

Uitrolgedrag op het spoor

Bachelor onderzoek naar uitbreiding van de functionaliteit van Arcadis' spoorontwerp beoordelings applicatie Xandra



Thijs ten Siethof

Universiteit Twente
Arcadis Amersfoort

Opdrachtperiode: 10 april tot en met 3 juli 2017

Uitrolgedrag op het spoor

Bachelor onderzoek naar uitbreiding van de functionaliteit van
Arcadis' spoorontwerp beoordelings applicatie Xandra

Definitieve versie

03-07-2017

Opdrachtgever:

Arcadis Amersfoort

Begeleider

Rikus Koops

Onderwijsinstelling:

Universiteit Twente

Kasper van Zuilekom

Voorwoord

Voor u ligt het onderzoeksrapport naar UZI-rijgedrag en de vertaling van dit gedrag naar een nieuwe functie in Xandra. In de maanden april tot en met juni heb ik onderzocht hoe UZI-rijgedrag beschreven kan worden en hoe dit vervolgens gebruikt kan worden om de functionaliteit van Xandra uit te breiden. Dit onderzoek is uitgevoerd ten behoeve van de afronding van de Bachelor Civiele Techniek aan de Universiteit Twente en uitgevoerd bij Arcadis, afdeling Railstudies en Beveiliging te Amersfoort.

Dit voorwoord wil ik tevens gebruiken om een aantal personen te bedanken. Allereerst wil ik graag mijn begeleider bij Arcadis bedanken. Rikus koops heeft mij de ruimte gegeven om in overleg deze interessante en uitdagende opdracht samen te stellen. Ik dank hem zeer voor de interesse die hij in mijn opdracht heeft getoond en het vertrouwen in mij. Daarnaast wil ik ook graag alle collega's van Arcadis die betrokken zijn geweest bij mijn onderzoek bedanken voor hun hulp en nieuwe inzichten. Zij hebben er mede voor gezorgd dat ik een leerzame en leuke tijd heb gehad bij Arcadis.

Ook gaat grote dank uit naar Wilco Tielman, ProRail. Hij heeft mij geholpen aan de gps-gegevens en bleek telkens weer in staat een uitgebreidere dataset te leveren. Jan Hoogenraad, Gerben Scheepmaker en Jeroen Mulder dank ik voor de geleverde informatie.

Tenslotte wil ik Amarins Kroes en Dieuwert Blomjous bedanken voor de geleverde feedback op mijn verslag en wil ik Kasper van Zuilekom bedanken voor zijn feedback gedurende het onderzoek en tevens voor het aandragen van nieuwe ideeën voor het onderzoek.

Thijs ten Siethof,

Amersfoort, 3 juli 2017

Samenvatting

Sinds 2010 wordt door NS actief ingezet op energiezuinig rijden met treinen. Het energiezuinig rijden maakt gebruik van de extra tijd in de dienstregeling bovenop de minimaal benodigde rijtijd; de rijtijdspeling. De rijtijdspeling wordt normaliter gebruikt om vertraging op te vangen. Als er geen vertragingen zijn betekent dit dat treinen te vroeg aankomen op hun plaats van bestemming. Dit is niet nodig en daarom wordt de overgebleven rijtijdspeling gebruikt om uit te rollen. Door uit te rollen wordt geen energie verbruikt (er wordt geen tractie gegeven) en daarmee energiezuinig gereden.

Het uitrolgedrag levert veranderingen in het snelheidsprofiel op. Arcadis wil graag weten hoe zij het energiezuinig rijden in hun spoorontwerp beoordelings applicatie (Xandra) kunnen opnemen, om zo de functionaliteit van de applicatie uit te breiden. Dit onderzoek is er daarom op gericht het (energiezuinige) werkelijke rijgedrag te beschrijven en met deze informatie een advies te geven richting de ontwikkelaar van Xandra hoe dit ingepast kan worden.

Het energiezuinig rijden wordt binnen NS toegepast door te rijden volgens de energiezuinige rijstrategie UZI (Universeel Zuinig Rijden Idee). UZI geeft een vast punt aan, vanaf waar uitgerold moet worden; het uitrolpunt. Indien een trein uitrolt vanaf het uitrolpunt en geen vertraging heeft kan deze volgens de geplande tijd aangekomen worden op de aankomsthalte. Xandra kan dit gedrag simuleren. Een trein rolt uit totdat geremd moet worden, met een voor de reiziger, comfortabele remming (comfortremming). Voor een bredere analyse is gekeken naar het werkelijk gereden gedrag (machinistengedrag). Om dit gedrag vanuit de praktijk te beschrijven zijn gps-gegevens van gemeten ritten op het traject Rotterdam Blaak – Dordrecht – Roosendaal en vice versa geanalyseerd.

De beschrijving van het rijgedrag is gedaan aan de hand van ritfases; acceleratie-, constante snelheid-, uitrol- en remfase. De gemeten ritten zijn verdeeld in deze fases met behulp van een algoritme dat op basis van acceleratiegegevens bepaald in welke fase een deel van de rit zit. Door de invloed van tunnels en hellingen was het enkel mogelijk op het traject Dordrecht – Roosendaal een betrouwbaar resultaat te kunnen geven met het algoritme.

Uit de analyse bleek dat er een grote spreiding zit in het uitrolpunt van de gemeten ritten. De te verwachten piek rondom het aangegeven uitrolpunt in de UZI-tabellen was niet aanwezig. Van UZI-rijgedrag was dan ook zelden sprake. Het werkelijke rijgedrag is daarom niet alleen te simuleren met UZI-gedrag. In het werkelijke rijgedrag waren twee type machinisten te herkennen; een groene en een sportieve. Een groene machinist rolt uit en een sportieve niet. De groene machinist rolt uit tot een comfortremming moet worden ingezet.

Vervolgens is gekeken in hoeverre het seizoen, de treinsamenstelling en de vertrekvertraging invloed hadden op het rijgedrag van de machinist. Hieruit volgde dat het seizoen geen invloed had. De treinsamenstelling had invloed op de weerstand van de trein. Dit resulteerde in een hogere uitrolvertraging voor kortere treinsamenstellingen. Tenslotte zorgde de vertrekvertraging voor een kleine verschuiving in het uitrolpunt naar de aankomsthalte toe. Na drie minuten vertraging verviel de uitrolfase en werd er enkel nog geremd door machinisten

In Xandra zijn simulaties gemaakt op het onderzoekstraject en deze zijn vergeleken met de beschreven karakteristieken uit de data-analyse. Hieruit bleek dat de in Xandra gesimuleerde weerstand van de trein te hoog was gesimuleerd dan de in de ritten werd gemeten. Dit kwam door een weerstandsformule die niet juist was voor het simuleren van werkelijk rijgedrag. Er is vervolgens een formule opgesteld die generieke was voor het bepalen van de weerstand van een trein. Door deze in te vullen met parameters van Treinplein.net bleek dat deze de weerstand uit de gemeten ritten goed simuleerde.

Ook bleek dat het werkelijk rijgedrag veel variatie heeft in de gereden snelheidsprofielen. Xandra is niet ingericht om variatie aan te kunnen brengen in het gesimuleerde snelheidsprofiel. Om werkelijk rijgedrag te simuleren is het daarom nodig meerdere snelheidsprofielen te kunnen simuleren in één simulatie. Hiervoor is een splitsing in de type machinisten noodzakelijk. Door de splitsing kunnen karakteristieken per machinisttype worden meegegeven en ontstaat er variatie in de gesimuleerde snelheidsprofielen.

Inhoud

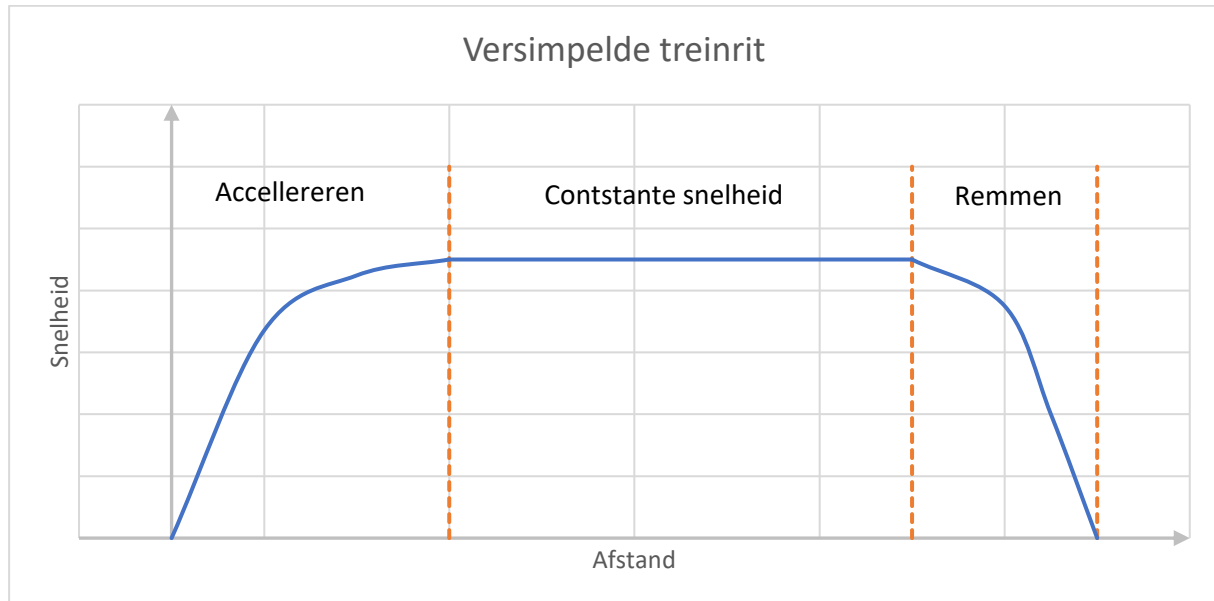
Voorwoord	3
Samenvatting	4
1 Introductie	8
1.1 Aanleiding	8
1.2 Onderzoeksvragen	9
1.3 Leeswijzer	9
2 Situatieschets	10
2.1 Infrastructuur	10
2.2 Dienstregeling	12
3 Literatuuronderzoek	13
3.1 Spoorsysteem in Nederland	13
3.2 Ritfases	14
3.3 UZI-rijgedrag	14
3.4 Xandra	15
3.5 ERTMS Pilot voorschriften voor uitrolgedrag	17
4 Data-analyse	19
4.1 Algemene beschrijving	19
4.2 Data correctie	19
4.3 Data filtering	19
4.4 Data karakterisering	22
4.5 Invloeden op het rijgedrag	29
5 Modelleren per fase ten behoeve van Xandra	33
5.1 Acceleratiefase	35
5.2 Constante snelheid fase	35
5.3 Uitrolfase	36
5.4 Remfase	37
6 Implementatie Xandra	38
7 Conclusie	40
8 Aanbevelingen	42
Overzicht afkortingen	42
Verwijzingen	43
Bijlage	46
Bijlage A: Spoorkaart 2016	46
Bijlage B: Overzicht infrastructuur	47

Bijlage C: Overzicht dienstregelpunten	48
Bijlage D: Hoogteprofielen	49
Bijlage E: BUP Rotterdam Centraal – Roosendaal	50
Bijlage F: Kenmerken treinsamenstellingen	51
Bijlage G: Seinbeelden NS'54	52
Bijlage H: UZI-kaartjes	53
Bijlage I: Weerstandformules	54
Bijlage J: Overzicht reminstellingen Xandra	57
Bijlage K: Seinbeelden t.g.v. rood sein	58
Bijlage L: Invloed bogen	59
Bijlage M: Ruwe data	61
Bijlage N: Cumulatieve frequenties	63
Bijlage O: Filter niet logische snelheden	65
Bijlage P: Conceptueel model fase herkenning algoritme	66
Bijlage Q: Voorbeeld classificering ritten	67
Bijlage R: Verschil sportieve en groene ritten	68
Bijlage S: Invloed seizoenen	71
Bijlage Q: Invloed treinsamenstellingen	71
Bijlage T: Vergelijking hellingweerstand	73
Bijlage U: Interview M. ten Broek	74
Bijlage V: Interview R. van Vooren	75
Bijlage W: Interview A. Katstra	75
Bijlage X: Interview J. Klok	75
Bijlage Y: Interview J. Mulder	75

1 Introductie

1.1 Aanleiding

Arcadis is de gebruiker, eigenaar en ontwikkelaar van de treinsimulatie applicatie Xandra. Deze applicatie is gemaakt voor het beoordelen van spoorontwerpen. Door de werkelijke spoorsituatie in de applicatie in te voeren kan de applicatie het gedrag van de trein bepalen onder invloed van infrastructuurontwerp, treinmaterieel, beveiligingssystemen, dienstregeling en voedingssystemen (Brand & Kalle, 2017). De applicatie veronderstelt dat een trein bij de start maximaal versnelt, vervolgens op maximaal toegestane snelheid rijdt en pas remt op het laatste moment dat een comfortabele rem mogelijk is. Een stereotype gesimuleerde treinrit, met daarin de drie fases in het snelheidsprofiel is geschetst in Figuur 1.1

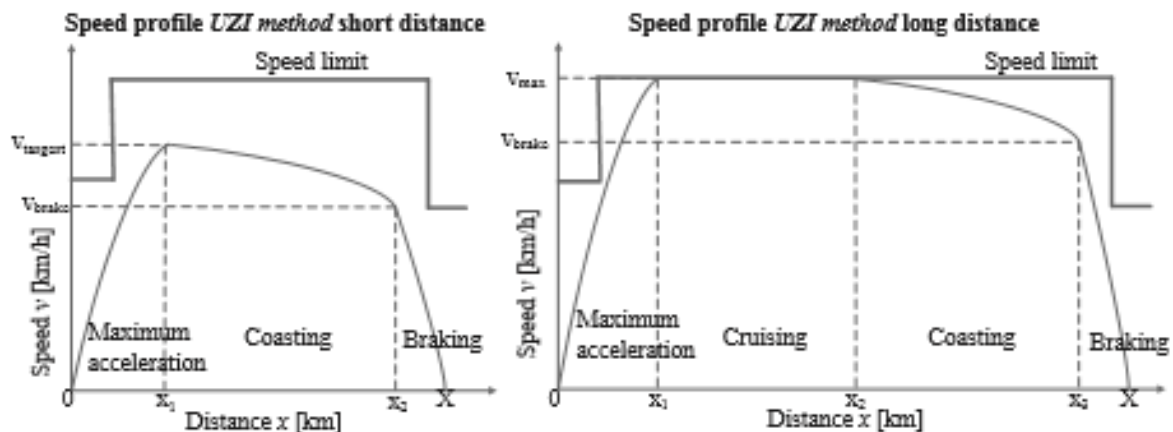


Figuur 1.1 – Snelheidsprofiel versimpelde treinrit gesimuleerd door Xandra

De tijd in de dienstregeling om van station A naar station B te komen is altijd groter dan de minimaal benodigde rijtijd. ProRail verplicht namelijk minimaal 5% van de minimaal benodigde rijtijd als extra tijd in de dienstregeling aan te houden om zo eventuele vertragingen in te kunnen lopen (ProRail, 2017). Deze extra tijd wordt rijtijdspeling genoemd.

Indien er geen vertragingen zijn kan de rijtijdspeling worden gebruikt om energiezuinig te rijden (EZR). Dit wordt gedaan door een trein uit te laten rollen. Een machinist rijdt dan minder lang op maximale snelheid en gebruikt het laatste deel van de rit om uit te uitrollen. Uitrollen is het volledig uitzetten van de energietoevoer naar de motor. Door de geringe weerstand van de trein ontstaat slechts een kleine snelheidsdaling en kan lang doorgereden worden, zonder dat de trein energie verbruikt. Hierdoor ontstaat slechts een kleine verhoging van de ritduur waardoor een machinist energie bespaart en tevens op tijd aankomt, mits er geen vertraging is.

