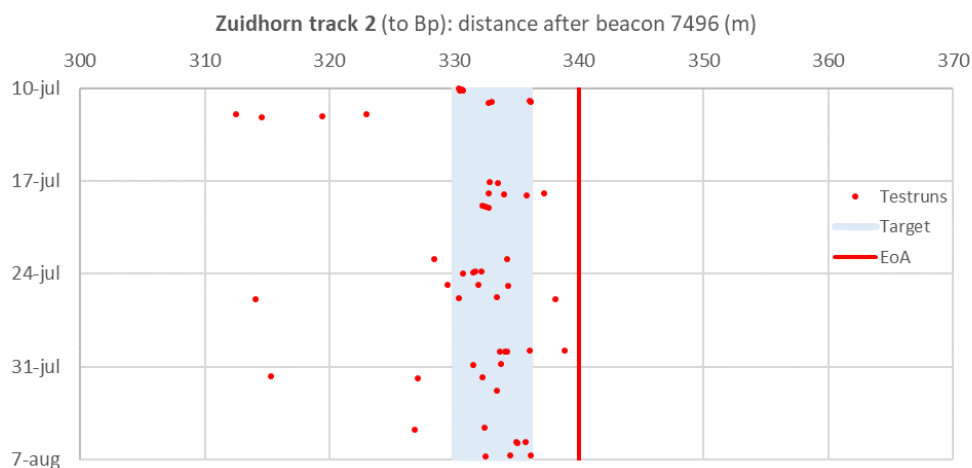
In het testplan wordt een onderscheid gemaakt tussen twee testscenario's: het opvolgen van beperkende seinen langs de spoorbaan versus het later remmen op het moment dat de ATBNG-curve dit voorschrijft. Voor GTW-materieel bij de relatief hoge baanvaksnelheden in Buitenpost-Hoogkerk is de ATBNG-curve echter minstens zo beperkend als de seinen. Het negeren van seinen levert daarom geen extra speelruimte op. Het theoretisch onderscheid komt in deze testopstelling niet tot uiting en wordt in de analyses buiten beschouwing gelaten.

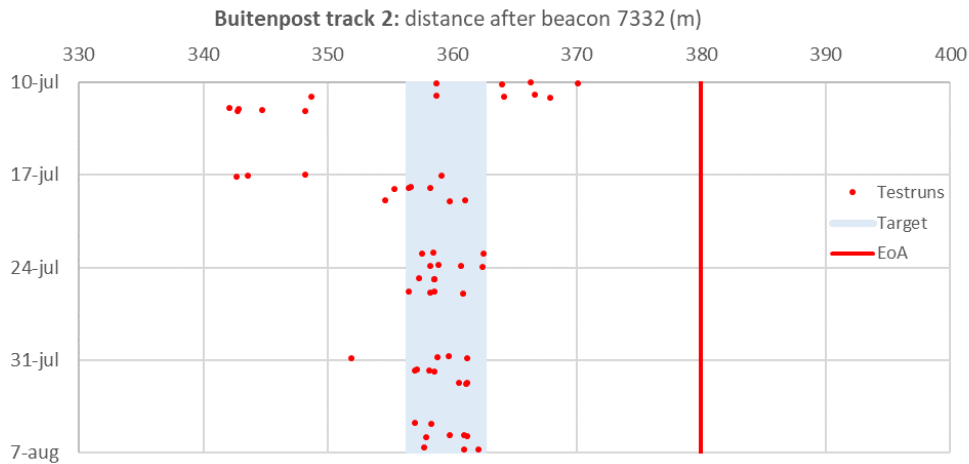
2.2 Analyse van de testcases

1a Normale rit met geplande stop (nauwkeurig stoppen)

1a1 Nadering van een geplande stop bij EoA

Op drie locaties (toevallig allemaal aankomsten in westelijke richting) maakt de trein een geplande stop vlakbij het rode sein (EoA). Onderstaande grafieken tonen de stoppositie tijdens de testperiode ten opzichte van het laatst gepasseerde baken. De blauwe balk geeft de positie aan die door plaatselijke waarnemingen tijdens testnachten als correct is beoordeeld, met een tolerantie van plus en min 3 meter. Dit is de best bereikte nauwkeurigheid op sommige locaties in latere weekenden. De figuren hieronder hebben een bereik van 70 meter. In enkele gevallen lag de stopplaats buiten dit bereik, met verklaarbare oorzaken.

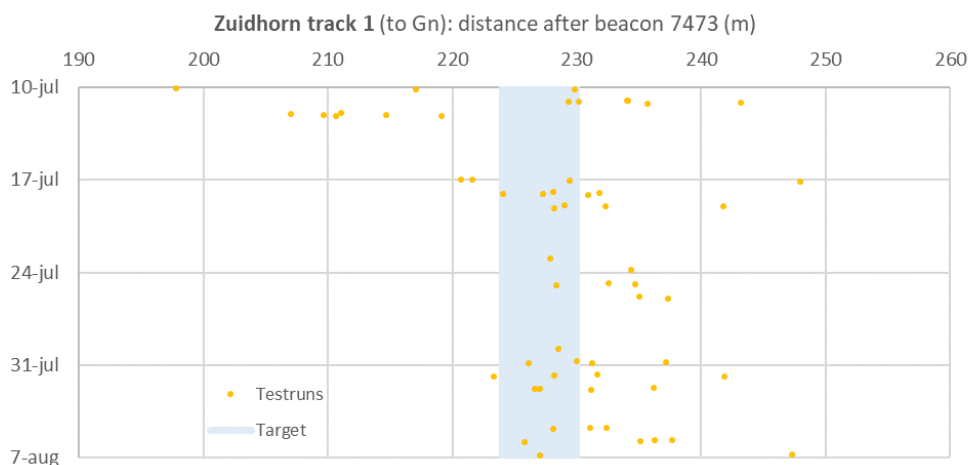
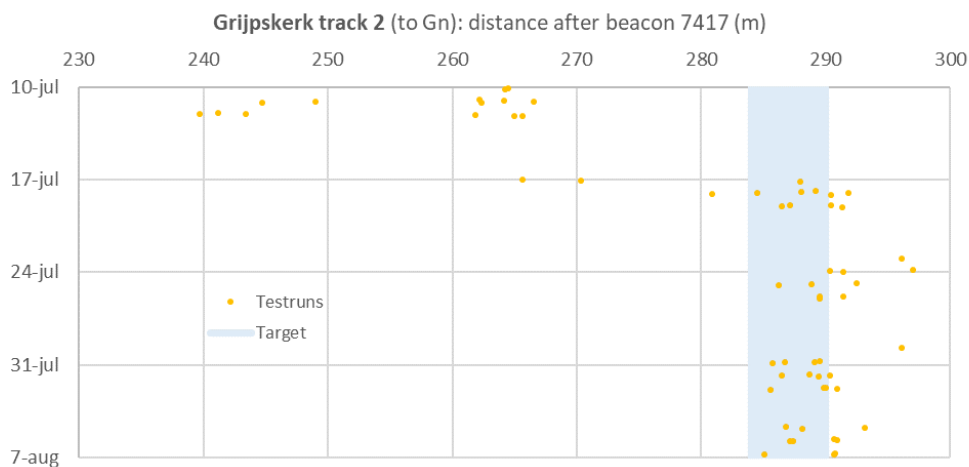


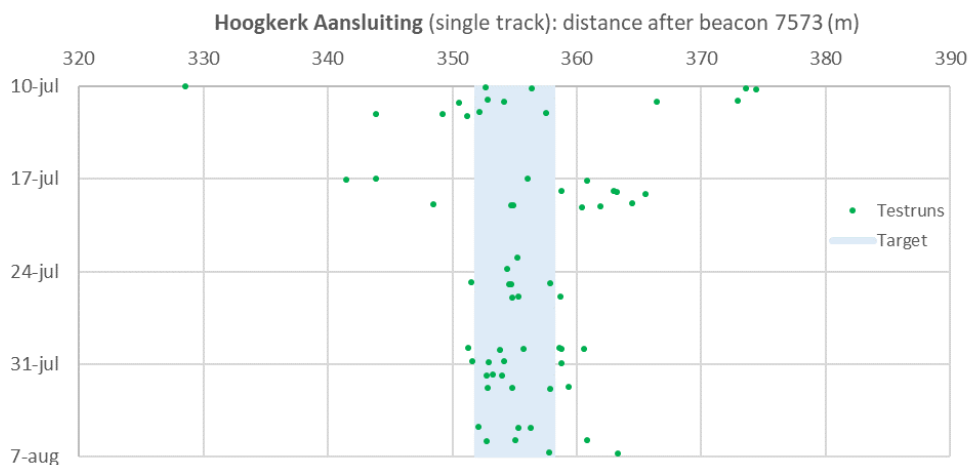


De nauwkeurigheid verbetert duidelijk in de loop van de weken, uitschieters worden uitzonderlijk en begin augustus eindigen de meeste treinen binnen 3 meter van de doelpositie. In het EoA-scenario eindigen de treinen onder de vrijgavesnelheid (ATO gebruikt 9 km/uur) en misschien vergemakkelijkt dit een goed gerichte laatste vertraging tot stilstand.

1a2 Naderen van een geplande stop, niet in de buurt van EoA

Alle aankomsten in oostelijke richting bevinden zich verder van EoA. Grijpskerk en Zuidhorn, ongeveer 100m voor een EoA, zijn geel getekend, dicht bij de remcurve maar niet onder vrijgavesnelheid. Hoogkerk heeft een afstand te gaan van een paar kilometer, weergegeven met groene stippen.





Over het geheel genomen, lijkt de positienuwkeurigheid iets moeilijker te zijn als niet op EoA wordt gestopt: een kleiner aandeel slaagt erin om binnen 3 m van de doelpositie te stoppen en een relatief groot aantal ritten stopt te ver. Twee lage waarden in Grijpskerk in het F-weekend werden veroorzaakt door uitval van de ATBNG-verbinding; blijkbaar is deze verbinding essentieel voor nauwkeurig stoppen. Prestaties zonder EoA lijken slechter dan behaald in december 2019 (Vierverlaten alle ritten binnen 1 m van het doel).

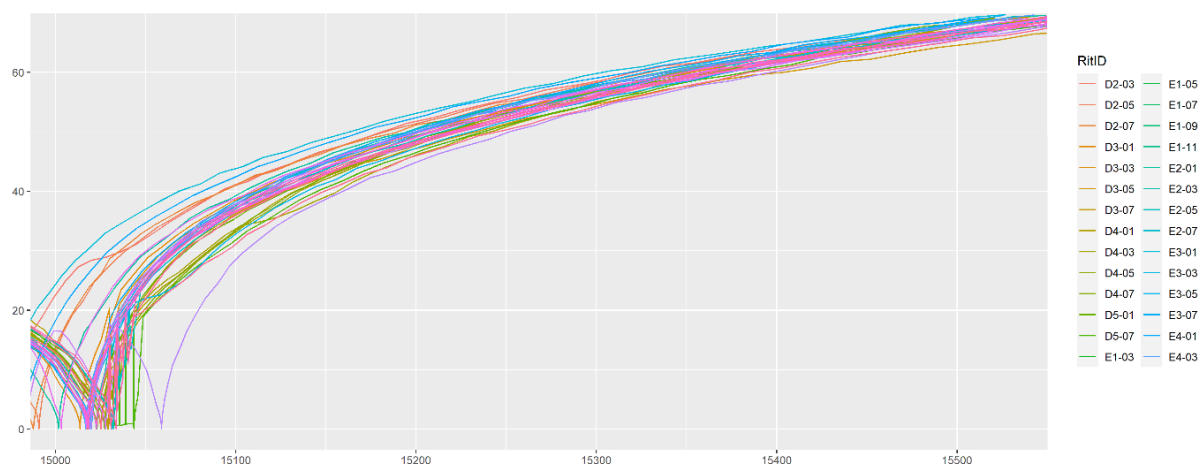
1a3 Met geplande stop bij EoA

1a3a Vertrek na een stop op een ATBNG-lus

ATBNG lussen zijn gebruikelijk op het testtraject, ze geven de trein een constante update over het seinbeeld dat voor hem ligt.

Vertrek vanaf Zuidhorn naar Grijpskerk wordt als een voorbeeld gebruikt. Het onderstaande snelheidsprofiel toont een vloeiende lijn voor de meeste ritten, zodat ATO in staat is comfortabel en snel te accelereren.