Het uitrolgedrag wordt aanbevolen vanuit NS aan de machinisten. NS maakt gebruik van de rijstrategie UZI; "Universeel Zuinig rijden Idee". UZI is een vorm van EZR. Door op het juiste moment over te gaan van maximale snelheid naar uitrollen kan met UZI tot 7% energie op een rit worden bespaard en kan er nog steeds volgens de dienstregeling gereden worden (Luijt, Berge, Willeboordse, & Hoogenraad, 2017). UZI kent door het uitrollen een extra uitrolfase in het snelheidsprofiel. Bij korte ritten (<8 minuten) wordt de constante snelheid fase vervangen door de uitrolfase en voor langere ritten wordt de uitrolfase tussen de constante snelheid en rem fase geplaatst. Zie hiervoor Figuur 1.2.



Figuur 1.2 - Snelheidsprofiel UZI korte en lange afstanden (Scheepmaker & Goverde, 2015)

UZI zorgt dus voor een verandering in het werkelijke snelheidsprofiel. Dit UZI-gedrag is niet opgenomen in Xandra. Arcadis wil Xandra graag kunnen gebruiken om UZI-gedrag te simuleren en wil daarom weten welke aanpassingen zij moeten maken in Xandra om UZI-gedrag te simuleren. Dit onderzoek is er daarom op gericht rijgedrag karakteristieken voor een UZI-snelheidsprofiel te ontwikkelen en deze vervolgens te vertalen naar een nieuwe functie in Xandra die het mogelijk maakt UZI-rijgedrag te simuleren. Het opstellen van deze rijgedrag karakteristieken wordt in dit onderzoek uitgevoerd aan de hand van een data-analyse.

1.2 Onderzoeksvragen

Voor het onderzoek is het UZI-rijgedrag breder bekeken als machinistengedrag. De hoofdvraag voor dit onderzoek luidt daarom als volgt:

Hoe kan machinistengedrag worden beschreven op basis van gps-data op het traject Rotterdam Blaak-Dordrecht-Rosendaal en hoe kan dit gedrag worden vertaald naar een nieuwe uitrolfunctie in Xandra?

Voor een gestructureerde onderzoeksmethode is de hoofdvraag opgesplitst in meerdere deelvragen. De deelvragen zijn als volgt:

1. Hoe wordt de beschikbare spoorinfrastructuur en dienstregeling informatie vertaald naar Xandra?
2. Wat is de prestatie van Xandra zonder nieuwe inputvariabelen?
3. Hoe kan op basis van gps-data op het traject Rotterdam Blaak-Dordrecht-Rosendaal een algemene treinrit worden beschreven?
4. Hoe kan op basis van gps-data op het traject Rotterdam Blaak-Dordrecht-Rosendaal een UZI-treinrit worden beschreven?
5. Hoe kunnen de eigenschappen van machinistengedrag in Xandra worden vertaald?

De antwoorden op de deelvragen worden niet los beantwoord, maar zijn te beantwoorden met de inhoud uit dit document. De hoofdvraag wordt specifiek beantwoord in hoofdstuk 7.

1.3 Leeswijzer

Eerst zullen de infrastructurele kenmerken op het onderzoekstraject worden beschreven en vervolgens de gereden dienstregeling. In hoofdstuk 3 wordt relevante literatuur verzameld als achtergrond voor de data-analyse. In hoofdstuk 4 wordt de data daadwerkelijk geanalyseerd. In hoofdstuk 5 wordt deze vergeleken met Xandra simulaties en in hoofdstuk 6 wordt het beschreven rijgedrag vertaald naar een in Xandra in te passen UZI-functie. Tenslotte wordt een conclusie gegeven en een aanbeveling gedaan voor vervolgonderzoek.

De afkortingen die in dit onderzoek worden gebruikt zijn te vinden op pagina 42.

2 Situatieschets

2.1 Infrastructuur

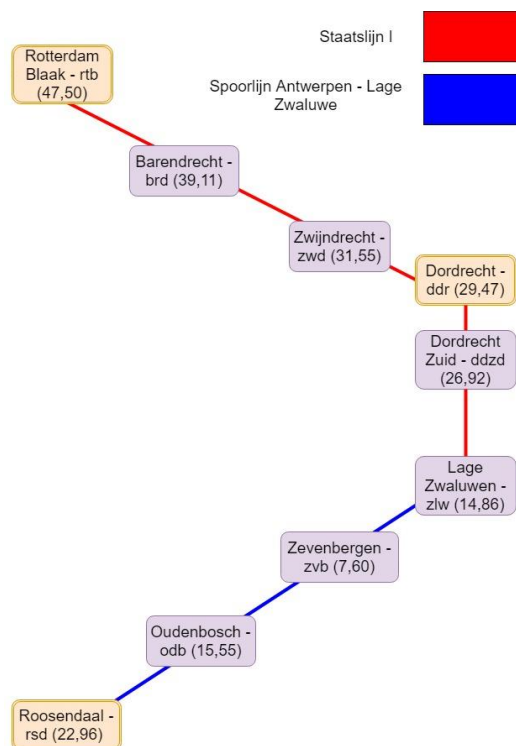
Het Nederlandse spoorwegennetwerk heeft een totale lengte van 3223 km en daarop worden elk jaar 152 miljoen kilometers afgelegd met de trein (ProRail, 2017). Dit spoornetwerk bestaat uit meerdere spoorlijnen waarover verschillende treinseries rijden. De spoorlijnen kunnen bestaan uit meerdere sporen. Een overzicht van de diensten en spoorlijnen is te vinden in Bijlage A: Spoorkaart 2016. Het kan voorkomen dat treindiensten gebruik maken van meerder spoorlijnen.

Vanwege de geringe tijd voor deze bachelor eindopdracht kost het te veel tijd om ritten van alle treindiensten te analyseren. Daarom wordt in dit onderzoek alleen gekeken naar het traject Rotterdam Blaak – Dordrecht – Roosendaal en vice versa. Het voordeel aan dit traject is dat er eerder simulaties gedaan zijn door Arcadis op dit traject, waardoor informatie van infrastructurele kenmerken makkelijk te achterhalen is. De treinserie 2600 van NS reed in 2016 op dit traject. Deze serie reed als intercity tussen Lelystad Centrum en Vlissingen. De treinserie maakt op het betrokken traject gebruik van meerdere spoorlijnen. Elke spoorlijn heeft zijn eigen kilometrering. Voor Staatslijn I begint deze in Breda en voor Spoorlijn Antwerpen – Lage Zwaluwe in Lage Zwaluwe. Een overzicht van de stations op het traject met de bijbehorende stations afkortingen en kilometreringen is te vinden in Figuur 2.1. De topografie van het gebied is te vinden in Bijlage B: Overzicht infrastructuur.

Om te voorkomen dat er onduidelijkheden ontstaan in de kilometreringen doordat gereden wordt over meerdere spoorlijnen zijn voor alle trajecten eigen kilometreringen ingesteld die gelden voor alle berekeningen en grafieken in dit onderzoek. In Bijlage C: Overzicht dienstregelpunten is een overzicht gemaakt van de metring op het traject en de bijbehorende metring in dit onderzoek.

2.1.1 Hoogteprofiel

Op het traject zijn er hoogteverschillen door invloed van natuur, bruggen, tunnels en dijken. De verschillen in hoogte hebben invloed op de rijweerstand van een trein (Pachl, 2002). Een inventarisatie van de hoogteverschillen is benodigd om de invloed hiervan op het rijgedrag te kunnen filteren. In Figuur 2.2 & Figuur 2.3 ² staan de hoogtegegevens ten opzichte van N.A.P. Elk groot hoogteverschil is benoemd ¹. De hoogtegegevens zijn afkomstig van detaillijsten per spoortak van ProRail. Spoortakken zijn specifieke stukken spoor met een identieke naam.

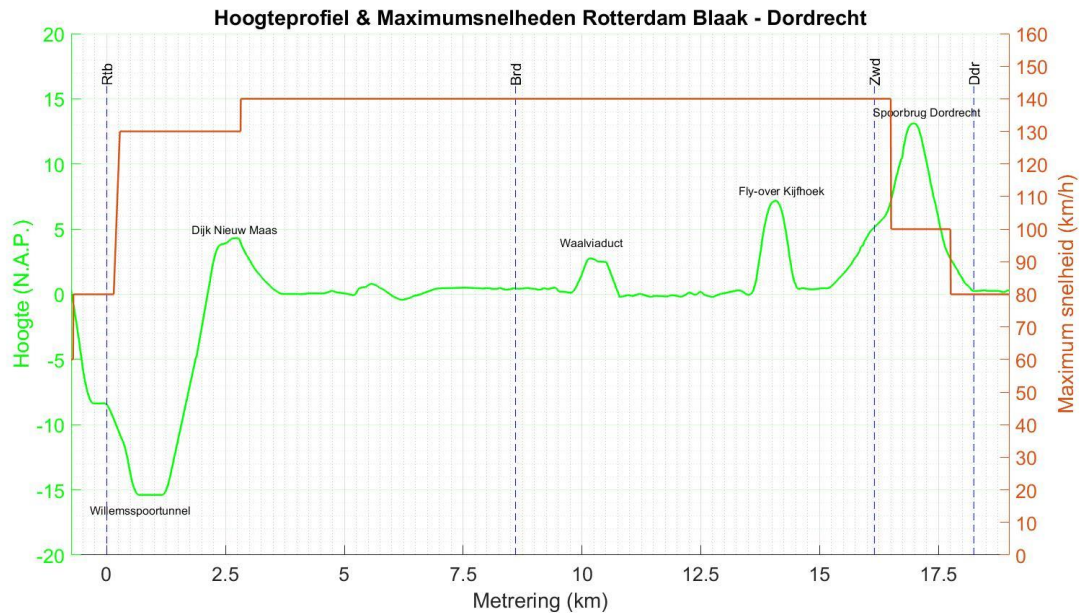


Figuur 2.1 - Overzicht traject, treinserie 2600 stopt op oranje gekleurde stations

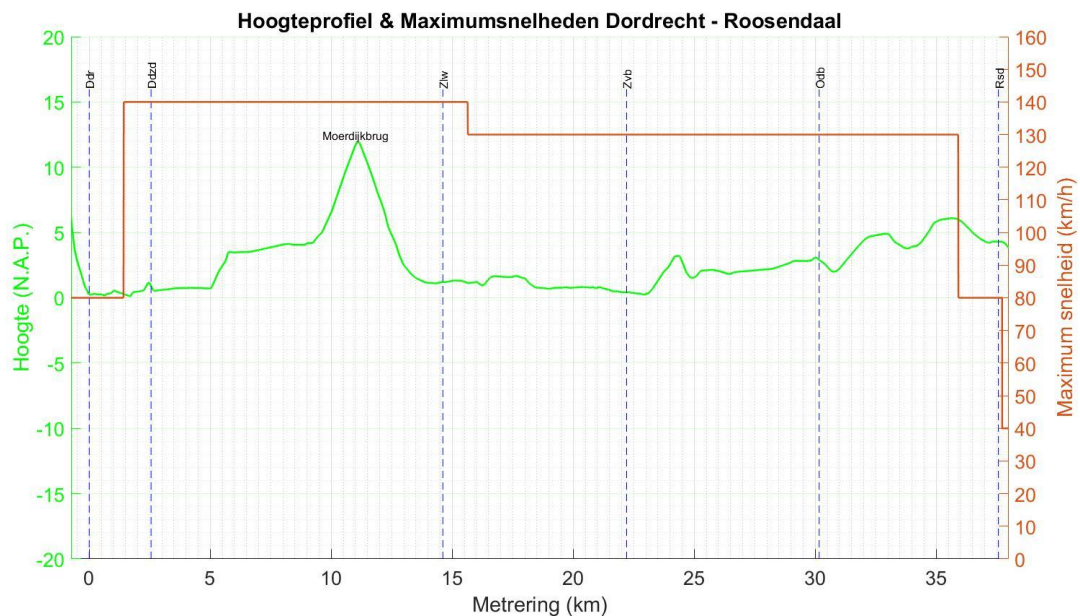
¹ Willemsspoortunnel (Oud & Koten, 1987), Dijk Nieuwe Maas (ter Horst, 2010), Waalviaduct (OSM, 2007), Fly-over Kijfhoek (ProRail, 2016), Spoorbrug Dordrecht & Moerdijkbrug (Bruggenstichting, 2017).

2.1.2 Maximumsnelheden

Op alle Nederlandse spoortrajecten geldt een maximaal toegestane snelheid. Deze snelheid geeft de gewenste rijnsnelheid aan. De maximaal toegestane snelheid heeft dus invloed op werkelijk gereden snelheid en kan hierdoor verklaringen geven voor gereden snelheden bij het analyseren van data. De maximale snelheden geplot in Figuur 2.2 en Figuur 2.3².



Figuur 2.2 – Hoogteprofiel en maximumsnelheden Rotterdam Blaak – Dordrecht



Figuur 2.3 – Hoogteprofiel en maximumsnelheden Dordrecht - Roosendaal

² Het hoogteprofiel en de maximumsnelheden zijn in omgekeerde richting nagenoeg gelijk, daarom is zijn deze figuren te vinden in Bijlage D: Hoogteprofielen.

2.2 Dienstregeling

Voor dit onderzoek is het van belang te weten op welke tijd en plaats een trein had moeten zijn volgens de dienstregeling. Zo kan een vergelijking worden gemaakt tussen de geplande, gemeten en gesimuleerde ritduur. De geplande rijtijden volgens de dienstregeling 2015 en 2016 zijn te vinden in Tabel 2.1. Deze zijn afgeleid uit Basis Uur Patroon, zie Bijlage E: BUP Rotterdam Centraal – Roosendaal.

Tabel 2.1 – Rijtijd volgens dienstregeling 2015 & 2016 gebaseerd op BUP

Station	Tijd in dienstregeling
Rotterdam Blaak - Dordrecht	12 min (720 sec)
Dordrecht - Rotterdam Blaak	11 min (660 sec)
Roosendaal - Dordrecht	22 min (1320 sec)
Dordrecht - Roosendaal	22 min (1320 sec)

2.2.1 Treintype

De 2600 serie reed met het treintype VIRM. De VIRM kan in verschillende treinsamenstellingen rijden. Op het onderzoekstraject reedt deze in de volgende samenstellingen:

- VIRM4
- VIRM6
- 2x VIRM4
- VIRM6, VIRM 4

Voor kentallen van deze samenstellingen kan gekeken worden in Bijlage F: Kenmerken treinsamenstellingen.



Figuur 2.4 - VIRM 4 trein (Wilco, 2016)

3 Literatuuronderzoek

Het analyseren en beoordelen van data is alleen mogelijk met achtergrondkennis van treinritten en simulatiemodellen. Daarom wordt in dit hoofdstuk een literatuuronderzoek uitgevoerd om deze kennis te vergaren.

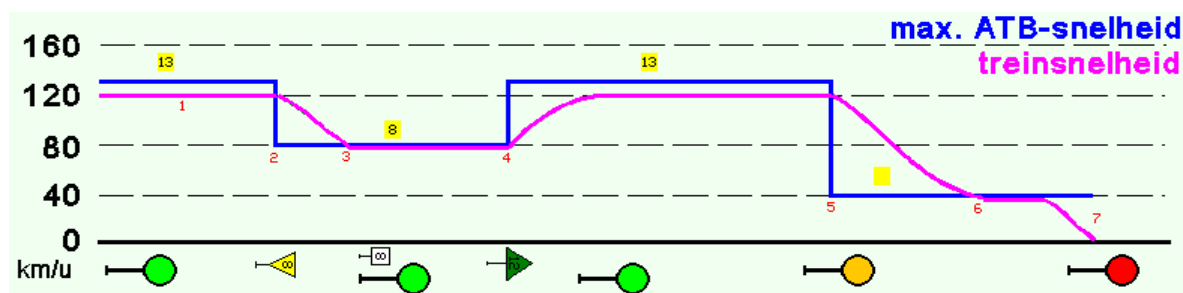
3.1 Spoorstelsel in Nederland

Zoals in hoofdstuk 2.1 besproken rijden er in Nederland verschillende treindiensten over verschillende spoorlijnen in Nederland. In totaal gaat dit om ongeveer 9000 treinritten per dag (ProRail, 2017). Om ongelukken te voorkomen wordt er gebruik gemaakt van een beveiligingssysteem. Het beveiligingssysteem bestaat uit treindetectie; dat detecteert waar treinen rijden en ten tweede de beveiligingstechniek dat op basis van de treindetectie bepaald waar andere treinen niet mogen rijden. Dit wordt vervolgens gecommuniceerd naar de machinisten met behulp van seinen. Op het onderzoekstraject wordt het NS'54 seinstelsel gebruikt (Bijlage V: Interview R. van Vooren).

Blokbeveiliging is de beveiligingstechniek die wordt toegepast op bijna alle spoorlijnen in Nederland (Pieters, 2015). Dit is ook het geval op het onderzoekstraject. Blokbeveiliging gaat ervan uit dat een spoor verdeeld is in blokken, waarbij in één blok hoogstens één trein kan zijn. De treindetectie bepaalt in welk blok zich een trein bevindt. Voorafgaand aan elk blok wordt een sein geplaatst. Indien het sein groen toont is het blok na het sein vrij. Indien dit sein rood toont is het blok bezet. Een rood sein wordt altijd voorafgegaan door een vrij blok met een geel sein. Het gele sein verplicht een remming en het rode sein verplicht een stop. Op deze manier beïnvloeden zij het rijgedrag van een machinist. Een overzicht van de seingeving is te vinden in Bijlage G: Seinbeelden NS'54.

Het rijgedrag van machinisten wordt ook beïnvloed door de vaste maximumsnelheden die gelden op een traject. Dit wordt baanvaksnelheid genoemd. Deze worden aangegeven met borden naast het spoor. Een verlaging van de baanvaksnelheid wordt vooraf altijd aangegeven met een geel bord. Machinisten dienen een remming in te zetten totdat de aangegeven snelheid bereikt is.

Om te voorkomen dat machinisten te hard rijden wordt ATB ingezet. De ATB weet de maximumsnelheid³ en grijpt in, indien een machinist langer dan drie seconden na het aangeven van een belsignaal boven de maximumsnelheid rijdt. De trein wordt dan door middel van een noodremming tot stilstand gebracht (ProRail, 2007). Indien een remopdracht wordt getoond, (d.m.v. snelheidsbord of geel sein) controleert de ATB of de machinist de remopdracht uitvoert (totdat de snelheid waartoe geremd moet worden is bereikt). Indien dit niet het geval is, wordt de trein met een noodremming tot stilstand gebracht. Op deze manier beïnvloedt de ATB het rijgedrag van de machinist. De invloed van seinen en borden op de ATB en gedrag van een trein is schematisch weergegeven in Figuur 3.1.



Figuur 3.1 - Schematische weergaven van invloed seingeving en snelheidsborden op rijgedrag en ATB (Pieters, ATB-EG, 2017)

³ Dit kan verschillen met de baanvaksnelheid, omdat de ATB maar vijf maximumsnelheden kan herkennen (40, 60, 80, 130 en 140 km/u).

3.2 Ritfases

Samengevat wordt het gedrag van de machinist beïnvloed door seinen, maximumsnelheden en ATB. Een machinist mag altijd vrij zijn rijgedrag bepalen, indien hij langzamer rijdt dan de maximumsnelheid. Als het niet gehinderd⁴ wordt, kan de machinist het snelheidsprofiel volgen zoals berekend bij het opstellen van de dienstregeling. Dit profiel kent drie fasen: aanzetten, rijden op constante snelheid en remmen. Om deze fasen te karakteriseren zijn respectievelijk de parameters; aanzetversnelling, cruisesnelheid en remvertraging van belang. Deze parameters zijn afhankelijk van het type trein en treinsamenstelling dat wordt ingezet. Als er gereden wordt volgens het snelheidsprofiel zoals berekend bij het opstellen van de dienstregeling, wordt ervan uit gegaan dat de aanzetversnelling maximaal is, de cruisesnelheid gelijk is aan de maximaal toegestane snelheid en de remvertraging gelijk is een menselijk comfortabele vertraging (MacDonald & Zigterman, 2015). Deze remvertraging hoort bij een comfortremming.

Indien een trein geen vertraging heeft, wordt er van de machinist verwacht dat hij of zij UZI toepast. Zoals beschreven in de inleiding resulteert het uitrolgedrag in een nieuwe fase in het snelheidsprofiel van een trein: de uitrolfase. De vier fasen van een snelheidsprofiel kunnen dan zoals in Tabel 3.1 worden gekarakteriseerd. Op basis van deze vier fasen kan het snelheidsprofiel van een trein worden ingedeeld. Deze indeling maakt het overzichtelijk een rit te beoordelen en ritten met elkaar te vergelijken.

Tabel 3.1 - Vier fasen in een snelheidsprofiel

Fase	Parameters van belang om de fase te karakteriseren
Aanzet	Aanzetversnelling
Cruisen	Cruisesnelheid
Uitrollen	Uitrolvertraging
Remmen	Remvertraging

3.3 UZI-rijgedrag

Het UZI-rijgedrag is een vorm van EZR. UZI maakt gebruik van de rijtijdspeling, indien een trein punctueel rijdt. Het UZI-gedrag is al besproken in de inleiding en wordt in deze paragraaf gedetailleerd beschreven.

UZI schrijft voor maximaal te accelereren naar de maximumbaanvaksnelheid, vervolgens op maximale snelheid constant te blijven rijden, uitrollen vanaf het voorgeschreven punt en geremd met een comfortremming. Het punt waar een trein start met uitrollen wordt ook wel het uitrolpunt genoemd en wordt aangegeven in UZI-kaartjes. UZI kent drie versies:

1. UZI - Basis, voor UZI-kaartjes zie Bijlage H: UZI-kaartjes; Figuur 0.7
2. UZI - Pro, gebaseerd op UZI - Basis, maar houdt rekening met maximumsnelheden. Voor UZI-kaartjes zie Bijlage H: UZI-kaartjes; Figuur 0.8. Kaartjes voor UZI – Pro worden ook wel UTT-kaartjes genoemd.
3. UZI - Pro plus, geeft aan waar een trein moet zijn op welk moment met een interval van 15 seconden, deze informatie is aangepast op basis van de vertraging. (Pilot met 45 machinisten gaat op dit moment, uitrolpunt wordt met een app weergegeven)

UZI Pro is beschikbaar op het traject Rotterdam Blaak – Dordrecht – Roosendaal. UZI Pro houdt rekening met snelheidsbeperkingen op het traject. Met het UZI Pro advies zal worden gerekend in dit onderzoek. UZI dient alleen toegepast te worden indien de vertraging minder dan drie minuten is (Bijlage Y: Interview J. Mulder) en (Luijt, Berge, Willeboordse, & Hoogenraad, 2017). Indien de vertraging groter is dan drie minuten dient de machinist te rijden volgens het snelheidsprofiel zoals berekend bij het opstellen van de dienstregeling, de uitrolfase wordt dan overgeslagen.

⁴ Onder hinder worden verlagingen van de normaal geldende maximumsnelheden verstaan

3.4 Xandra

Xandra is een applicatie van Arcadis waarmee zij spoorontwerpen kunnen beoordelen. Om te begrijpen hoe de applicatie werkt wordt in dit hoofdstuk de in- en uitvoer van de applicatie besproken. De informatie uit dit hoofdstuk is afkomstig van de wiki van Arcadis, waarin Xandra staat beschreven (Vooren, 2016).

3.4.1 Invoer

Xandra kent vier invoer aspecten die Xandra nodig heeft om een simulatie te maken:

- **Spoorlayout.** Dit bestaat uit geocodes (genummerde delen van spoorlijnen), spoorkoppelingen (begin en eind kilometreringen van geocodes), spoorwissels, spoorkruizen en dienstregelpunten. De posities van alle elementen zijn aangegeven met kilometreringen van de betreffende spoorlijnen. Ook kunnen hoogte en booggegevens voor elke positie worden opgegeven. Geocodes worden als *links* in de applicatie gezet en de overige gegevens als punten.
- **Materieel.** Dit bestaat uit karakteristieken van de treintypes die gebruikt worden in de simulatie. Denk hierbij aan treinlengte, gewicht, aanzetversnellingen, remvertragingen etc.
- **Dienstregeling.** Dit bestaat uit alle treindiensten die gereden moeten worden met daarin informatie over welk treintype, op welk tijdstip, langs welke dienstregelpunten en onder welke beveiligingsconfiguratie de treindienst(en) rijden.
- **Beveiliging.** Dit bestaat uit seinposities, seinbeelden, snelheidsborden, lassen, detectiepunten en beveiligingsconfiguratie karakteristieken.

3.4.2 Invoer onderzoek

Voor dit onderzoek wordt de invoer gebruikt van een eerder onderzoeksproject met Xandra. De infrastructuur op het traject tussen Barendrecht en Roosendaal is eerder ingevoerd door Robbert van Vooren (specialist Xandra). Deze invoer is ook gebruikt in dit onderzoek. Het traject tussen Rotterdam Blaak en Barendrecht is voor dit onderzoek toegevoegd. De invoer van de spoorlayout is daarbij afkomstig uit OBE-bladen en detaillijsten van ProRail. De invoer van de beveiliging is afkomstig uit OBE- en OS-bladen. Deze gegevens zijn eigendom van ProRail, beschikbaar bij Arcadis en mogen niet openbaar worden gemaakt.

De boogweerstand is echter niet meegenomen voor deze simulatie. Hierin is Xandra nog niet doorontwikkeld omdat er (nog) geen noodzaak is dit te simuleren. Om er zeker van te zijn dat de invloed van bogen op dit traject geen invloed heeft is dit in Bijlage L: Invloed bogen onderzocht. Hieruit blijkt dat de invloed van bogen op dit traject niet significant was om de onderzoeksresultaten te beïnvloeden. Daarnaast schrijven de simulatieregels uit bijlage 1 van Railmap ERTMS (Projectteam capaciteitseffecten ERTMS, 2014) voor dat het niet nodig is deze te simuleren.

Het materieel dat in de simulatie wordt gebruikt is VIRM. Dit treintype reedt namelijk op de 2600 treinserie. Hiervoor worden parameters geleverd door ProRail, deze worden ook gebruikt in het dienstregeling ontwerpprogramma Dons. Deze gegevens zijn niet openbaar. Er wordt slechts één trein zonder vertragingen per simulatie gesimuleerd om snelheid beperkende seingeving te voorkomen die veroorzaakt kan worden door andere treinen.

Voor de simulatie betekent dit dat alle seinen op groen staan. Hierdoor is het niet nodig seinen in te voeren in Xandra, tenzij seinen vaste snelheidsbeperkingen of remopdrachten gaven in de dienstregeling. Dit is het geval bij aankomst op station Dordrecht (Rtb-Ddr en Rsd-Ddr) en bij aankomst op Roosendaal (Ddr-Rsd) (bron: Bijlage U: Interview M. ten Broek, (Brax, 2014) & OS-bladen). Zo toont sein 1180 altijd rood bij aankomst op Dordrecht, waardoor seinbeelden vooraf al remopdrachten opleggen. Een overzicht van de voorafgaande seinbeelden is te vinden Bijlage K: Seinbeelden t.g.v. rood sein.

3.4.3 Proces

Op basis van deze invoeraspecten is Xandra in staat een snelheidsprofiel op te stellen. Xandra veronderstelt dat een trein bij de start maximaal versnelt, vervolgens op maximaal toegestane snelheid rijdt en remt volgens de ingestelde remcurve. De versnelling wordt bepaald op basis van de resulterende kracht (F_{res}), de adhesie van de wielen met het spoor en de massa van de trein. De adhesie en massa van de trein zijn vooraf ingegeven. De formule voor de resulterende kracht is als volgt:

$$F_{res} = F_{trek} - F_w$$

$$F_{trek} = \text{trekkracht trein}$$

$$F_w = \text{weerstand op trein}$$

$$F_w = F_{wtrein} + F_{wbaan}$$

$$F_{wbaan} = \text{weerstand van het spoor}$$

$$F_{wtrein} = \text{weerstand van de trein}$$

$$F_{wbaan} = F_{whelling} + F_{wboog}$$

$$F_{whelling} = \text{hellingsweerstand}$$

$$F_{wboog} = \text{boogweerstand}$$

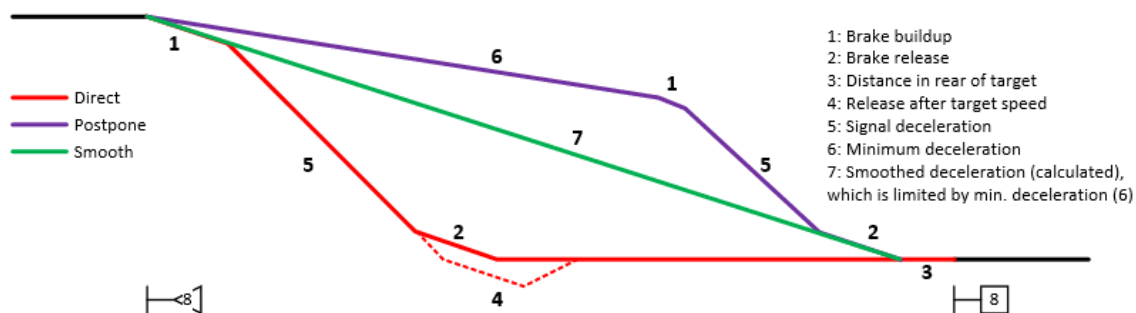
F_{trek} is afhankelijk van de snelheid en verschilt per treinsamenstelling. Deze waarden zijn te vinden in Bijlage F: Kenmerken treinsamenstellingen. De helling weerstand wordt berekend op basis van het hellinggetal en de massa van een trein. Het hellinggetal bepaalt Xandra op basis van ingevoerde hoogtegegevens ten opzichte van N.A.P. De boogweerstand op basis van de boogstaal en de treinweerstand op basis van de aangeleverde weerstandsformule. De opbouw van de weerstandsformule is te vinden in Bijlage I: Weerstandformules, 8.1.2. Deze formule verschilt per treintype en -samenstelling.

Voor het bepalen van de remcurve maakt Xandra onderscheid in twee type remmingen:

- Een vrije remming; dit wordt gebruikt indien de machinist zijn remming niet wordt beïnvloed door voorgestelde remopdrachten, maar alleen een stopplaats is aangegeven
- Een signaal remming; dit wordt toegepast in de overige situaties waarin geremd moet worden

Een vrije remming heeft een vaste remvertraging. Voor een signaalremming kunnen meerdere remcurves toegepast worden. De remmingen zijn geplot in Figuur 3.2:

- Directe remming (Direct): de vaste remvertraging 'signaal remming' wordt gebruikt, vanaf het startpunt
- Uitgestelde remming (Postpone): vanaf het beginpunt wordt eerst de vaste remvertraging 'minimale remming' gebruikt tot het kruispunt met de vaste remvertraging 'signaal remming' naar het eindpunt.
- Gelijmatige remming (Smooth): vanaf het beginpunt wordt een remming ingezet, zodanig dat de doelsnelheid exact bereikt wordt op het eindpunt. De remvertraging kan hierbij niet minder zijn dan de 'minimale remming' waarde.



Figuur 3.2 - Remtypes signaal remming (Vooren, 2016)

Voor dit onderzoek wordt een uitgestelde remming gebruikt. Machinisten hebben vaak kennis van een traject en weten daardoor wanneer er ruimte is om de trein te laten remmen; zodat de voorgeschreven snelheid op het juiste moment bereikt wordt en er zo langzaam mogelijk geremd wordt. De aangegeven snelheid waarnaar geremd moet worden dient bereikt te zijn voor het volgende sein of snelheidsbord. Een overzicht van de gebruikte remparameters is te vinden in Bijlage J: Overzicht reminstellingen Xandra.

Xandra kan in haar simulaties UZI-gedrag simuleren door een negatief maximumsnelheidsbord te plaatsen op het uitrolpunt volgens de UTT-kaartjes. Xandra vat dit op als het uitschakelen van tractie totdat de 'maximumsnelheid' is bereikt en vervolgens blijven rijden op deze snelheid totdat een andere snelheid wordt opgegeven. Indien dus een negatief snelheidsbord wordt gepasseerd, wordt het vermogen van de motor uitgeschakeld en rolt de trein uit op basis van de berekende weerstand tot de aangegeven snelheid in Xandra. De trein wordt niet geremd en vermindert dus enkel snelheid door de weerstand van de trein.