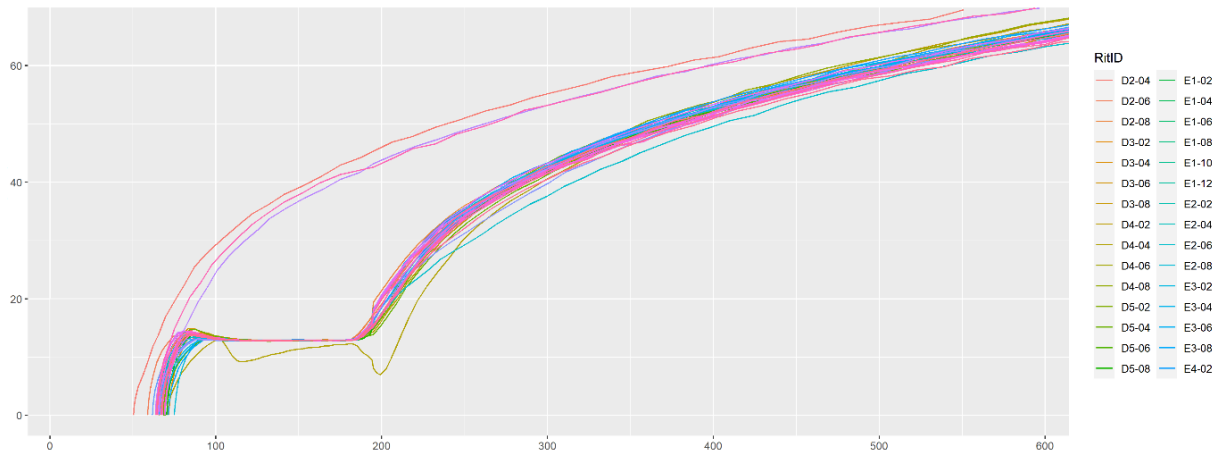
Alle testritten in westelijke richting in periode D-F, 2^e acceleratie



1a3b Vertrek na een stop, niet op een ATBNG-lus

Een situatie zonder lus bevindt zich in Buitenpost, waar de treinen keren op spoor 2 en vertrekken in de ongebruikelijke richting. Onderstaande grafiek laat zien, dat treinen accelereren tot vrijgavesnelheid (door ATO zeer consistent vertaald naar 13,0 km/uur). Na het passeren van het volgende baken wordt er verder versneld.

Alle testritten in oostelijke richting in periode D-F, eerste aanvang



Enkele ritten accelereren onmiddellijk naar een hogere snelheid. Deze zijn gewijzigd naar spoor 1, het reguliere vertrekperron naar Groningen, wat is uitgerust met een ATBNG-lus.

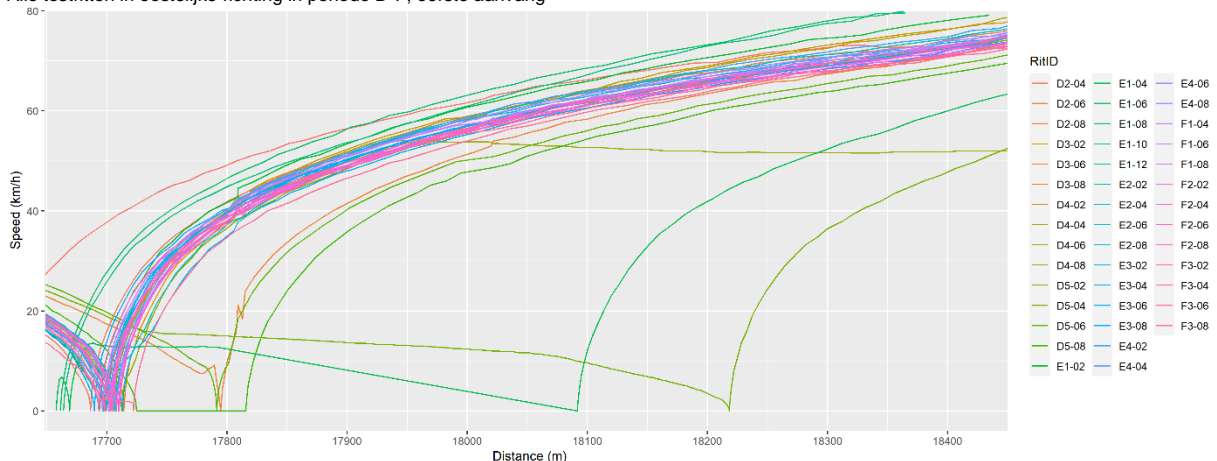
Hoogkerk Aansluiting heeft geen ATBNG-lus, maar treinen stoppen zo dicht bij het sein, dat de vrijgavesnelheid nauwelijks beperkend is. Toch is een interessant verschil het vermelden waard:

- De eerste rit van elke nacht komende vanuit Groningen heeft een vrijgavesnelheid van 10,5 km/uur, tot het passeren van baken 7582 bij sein 414.
- Alle verdere ritten, komende vanuit de richting Zuidhorn en draaiend bij Hoogkerk Aansluiting, hebben een vrijgavesnelheid van 13,0 km/uur, net als de hierboven genoemde treinen die draaien bij Buitenpost.

1a3c Vertrek na een stop, niet in de buurt van een EoA

In Zuidhorn hebben treinen naar Groningen hun MA al voor aankomst. Het is dan ook niet verwonderlijk dat treinen over het algemeen soepel accelereren.

Alle testritten in oostelijke richting in periode D-F, eerste aanvang



1b Normale rit met korte opvolgtijd (nauwkeurig rijden)

Hoewel de titel wellicht doet vermoeden dat er nog een trein in dezelfde richting rijdt, is dit item gericht op nauwkeurig rijden, met het Journey Profile (JP) als operationeel doel. Het onderzoeksplan vermeldt slechts twee scenario's (1b1: tijdstolerantie 0 sec. en 1b2: 120 sec.), maar de echte tests waren meer divers, met verschillende tijdvensters toegepast op verschillende plaatsen in de tijd. Het onderwerp wordt bekeken vanuit verschillende perspectieven. Onderstaande tabellen geven een aantal cijfers:

- Aantal aankomsten in de groep.

- Percentage gerealiseerd binnen of aan de randen van het venster. JP geeft een definitieve aankomsttijd en het venster specificeert in hoeverre *vroeg* aankomst is toegestaan. Late aankomst is niet toegestaan, er geldt dus geen venster aan de bovenzijde.
- Vanwege controle- en meetafwijkingen, wordt in de volgende kolom de juistheid geëvalueerd met een extra tolerantie van 10 seconden *aan beide zijden*.
- Wordt zelfs dit venster met extra tolerantie niet gehaald, dan is de volgende vraag, of de trein te vroeg of te laat was. Percentage te vroeg wordt rood weergegeven: ATO kreeg geen minimumsnelheid voorgeschreven, dus vroeg aankomen kan altijd worden vermeden.
- Percentage onnodig late treinen. Late aankomst of passage kan onvermijdelijk zijn, als het vorige vertrek laat was. Treinen die zo snel mogelijk rijden zijn uitgesloten van het percentage "te laat", omdat ATO heeft gedaan wat het kon en niet als fout kan worden aangemerkt.

In een top-down benadering, wordt in de eerste tabel alleen onderscheid gemaakt tussen aankomst- en passagetijdstoppen. Passagepunten presteren beter; aankomsten hebben hogere aandelen buiten beide grenzen van het venster (zowel vroeg als laat). Dit houdt verband met het feit dat voor passages vaak ruimere vensters worden toegestaan dan voor aankomsten, zoals blijkt uit de volgende tabellen.

Soort activiteit	Aantal	In venster	$\pm 10''$	Te vroeg	Te laat
Aankomst	186	26%	49%	22%	14%
Passage	105	56%	69%	10%	7%

De volgende twee tabellen splitsen de aankomst- en passagetijden naar tijdvensters. Zeldzame tijdvensters zijn grijs weergegeven. Over het algemeen kan worden gezegd: hoe breder het venster, hoe meer treinen erin en hoe minder treinen te vroeg. Het aantal te late treinen neemt niet af, wat begrijpelijk is omdat het venster alleen geldt voor vroeg aankomen. De laatste kolom ("Zelfde ref.") vergelijkt het op tijd rijden met een constante referentie: het aandeel ritten tussen -40 sec. en +10 sec. van de gespecificeerde tijd. Kleinere vensters leiden dan tot betere prestaties.

Aankomstvenster	Aantal	In venster	$\pm 10''$	Te vroeg	Te laat	Zelfde ref.
0	35	6%	26%	51%	11%	77%
10	7	0%	14%	57%	29%	71%
20	2	0%	100%	0%	0%	100%
30	136	29%	54%	14%	15%	54%
240	4	100%	100%	0%	0%	0%
330	2	100%	100%	0%	0%	50%

Passagevenster	Aantal	In venster	$\pm 10''$	Te vroeg	Te laat	Zelfde ref.
0	9	0%	33%	56%	0%	89%
30	34	44%	71%	6%	15%	71%
60	39	72%	74%	3%	3%	64%
120	23	70%	70%	9%	4%	30%

De volgende tabellen geven de afzonderlijke tijdstippen aan, één tabel voor elke richting. Het aandeel vroege aankomsten is vrij hoog. Bij vertraging wordt een resultaat alleen als fout beschouwd als de werkelijke rijtijd langer is dan de mediaan van alle rijtijden op dat traject; anders heeft ATO zijn best gedaan. Wordt die mediaan evenwel door de rijtijd overschreden, dan wordt het resultaat 'te laat' genoemd en het absolute cijfer tussen haakjes toegevoegd. In sommige gevallen kon de relatie met de mediane rijtijd niet worden gelegd, vanwege handmatig rijden of onvolledige informatie. Waar mogelijk wordt het rijgedrag van ATO beschreven voorafgaand aan het te laat komen.

Westwaarts	Aantal	In venster	±10"	Te vroeg	Te laat	Rijgedrag voorafgaand aan te laat aankomen
Hoendiep	26	62%	65%	12%	0%	
Zuidhorn	30	23%	50%	20%	13%	(4) TP Hdp geslaagd, TP Zh niet geslaagd (zie afzonderlijke tabel)
Grijskerk Aansl.	26	65%	77%	4%	4%	(1)
Grijskerk	29	45%	59%	10%	17%	(5) E3-01, F1-05 rijsnelheid amper 100 km/uur, coasting
Buitenpost	36	22%	28%	44%	8%	(3)

Oostwaarts	Aantal	In venster	±10"	Te vroeg	Te laat	Rijgedrag voorafgaand aan te laat aankomen
Grijskerk	32	13%	63%	3%	13%	(4) F3-08 langzamer, coasting vanaf 120 km/uur
Grijskerk Aansl.	28	46%	57%	4%	21%	(6)
Zuidhorn	29	24%	48%	24%	17%	(5)
Hoendiep	25	52%	76%	20%	0%	
Hoogkerk Aansl.	30	30%	53%	27%	17%	(5) JP update-experiment leidde tot onhaalbare JP

Als we naar de afzonderlijke stations kijken, valt slechts 1 vroege aankomst (3%) oostwaarts in Grijskerk op. Dit is een gevolg van de JP in de dienstregeling: de geplande rijtijd is in de meeste gevallen 7,0 minuten, terwijl de minimale operationele rijtijd 7,5 minuut bedraagt; vroeger aankomen is dus onwaarschijnlijk. Het hoge aandeel van 63% dat min of meer op tijd arriveert is alleen mogelijk, door Buitenpost te vroeg te verlaten.

Een deel van de vertragingen in de tabel is te wijten aan specifieke JP-omstandigheden:

- Hoogkerk-Zuidhorn wordt verduidelijkt met twee voorbeelden in onderstaande tabel. Zeer vroeg vertrekken forceert deze ritten om langzaam op gang te komen. Als gevolg daarvan verliest de trein tijd bij het accelereren na Hoendiep. Door op het eerste gedeelte sneller te rijden, of anders Hoendiep met een hogere snelheid te passeren, had de aankomstvertraging in Zuidhorn verminderd kunnen worden.
- In de andere richting, Zuidhorn-Hoogkerk, wordt de JP-passeertijd Hoendiep met 5 minuten uitgesteld (zie paragraaf 3b), maar zonder dat de streeftijd in Hoogkerk wordt gewijzigd. Dit resulteert in een negatief geplande rijtijd van Hoendiep naar Hoogkerk, wat duidelijk niet haalbaar is. De te passeren doelen bij Hoendiep zijn gehaald, maar treinen komen laat aan in Hoogkerk.

Afgezien van deze gevallen, zijn er een aantal ritten die coasten terwijl ze te laat zijn. Samen met een groot aandeel vroege aankomsten, lijkt dit te wijzen op ruimte voor verbetering van het ATO-algoritme: energie-efficiënter uitrollen als op tijd wordt gereden en altijd op baanvaksnelheid rijden als de trein te laat is.