3.4.4 Uitvoer

Voor elke treinsamenstelling is een simulatie gedaan op het traject Dordrecht – Roosendaal van een door Xandra huidig gesimuleerde rit en een Xandra rit met negatief snelheidsbord. Dit negatieve snelheidsbord staat op het door UTT-kaartje aangegeven uitrolpunt. De resultaten zijn te vinden in Figuur 3.3. Het valt op dat er alleen verschillen zijn bij de huidige simulatie van Xandra in de acceleratiefase. Dit komt doordat machinisten pas hun snelheid mogen verhogen als ze een treinlengte voorbij het snelheidsbord zijn. Als wordt gekeken naar de Xandra rit met een negatief snelheidsbord zijn er verschillen te zien in de uitrolvertraging. De oorzaak hiervan zijn de treinweerstandformules die verschillen per treinsamenstelling.



Figuur 3.3 - Snelheidsprofiel Xandra Dordrecht – Roosendaal, doorlopende lijnen: Xandra huidig, gestreepte lijnen: Xandra met negatief snelheidsbord (uitrollen)

3.5 ERTMS Pilot voorschriften voor uitrolgedrag

In de ERTMS Pilot is door een samenwerking van ProRail, NS, goederenvervoerders en onderhouds- en servicebedrijven eerder onderzocht hoe machinisten gesimuleerd kunnen worden. Voorafgaand aan dit onderzoek waren de onderzoeksresultaten van de ERTMS Pilot niet beschikbaar, omdat deze niet openbaar zijn. Na een gesprek met Jan Hoogenraad en Ralph Luijt op 11 april 2017 bleek dat deze informatie voor dit onderzoek beschikbaar kon worden gesteld. Vervolgens is de informatie geanalyseerd. De informatie wordt in eerste instantie gebruikt om te checken of Xandra het voorgeschreven gedrag kan modelleren. Later wordt dit vergeleken met het voorgestelde algoritme om UZI-rijgedrag te simuleren.

In de ERTMS Pilot hebben onderzoekers op het baanvak Amsterdam – Utrecht gekeken naar de invloed van energiezuinig rijden op het rijgedrag. Dit is vervolgens vertaald naar modelleervoorschriften met behulp van drie verschillende applicaties; OpenTrack (Royal HaskoningDHV), FRISO (ProRail) en HORTUS (Movares). De analyse is gedaan met snelheidsprofielen van gereden ritten op het betreffende traject. Hierin was het seinstelsel NS'54 en de ATB-EG-beveiligingsconfiguratie van toepassing.

Het NS-onderzoek herkent drie rijgedragstypes van machinisten:

- De energiezuinige (Groene) machinist. De doelstelling van deze machinist is om een zo lang mogelijke uitrolfase te hebben waarmee hij volgens plan aankomt. Bij een vertraging groter dan twee minuten (ten opzichte van plan) gaat deze machinist sportief gedrag vertonen.
- De sportieve machinist. Deze machinist legt het traject zo snel mogelijk af volgens de toegestane snelheden.
- De machinist specifiek voor goederentreinen en leeg materieelritten.

De verdeling van de machinisten over de rijgedragstypes is te vinden in Tabel 3.2. De goederenmachinist wordt niet toegelicht, omdat goederentreinen niet in dit onderzoek worden meegenomen. De IC-machinisten spreiding is bepaald op basis van VIRM VI intercity materieel. Dit is hetzelfde treintype als op het onderzoekstraject rijdt.

Tabel 3.2 - Verdeling machinisten types volgens pilot ERTMS

Type machinist	Populatie
Groene	45%
Sportief	55%

Het machinistengedrag dient gemodelleerd te worden door een verdeling over het machinistengedrag toe te passen en de simulatie applicatie met de betreffende kans te laten trekken welk gedrag gesimuleerd wordt. Deze verdeling dient toegepast te worden tot een vertrekvertraging van 2 minuten. Na 2 minuten dient iedere machinist groen te worden gemodelleerd. Daarbij dienen de rijgedragstypes als volgt te worden gekarakteriseerd:

Groene machinist:

- De aanzetversnelling: maximale aanzet van het betreffende materieel
- De cruisesnelheid: maximaal toegestane snelheid op het betreffende baanvak
- De uitrolvertraging: uitrollen vanaf het aangegeven uitrolpunt volgens UZI-kaartjes, zie Bijlage H: UZI-kaartjes
- De remvertraging: maximale remvertraging van het betreffende materieel

Sportieve machinist:

- De aanzetversnelling: maximale aanzet van het betreffende materieel
- De cruisesnelheid: maximaal toegestane snelheid op het betreffende baanvak
- De uitrolvertraging: geen
- De remvertraging: maximale remvertraging van het betreffende materieel

Xandra is in staat op deze manier rijgedrag te simuleren. Echter moet daarbij wel handmatig worden ingevoerd welk type machinist gesimuleerd wordt.

4 Data-analyse

Het doel van dit hoofdstuk is karakteriseren van UZI-gedrag uit gemeten ritten. Doordat bekend is hoe Xandra ritten simuleert en wat de resultaten hiervan zijn, kan onderzocht worden welke uitbreiding Xandra nodig heeft om UZI-gedrag te simuleren. Eerst wordt een beschrijving van de inhoud van de data gegeven. Vervolgens wordt beschreven welke data gecorrigeerd is, daarna wordt de beschrijving van het datafilter beschreven en tenslotte wordt de overgebleven data geanalyseerd en vergeleken met de resultaten uit Xandra.

4.1 Algemene beschrijving

De data in dit onderzoek omvat gps-gegevens van ritten in de 2600 treinserie (beschreven in hoofdstuk 2) en is afkomstig van Wilco Tielman (ProRail). Deze ritten zijn gereden in de lente en winter van 2015 en 2016. Voor elke 10 seconden is een meting gedaan waarin onder andere gegevens over snelheid en acceleratie bekend zijn. Alle informatie per meting is te vinden in Tabel 4.1. Om de metingen te kunnen vergelijken met de plaatsen op het traject zij de posities geijkt aan de hand van de positie van het eerste sein na vertrek.

Tabel 4.1 - Overzicht gegevens in dataset

Informa tie	Seizo en	Relatiev e vertrek vertragi ng	Tijd sinds vertr ek	Lengtegr aad	Breedtegr aad	Afgeleg de afstand	Geijkte afgeleg de afstand	Snelhe id	Accelera tie	Trein samenstell ing
Eenheid	-	s	s	°	°	m	m	m/s	m/s ²	-

4.2 Data correctie

Op het traject Rotterdam Blaak – Dordrecht en Dordrecht – Rotterdam Blaak valt een deel van de data weg door de Willemsspoortunnel en de kap van Barendrecht⁵. Hierdoor is het niet mogelijk een betrouwbaar ritverloop op te stellen. Daarom is ervoor gekozen deze twee trajecten niet te gebruiken in het vervolg van het onderzoek.

4.3 Data filtering

De gecorrigeerde dataset kan gehinderde treinritten bevatten (Tielman, 2017). Om een inzicht te krijgen in het snelheidsprofiel van alle gemeten ritten zijn in Figuur 4.1 alle meetpunten geplot. Hierin is te zien dat de dataset meetpunten bevat in het midden van het traject met snelheden die erg laag zijn ten opzichte van de maximumsnelheden. Ritten met deze meetpunten worden beschreven als gehinderde ritten, omdat deze niet het te verwachten snelheidspatroon volgen. Een gehinderde rit wordt algemeen omschreven als een rit die beperkingen opgelegd kreeg in de vaste maximumsnelheid. De afwijkingen zijn te verklaren door snelheid beperkingen die de machinist opgelegd kreeg. Het is namelijk niet aannemelijk dat een machinist op een niet vooraf bepaalde plaatst remt of stopt, tenzij hij gehinderd wordt door beperkingen in de snelheid (Bijlage U: Interview M. ten Broek).

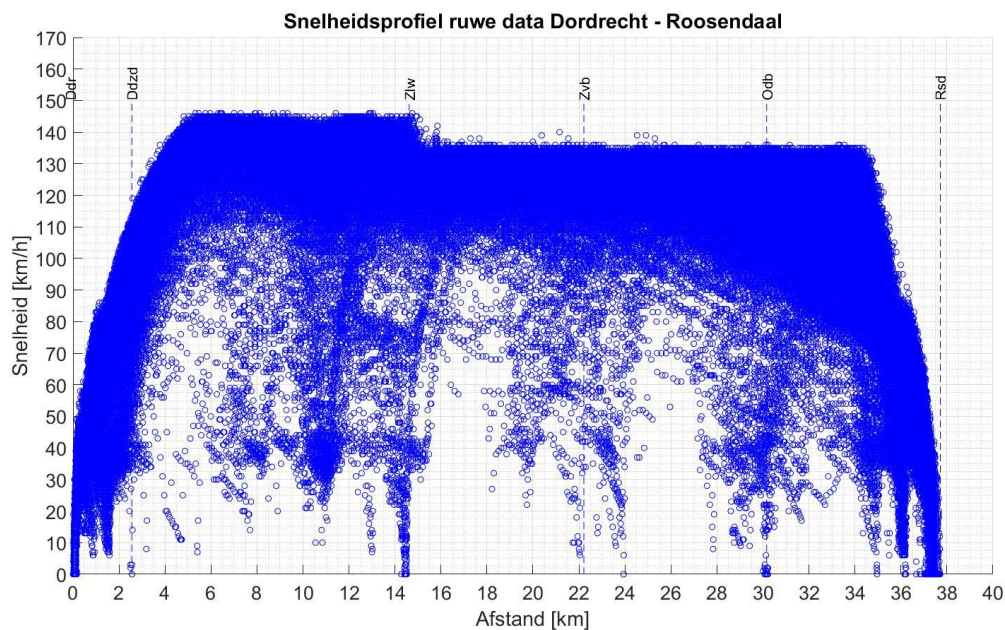
De aandacht trekken de punten bij kilometrering 11 (Ddr-Rsd) en 24 (Rsd-Ddr) die terugzakken naar 40 km/u. Dit is te verklaren door een TSB⁶ ingesteld door de slechte staat van de Moerdijkbrug (NS, 2016). Ook valt het op dat een aantal meetpunten, op veelal dezelfde kilometrering, terugzakken naar 40 tot 0 km/u. Machinisten hebben op deze punten zeer waarschijnlijk snelheid beperkende seingeving opgelegd gekregen. Voor een overzicht van de mogelijke seinbeelden die een machinist kan krijgen wordt verwezen naar Bijlage G: Seinbeelden NS'54.

⁵ Zie hiervoor Bijlage M: Ruwe data, bij Brd

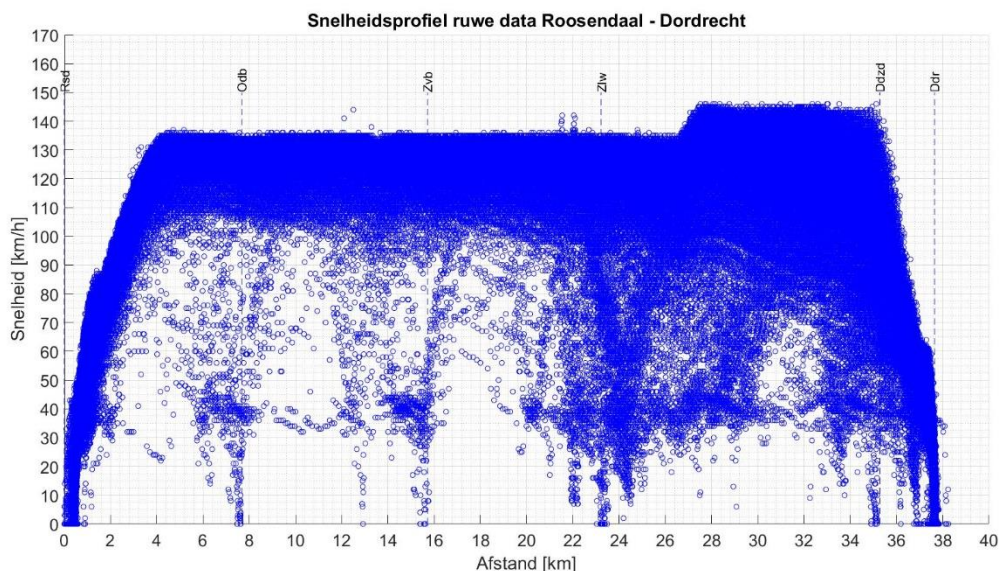
⁶ Tijdelijke Snelheid Beperking

De strakke lijnen aan de bovenkant van het figuur zijn te verklaren door de ATB die ingrijpt als de trein boven de maximumsnelheid rijdt. De ATB kent echter enige marge, waardoor er meetpunten 5 km/u boven de maximumsnelheden liggen. In de acceleratiefase is de strakke lijn waaronder de meetpunten liggen te verklaren door technische beperkingen van de trein; een trein kan niet sneller optrekken. De strakke lijn in de remfase is ook te verklaren door de ATB die ingrijpt indien nodig.

Zoals te zien is in Figuur 4.2 is het patroon van de strakke lijnen anders in de tegenrichting van Ddr-Rsd. Dit komt door een verschil in de maximumsnelheden. Hierdoor kan er pas later in het accelereren naar hogere snelheden worden geschakeld, ligt de constante snelheid eerst op 130 km/u ligt er vervolgens (een kortere afstand) op 140 km/u⁷ en in de remming naar het eindpunt eerst wordt eerst geremd tot 60 km/u in plaats van 80 km/u.



Figuur 4.1 - Snelheidsprofiel ten opzichte van afgelegde afstand ongefilterde data Dordrecht - Roosendaal (2722 ritten)



Figuur 4.2 – Snelheidsprofiel ten opzichte van afgelegde afstand ongefilterde data Roosendaal - Dordrecht (2984 ritten)

⁷ Zie voor maximumsnelheden op het traject paragraaf 2.1.2

In Xandra wordt voor dit onderzoek geen rekening gehouden met gehinderde treinen. Externe factoren beïnvloeden de simulaties in Xandra niet. Alleen gemeten ritten die geen hinder ondervonden zijn daarom representatief om UZI-gedrag te karakteriseren en te vertalen naar input voor Xandra. De gehinderde ritten uit de dataset van Wilco Tielman zijn daarom gefilterd. Het filter is beschreven in paragraaf 4.3.1 en is visueel weergegeven in Figuur 4.3.

4.3.1 Filter

In de data zitten ritten die ongepland met ander materieeltype dan VIRM hebben gereden. Zeer waarschijnlijk doordat er op die momenten te weinig VIRM-treinen beschikbaar waren, waardoor met ander materieel moest worden gereden (Ov Tijden, 2017). De ritten met een ander of onbekend materieeltype zijn verwijderd.

Indien een trein vertrekt met een vertraging groter dan 180 seconden draagt NS hun machinisten op de vertrekvertraging in te lopen door te rijden zonder UZI (dus volgens het profiel van de sportieve machinist) (bron: Bijlage Y: Interview J en (Luijt, Berge, Willeboordse, & Hoogenraad, 2017). Indien de vertrekvertraging groter is dan 180 seconden, vertonen deze ritten dus alleen sportief rijgedrag en zijn daarom niet meer representatief voor een ongehinderde rit.

Een trein wordt als punctueel aangemerkt als deze bij aankomst minder dan drie minuten vertraging heeft (ProRail, 2017). Indien een trein niet punctueel rijdt kan het voorkomen dat treinen worden omgeleid via andere sporen of moeten wachten op andere treinen voor hen (Bijlage X: Interview J. Klok). Hierdoor kan het voorkomen dat treinen geen representatief rijgedrag meer vertonen. Ritten die een aankomstvertraging hoger dan 180 seconden hebben worden daarom gefilterd. Om een idee te krijgen hoeveel procent van de treinen te vroeg of te laat vertrekken en aankomen kan worden gekeken in Bijlage N: Cumulatieve frequenties.

De geijkte afgelegde afstand van een trein hoort voor elke trein ongeveer gelijk te zijn. Er kunnen verschillen ontstaan, doordat machinisten op andere punten op het perron stoppen. Grotere verschillen vallen echter onder meetfouten in de gps-ontvanger, daarom is ervoor gekozen de ritten met de 2,5% langste en 2,5% kortste afgelegde afstanden te filteren.