Testrit	Hgka D		ATO-rijstrategie	Hdp P		ATO-rijstrategie	Zh A	
	ven-ster	werkelijk		ven-ster	werkelijk		ven-ster	werkelijk
F1-01	0	-60	50 km/uur, coasting	60	-45	acc., kruissnelh. 120 km/uur, rem	30	+41
F1-05	0	-45	50 km/uur, coasting	0	-14	acc., kruissnelh. 120 km/uur, rem	0	+30

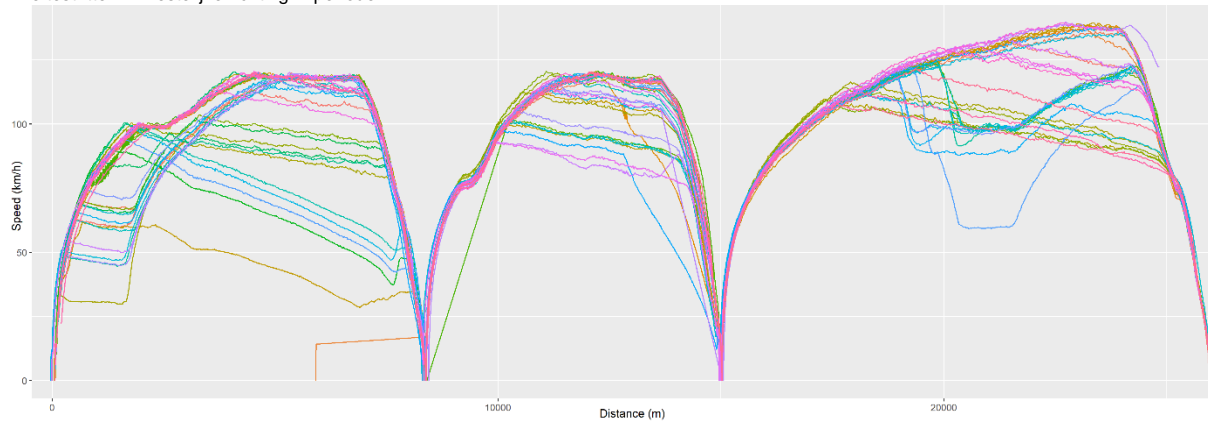
De testritten D2-06 en D3-06 hadden een "vertrekvertraging" in Grijskerk van respectievelijk 3589 en 3596 sec., wat wijst op een uur afwijking in de JP. Hoewel dit geen invloed had op de maatregelen inzake passage of aankomst, kan dit van belang zijn voor de kwaliteitscontrole.

1c Normale rit met vaste snelheidsbeperking

Reguliere baanvaksnelheden van 100, 120 en 140 km/uur worden goed gerespecteerd (zie onderstaande figuren). De overgang tussen 120 en 140 km/uur ligt dicht bij Grijskerk, dus treinen

hebben te maken met één van beide snelheidslimieten. Richting het rode sein bij Buitenpost, leggen seinen een beperking op van 80 km/uur, die door alle treinen wordt gevolgd.

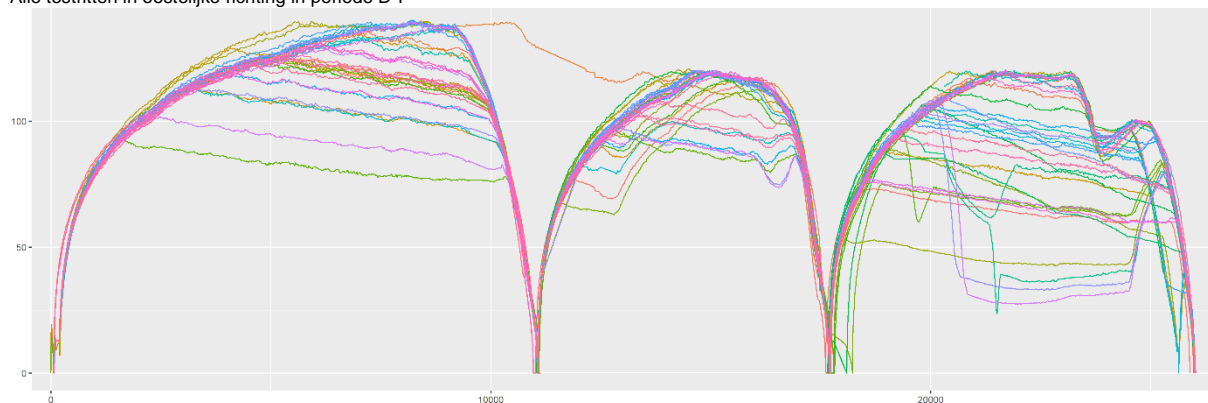
Alle testritten in westelijke richting in periode D-F



Veel interessanter is de overgang tussen 100 en 120 km/uur, gelegen op de vrije baan.

- In westelijke richting wordt de beperking van 100 km/uur aan het begin van de lijn door alle treinen gehandhaafd totdat verdere acceleratie tot 120 km/uur is toegestaan (zie hierboven).
- In oostelijke richting wordt de snelheidsdaling van 120 naar 100 km/uur niet goed afgehandeld: de snelheden dalen constant te veel (~90 km/uur) en lopen dan weer op. Hier is ruimte voor verbetering.

Alle testritten in oostelijke richting in periode D-F



1d Normale rit met wissel gerelateerde snelheidsbeperking

De enige wissel gerelateerde beperking (snelheid afhankelijk van de route) is na vertrek vanaf Buitenpost spoor 2. De limiet van 80 km/uur is zichtbaar in de logboeken. Door het ontbreken van een ATBNG-lus en beperkte tractiekracht van het rollend materieel, loopt de toegestane snelheid op tot 140 km/uur, net voordat de trein 80 km/uur bereikt. De snelheid loopt dus soepel op van vrijgavesnelheid naar topsnelheid (figuur hierboven).

1e Normale rit met helling

De belangrijkste hellingen op de testlijn zijn te vinden rond de brug over het Van Starckenborghkanaal.

- Westwaarts bij km 9, vindt vanuit Zuidhorn acceleratie plaats over de brug (eerste figuur in paragraaf 1c). De opwaartse helling laat nauwelijks nog mogelijkheid tot acceleratie over. De neerwaartse helling geeft de hoogte-energie terug aan de trein en bij km 10 wordt de oorspronkelijke curve hervat.
- In oostelijke richting, net na het 16 km punt, buigen alle snelheidslijnen naar boven (tweede figuur in paragraaf 1c). Meteen daarna begint de dikke bundel treinen met bijna 120 km/u af te remmen in Zuidhorn.

Langzamere treinen blijven naar beneden rijden waarbij de snelheid oploopt voordat ze vertragen om te stoppen. Wees er van bewust dat door recente aanpassingen aan het spoor, de 100 km/uur-snelheidslimiet tussen de brug en Groningen, die in de eerdere fase 2 een uitdaging vormde voor ATO, is opgeheven.

3 Journey profile update tijdens rit

3a Spoor gewijzigd in JP tijdens rit

Er werden niet veel tests uitgevoerd op spoorwijzigingen.

In rit D4-06 op 25-7-2021 is één relevant geval gevonden:

- JP van Grijpskerk naar Zuidhorn leidt oorspronkelijk naar SP 111 (het ongebruikelijke "linkse" perronspoor 2).
- Een paar uur van tevoren is dit "gecorrigeerd" naar 122 (gemeenschappelijk oostwaarts perronspoor 1).
- 20 minuten voor de operatie wordt de SP weer gewijzigd naar 111, misschien om de test opnieuw in te schakelen.
- Ten slotte wordt de SP slechts 5 minuten van tevoren weer gewijzigd naar 122, waarschijnlijk om te kijken of ATO dit aankan.
- ATO lijkt hier niet goed mee om te gaan. Om 3:21:29 bezet de trein de eerste bloksectie die uniek is voor SP 122 en om 3:21:43 wijzigt ATO naar "DISENGAGING".

Buitenpost spoor 1 is slechts eenmaal bezocht onder ATO:

C1-01 keert terug als C1-02. Dit spoorgebruik was voor deze ritten opgenomen in de originele JP en in die zin dus geen spoorwissel.

3b Passagetijd wijzigingen tijdens een rit

Onderstaande tabel geeft de tijdsveranderingen aan, die zijn gevonden in JP-gegevens. Ze zijn niet allemaal precies gelijk aan een van de vier scenario's in het testplan, dus wordt het dichtstbijzijnde scenario vermeld.

Rit	Datum	JP update	Tijd in vooruitgang	Laatste aankomst			Venster		Rijprofiel	Werkelijk passage	JP nieuw gehaald?
				oud	nieuw	(+5')	oud	nieuw			
D3-08	24-07	4:16:26	3'	4:19:16	4:24:16	(+5')	120	0	3b	ATO uit	
D4-06	25-07	3:18:48	10'	3:29:18	3:34:18	(+5')	120	120	3b	ATO uit	
D4-08	25-07	3:35:23	10'	4:42:18	4:47:18	(+5')	120	0	3b	Zh-Hdp stabiel 50 km/uur	4:47:14 bijna
D5-02	26-07	0:52:06	5'	0:57:19	1:02:19	(+5')	30	120	3b	0:52:38 Start coasting	0:57:12 nee
D5-04	26-07	2:13:00	2'	2:14:49	2:19:49	(+5')	30	120	3b	2:13:35 Start "coasting"	2:18:34 ja
D5-06	26-07	3:27:57	2'	3:29:19	3:34:19	(+5')	120	120	3b	3:28:34 remmen, dan coasting	3:33:04 ja
E4-04	02-08	2:11:06	3'	2:14:55	2:19:55	(+5')	30	30	3b	2:12:03 coast	2:14:48 nee
E4-06	02-08	3:25:44	3'	3:29:25	3:34:25	(+5')	30	30	3b	3:27:07 remmen, constant 35 km/uur	3:34:14 ja
F1-06	05-08	3:26:12	3'	3:29:28	3:34:28	(+5')	30	30	3b	3:26:27 remmen, constant 30 km/uur	3:34:26 ja

Succesvolle rijstrategieën zijn, afhankelijk van de tijdigheid van de JP-update:

- **Vroege melding:** cruisen met een lagere snelheid (D4-08). Hoewel een venster van 0 seconden vrijwel onmogelijk is om te halen, is deze case goed gedaan binnen de controle- en meettolerantie.
- **Late melding:** eerste keer remmen indien nodig (D5-06 gevolgd door coasting, E4-06 en F1-06 gevolgd door constant). Op deze manier wordt de TP-passage bereikt binnen het aankomstvenster.

Na een late JP-updatemelding, is coasting mogelijk niet voldoende om te voldoen aan een uitgesteld aankomstvenster (D5-02 en E4-04). Let wel, dat ATO na de JP-update ongeveer 35 seconden nodig heeft om een interventie uit te voeren, terwijl E4-04 en E4-06 een minuut nodig hebben.

Twee andere JP-updates zijn het vermelden waard.

- D5-06: Grijpskerk en Zuidhorn werden meer dan 10 minuten van tevoren gewijzigd van STOP in DOOR, maar de trein is toch bij beide haltes gestopt.
- D5-04 werd gewijzigd van DOOR in STOP bij Zuidhorn. De trein passeert het perron, maar stopt 500 m voorbij de reguliere stopplaats. Dit gebeurt bij vrijgavesnelheid, waarbij MA wordt verlengd.

4 Ongeplande stop en hinder van een andere trein

Het verlaat veilig komen van seinen kan automatisch worden gedetecteerd. Voor deze onderzoeksvraag is het later instellen van een route na een geplande stop niet relevant. De analyse richt zich op testweekends D-F. Afgezien van een situatie in Zuidhorn zonder ATO, vonden alle cases plaats rond sein 412 bij Hoogkerk Aansluiting. De kolom "Gewenst sein" geeft aan wanneer de trein op het punt staat een geel sein te passeren, maar dit is geen strikte wetmatigheid.

Rit	Sein	Oorzaak (+vertraging)	Gewenst sein	Sein open	Opmerkingen
D2-02	ZH\$384	ingetrokken_gsmr	22-7-21 04:10:23	4:12:08	ATO uit
D4-02	HGKA\$412	trein ^ 37487	25-7-21 00:56:10	0:58:03	ATO remt af van 70 naar 9 km/uur, bij baken acc. tot 41 km/uur en remmen tot stoppen (allemaal ATO)
D5-02	HGKA\$412	rijweg_PPR	26-7-21 00:56:38	1:00:22	0:58:04 ATO remt naar 9 km/uur, 0:58:56 ATO uit. Handmatig stoppen 0:59:00 en laatste stuk naar Hgka.
E1-02	HGKA\$412	trein ^ 37487	30-7-21 00:56:24	0:58:18	0:56:54 ATO remt af van 98 naar 9 km/uur, bij baken acc. tot 43 km/uur en remmen tot stoppen.
E2-02	HGKA\$412	trein ^ 37487	31-7-21 00:56:20	0:57:50	0:56:57 ATO remt af van 89 naar 9 km/uur, bij baken acc. tot 43 km/uur en remmen tot stoppen.
E3-02	HGKA\$412	trein ^ 37487 +1	1-8-21 00:56:19	0:58:31	0:57:00 ATO remt af tot 9 km/uur, 0:58:30 ATO uit, handmatig stoppen 0:58:39. Vertrek per ATO.
E4-02	HGKA\$412	trein ^ 37487	2-8-21 00:56:22	0:57:24	0:57:04 ATO remt -0,4 m/s ² , bij 0:57:36 MA verlenging (geen lus) "remmen" bij -0,02 m/s ² , eindrem -0,4 m/s ² richting aankomst 0:59:06
F1-02	HGKA\$412	trein ^ 37487	5-8-21 00:56:11	0:57:40	0:56:12 ATO afgebroken, handmatig remmen van volle snelheid tot stoppen.
F2-02	HGKA\$412	trein ^ 37487	6-8-21 00:55:31	0:57:51	0:56:01 ATO start met remmen op -0,4 m/s ² , 0:56:18 bij 76 km/uur ATO afgebroken, handmatig remmen -1,4 m/s ²
F3-02	HGKA\$412	trein ^ 37487 +3	7-8-21 00:56:10	1:01:21	ATO uit

Er doen zich verschillende situaties voor:

- Volgens D4-02, E1-02, E2-02 en E4-02, kan ATO een onverwachte remcurve aan en wordt gereageerd met bijpassend rijgedrag. Merk op, dat in deze gevallen de MA wordt verlengd voordat de trein het rode sein bereikt (en had moeten stoppen).
- E3-02 en D5-02 bereiken het rode sein echter onder vrijgavesnelheid. ATO remt soepel tot 0:58:23 maar om 0:58:30 wijzigt de rijstatus naar steady. Op het moment dat de ATO-trein op slechts 17 m van het rode sein is en nog steeds niet definitief remt, stopt de machinist de trein. Op basis van de beschikbare gegevens, is het onzeker of ATO dit binnen de nog korte resterende afstand zou hebben gedaan.
- In F1-02 en F2-02 besluit de bestuurder in een vroeg stadium om niet voldoende op ATO-remmen te vertrouwen en grijpt hij in door *handmatig te remmen*.

Interessante nevenbevinding: soms komt de ATO rijtoestand niet overeen met het treingedrag:

- Bij nadering van rood sein HGKA\$412, rijdt D4-02 in rijtoestand STEADY, terwijl de snelheid langzaam daalt van 76 naar 72 km/uur. Over het algemeen laat deze rit "nerveuze" veranderingen in de rijtoestand zien, terwijl het snelheidsprofiel vrij soepel verloopt.
- D5-02 "accelereert" van 64 naar 54 km/uur.
- De D5-04 rijdt "steady", maar de snelheid daalt van 75 naar 63 km/uur.
- E4-02 "remt" met een minieme vertraging, eerder gezien tijdens coasting.

5 Afwijkend segmentprofiel: TSR

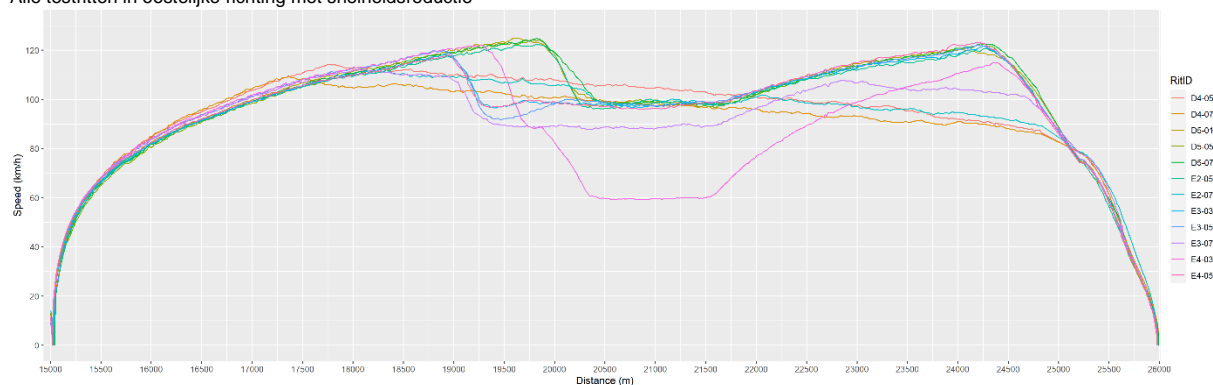
Op het traject Grijpskerk-Buitenpost kregen meerdere ritten een tijdelijke snelheidsbeperking (TSR) (6^e Segmentprofiel (ID 218), 2^e Timing Point (ID 19)). De TSR is via de SP aan de trein gecommuniceerd, maar niet opgenomen in de ATBNG. Onderstaande tabel geeft de betreffende ritten weer, voor zover uitgevoerd onder ATO. Start- en eindlocatie werden geregistreerd in cm, maar zijn hier weergegeven in meters.

RitID	TracksideLogEntry Datum&Tijd	Startlocatie	Eindlocatie	Toegestane snelheid	Toegepaste snelheid*	Snelheidsprofiel
D4-05	2021-07-25 02:25:11	7095	8100	110	104	al aan het coasten <110
D4-07	2021-07-25 03:37:59	7095	8100	110	97	al aan het coasten <110
D5-01	2021-07-26 00:01:44	7095	8100	100	98	remmen, steady 100, accelereren
D5-05	2021-07-26 02:45:30	7095	8100	100	99	remmen, steady 100, accelereren
D5-07	2021-07-26 04:01:26	7095	8100	100	99	remmen, steady 100, accelereren
E2-05	2021-07-31 02:46:10	7095	8100	100	99	"overbrake", 100, accelereren
E2-07	2021-07-31 04:00:53	7095	8100	100	98	remmen, steady 100, accelereren
E3-03	2021-08-01 01:34:23	6095	8100	100	97	remmen, steady 100, accelereren
E3-05	2021-08-01 02:46:10	6095	8100	100	97	"overbrake", 100, accelereren
E3-07	2021-08-01 04:01:06	6095	8100	90	88	remmen, steady 90, accelereren
E4-03	2021-08-02 01:34:11	7095	8100	60	59	remmen, steady 60, accelereren
E4-05	2021-08-02 02:46:07	6095	8100	100	96	remmen, steady 100, accelereren

*gemeten bij baken 7396

Alle beperkingen met subtiële verschillen in startlocatie en toegestane snelheid worden door ATO goed nageleefd. Op de startlocatie hebben de meeste ritten de neiging om iets laat te stoppen met remmen, wat leidt tot een onnodig lage snelheid en wat her-acceleratie. Dit geldt met name voor E2-05 en E3-05. Snelheidsprofielen van ritten met TSR worden weergegeven in de onderstaande grafiek.

Alle testritten in oostelijke richting met snelheidsreductie



11 Rijprofielen (snel versus energie-efficiënt)

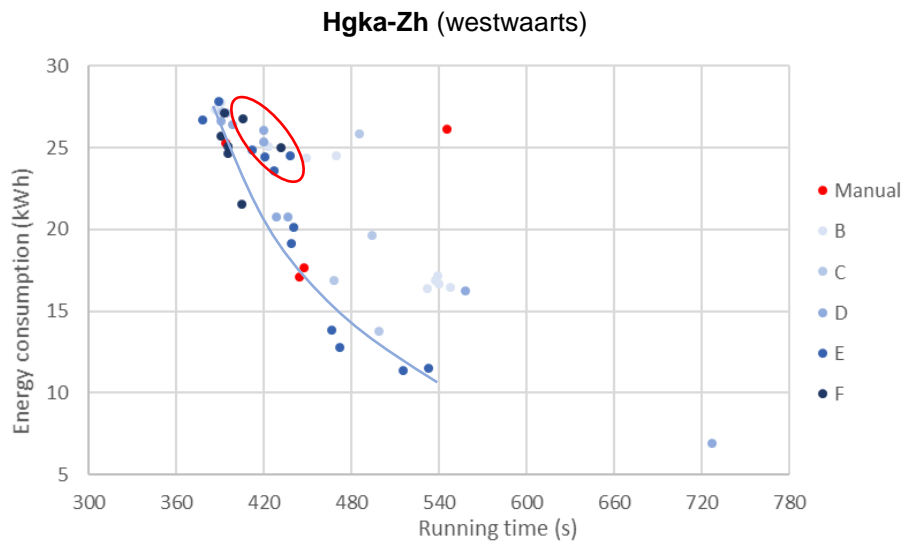
Het testplan begint met een onderzoeksvraag over de huidige operationele dienstregeling. De huidige dienstregeling op deze specifieke lijn bevat niet veel speling, dus dit zou bijna de kortste rijtijd zijn. Bovendien kwamen de geplande rijtijden in de JP's slechts toevallig overeen met de huidige dienstregeling en is Hoogkerk geen regelmatige halte. Vandaar dat het onderwerp enigszins anders wordt aangepakt met dezelfde bedoelingen.

Tijdens de tests is ATO niet permanent ingeschakeld geweest. In 423 stop-stop-ritten waarvan energiegegevens beschikbaar zijn:

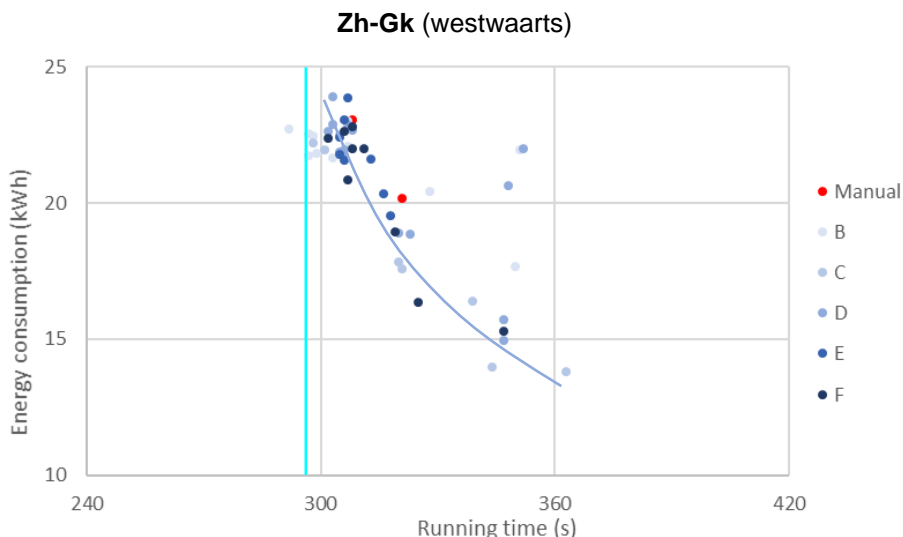
- is ATO 340x 100% actief.
- is ATO 25x 91-99% actief; deze eerste twee categorieën zijn meegenomen in de ATO-analyses.
- is ATO 7x 60-85% van de tijd actief; deze zijn weggelaten.

- stond ATO 20x helemaal uit. Dit zijn neergezet als handmatige referentie, maar het aantal is te klein om als controlegroep voor de berekening te dienen.

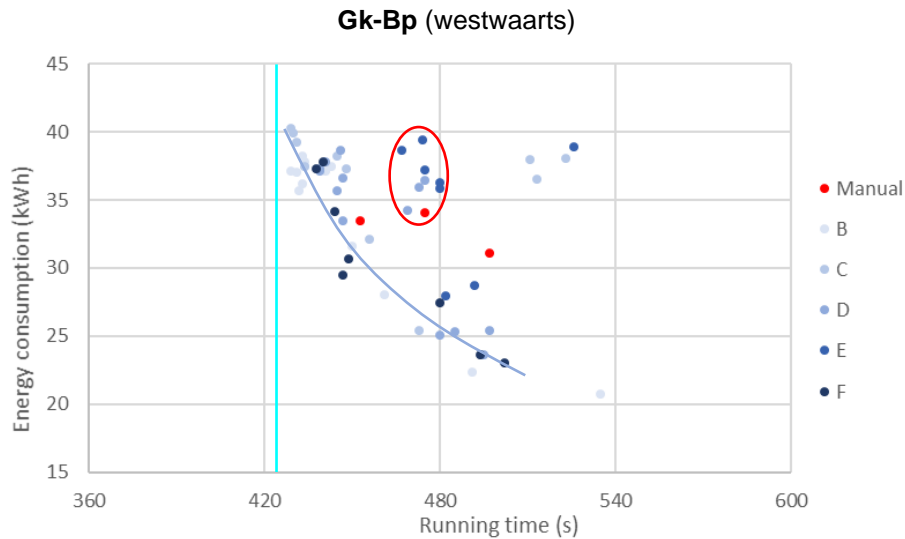
Het testprogramma omvat 6 trajecten van stop tot stop. Voor elk wordt het energieverbruik neergezet over de looptijd. De energie wordt berekend door het koppel en het motortoerental te vermenigvuldigen. Elk stuk van het traject heeft een kortste rijtijd in relatie tot de kenmerken van het rollend materieel, linksboven in de grafiek. Energiebesparing is mogelijk door coasting (cruising bij een lagere snelheid is een andere besparingsstrategie, maar dit wordt zelden toegepast in fase 2B), wat resulteert in langere rijtijden. De curve is gebogen: een korte coastingafstand levert al een flinke besparing op en heeft weinig invloed op de rijtijd. Meer coasting brengt toenemende "traagheid" met zich mee. In elke grafiek is - in het blauw - een indicatieve trendlijn getekend.