Deze filtering laat echter nog een aantal ritten achter die onverwachte snelheidsverminderingen tonen in het snelheidsprofiel. Waarschijnlijk is dit te verklaren door seinbeelden die snelheidsbeperkingen opleggen. Om ook deze ritten te filteren, zijn de ritten met onverwachte remmingen verwijderd. De snelheden waaronder de ritten zijn verwijderd zijn te vinden in Bijlage O: Filter niet logische snelheden. Het filter resulteert in een afname van het aantal ritten dat wordt meegenomen in de data-analyse. In Tabel 4.2 is het percentage gefilterde ritten weergegeven.



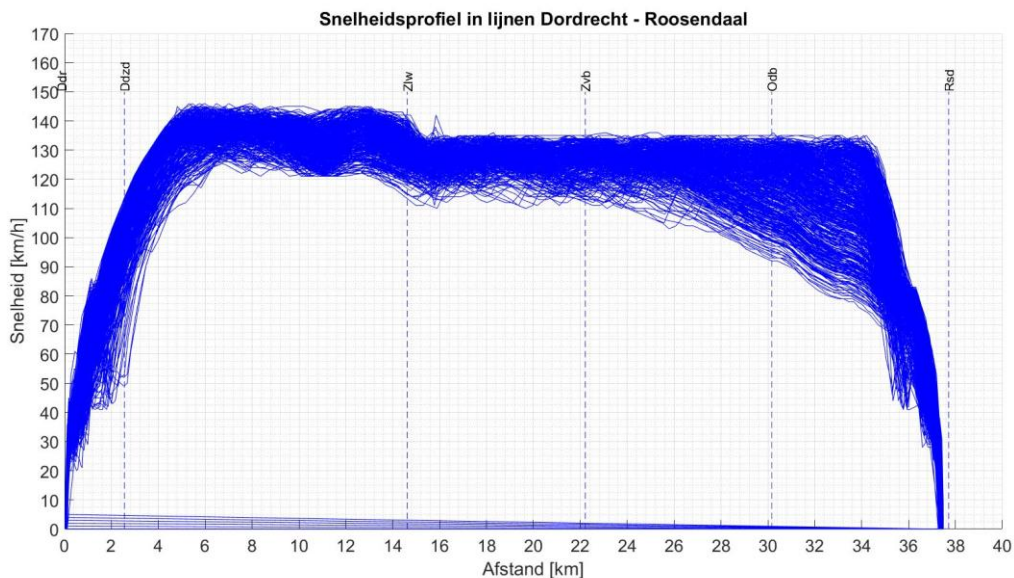
Figuur 4.3 - Data Filter

Tabel 4.2 - Percentages gefilterde ritten

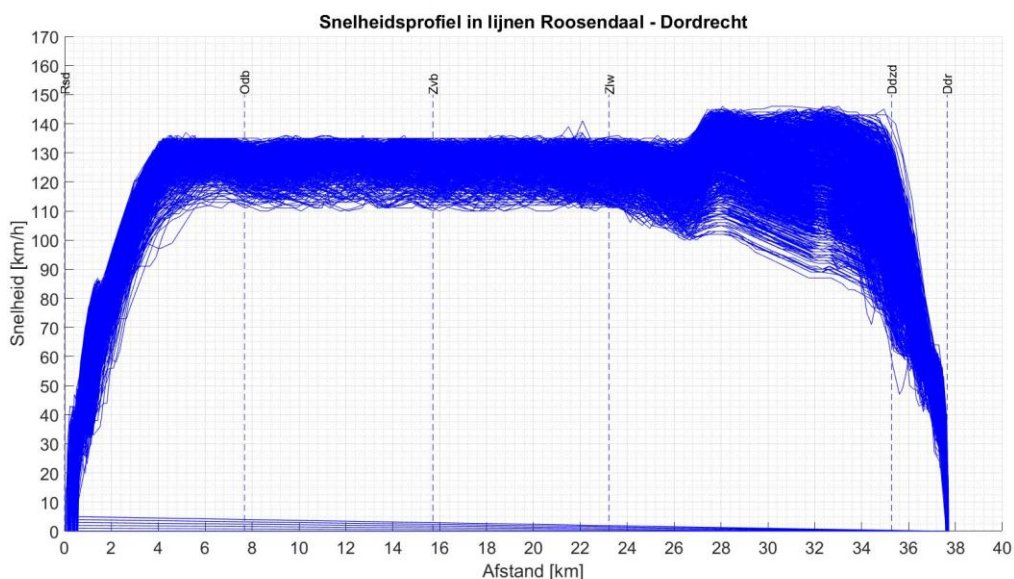
Traject	Percentage gefilterde ritten
Roosendaal - Dordrecht	51%
Dordrecht - Roosendaal	64%

4.4 Data karakterisering

Alle meetpunten van de overgebleven ritten na het filter zijn geplot in Figuur 4.4 en Figuur 4.5. Hierin zijn de ritfases⁸ goed te herkennen. Uit de gemeten ritten is te zien dat er meerdere snelheidsprofielen voorkomen dan dat het UZI-gedrag, zoals beschreven in paragraaf 3.3, voorschrijft. Het werkelijk gereden gedrag is dus breder dan UZI-gedrag alleen. UZI-gedrag wordt gekenmerkt als het exact rijden volgens UZI-voorschriften.



Figuur 4.4 - Snelheidsprofiel in lijnen ten opzichte van afgelegde afstand Dordrecht – Roosendaal (694 ritten)



Figuur 4.5 – Snelheidsprofiel in lijnen ten opzichte van afgelegde afstand Roosendaal – Dordrecht (1478)

Op basis van de figuren valt te zien dat er weinig variatie zit bij het accelereren (acceleratiefase) tussen alle treinen. De spreiding in de acceleratiefase op Ddr – Rsd is groter. Seinen leggen voor enkele ritten in dit stuk een snelheidsbeperking op, waardoor een verlaging in de snelheid optreedt. Deze ritten zijn echter niet verwijderd met het snelheidsfilter, omdat deze ook meetpunten kunnen bevatten uit de acceleratiefase. In de fase waarin constant gereden wordt, valt te zien dat de spreiding in de snelheid groter wordt.

⁸ Zie Figuur 1.2 en paragraaf 3.2

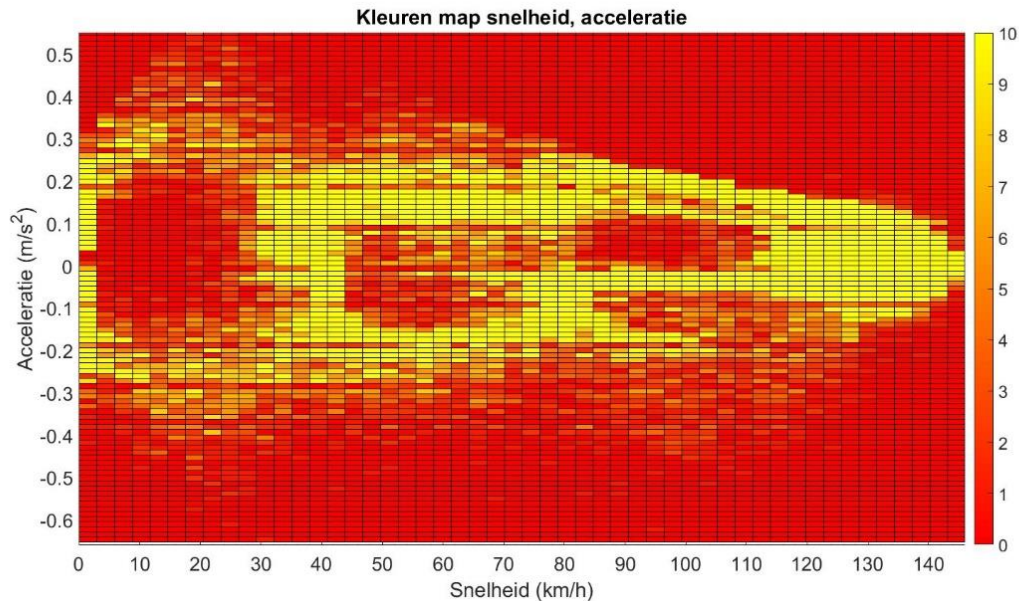
De snelheidsdalingen bij Ddr – Rsd op kilometrering 10 en bij Rsd – Ddr op kilometrering 26 zijn te verklaren door de Moerdijkbrug. De ervaring leert dat machinisten bij bruggen hun snelheid niet constant houden. Het verhogen van de tractie bij het omhoog rijden van een brug om de snelheid constant te houden maakt het nodig weer te remmen als naar beneden wordt gereden. Beide acties kosten energie en de rijtijd winst is minimaal, daarom kiezen machinisten ervoor de tractie gelijk te houden en de verlaging in de snelheid te accepteren (Bijlage U: Interview M. ten Broek).

Uit de figuren blijkt dat de spreiding in de snelheden steeds groter wordt tussen +/- km 25 en 34 voor Ddr - Rsd en +/- km 25 en 34 voor Rsd - Ddr. Dit is te verklaren door het UZI-gedrag, zoals beschreven is in paragraaf 3.3. In dit gebied bevindt zich dus de uitrolfase. Alle lijnen hebben nagenoeg dezelfde helling in de uitrolfase. Deze lijnen starten op verschillende punten en eindigen indien de uiterste remcurve (bijna) wordt geraakt. Een uitrol stopt dus als de remcurve geraakt wordt. Vanaf dit punt wordt overgegaan op remmen. De kleine veranderingen in de helling van de geplotte lijnen bij km 32 op Ddr-Rsd en km 33 op Rsd – Ddr zijn te verklaren door hellingen in het spoor⁹. In de remfase wordt de spreiding weer kleiner. De verschillen in de remcurves tussen beide trajecten zijn te verklaren door de verschillen in maximumsnelheden die gelden.

In de figuren valt te zien dat er lijnen vanuit het eindpunt van een rit niet teruglopen naar het startpunt van een nieuwe rit op 0 km/u, maar naar een hogere snelheid. Dit komt doordat een meting pas start op het moment dat de deuren dichtgaan en stopt als deze weer opengaan. Doordat gps-informatie om de 10 seconden wordt verstuurd, kan het voorkomen dat ritten een startpunt hebben met een snelheid groter dan 0 km/u.

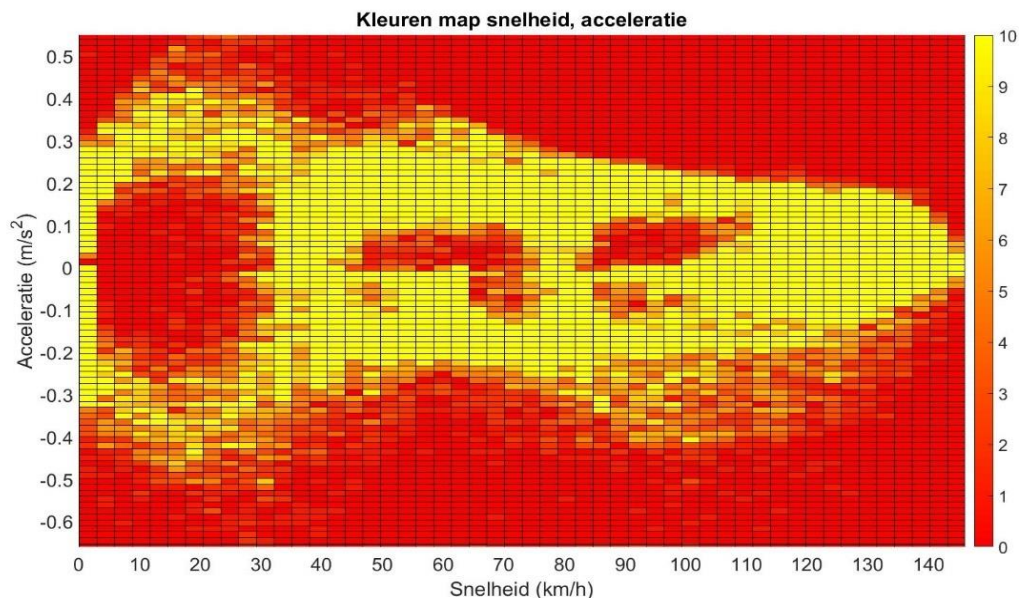
Als gekeken wordt naar Figuur 4.6 zien we op het traject Dordrecht – Roosendaal rijgedrag dat zich kenmerkt door maximaal op te trekken naar 40 km/u, vervolgens naar 80 km/u en daarna opgetrokken wordt naar 140 km/u. Dit is te verklaren door de snelheidsbeperkingen die gelden (zie, paragraaf 2.1.22.1). Bij een negatieve acceleratie op de snelheden tussen 115 en 70 km/u valt een puntenwolk te herkennen die tussen de 0 en -0,7 m/s² liggen. Dit is te verklaren door treinen die uitrollen. Vanaf 80 km/u wordt vaak een remming naar 40 km/u ingezet als gevolg van een geel sein (Bijlage K: Seinbeelden t.g.v. rood sein) en vervolgens geremd naar een stop. De remming is te herkennen door de sterk negatieve acceleratiewaarde.

⁹ Zie voor hellingen in het traject paragraaf 2.1.1



Figuur 4.6 - Kleurenmap snelheid, acceleratie gedrag Dordrecht – Roosendaal¹⁰

In tegenovergestelde richting, zie Figuur 4.7, valt hetzelfde acceleratiepatroon te zien. Het uitrollen is in dit figuur moeilijker te herkennen, doordat er tussen de 110 en 130 km/u zowel wordt uitgerold als constant gereden. Hier wordt geremd van 80, 60, 40 en vervolgens 0 km/u. Dit is het gevolg van seinbeelden die machinisten opgelegd kregen, zie Bijlage K: Seinbeelden t.g.v. rood sein.



Figuur 4.7 - Kleurenmap snelheid, acceleratie gedrag Roosendaal - Dordrecht³

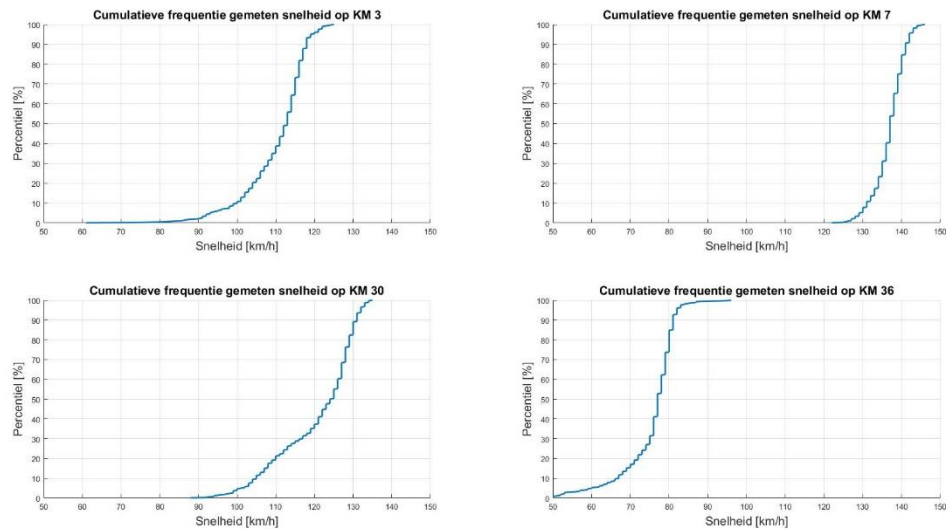
4.4.1.1 Conclusies

- Grote spreiding in het punt vanaf waar wordt uitgerold
- Uitrolvertraging is nagenoeg gelijk voor alle treinen en bevindt zich tussen de 0 en -0,7 m/s²
- Indien wordt uitgerold, wordt overgegaan op remmen als de uiterste remcurve bereikt wordt

¹⁰ De kleur geeft het aantal gemeten meetpunten in elke rechthoek aan, het is mogelijk dat er meer dan 10 meetpunten zijn gemeten indien de kleur fel geel is.

4.4.2 Spreiding in de snelheid

In elke fase is voor een kilometrering een spreiding in de snelheid bepaald. Dit wordt gebruikt om beter inzicht te krijgen in de spreiding van snelheden en hieruit conclusies te trekken voor de uitbreiding van de functionaliteit in Xandra. In Figuur 4.8 zijn de spreidingen te zien.