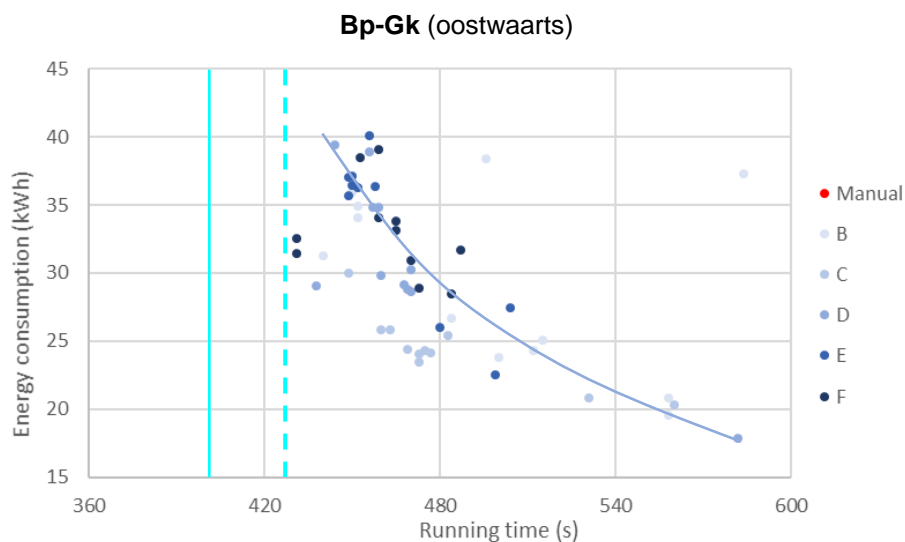
De meeste ritten in latere weekenden (donkere stippen) laten een duidelijke wisselwerking zien tussen rijtijd en energieverbruik. De rood omcirkelde wolk heeft betrekking op een paar ritten met eerst 1,5 km coasting bij een snelheid van 50-70 km/uur en vervolgens accelereren naar volle snelheid. Dit lijkt te zijn gericht op het Hoendiep passage TP, maar resulteert in een relatief hoge combinatie van energieverbruik en rijtijd.



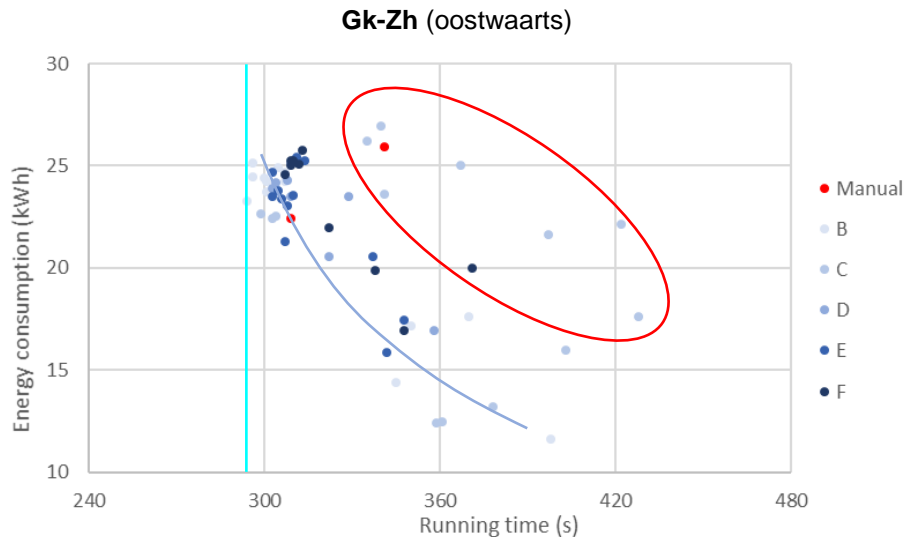
Over dit deel van het traject wordt optimaal gereden in de weekenden E en F. Twee handmatige ritten worden uitgevoerd op de slechtste grens van de "main cloud". Een deel van de vroege tests (lichte punten) loopt minder efficiënt. De links uitlopende C1-03 begon op een verkeerde (verdere) positie, wat een kortere looptijd dan de andere verklaart. De verticale blauwe lijn wordt aan het einde van deze paragraaf verduidelijkt.



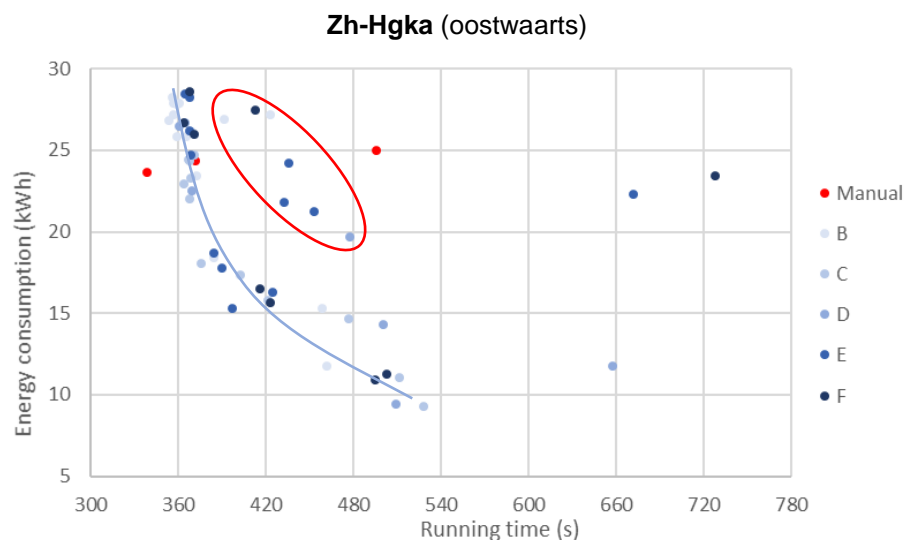
Opmerkelijk in deze grafiek zijn een paar ritten in D5 en het E-weekend (rood omcirkeld): een TSR (zie paragraaf 5) maakte deze ritten zowel traag als energieverblindend. Gewoonlijk accelereren deze ritten eerst tot ongeveer 120 km/uur, waarna vervolgens een bepaalde afstand rustig gereden wordt - meestal bij 100 km/uur - en voor de volgende stop weer wordt geaccelereerd.



Interessant op het eerste stuk van het traject in oostelijke richting is de vertreksnelheid: de meeste ritten starten onder vrijgavesnelheid. In deze ongebruikelijke rijrichting is langs perron 2 geen ATB-lus aangelegd en moet de trein MA oppikken bij baken 7313. F1-02 & F3-02 echter (twee stippen op 431 sec. links in de grafiek) accelereren onmiddellijk continu, tikken 40 km/uur aan rond het baken en accelereren verder. Dit kon gebeuren door het uitvallen van de ATBNG-verbinding, wat er ook toe leidde dat niet ver genoeg gestopt werd bij het volgende station Grijpskerk. De wissel snelheidslimiet van 80 km/uur werkt niet beperkend, dus deze treinen versnellen ongestoord tot baanvaksnelheid en maken te weinig meters. Toch zijn reguliere treinen (de felblauwe lijn) sneller.



Tijdens eerdere weekenden zijn tests gedaan met extra tijdmeetpunten op tussenliggende spoorwegovergangen. Deze waren minder succesvol, wat resulteerde in de verspreide lichte stippen. De donkere stip in de rode cirkel is F3-06, die te heftig remde voor de (permanente) verandering van de snelheidslimiet van 120 naar 100 km/uur, daarbij uitkwam op 87 km/uur en vervolgens weer opnieuw accelereerde.



Zh-Hgka toont een grote variatie in efficiëntie:

- Veel treinen rijden een optimale curve (blauw) door te accelereren en meer of minder uit te rollen (coasting).
- Heel wat treinen rijden op volle snelheid, remmen te fel naar de permanente limiet van 100 km/uur, versnellen dan opnieuw, voordat ze uiteindelijk vertragen tot stilstand (rood omcirkeld).
- Tijdens een paar ritten (bijv. E4-06 & F1-06 - rechtsboven in de grafiek) wordt een JP-update-experiment uitgevoerd (zie paragraaf 3b). Ze accelereren eerst tot meer dan 100 km/uur, cruisen dan over een langere afstand met slechts 30 km/uur en rijden uiteindelijk 80 km/uur, kort voordat ze stoppen. Hierdoor neemt zowel de rijtijd als het energieverbruik toe, maar in bepaalde omstandigheden kan dat nog steeds efficiënter zijn dan het maken van een ongeplande stop - hoewel 30 km/uur wel heel extreem is.

Rijtijden door ATO versus normale werking

Het beoordelen van snelle rijtijden is mogelijk, door vergelijkingen te maken met de dagelijkse praktijk. Daarvoor is de mediaan van trein GTW2/8 uit serie 37400 over september en oktober 2021

neergezet als een helderblauwe lijn (energieverbruik niet beschikbaar). Dit is niet mogelijk voor ritten van en naar Hoogkerk Aansluiting, aangezien dit geen reguliere halte is.

Op Buitenpost-Grijpskerk vertrekken reguliere treinen in oostelijke richting onverstoord vanaf spoor 1, terwijl ATO wordt geconfronteerd met het vrijgeven van snelheid. Hiervoor kan de operationele rijtijd worden gecorrigeerd. De meeste testritten hebben een snelheid van 13 km/uur over 100 m en duren 28 sec. Zonder beperkingen verschuift de acceleratie naar voren en wordt dezelfde afstand afgelegd met 140 km/uur in 3 sec. Het tijdsverschil is dus 25 sec. De fictieve operationele rijtijd met vertrek op vrijgavesnelheid is getekend als een stippellijn.

Hoewel de mediaan niet eens de snelste operationele ritten weerspiegelt, lijkt deze rijtijd voor ATO moeilijk te verslaan. Dat geldt ook voor de volgende drie grafieken waarbij de vergelijking mogelijk is. Dit is opmerkelijk, omdat de eerdere fase 2 aangaf dat ATO beter zou kunnen presteren dan handmatige operaties. Een nadere blik toont mogelijke verklaringen in alle stadia van het snelheidsprofiel:

- **Acceleratie.** Volgens de tractie-eigenschappen van GTW3 in DONNA (recent gekalibreerd met operationele gegevens) duurt het accelereren van 0 naar 140 km/uur 5,8 km. De grafieken met alle ATO-runs in item 1c laten zien dat er twee runs zijn die op een dergelijke wijze presteren: D4-04 & 08 in oostelijke richting vanaf Buitenpost (eerste stuk van het traject). Alle andere testritten met een snelheid van 140 km/uur (zowel west- als oostwaarts) hebben 7,5 km nodig. Het lijkt erop, dat voor de meeste testritten een iets lager motorvermogen beschikbaar was of werd gekozen.
- **Cruising.** ATO houdt de snelheid meestal min of meer constant dicht bij de toegestane limiet, behalve op twee stukken oostwaarts. Op het tweede traject Grijpskerk-Zuidhorn daalt de snelheid, ondanks de rijtoestand STEADY, lichtjes en op het laatste stuk Zuidhorn-Hoogkerk wordt de maximale daling van de snelheid van 120 naar 100 km/uur inefficiënt afgehandeld.
- **Vertraging.** Uit operationele analyses is bekend dat machinisten op grote schaal remsnelheden tot 0,5 m/s² toepassen. Van ATO mag worden verwacht dat het later en sterker zal remmen. Gegevens tonen echter aan dat, rekening houdend met alle metingen tijdens het rijden, de vertraging slechts 7% meer bedraagt dan 0,5 m/s². In de eerdere ATO-fase 2 werd een hogere remsnelheid gebruikt, maar het resulterende snelheidsprofiel was niet soepel. Dit leek te kunnen worden verholpen door een lagere vertraging frequentie in te stellen.

Om de verwachte ATO-voordelen te halen, moet aandacht worden besteed aan deze oorzaken.

12 Verkorten MA door herroepen signaal

Er is één geval van herroepen geconstateerd (bovenste regel in tabel onder 4a) maar de trein reed toen niet onder ATO.