Figuur 4.8 - Cumulatieve frequenties gereden snelheden

4.4.2.1 Conclusies

- Treinen rijden over het algemeen op dezelfde constante snelheid, maar rijden gemiddeld langzamer dan is toegestaan.
- Grote verdeling in uitrolfase; groot deel rolt wel uit en een ander deel niet
- Kleine spreiding bij het accelereren en remmen.

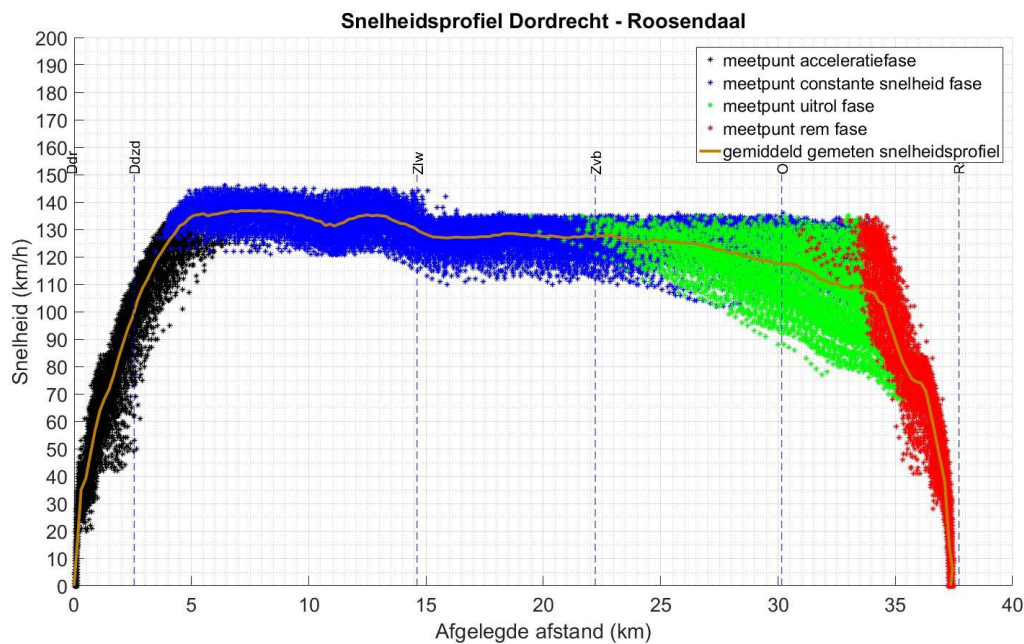
4.4.3 Faseherkenning algoritme

In het werkelijk gereden gedrag zijn op basis van de conclusies uit paragraaf 4.4.1.1 en 4.4.2.1 drie kenmerken die de uitrolfase kunnen karakteriseren: een spreiding van het uitrolpunt, een uitrolvertraging en de uiterste remcurve. De uiterste remcurve kan in Xandra gesimuleerd worden. Ditzelfde geldt voor de uitrolvertraging. De spreiding in het uitrolpunt kan niet worden gesimuleerd en dient te worden opgesteld.

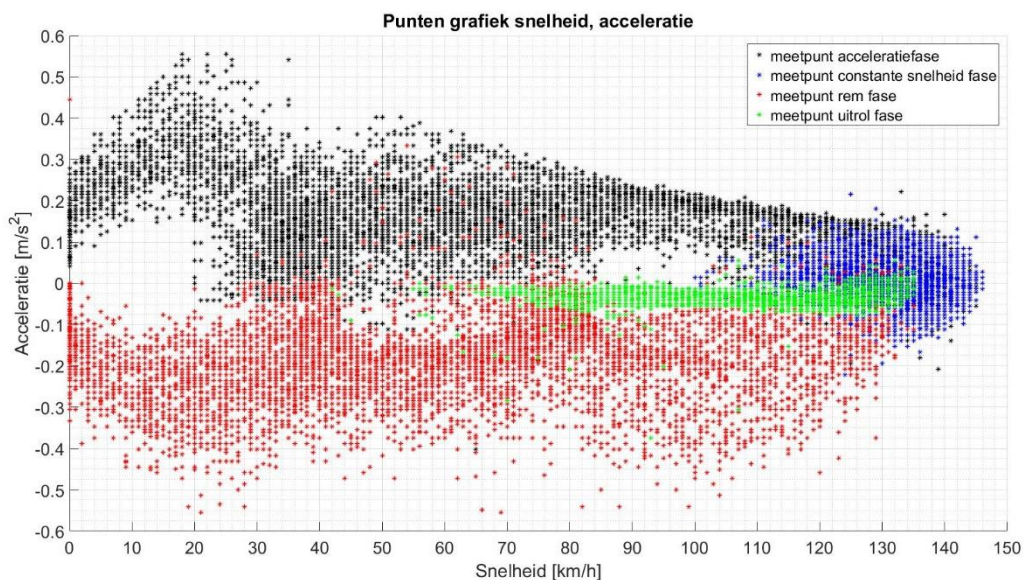
Door ritten op te delen in de vier ritfases kan het uitrolpunt uit de faseovergang naar uitrollen worden bepaald. Ook kunnen andere fases gekarakteriseerd worden en zo worden vergeleken met Xandra. Hierom is een algoritme opgesteld dat herkent in welke fase een trein zich bevindt. Dit algoritme gaat ervan uit dat treinen starten met accelereren, constant rijden, wel/niet uitrollen en vervolgens remmen. De werking van het algoritme is weergegeven in Bijlage P: Conceptueel model fase herkenning algoritme. In Bijlage Q: Voorbeeld classificering ritten is voor 8 voorbeeldritten weergegeven hoe deze geclassificeerd worden.

Het algoritme is echter alleen toepasbaar op het traject Ddr-Rsd, doordat het algoritme uitgaat van acceleratiegegevens. Als gevolg van de steile helling van de Moerdijkbrug op Rsd-Ddr daalt de acceleratiewaarde aanzienlijk rondom een aantal uitrolpunten. Dit heeft tot gevolg dat het algoritme niet juist kan interpreteren in welke fase een rit zit. Het bleek niet mogelijk de invloeden van hellingen te filteren, doordat onbekend is of de gps-tracer in de staart of kop van de trein zat. Hierdoor konden de acceleratiewaarden van de meetpunten niet op de juiste afstand gecorrigeerd worden. De metingen op het traject Ddr-Rsd worden wel gebruikt om inzichten te krijgen in het uitrolgedrag.

In de figuren Figuur 4.9 en Figuur 4.10 is de uitkomst van het algoritme gegeven. In Figuur 4.9 is de uitrolfase duidelijk te herkennen. De fase begint vanaf meerdere punten, dit is de genoemde spreiding in het uitrolpunt. Dit wordt in paragraaf 4.4.3 uitgebreid besproken. De uitrolfase duurt totdat de remcurve wordt bereikt. In Figuur 4.10 is te zien dat in de uitrolfase een hele kleine vertragswaarde heeft. Het uitrollen komt alleen voor indien er op snelheden hoger dan 60 km/u wordt gereden. Bij lagere snelheden moeten treinen op een gegeven moment remmen, doordat zij tegen de uiterste remcurve aanlopen. Op 80 km/u is een rode puntenwolk te zien. Veel machinisten remmen dan af, om ervoor te zorgen dat ze onder de snelheidsbeperking van 80 km/u uitkomen¹¹.



Figuur 4.9 - Snelheidsprofiel ten opzichte van afgelegde afstand Dordrecht – Roosendaal¹²



Figuur 4.10 – Acceleratie ten opzichte van de snelheid Dordrecht – Roosendaal¹²

¹¹ Zie voor maximumsnelheden op het traject paragraaf 2.1.2

¹² Let op, kleuren kunnen elkaar overlappen en waardoor onderliggende meetpunten minder goed zichtbaar zijn.

Uit de datagegevens bleek dat niet elke trein uitrolt. Er kan dus onderscheid gemaakt worden in ritten waarin wel wordt uitgerold en ritten waarin dat niet gebeurt; in deze ritten vervalt te uitrolfase. In dit onderzoek wordt een rit waarin wordt uitrolt groen genoemd en een rit waarin niet wordt uitgerold sportief genoemd. Het percentage van groene en sportieve ritten is te vinden in Tabel 4.3.

Tabel 4.3 - Verdeling rijgedrag van machinisten op Dordrecht - Roosendaal

Rijgedrag	Populatie [%]
Groen	68
Sportief	32

Uit Tabel 4.4 en Tabel 4.5 is te herleiden dat een groene rit sneller accelereert, maar langzamer afgeremd. Met behulp van een t-test (Robinson, 2014) (zie Bijlage R: Verschil sportieve en groene ritten) is gekeken of de versnellingen van de acceleratie en remfase significant genoeg van elkaar verschillen. Met een significantieniveau van 5% kan worden geconcludeerd dat de versnelling in de acceleratiefase van een groene rit hoger is dan van een sportieve rit. Ook kan worden geconcludeerd dat de versnelling voor de remfase lager is voor een sportieve rit. Machinisten die uitrollen trekken dus sneller op dan machinisten die dat niet doen, dit resulteert ook in verschillen in de startpunten en de gemiddelde snelheid.

Tabel 4.4 - Karakteristieken gemiddelde groen rit Dordrecht – Roosendaal

Fase	Versnelling [m/s ²]	Snelheid [km/u]	Startpunt fase [km]	Starttijd fase [s]
Acceleratie	0,156	71,1	0	0
Constante snelheid	-0,0025	130,3	5,1	240
Uitrol	-0,0339	109,4	28,3	879
Rem	-0,150	59,1	34,4	1081

Tabel 4.5 - Karakteristieken gemiddelde sportieve rit Dordrecht – Roosendaal

Fase	Versnelling [m/s ²]	Snelheid [km/u]	Startpunt fase [km]	Starttijd fase [s]
Acceleratie	0,150	73,9	0	0
Constante snelheid	-0,0027	129,4	5,4	248
Uitrol	Fase vervalt	Fase vervalt	Fase vervalt	Fase vervalt
Rem	-0,165	65,8	33,7	1034

4.4.3.1 Conclusies

- Er bestaan twee type ritten; een groene en een sportieve
- In groene ritten ligt de versnellingen hoger, wordt uitgerold en langzamer geremd

4.4.4 Spreiding uitrolpunt

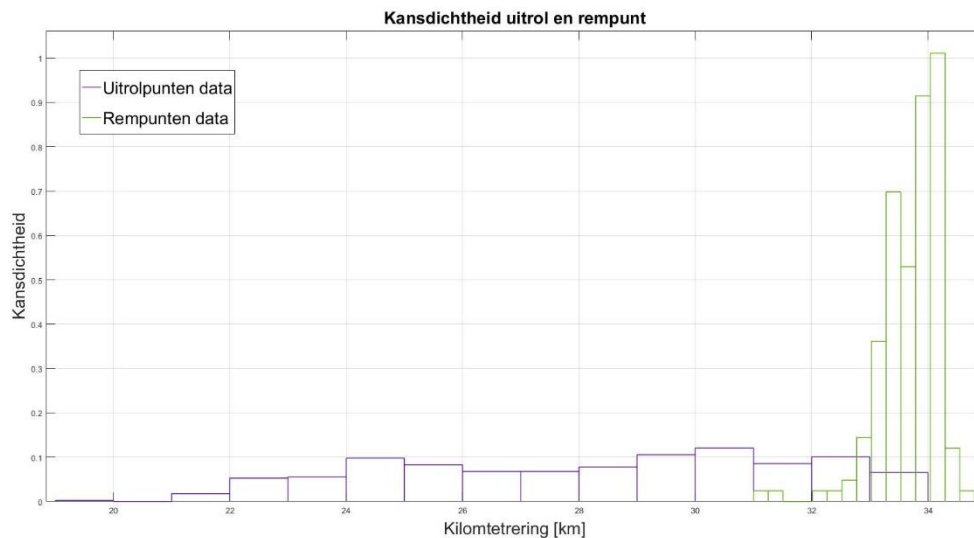
Uit Figuur 4.9 volgt dat er een grote spreiding is in het uitrolpunt. Met behulp van het algoritme kan een verdeling van het uitrolpunt worden opgezet. In Figuur 4.11 is de spreiding in de uitrolpunten van de groene ritten te zien. Hierin zijn ook de rempunten van de sportieve ritten te zien. Het gaat hier om rempunten van constant rijden naar remmen. De rempunten van uitrollen naar remmen zijn niet meegenomen.

Uit het figuur valt op dat de verdeling tussen uitrolpunten nagenoeg uniform is. In de UTT-kaartjes is op kilometrering 25 een uitrolpunt aangegeven¹³, maar uit het figuur blijkt dat dit uitrolpunt niet significant vaker gebruikt wordt dan andere uitrolpunten. De NS schrijft UZI-gedrag voor, maar de te verwachten piek op kilometrering 25 is niet terug te vinden in de data. Hier valt uit af te leiden dat machinisten zich niet strikt houden aan de instructie volgens de UTT-kaartjes. Een mogelijke verklaring is dat machinisten geen tijd hebben om op UTT-kaartjes te kijken, omdat hun aandacht op de omgeving en seinbeelden moet liggen

¹³ Dit punt is bepaald uit Bijlage H: UZI-kaartjes en vervolgens aangepast naar de gebruikte kilometreringen in dit onderzoek

(Bijlage Y: Interview J. Mulder). Het bieden van een juiste instructietool om UZI toe te passen lijkt dus nodig. UZI Pro plus zou een uitkomst kunnen zijn. Het omschrijven van groen rijden gedrag als UZI-gedrag is daarom fout. In het vervolg van het onderzoek wordt daarom niet meer van UZI-gedrag gesproken, maar van groen rijgedrag. UZI-rijgedrag kan echter wel omschreven worden als groen rijgedrag.

De verdeling van de rempunten is veel smaller dan deze van de uitrolpunten en concentreert zich rondom kilometrering 34. Het verschil in de rempunten ontstaat doordat in enkele ritten al eerder wordt gestart met remmen, deze ritten remmen over het algemeen minder hard en moeten daarom eerder beginnen met remmen. Na 34,75 bevindt zich volgens de gemeten ritten het uiterste rempunt, omdat na dit punt geen rempunten meer worden gemeten.



Figuur 4.11 - Kansverdeling uitrol en rem punt Dordrecht – Roosendaal

4.4.4.1 Conclusies

- Uitrolpunt volgens UZI is niet terug te zien in de gemeten ritten
- UZI-gedrag moet daarom breder beschreven worden; groen rijden gedrag.
- Er is behoefte aan ondersteuning wanneer machinisten kunnen uitrollen
- De spreiding over de uitrolpunten is uniform
- Rempunten hebben een kleinere spreiding dan uitrolpunten

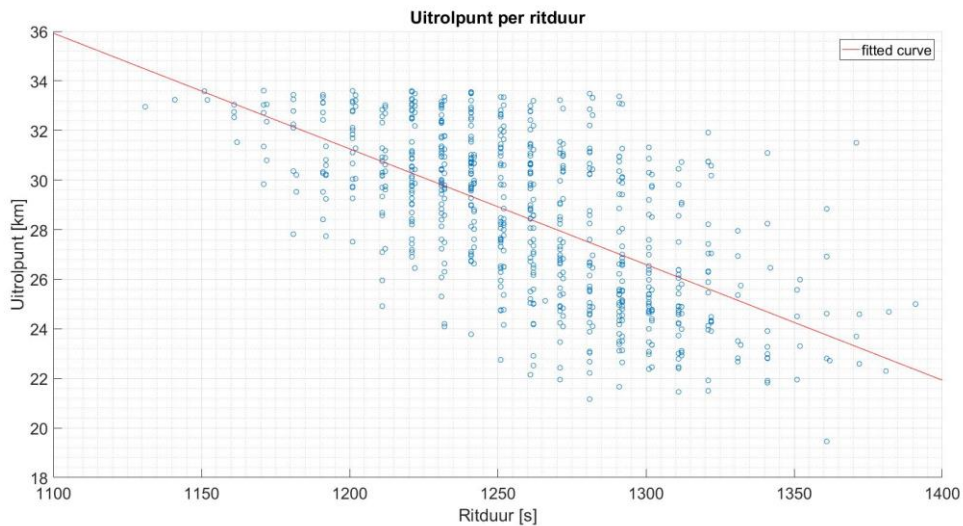
4.4.5 Invloed uitrolpunt op de ritduur

Door groen te rijden neemt de ritduur toe, omdat op lagere snelheden wordt gereden. In Figuur 4.12 is het verband tussen het uitrolpunt en de ritduur te zien. De gefitte lineaire lijn bevestigt dat een eerder uitrolpunt zorgt voor een langere ritduur. Er zit een spreiding in de ritduur op ieder uitrolpunt. De ritten die na km 32 beginnen met uitrollen komen altijd binnen de gegeven ritduur uit de dienstregeling¹⁴ aan. Voor km 32 is dit niet altijd het geval.