2.3 Samenvatting

Onderstaande tabel toont de samenvatting van de resultaten gepresenteerd in paragraaf 2.2

Nr.	Onderzoeksonderwerp	Conclusie	Geslaagd?
1a	Stoppositie	Bij EoA stopt ATO consequent binnen een paar meter van de opgegeven positie. Niet in de buurt van EoA, een deel van de testritten stopt te ver.	±
1a	Vertrek na geplande stop	Met ATBNG-lus of vroege MA versnelt ATO continu. Indien relevant, respecteert ATO een initiële vrijgavesnelheid.	+
1b	Nauwkeurig rijden	Hoe breder het JP-venster, hoe meer treinen erin. Heel wat runs komen eerder aan dan het venster, hoewel er geen minimumsnelheid is. De meeste, maar niet alle late aankomsten zijn het effect van JP-tests, zoals het afhandelen van een TSR.	±
1c	Vaste snelheidsbeperking	Normale lijnsnelheden zijn goed gerespecteerd, maar een snelheidsdaling van 120 naar 100 km/uur is niet goed verwerkt.	±
3a	Spoor gewijzigd	Deze testcase is voldoende getest tijdens fase 2. Slechts één case werd waargenomen tijdens fase 2B en geeft aan dat ATO problemen heeft met het opvolgen van een zeer late spoorwijziging.	-
3b	Tijdswijzigingen tijdens de rit	Met vroegtijdige melding voldoet ATO aan de nieuwe passeertijd. Bij late melding, is zowel effectief als ineffectief ATO-gedrag waargenomen.	±
4	Ongeplande stop en hinder	ATO kan een onverwachte remcurve volgen. De mogelijkheid om volledig te stoppen onder vrijgavesnelheid is niet waargenomen.	±
5	TSR	Met verschillende beperkingen worden door ATO goed omgegaan. In het lagere snelheidsgedeelte wordt soms te vaak geremd.	±
11	Rijprofielen (snel vs. energie-efficiënt)	De afweging tussen snel rijden en energiebesparing is duidelijk zichtbaar. Helaas zijn de snelste rijtijden langer dan bij gewone handmatige werkwijze. Energiebesparing kan niet worden aangetoond, omdat er geen vergelijkbare gegevens zijn over handmatige werkwijzen.	±

+ Volledig geslaagd

± Gedeeltelijk geslaagd, we zagen goede en slechte resultaten

- Niet geslaagd

2.4 Aanvullende waarnemingen tijdens fase 2B

Naast de resultaten, is er sprake van een paar observaties die we moeten toevoegen/adresseren om de resultaten in context te plaatsen.

2.4.1 Niet-uitgesteld remmen

Onderdeel van de test was het verkrijgen van inzicht tussen uitgesteld remmen en niet-uitgesteld remmen. Momenteel zijn machinisten, op grond van de ATBNG, verplicht om te beginnen met remmen zodra ze een beperkend sein passeren, hoewel dit gezien de remkarakteristieken van de trein misschien niet nodig is. In het project noemen we dit “niet-uitgesteld remmen”. De ATBNG-systemen bieden de mogelijkheid om uitgesteld te remmen, waarbij het beginpunt van het remmen wordt uitgesteld afhankelijk van de afstand tot de begrenzing en de remkarakteristieken van de trein.

Tijdens de tests werd vastgesteld, dat in veel gevallen waar uitgesteld remmen van invloed zou kunnen zijn, de seinopstelling en de afstand tussen de seinen reeds sterk geoptimaliseerd is voor de dienstregeling. Dat, in combinatie met het feit dat het ATO-systeem was geconfigureerd met een subtiele remstijl, zorgde ervoor dat de trein begon te remmen voor het beperkende sein. Daarom was het niet mogelijk om gegevens te verzamelen over de vermindering van de rijtijd tussen uitgesteld en niet-uitgesteld remmen.

2.4.2 Implementatie van ATO-functies

De implementatie van enkele ATO-functionaliteiten verliep anders dan verwacht. De interface voor de treinbestuurder gaf niet de juiste aankomsttijden of de volgende remindicatie weer. Wat het voor de machinist moeilijk maakte om te anticiperen op de volgende actie van het ATO-systeem.

Ook de parameter "aankomstvenster" die werd gebruikt om een tijdvenster te creëren voor het passeren van een timing point (in plaats van een vast tijdslot) was niet geïmplementeerd volgens de verwachtingen die waren gebaseerd op de SUBSET-126.

Tot slot waren cruisen en coasten moeilijk te realiseren in de combinatie van TCMS en ATO-systeem. Om die functies te implementeren, werden dus een aantal trucs bedacht die het energieverbruik van de trein negatief zouden hebben kunnen beïnvloeden.

2.4.3 Ontbreken tijdsynchronisatie

Er bestond geen tijdsynchronisatie tussen de ATO-systemen, de verschillende systemen in de trein en de lokale GMT. Ook het tijdsverschil tussen deze systemen was tussen de testdiensten door niet stabiel. Sommige systemen voegden een extra afwijking van +/- 3 seconden per dag toe. Helaas is tijdens het uitvoeren van de tests met deze afwijkingen geen rekening gehouden. Dit maakte het moeilijk om de stiptheid van ATO tijdens de testritten goed te kunnen beoordelen. Na de testcampagne heeft dit geleid tot een extra stap voor het analyseren van de tests (zie 2.1.1).

2.4.4 Positionering

Het ATO-systeem was voor de positionering sterk afhankelijk van de locatie van ATBNG-bakens. Het nadeel hiervan was, dat de opgegeven posities van de bakens zeer nauwkeurig moesten zijn en dat alle bakens correct moesten worden gelezen. Geen van beide kon worden gegarandeerd, wat heeft geleid tot onnauwkeurige stopposities.

2.4.5 Motorvermogen

De tests zijn uitgevoerd met een 15 jaar oude passagierstrein. Dit treinstel was hetzelfde als dat werd gebruikt tijdens de eerdere faseringen. Tijdens de tests van fase 2B gebeurde het een paar keer dat een van de twee motoren tijdelijk uitviel, zodat slechts één motor beschikbaar bleef voor de acceleratie. Ook kreeg het testpersoneel de feedback dat de acceleratie van dit treinstel over het algemeen minder was dan die van sommige andere treinstellen en in vergelijking met 15 jaar geleden. Dit heeft een negatieve invloed gehad op de nauwkeurigheid en het energieverbruik van de trein.

3 Een overzicht van de belangrijkste conclusies en aanbevelingen

Alvorens dieper in te gaan op de conclusies, moet worden opgemerkt dat deze test is uitgevoerd met één enkele oplossing (prototype), die in de eerste periodes van de testcampagne is gekalibreerd en verbeterd. De conclusies zeggen ons iets over deze oplossing, maar zij kunnen niet noodzakelijk worden toegepast op het ATO-concept als geheel (zowel negatieve als positieve resultaten).

De test is uitgevoerd op een lijn met een klasse B automatisch treinbeveiligingssysteem (ATBNG). Dit systeem heeft geen interfacespecificatie tussen het ATO-systeem en het ATB-systeem. Het is moeilijk gebleken om op informatie uit dat systeem te vertrouwen voor signaleringsinformatie en positionering.

Het ATO-systeem dat werd gebruikt voor fase 2B, was anders dan de versie die werd gebruikt voor fase 2 en vertrouwde volledig op ATBNG-gegevens voor positionering en signaalaspecten. Tijdens de eerdere faseringen werd de positionering bepaald door GPS in combinatie met de snelheidsmeter. Daarom is het niet mogelijk om de resultaten van deze twee fasen rechtstreeks te vergelijken. Wel kunnen we de verschillende systemen met elkaar vergelijken.

3.1 Conclusies

De tests van fase 2B waren gericht op geavanceerde ATO-functionaliteit, namelijk: nauwkeurig stoppen, zowel vanuit het oogpunt van timing als van locatie (testcase 1), omgaan met updates van de dienstregeling tijdens de rit (testcase 3), omgaan met operationele belemmeringen (testcase 4), omgaan met updates van het segmentprofiel (testcase 5), en rijden met verschillende profielen om een compromis te vinden tussen optimalisering van timing en energie (testcase 11).

De geteste oplossing is in staat om deze geavanceerde functionaliteiten uit te voeren (testcases 1, 3, 4 en 5). De testtrein kon op de juiste plaats (+/- 3 meter) en op het juiste tijdstip tot stilstand worden gebracht. Updates werden correct in het snelheidsprofiel verwerkt, mits ze van tevoren en binnen redelijke grenzen waren verzonden. Dit geldt voor updates van de dienstregeling, spoorwijzigingen en het segmentprofiel. Ook werd een duidelijke daling van het energieverbruik waargenomen tussen de verschillende ATO rijstijlen, rijden op volle snelheid en rijden met een economische rijstijl in combinatie met hogere buffers (testcase 11).

Alle geavanceerde functionaliteiten zijn waargenomen en aan het werk gezien. De resultaten waren echter niet consistent, wat te verwachten was, aangezien we met een prototype te maken hebben. Het positioneringssysteem leunde zwaar op ATBNG en soms viel de verbinding tussen ATO en ATBNG weg. Ook is er nog optimalisatie mogelijk in de manier waarop bepaalde functies (zoals aankomstvenster, cruisen/coasten) worden geïmplementeerd en uitgevoerd. In vergelijking met de tests van fase 2, zijn we in staat geweest om meer gegevens te verzamelen en testritten uit te voeren die volgens de dienstregeling werden gereden, met een vermindering in energieverbruik in dienstregelingen met hoge buffers.

Al met al kunnen we concluderen, dat dit ATO-systeem heeft bewezen over het potentieel te beschikken om basis- en geavanceerde functionaliteit onder ATBNG uit te voeren, maar ook dat het moeilijk is gebleken om het ATO-systeem af te stemmen op het ATBNG-systeem waardoor signaleringsinformatie en positionering soms incorrect werd verwerkt. Aanvullend aan de 'technische' integratie van de ATBNG en ATO unit is ook een veiligheidsanalyse noodzakelijk of de combinatie van ATBNG met ATO zowel operationeel als technisch een voldoende veiligheidsniveau heeft. ATO over dit (geavanceerde) klasse B-systeem vergt veel inspanning en begrip van alle betrokken partijen. ATO over ETCS zal veel gemakkelijker te ontwikkelen en te implementeren zijn, aangezien dit een Europese standaard (TSI) is, waarbij ATBNG een op maat gemaakt leveranciersafhankelijk ATB-systeem is, specifiek voor Nederland. Op basis van dit ATO-systeem concluderen we dat er nog een flinke ontwikkelslag noodzakelijk is voor een stabiel en betrouwbaar ATO-systeem dat gebaseerd is op informatie vanuit ATBNG.

Tijdsynchronisatie tussen verschillende subsystemen is cruciaal. Dit wordt op een ongemakkelijke manier duidelijk als het ATO-systeem op een andere tijdschema draait dan de automatische route-instelling. Dit leidt ertoe, dat treinen te vroeg of te laat op het station aankomen. We hebben de tijdsynchronisatie tijdens de testritten en voor analyse kunnen 'repareren', maar dat was zeer lastig en het kostte veel moeite.

3.2 Vergelijking tussen fase 2B en fase 2

Tijdens de tests van fase 2B was het ATO-systeem in staat om volgens een dienstregeling te rijden en zowel wijzigingen van de dienstregeling als vertragingen op te vangen. Het in fase 2 gebruikte ATO-systeem was hiertoe niet in staat. De toevoeging van deze geavanceerde functionaliteit is een enorme verbetering.

De nauwkeurigheid van de stoppositie op perrons tijdens fase 2B is vergelijkbaar met die tijdens de laatste perioden van fase 2. Een hoog percentage treinen kon stoppen binnen de marge van +/- 3 meter. De prestaties zonder EoA lijken op een specifieke locatie (Vierverlaten) iets slechter te zijn dan tijdens fase 2. De reden is niet bekend en vereist nader onderzoek.

3.3 Aanbevelingen

Tijdens de tests van fase 2B hebben we veel geleerd en zijn we verschillende onderwerpen tegengekomen die het vermelden waard zijn als aanbevelingen voor het verder testen van ATO-systemen:

- Testen op klasse B-systemen voor het verzamelen van gegevens voor ATO over ETCS wordt over het algemeen niet aanbevolen. De tijd en moeite om een realistische interface met een klasse B-systeem te ontwikkelen gaat ten koste van de ontwikkeling van het ATO-systeem. Gegevens van deze test kunnen alleen worden gebruikt voor ATO over ATBNG. De prestaties van ATO-systemen op specifieke ATB-systemen (b.v. ETCS) moeten worden getest op die specifieke ATB-systemen,
- Testcase voor energieverbruik onder ATO zou een aparte test moeten zijn over een langere periode en een langer traject voor zowel intercity- als stopdiensten. Zorg ervoor dat er voldoende betrouwbare compatibele gegevens beschikbaar zijn van treinen die met de hand worden bestuurd, zodat ATO vs. handmatig kan worden geanalyseerd en vergeleken,
- Tijdsynchronisatie van de verschillende systemen is essentieel voor testen en data-analyse. Tijdsynchronisatie moet onderdeel zijn van de systeemspecificatie,
- Wijs specifieke voorbereidings- en optimalisatieperiodes toe, voordat de testcases worden uitgevoerd, zodat de testcases kunnen worden getest met een volwassen en stabiel systeem,
- Zorg ervoor dat functionaliteiten (simulaties) worden gevalideerd vóór het daadwerkelijke testen, om onverwachte situaties tijdens het testen te voorkomen,
- Dienstregelingen moeten consistent zijn; gebruik een standaard dienstregeling die kan worden aangepast,
- Gebruik een moderne, bijgewerkte trein voor een eenvoudigere installatie, configuratie en optimalisatie,
- ATO over ATBNG is zeer gecompliceerd gebleken en moeilijk te kalibreren voor betrouwbare en consistente resultaten. Een besluit om ATO over ATBNG te blijven testen en verder te ontwikkelen moet deel uitmaken van de migratiestrategie. Aanvullend is een veiligheidsanalyse noodzakelijk of de combinatie van ATBNG met ATO zowel operationeel als technisch een voldoende veiligheidsniveau heeft.