4.4.5.1 Conclusies

- De ritduur neemt toe naarmate het uitrolpunt verder weg van de aankomsthalte komt te liggen

¹⁴ Zie paragraaf 2.2



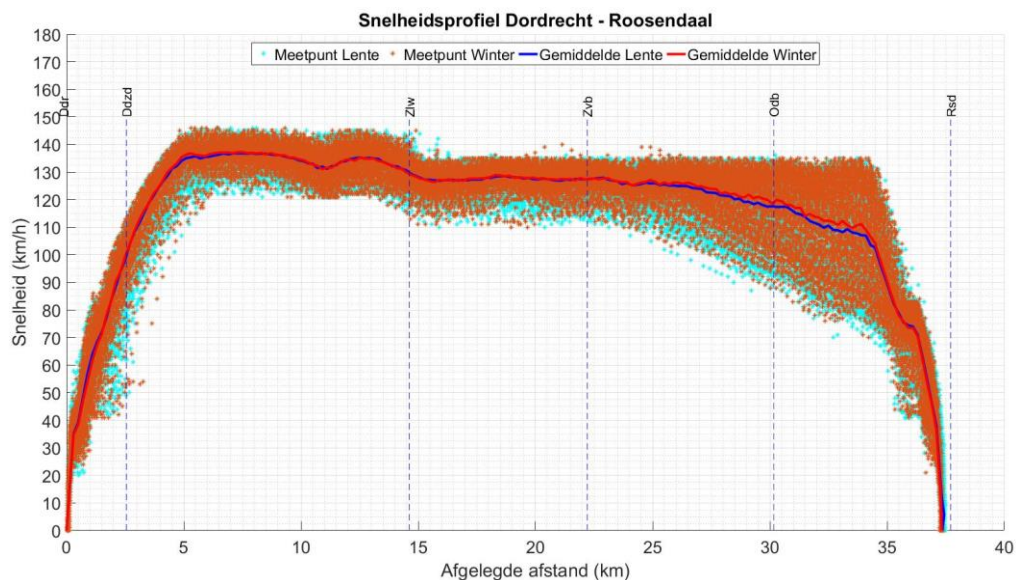
Figuur 4.12 - Uitrolpunt per ritduur

4.5 Invloeden op het rijgedrag

Er zijn een aantal factoren die het rijgedrag mogelijk kunnen beïnvloeden. Deze factoren zijn bekend uit de dataset en nader geanalyseerd. Het doel hiervan is bekijken of het nodig is deze invloeden mee te nemen voor het toevoegen van een uitrolfunctie in Xandra.

4.5.1 Seizoenen

Om een inzicht te krijgen in het verloop van een rit en te kijken of de tijd van het jaar invloed heeft op de gereden snelheid, zijn voor het lente en winterseizoen alle meetpunten geplot met daarover het gemiddeld gemeten snelheidsprofiel. Zie hiervoor Figuur 4.13. De karakteristieken per dataset zijn te vinden in Tabel 4.6 en Tabel 4.7.



Figuur 4.13 – Snelheidsprofiel ten opzichte van de afstand Dordrecht - Roosendaal lente en winter

Tabel 4.6 - Eigenschappen per rit fase Dordrecht - Roosendaal lente

Fase	Versnelling [m/s^2]	Snelheid [km/u]	Startpunt fase [km]	Starttijd fase [s]
Acceleratie	0,154	71,4	0	0
Constate snelheid	-0,0026	130,0	5,2	243
Uitrol	-0,0339	109,4	28,3	879
Rem	-0,155	60,7	34,4	1081

Tabel 4.7 - Eigenschappen per rit fase Dordrecht - Roosendaal winter

Fase	Versnelling [m/s ²]	Snelheid [km/u]	Startpunt fase [km]	Starttijd fase [s]
Acceleratie	0,153	71,2	0	0
Constance snelheid	-0,0027	129,9	5,1	243
Uitrol	-0,0358	110,8	28,7	894
Rem	-0,155	61,8	34,2	1074

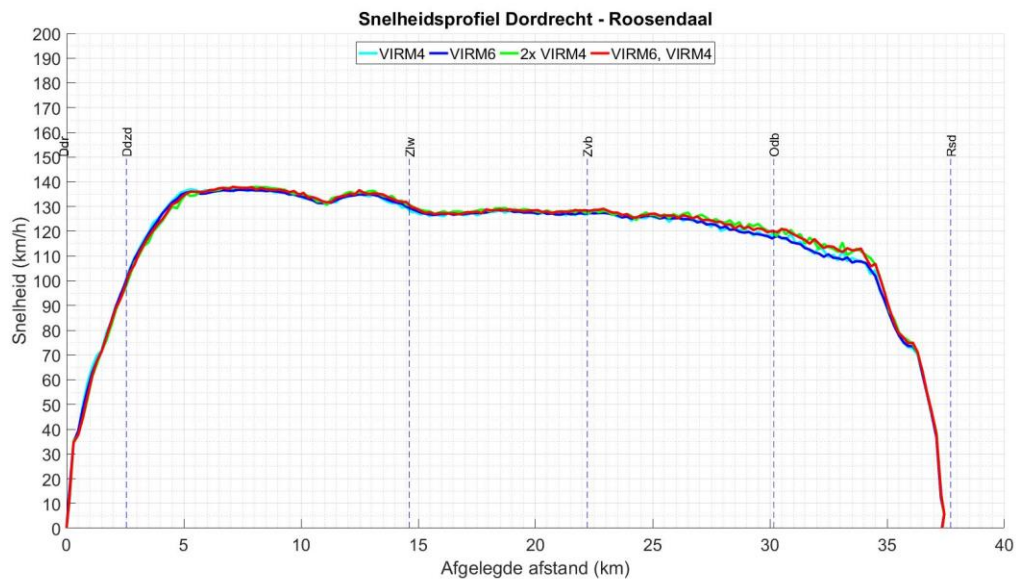
Op basis van t-toetsen (Robinson, 2014) met een significantieniveau van 5% is geen verschil in de gemeten ritten in de lente en winter aan te tonen (Bijlage S: Invloed seizoenen). Het is daarom niet nodig dit verschil mee te nemen bij het simuleren van uitrolgedrag

4.5.1.1 Conclusies

- Het seizoen heeft geen invloed op het uitrolgedrag

4.5.2 Treinsamenstelling

Uit paragraaf 2.2.1 volgt dat er op de trajecten gereden is met meerdere treinsamenstellingen. Deze samenstellingen verschillen in gewicht en hierop gelden verschillende weerstandformules. Dit kan een oorzaak zijn voor verschillen in werkelijk vertoont rijgedrag. Om te kijken of er verschillen zijn, zijn in Figuur 4.14 de snelheidsprofielen per treinsamenstelling gegeven. Hierin lijkt een klein verschil te ontstaan in de uitrolfase. Om de karakteristieken van de ritten te vergelijken zijn deze weergegeven in Tabel 4.8 tot en met Tabel 4.11. Hierin is het verwachte patroon zoals bekend uit paragraaf 3.4.4 te zien: hoe langer een VIRM-trein is, hoe beter deze uitrolt.



Figuur 4.14 - Snelheidsprofiel per treinsamenstelling Dordrecht – Roosendaal

De kenmerken per treintype worden met elkaar vergeleken op basis van een paired t-test (Robinson, 2014). De kenmerken die met elkaar vergeleken worden zijn acceleratie versnelling, uitrol versnelling, rem versnelling, overgang contante fase, overgang uitrolfase, overgang remfase. De resultaten zijn te vinden in Bijlage Q: Invloed treinsamenstellingen. Hieruit blijkt dat er geen significante verschillen zijn te vinden met een significantieniveau van 5%.

Tabel 4.8 - Eigenschappen per rit fase Dordrecht - Roosendaal lente VIRM 4

Fase	Versnelling [m/s ²]	Snelheid [km/u]	Startpunt fase [km]	Starttijd fase [s]
Acceleratie	0,155	72,8	0	0
Constance snelheid	-0,0026	129,7	5,1	240
Uitrol	-0,0364	107,8	28,5	889
Rem	-0,152	62,6	34,4	1021

Tabel 4.9 - Eigenschappen per rit fase Dordrecht - Roosendaal lente VIRM 6

Fase	Versnelling [m/s ²]	Snelheid [km/u]	Startpunt fase [km]	Starttijd fase [s]
Acceleratie	0,154	71,3	0	0
Constance snelheid	-0,0027	129,8	5,1	242
Uitrol	-0,0346	109,7	28,3	883
Rem	-0,154	61,0	34,3	1080

Tabel 4.10 - Eigenschappen per rit fase Dordrecht - Roosendaal lente 2x VIRM 4

Fase	Versnelling [m/s ²]	Snelheid [km/u]	Startpunt fase [km]	Starttijd fase [s]
Acceleratie	0,149	72,3	0	0
Constance snelheid	-0,0022	130,8	5,3	251
Uitrol	-0,0342	112,1	28,5	888
Rem	-0,158	62,2	34,1	1068

Tabel 4.11 - Eigenschappen per rit fase Dordrecht - Roosendaal lente VIRM 4, VIRM 6

Fase	Versnelling [m/s ²]	Snelheid [km/u]	Startpunt fase [km]	Starttijd fase [s]
Acceleratie	0,151	71,8	0	0
Constance snelheid	-0,0027	130,3	5,2	246
Uitrol	-0,0336	110,9	28,6	891
Rem	-0,159	61,9	34,3	1075

4.5.2.1 Conclusie

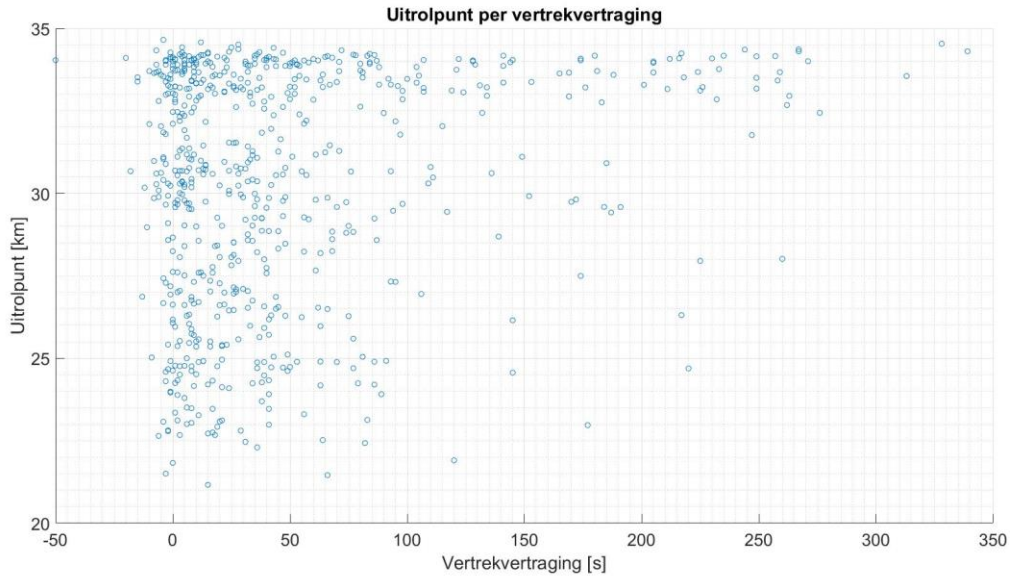
- Het verschil in het theoretisch berekende uitrolgedrag (hoe langer een VIRM-trein is, hoe beter deze uitrolt) is terug te vinden in de gemeten data
- Het uitrolpunt verschilt niet per treinsamenstelling

4.5.3 Vertragingen

Een trein kan op veel verschillende manieren vertraging hebben opgelopen. Bijvoorbeeld doordat deze is gehinderd door een andere trein, conducteurs het vertrekproces te laat starten, er door een glad spoor niet snel genoeg kan worden opgetrokken/geremd, etc. (Bijlage U: Interview M. ten Broek). Onderzocht is of de vertrekvertraging invloed heeft op het uitrolpunt van een trein. In Figuur 4.15 zijn alle uitrolpunten geplot. Het filter dat vertrekvertragingen hoger dan 180 seconden verwijderd is bij het opstellen van deze grafiek niet toegepast. Uit Tabel 4.12 is te concluderen dat treinen met een vertrekvertraging hoger dan 180 seconden niet meer significant uitrollen. Dit is in overeenstemming met het UZI-gedrag dat NS voorschrijft (zie paragraaf 3.3).

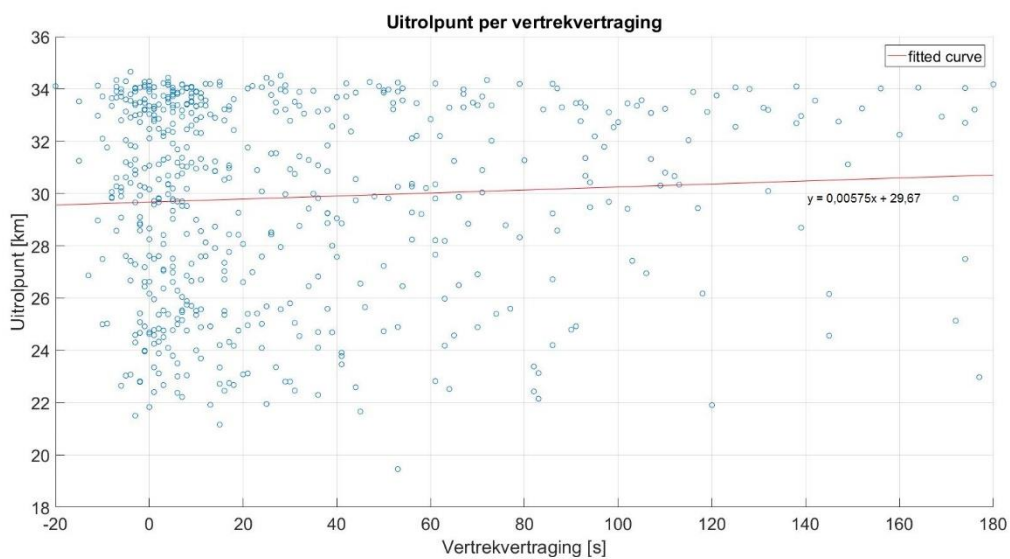
Tabel 4.12 - Uitrolpunten per vertrekvertragingsklasse

Vertrekvertraging	Percentage van treinen die uitrollen [%]	Gemiddeld uitrolpunt [m]
<=180 seconden	96	28,363
>180 seconden	4	30,856



Figuur 4.15 - Uitrolpunt per vertrekvertraging

Vervolgens is gekeken, voor de ritten met een vertrekvertraging onder de 180 seconden, of het uitrolpunt dichterbij de aankomsthalte komt te liggen als de vertrekvertraging toeneemt. Uit Figuur 4.16 is te herleiden dat dit inderdaad het geval is. Het verschil is echter klein.