4 Bijlagen

Bijlage 1: Testperiodes

Periode	Id.	Van	naar
A	A1	Vr 02/jul/2021 22:00	Za 03/jul/2021 7:00
	A2	Za 03/jul/2021 22:00	Zon 04/jul/2021 7:00
	A3	Zon 04/jul/2021 22:00	Ma 05/jul/2021 7:00
B	B1	Vr 09/jul/2021 22:00	Za 10/jul/2021 7:00
	B2	Za 10/jul/2021 22:00	Zon 11/jul/2021 7:00
	B3	Zon 11/jul/2021 22:00	Ma 12/jul/2021 7:00
C	C1	Vr 16/jul/2021 22:00	Za 17/jul/2021 7:00
	C2	Za 17/jul/2021 22:00	Zon 18/jul/2021 7:00
	C3	Zon 18/jul/2021 22:00	Ma 19/jul/2021 7:00
D	D1	Woe 21/jul/2021 22:00	Do 22/jul/2021 7:00
	D2	Do 22/jul/2021 22:00	Vr 23/jul/2021 7:00
	D3	Vr 23/jul/2021 22:00	Za 24/jul/2021 7:00
	D4	Za 24/jul/2021 22:00	Zon 25/jul/2021 7:00
	D5	Zon 25/jul/2021 22:00	Ma 26/jul/2021 7:00
E	E1	Do 29/jul/2021 22:00	Vr 30/jul/2021 7:00
	E2	Vr 30/jul/2021 22:00	Za 31/jul/2021 7:00
	E3	Za 31/jul/2021 22:00	Zon 01/aug/2021 7:00
	E4	Zon 01/aug/2021 22:00	Ma 02/aug/2021 7:00
F	F1	Woe 04/aug/2021 22:00	Do 05/aug/2021 7:00
	F2	Do 05/aug/2021 22:00	Vr 06/aug/2021 7:00
	F3	Vr 06/aug/2021 22:00	Za 07/aug/2021 7:00

Bijlage 2: Overzicht van testcases

Testcase	Buiten de	Fase 2	Fase 2B	Doel van de testcase	Instellen testcase	Verwacht testresultaat
1a Normale rit met geplande stop (nauwkeurig stoppen)			x			
1a1 Naderen van een geplande stop bij EoA (voor het rode sein)			x	Om te beoordelen of ATO nauwkeurig op de juiste tijd en locatie kan stoppen, zelfs als beperkt door een remcurve van nadering van een rood sein.	Op de geplande stoplocatie wordt een TP geïmplementeerd en aan de dienstregeling en JP wordt een stop toegevoegd, met de routebepaling tot aan de geplande stopplaats.	ATO stopt nauwkeurig op de aangegeven locatie en op het aangegeven tijdstip.
1a2 Naderen van een geplande stop, niet in de buurt van EoA			x	Om te beoordelen of ATO nauwkeurig op de juiste tijd en locatie kan stoppen, zonder te worden beperkt door een rood of geel sein	Op de geplande stopplaats wordt een TP uitgevoerd en er wordt een stopplaats aan de dienstregeling en JP toegevoegd en de route wordt ingesteld op ten minste 2 seinen voorbij de geplande stopplaats	ATO stopt nauwkeurig op de aangegeven locatie en op het aangegeven tijdstip.
1a3 Met geplande stop bij EoA			x			
1a3a Vertrek na een stop op een ATBNG-lus			x	Om te beoordelen of ATO correct kan vertrekken als er een ATBNG-lus beschikbaar is	Trein staat stil, bovenop een ATBNG-lus. Na ontvangst van het groene sein schakelt de machinist ATO in.	ATO vervolgt zijn reis door te accelereren naar de gewenste snelheid
1a3b Vertrek na een stop, niet op een ATBNG-lus			x	Om te beoordelen of ATO correct kan vertrekken als er <u>geen</u> ATBNG-lus beschikbaar is	Trein staat stil op een spoor zonder ATBNG-lus. Na ontvangst van het groene sein schakelt de machinist ATO in.	ATO zet zijn reis voort door te accelereren naar vrijgavesnelheid. Na het passeren van het ATBNG baken met nieuwe EoA, zal de ATO accelereren naar de gewenste snelheid
1a3c Vertrek na een stop, niet in de buurt van een EoA			x	Om te beoordelen of ATO correct kan vertrekken als het niet in de buurt van zijn EoA is	Trein staat stil op een spoor niet in de buurt van EoA (bijv. open lijnhalte). Na de halteertijd schakelt de machinist ATO in. (De test kan ook worden uitgevoerd op een baanvak zonder ATBNG baken, als het perronsein al ten minste 2 seinen vooruit op groen stond)	ATO vervolgt zijn reis door te accelereren naar de gewenste snelheid
1b Normale rit met korte opvolgtijd (nauwkeurig rijden)			x			
1b1 kort volgen met tijdtolerantie 0 seconden			x	Om te zien of treinen die op ATO rijden de betreffende dienstregeling nauwkeuriger kunnen volgen, zodat treinen kunnen rijden met een kortere interval	Op een geplande locatie wordt een TP geïmplementeerd. De JP vermeldt de vereiste passeertijd bij de TP en de vereiste precisie, 0 (zeer krappe tolerantie) of 120 seconden (losse tolerantie) T_Arrival_Window = 0	ATO passeert de TP op het gewenste moment binnen de vereiste precisie
1b2 kort volgen met tijdtolerantie 120 seconden			x	Om te zien of treinen die op ATO rijden de betreffende dienstregeling nauwkeuriger kunnen volgen, zodat treinen kunnen rijden met een kortere interval	Op een geplande locatie wordt een TP geïmplementeerd. De JP vermeldt de vereiste passeertijd bij de TP en de vereiste precisie, 0 (zeer krappe tolerantie) of 120 seconden (losse tolerantie) T_Arrival_Window = 120	ATO passeert de TP op het gewenste moment binnen de vereiste precisie

1c	Normale rit met vaste snelheidsbeperking		x	x	Om te zien of ATO voldoet aan een vaste snelheidsbeperking	De test is gepland op een locatie met een vaste snelheidsbeperking, waarbij de route en de JP zodanig zijn gekozen, dat de trein bij aanvang van het testscenario sneller moet rijden dan de snelheidsbeperking die geldt aan het eind van het testscenario	De ATO-trein rijdt bij de start van het testscenario bijna de maximaal toegestane snelheid. Op voldoende afstand remt ATO af en bereikt net voor aanvang van de snelheidsbeperking de toegestane snelheid van de snelheidsbeperking.
1d	Normale rit met wissel gerelateerde snelheidsbeperking		x	x	Om te zien of ATO voldoet aan een wissel gerelateerde snelheidsbeperking	De test wordt gepland bij een wissel in de afbuigende stand met een snelheidsbeperking, waarbij de route en de JP zodanig zijn ingesteld, dat de trein bij het begin van het testscenario sneller moet rijden dan de snelheidsbeperking bij de wissel	De ATO-trein rijdt bij de start van het testscenario bijna de maximaal toegestane snelheid. ATO vertraagt op voldoende afstand en bereikt de toegestane snelheid bij de wissel vlak voor het begin van de wissel
1e	Normale rit met helling		x	x			
1e1	Voorkom rijden met te lage snelheid op hellingen		x	x	Nagaan of ATO zich houdt aan de toegestane snelheden op hellingen en hoe het ATO-systeem efficiënt omgaat met hellingen	Er zal geen specifieke opstelling worden gemaakt. Voor Zuidhorn worden speciale runs zonder stops ingepland om het ATO-gedrag te analyseren.	Het ATO-systeem gaat op een efficiënte manier om met hellingen
3a	Spoorwijzigingen		x	x			
3a1	Spoor gewijzigd in JP tijdens rit		x	x	Om te zien of ATO tijdens een rit geplande spoorwijzigingen aankan	De test wordt gepland op een locatie waar meerdere routes mogelijk zijn. De route is ingesteld via route B en de JP stelt dat de trein zal rijden via route A	De trein rijdt volgens de JP. Op de vooraf ingestelde tijd ontvangt de trein de route-update en past zich daarop aan. De trein rijdt volgens de JP via route B
3a2	Spoor gewijzigd, maar niet in JP. Spoor in JP is anders dan het daadwerkelijk gereden spoor			x	Om te zien of ATO kan omgaan met ongeplande spoorwijzigingen tijdens een rit	Om te zien wat de reactie is als ATO een andere route tegenkomt dan in de JP	ATO herkende de wijziging van het spoor en schakelt uit.
3b	Passagertijd wijzigingen tijdens een rit			x	Om te zien hoe ATO reageert, als de passeertijden in de JP tijdens de rit worden bijgewerkt	De test is gepland op een TP-locatie. De route is uitgezet en de JP heeft een passeertijd aangegeven aan de TP.	De ATO rijdt volgens de JP en past na ontvangst van de JP-update het rijden dienovereenkomstig aan, om te voldoen aan de nieuwe JP. Waarbij waarschijnlijk ook moet worden geremd om te voorkomen dat de TP te vroeg wordt overschreden.
4a	onverwacht rood sein			x	Om te beoordelen of ATO kan omgaan met een onverwacht rood sein	Op een geplande locatie eindigt de route-instelling, maar in de JP is geen stop gepland.	ATO laat de trein rijden en probeert zich aan de JP te houden, maar als ATO het onverwachte rode sein tegenkomt, zal voor het rode sein gestopt worden.
4b	Hinder van een andere trein			x			
4b1	Kruisende trein voor vertraagd, JP niet bijgewerkt			x	Om te zien hoe het ATO-systeem zich aanpast aan hinder door vertraagde treinen ervoor	Op een geplande locatie is de route-instelling vertraagd ten opzichte van de gebruikelijke route-instelling voor de gebruikte dienstregeling. De JP volgt nog steeds de gebruikelijke dienstregeling	ATO laat de trein volgens JP rijden, komt de vertraagde route-instelling tegen en houdt zich aan de daaruit eventueel voortvloeiende remcurve. Op het moment dat de route wordt verlengd, versnelt de trein weer en probeert hij de verloren tijd in te halen
4b2	Voorgaande trein vertraagd. JP bijgewerkt			x	Om te beoordelen hoe ATO omgaat met een vertraagde trein	Meerdere blokken met route-instellingen worden stap voor stap vertraagd, om een stoptrein direct	De ATO-trein rijdt volgens de JP en ontvangt een JP-update, ATO probeert zich aan de nieuwe JP te

				voor hem, als de JP wordt bijgewerkt om dit weer te geven.	voor de ATO-trein te simuleren. De vertraagde route-instelling wordt vooraf berekend om een trein te simuleren die bijvoorbeeld 80 km/uur rijdt, en wordt door de treindienstleider handmatig uitgevoerd. De test begint met een JP voor een normale rit naar de trein, maar een bepaalde tijd van tevoren ontvangt de ATO-OB een bijgewerkte JP om de instelling van de vertraagde route weer te geven. De bijgewerkte JP wordt vóór de test gemaakt en op het aangewezen tijdstip naar de trein gezonden.	houden en zo directe hinder van de vertraagde route-instelling in de vorm van gele of rode seinnaderingen te vermijden.
4b3	Voorgaande trein vertraagd. JP niet bijgewerkt		x	Om te beoordelen hoe ATO omgaat met een vertraagde trein ervoor, als de JP niet is bijgewerkt	Meerdere blokken met route-instellingen worden stap voor stap vertraagd, om een stoptrein direct voor de ATO-trein te simuleren. De vertraagde route-instelling wordt vooraf berekend om een trein te simuleren die bijvoorbeeld 80 km/uur rijdt, en wordt door de treindienstleider handmatig uitgevoerd. De	De trein rijdt volgens de JP, maar stuit op gele of rode seinen vanwege de vertraagde route-instelling. Niet bewust van het feit dat meerdere blokken een vertraagde route-instelling hebben, probeert ATO, telkens wanneer een sein op groen springt, zo snel te rijden als het veiligheidssysteem toestaat om de verloren tijd in te halen. Hierdoor ontstaat een zeer ongelijkmatige rit, waarbij de trein versnelt en veel moet remmen.
5a	TSR in ATBNG		x			
5a1	TSR (<i>niet</i>) opgenomen in SP		x	Om te zien of ATO kan omgaan met een TSR die is opgenomen in ATBNG en ATO.	Er zijn twee mogelijke opstellingen mogelijk: 1. Op een gekozen locatie wordt een TSR opgenomen in ATBNG. De JP en SP worden niet bijgewerkt om dit weer te geven 2. Er wordt gebruik gemaakt van een locatie met een permanente snelheidsbeperking. De SP hanteert op deze locatie een hogere snelheid dan is toegestaan en voor de JP wordt deze hogere snelheid gebruikt in de TP-tijden.	De trein rijdt volgens JP en komt de TSR tegen. ATO houdt zich aan de veiligheidsomslag van ATBNG en probeert de verloren tijd in te halen
5a2	TSR niet (<i>niet</i>) opgenomen in SP		x	Om te zien of ATO een TSR aankan die wel in ATBNG maar niet in ATO is opgenomen.	Er zijn twee mogelijke opstellingen mogelijk: 1. Op een gekozen locatie wordt een TSR opgenomen in ATBNG en de SP. De JP is niet bijgewerkt om dit weer te geven 2. Er wordt gebruik gemaakt van een locatie met een permanente snelheidsbeperking. De SP bevat deze TSR, maar in de JP wordt een hogere snelheid gebruikt in de TP-tijden.	De trein rijdt volgens JP en komt de TSR tegen. ATO houdt zich aan de SP en probeert de verloren tijd in te halen

11a	Huidige operationele dienstregeling, zo energie-efficiënt mogelijk		x	Om te beoordelen hoe stipt en energie-efficiënt ATO kan draaien	De dienstregeling en route-instelling zijn identiek aan de huidige commerciële dienstregeling. De JP hanteert deze dienstregeling	De trein rijdt stipt en op een energie-efficiënte wijze
11b	Dit scenario kan zo snel mogelijk worden uitgevoerd zonder en met vertraagd remmen om verschillen in treinreistijden aan te tonen	x	x	Om te zien wat de snelst mogelijke reistijd is zonder ATBNG vertraagd remmen	De route is zodanig ingesteld, dat de trein de gebruikelijke rode seinen tegenkomt zoals tijdens commerciële dienst. En dus stopt de trein gedurende een realistische tijd op de normale commerciële stopplaatsen.	De trein rijdt zo snel mogelijk, terwijl hij nog steeds voor een realistische tijd stopt bij de normale commerciële haltes.
11c	Tussentijdse dienstregeling tussen 11a en 11b, zo efficiënt mogelijk		x	Om te zien of ATO met een snellere dienstregeling punctueel en energie-efficiënt kan rijden	De dienstregeling en de route-instelling zijn volgens een schema, dat ligt tussen de huidige commerciële dienstregeling en de snelst mogelijke reistijd. De JP hanteert deze dienstregeling	De trein rijdt volgens de JP, maar verbruikt meer energie en heeft meer vertragingen in vergelijking met 11a
12	Verkorten MA door herroepen signaal		x	Om te zien of ATO het verkorten van MA binnen ATBNG correct verwerkt en de trein op de juiste positie tot stilstand brengt (direct voor het rode sein).	De route is in eerste instantie zodanig ingesteld, dat de trein alleen groene seinen tegenkomt	De trein stopt op de juiste positie voor het herroepen sein. Het hervatten mag alleen worden gestart door de machinist.

Bijlage 3: Samenvatting

Wat is ATO?

ATO is een technologie die geautomatiseerd rijden op het spoor mogelijk maakt. Het geteste ATO-systeem ondersteunt de machinist en neemt taken over. In een ATO-systeem kunnen de handelingen die de machinist uitvoert, afhankelijk van het niveau van automatisering, voor een deel of volledig geautomatiseerd worden. In deze verkenning is het tweede niveau van automatisering getest (GoA2). Dat houdt in dat het systeem de remmen en de tractie aanstuurt. De machinist en conducteur blijven de overige taken uitvoeren. Dit niveau van automatisering is vergelijkbaar met de automatische piloot in een vliegtuig.

Een ATO-systeem bestaat uit een systeem in de trein (ATO-OnBoard) en een systeem dat gekoppeld is aan de verkeersleiding (ATO TrackSide). De ATO-OnBoard zit in de trein geïntegreerd en haalt data uit de boordcomputer en/of OnBoard van het (ERTMS-ETCS/ATB) treinbeïnvloedingssysteem (zoals locatie, snelheid, rijtoestemming). Aan de hand van deze data kan de ATO-OnBoard de ideale snelheid, rem- en acceleratiecurve berekenen en 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. Hierdoor ontstaat er meer ruimte op het spoor waardoor treinen dichter op elkaar kunnen rijden met een hogere punctualiteit. Lokale knelpunten kunnen worden opgelost en het spoor kan hierdoor meer treinen tegelijk aan. 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.

Proeven in Groningen

In het voorjaar van 2019 hebben ProRail, de provincie Groningen, vervoerder Arriva Nederland en treinfabrikant Stadler de eerste testen uitgevoerd met ATO (fase 1). Tijdens deze testen was de machinist nog altijd verantwoordelijk voor de veiligheid op de trein. De testen vonden plaats op de spoorlijn Groningen - Zuidhorn, onder het ATBNG treinbeïnvloedingssysteem. ATBNG staat voor "Automatische Treinbeïnvloeding Nieuwe Generatie" een treinbeïnvloedingssysteem dat machinisten helpt te voorkomen dat zij spoorwegseinen missen.

Na deze eerste succesvolle proef zijn er eind 2019 en begin 2020 vervolgprouven uitgevoerd (fase 2). De eerste testritten met reizigers in een automatisch bestuurd trein hebben in de praktijk plaatsgevonden, om ook de ervaring van reizigers mee te kunnen nemen. Deze testen vonden plaats op de spoorlijn Groningen – Buitenpost.

Naar aanleiding van deze testen ontstond er behoefte aan aanvullende antwoorden op specifieke functionaliteiten van ATO.

In de zomer van 2021 zijn er opnieuw ATO prouven uitgevoerd door bovenstaande partijen om aanvullende specifieke functionaliteiten van ATO te testen (fase 2b). Deze tests bestonden uit een aantal onderdelen:

- Rijden volgens een tijdschema, dat ook kan veranderen tijdens het rijden. Om zo te onderzoeken hoe ATO omgaat met vertragingen of wijzigingen tijdens de rit.
- Testen met stoppen op de juiste positie langs het perron
- Rijden volgens een energiezuinig profiel; te kijken of de inzet van ATO leidt tot energiebesparing. Het idee is dat ATO gelijkmatiger en consequenter rijdt.

Hoe nauwkeurig de trein kan stoppen (in tijd en positie) is voor een groot gedeelte afhankelijk van hoe goed het ATO-systeem weet waar het op dat moment is, de positiebepaling. Tijdens de eerdere prouven is er vooral gebruik gemaakt van GPS om het startpunt van de rit te bepalen, vervolgens werd het aantal omwentelingen van de wielen van de trein gemeten om te bepalen waar de trein was. Tijdens de testen in 2021 (fase 2b) is ook gekeken naar informatiebakens in het spoor. Door het ATO-systeem te voeden met informatie over de ligging van informatiebakens kan ook het systeem met

meer nauwkeurigheid de positie bepalen waar de trein is. Dit is vergelijkbaar met de positiebepaling van het treinbeveiligingssysteem ERTMS.

ERTMS is een nieuw, Europees, treinbeveiligingssysteem wat uiteindelijk de nieuwe standaard wordt op het spoor.

Hieronder volgen per onderdeel de resultaten van de proef uit 2021.

Rijden volgens een tijdschema en wijzigingen daarop

Tijdens de proef is geprobeerd om volgens een vooraf ingesteld tijdschema te rijden, met de mogelijkheid om deze tijdens het rijden te kunnen wijzigen. Dit om te kijken of het ATO-systeem kan omgaan met wijzigingen die in een normale dienstregeling kunnen voorkomen. Als voorbeeld kan hierbij gedacht worden aan een trein die door een onvoorziene vertraging achter loopt op de dienstregeling, daardoor even moet wachten op een tegemoetkomende trein en volgens de opgelopen vertraging probeert goed te maken.

De wijzigingen in het tijdschema werden correct verwerkt door de trein. De trein paste zijn snelheid hierop aan, mits deze niet te kort van tevoren werden doorgegeven aan het ATO-systeem. Een te korte tijd om een grote wijziging te verwerken, zorgt ervoor dat de wijziging niet tijdig doorgevoerd kan worden.

Resultaat:

De proef heeft laten zien dat het ATO-systeem kan rijden volgens een dienstregeling. Ook wijzigingen van het tijdschema tijdens het rijden, wijzigingen van het spoor waarop gereden moet worden en wijzigingen hoe het spoor eruit ziet (zoals maximum snelheid) worden door het systeem correct verwerkt.

Testen met stoppen op de juiste positie langs het perron

Op dit moment wordt door middel van borden en seinen langs het spoor aangegeven waar de trein moet stoppen, zodat deze op de juiste positie stopt langs het perron. ATO zou automatisch moeten kunnen weten waar er gestopt moet worden en ATO weet ook precies hoe de trein optimaal kan remmen. Hierdoor wordt in theorie later geremd en preciezer gestopt. Dit vertaalt zich in kortere halteertijd en kortere reistijd.

Met de testtrein werd beproefd of deze op de juiste positie en op het juiste tijdstip tot stilstand kon worden gebracht, door deze informatie in te voeren in het ATO-systeem. En daarna veel ritten te gaan rijden en de trein de opdracht te geven om steeds op dezelfde positie te stoppen.

Resultaat:

De testresultaten lieten zien dat met een bandbreedte van +/- 3 meter de trein kon stoppen op gevraagde positie langs het perron en op het juiste tijdstip tot stilstand worden gebracht. Dit resultaat is binnen de gestelde marges en voldoet aan de verwachtingen.

Rijden volgens een energiezuinig profiel

Bij een vliegtuig of in de auto zorgt een cruise-control ervoor dat er zuiniger wordt gereden. Dit heeft te maken met een meer constante snelheid van het voertuig. In theorie is dit ook het geval bij een trein met ATO. Daarnaast weet het ATO-systeem heel nauwkeurig hoe het spoor eruit ziet, maar ook de halteertijd en hoe laat het uiterlijk aan het perron moet staan. Daarmee is voor het systeem duidelijk of er meer of minder met maximale snelheid gereden moet worden.

Resultaat:

Tijdens de proef is gekeken naar de mate van energiebesparing. Helaas is er op dit moment geen uitspraak te doen over hoeveel energie een ATO trein bespaart ten opzichte van de huidige dagelijkse operatie. Wel is er een daling van het energieverbruik waargenomen tussen de verschillende geteste ATO programma's: rijden op volle snelheid en rijden met een economische rijstijl. Hoe meer tijd de trein krijgt om van A naar B te rijden, hoe zuiniger het ATO-systeem dat doet.

Dat er nog geen uitspraken gedaan kunnen worden over het verschil in energieverbruik heeft meerdere redenen.

1. Er was geen goede tijdsynchronisatie van het ATO-systeem met de werkelijkheid, daardoor werden de gegeven opdrachten door het systeem anders geïnterpreteerd dan verwacht.
2. De functie voor het passeren van punten waar niet gestopt hoeft te worden (zoals bruggen en wissels), was niet juist geïmplementeerd.
3. Het ATO-systeem remde minder agressief dan tijdens de vorige fases. Het ATO-systeem remde eerder om op tijd stil te staan, daardoor was er ook minder tijd over om energie te besparen.

Noot: Er is meer informatie nodig over het huidige energieverbruik om een goede vergelijking te kunnen maken met het verbruik onder dit ATO-systeem.

Algehele conclusie & aanbevelingen

Algehele conclusie: Dit ATO-systeem heeft de gevraagde functionaliteiten kunnen uitvoeren. Echter liet de repeteerbaarheid te wensen over en is daarmee het kwantificeren van de potentie minder goed gelukt.

Op een correcte manier verzekerd zijn dat de trein mag gaan rijden, maar ook het bepalen van de positie tijdens het rijden zijn belangrijke elementen van het ATO-concept. Voor beide elementen was dit ATO-systeem afhankelijk van informatie uit het huidige treinbeïnvloedingssysteem (ATBNG). Het interpreteren van deze informatie bleek lastig tijdens deze test voor deze leverancier.

Op basis van dit ATO-systeem concluderen we dat er voor ATO over ATBNG nog een flinke ontwikkelslag noodzakelijk is. Met de komst van het nieuwe treinbeveiligingssysteem ERTMS op de noordelijke lijnen, zal het ontwikkelen van ATO op de noordelijke lijnen makkelijker zijn dan onder het huidige systemen. Dit omdat de integratie van informatie tussen ATO en ERTMS al in specificaties zijn vastgelegd. Om inzicht te krijgen in de potentiële energiebesparing van ATO, is het advies om hier specifiek vervolgonderzoek naar te doen.