Figuur 4.16 - Uitrolpunt per vertrekvertraging

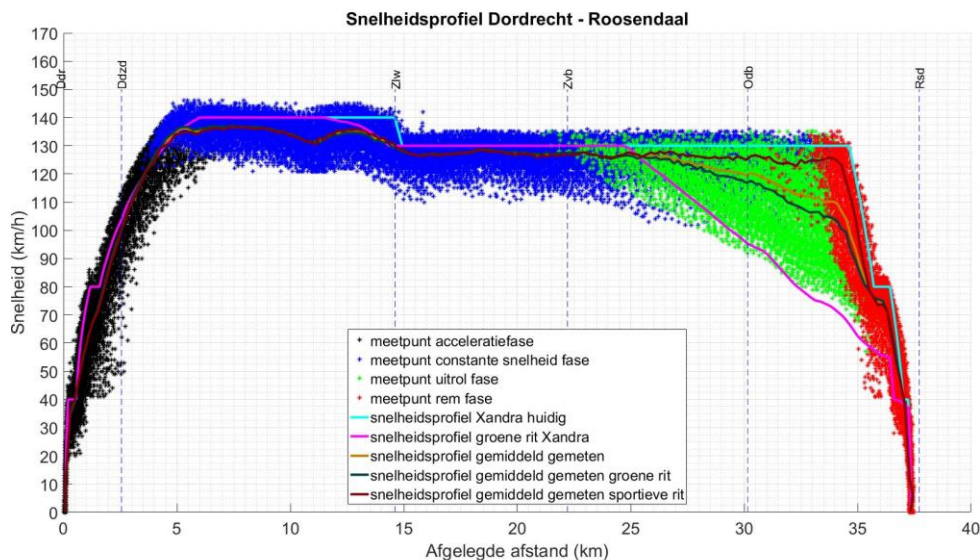
4.5.3.1 Conclusie

- Indien een trein een vertrekvertraging heeft van meer dan 180 seconden vertoont deze geen uitrolgedrag meer.
- Het uitrolpunt komt dichterbij de aankomsthalte te liggen naarmate de vertrekvertraging groter wordt, maar onder de 180 seconden blijft.

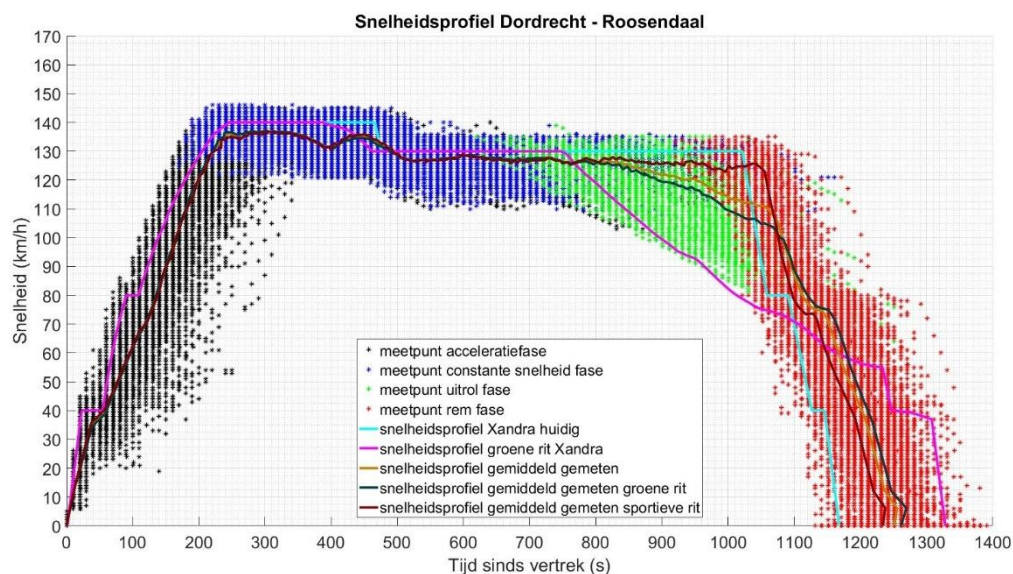
5 Modellingering per fase ten behoeve van Xandra

In dit hoofdstuk wordt de uitvoer van Xandra naast de geanalyseerde data gelegd. Er wordt bekeken hoe Xandra een rit simuleert en in hoeverre dit overeenkomt met de gemeten data. Op basis van de verschillen en overeenkomsten tussen Xandra en de gemeten data kan een advies worden gegeven welke aanpassingen nodig zijn in Xandra om werkelijk rijgedrag te simuleren.

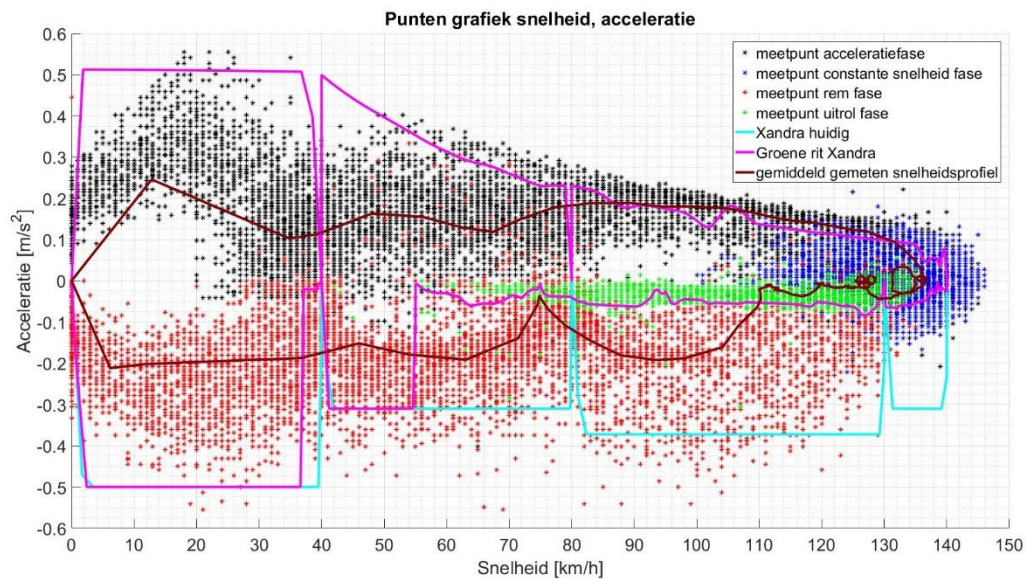
Om erachter te komen welke aanpassingen nodig zijn wordt de Xandra simulatie uit paragraaf 3.4.4 gebruikt. Alleen gemeten ritten met dezelfde samenstelling als gesimuleerd in Xandra worden vergeleken, omdat uit Figuur 3.3 blijkt dat treinsamenstellingen de uitrolvertraging kunnen beïnvloeden. In Figuur 5.1 tot en met Figuur 5.3 worden de snelheidsprofielen van de gemeten data, Xandra huidig en een groene rit in Xandra weergegeven. De karakteristieken worden gegeven in Tabel 5.1 tot en met Tabel 5.3. Het gaat hier om de VIRM 6 samenstelling, de andere samenstellingen kennen hetzelfde beeld (bewijs in paragraaf 4.5.2) en zijn daarom niet nader geanalyseerd. De resultaten worden per fase besproken.



Figuur 5.1 - Snelheidsprofiel ten opzichte van afgelegde afstand in Xandra en gemiddeld gemeten Dordrecht – Roosendaal (alleen VIRM6)



Figuur 5.2 - Snelheidsprofiel ten opzichte van de tijd in Xandra en gemiddeld gemeten Dordrecht – Roosendaal (alleen VIRM6)



Figuur 5.3 - Punten grafiek snelheid, acceleratie Dordrecht – Roosendaal (alleen VIRM6)

Tabel 5.1 - Karakteristieken gemiddelde rit Xandra huidig Dordrecht - Roosendaal (VIRM6)

Fase	Versnelling [m/s ²]	Snelheid [km/u]	Startpunt fase [km]	Starttijd fase [s]
Acceleratie	0,159	86,9	0	0
Constante snelheid	-0,0026 ¹⁵	132,7 ¹⁵	5,9	244
Uitrol	Fase vervalt	Fase vervalt	Fase vervalt	Fase vervalt
Rem	-0,36	71,2	34,6	1039

Tabel 5.2 – Karakteristieken gemiddelde groene rit Xandra Dordrecht – Roosendaal (VIRM6)

Fase	Versnelling [m/s ²]	Snelheid [km/u]	Startpunt fase [km]	Starttijd fase [s]
Acceleratie	0,159	86,9	0	0
Constante snelheid	-0,0055 ¹⁵	133,8 ¹⁵	5,9	244
Uitrol	-0,041	184,2	24,6	745
Rem	-0,48	25,2	37,1	1281

Tabel 5.3 - Karakteristieken gemiddelde rit Dordrecht – Roosendaal gemeten data

Fase	Versnelling [m/s ²]	Snelheid [km/u]	Startpunt fase [km]	Starttijd fase [s]
Acceleratie	0,154	71,3	0	0
Constante snelheid	-0,0027	129,8	5,1	242
Uitrol	-0,0346	109,7	28,4	883
Rem	-0,154	61,0	34,3	1080

¹⁵ Deze waarden verschillen sterk van elkaar doordat ze afhankelijk zijn van de afstand waarin constant is gereden

5.1 Acceleratiefase

In de acceleratiefase trekt Xandra sneller op dan in de werkelijkheid gebeurt (zie, Tabel 5.2, Tabel 5.3 en Figuur 5.3). Dit komt doordat Xandra treinen zo snel mogelijk laat optrekken tot de geldende maximumsnelheid. Uit het gemiddeld gemeten snelheidspatroon blijkt dat machinisten willen voorkomen dat zij tegen een snelheidsbeperking aanlopen in de aanzet en hierdoor hun aanzet iets verzwakken. Daarnaast wordt in Xandra gesimuleerd met 100% bezettingsgraad ¹⁶, terwijl de gemiddelde bezettingsgraad op 42% ligt (NS, 2017). Dit betekent dat ritten in Xandra minder snel kunnen accelereren dan gemiddeld in de werkelijke situatie.

Dit verschil kan worden opgeheven als er in Xandra een algoritme verwerkt wordt dat ervoor zorgt dat machinisten in hun aanzet niet tegen een snelheidsbeperking aanlopen. Dit betekent wel dat er geen verschillen in de aanzet van een groene en sportieve machinist gemodelleerd worden, terwijl deze er wel zijn (zie paragraaf 4.4.3.1). Om dit probleem op te lossen, kan er een parameter ingevoerd worden in Xandra. Deze parameter bepaalt in welke mate het aanzetvermogen van de trein benut wordt. Hierdoor is het mogelijk beide typen machinisten, of zelfs meerdere type machinisten, te simuleren en kan het langzame aanzetten als gevolg van snelheidsbeperkingen ook worden gesimuleerd.

5.1.1 Conclusies

- Xandra simuleert een snellere aanzet dan uit de gemeten ritten volgt
- Verschil in het aanzet gedrag kan het best worden gemodelleerd met een parameter die het gebruikte percentage van het aanzetvermogen bepaald

5.2 Constante snelheid fase

De constante snelheid ligt in werkelijkheid lager dan Xandra simuleert (Figuur 5.1). Dit komt waarschijnlijk omdat machinisten niet te dicht tegen de ATB aan willen zitten. Voor het simuleren van werkelijk gereden gedrag is het daarom nodig variatie te simuleren in de gereden snelheden. Een spreiding als te zien in Figuur 4.8 zou gebruikt kunnen worden om de variatie te simuleren. Door gebruik te maken van meerdere spreidingen op verschillende afstanden in een rit kan ook variatie in de snelheid over bruggen en tunnels worden gesimuleerd. Daarmee wordt voorkomen dat Xandra de maximumsnelheid gelijkstelt aan de gesimuleerde snelheid, terwijl in de gemeten ritten veelal langzamer wordt gereden.

In de constante snelheidsfase zit een verlaging in de maximumbaanvaknsnelheid naar 130 km/u. UZI Pro houdt hier rekening mee en geeft daarom vanaf kilometrering 11,478 aan uit te rollen tot 130 km/u. Dit lijkt overeen te komen met het gemiddeld gemeten snelheidsprofiel, maar kan niet bewezen worden door de invloed van de Moerdijkburg.

5.2.1 Conclusies

- Er is een grote spreiding in de gereden constante snelheid
- Dit kan gesimuleerd worden door een spreidingsfunctie te gebruiken

¹⁶ Bezettingsgraad geeft de bezetting van de trein aan. Met 100% bezettingsgraad gaat uit van een volle trein. In een volle trein zijn alle zitplaatsen inclusief de klappzittingen bezet.

5.3 Uitrolfase

In Xandra is met behulp van een negatief snelheidsbord een groene rit gesimuleerd. Het is dus mogelijk een groene rit te simuleren. In deze paragraaf wordt specifiek gekeken naar het verschil in de uitrolvertraging van Xandra en de gemeten ritten. Het door het UTT-kaartje aangegeven uitrolpunt is gebruikt in de simulatie.

De vertraging in deze fase wordt door Xandra hoger gesimuleerd dan in de werkelijkheid het geval is (zie: Tabel 5.2, Tabel 5.3 en Figuur 5.3). Dit kan liggen aan een verkeerde aanname voor de massa of voor de kracht. Er geldt namelijk: $F_{res} = m * a$.

F_{res} is afhankelijk van de massa van de trein, er geldt namelijk: $F_{res} = F_{acc} - F_w$ (zie paragraaf 3.4).

In het geval van uitrollen is $F_{acc} = 0$, dus $F_{res} = -F_w$.

Enkel de weerstand bepaalt dus de uitrolvertraging. Hiervoor geldt $F_w = F_{wbaan} + F_{wtrein}$. De weerstand van het spoor (F_{wspoor}) wordt ook gesimuleerd in Xandra en verschilt niet met de werkelijke spoorweerstand. Dit wordt bevestigd in Bijlage T: Vergelijking hellingweerstand. De versnelling is daarom alleen afhankelijk van de weerstandsformule (F_{wtrein}) en de massa van de trein.

De trein is in de simulatie voor 100% bezet, maar is gemiddeld voor 42% bezet (NS, 2017). Het verhogen van de bezettingsgraad zorgt voor een hogere massa. Dit maakt dat de Xandra een lagere acceleratiewaarde simuleert indien de bezettingsgraad groter wordt, namelijk:

$$a = \frac{F_{wtrein}}{m} = \frac{14727 * m + 0.6 * v + (v + v_w)^2}{m} = 14727 + \frac{0.6 * v + (v + v_w)^2}{m}$$

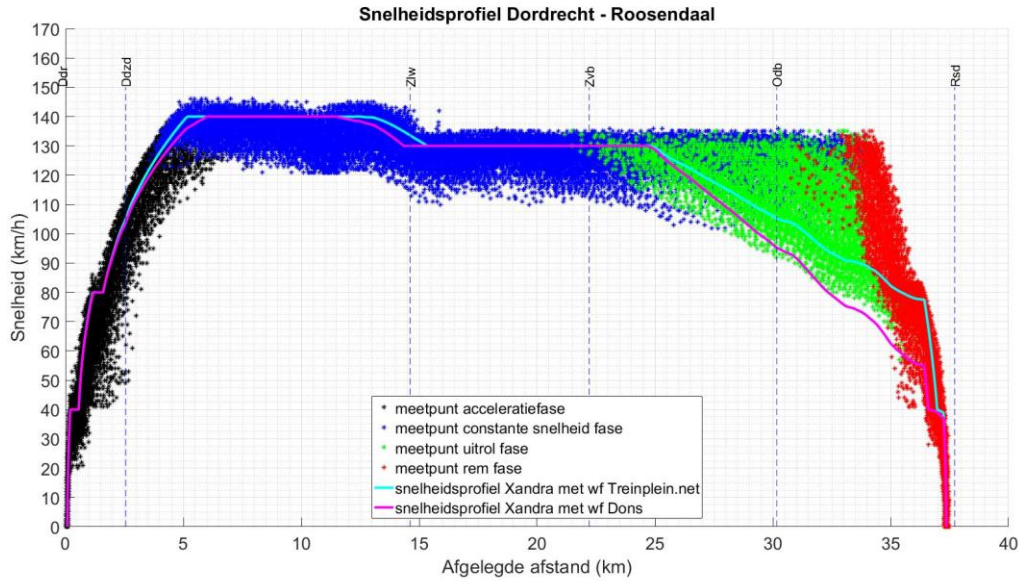
F_{wtrein} = weerstandsformule gebruikt in Dons zie Bijlage I: Weerstandformules, 8.1.18.1.2

m = massa van de trein in kg

a = versnelling (m/s²)

Het verschil in de uitrolvertraging tussen de werkelijkheid en Xandra kan nog verklaard worden door een hogere windsnelheid in de weerstandsformule. Een meewind van 10 km/h bleek nog niet genoeg in de buurt te komen van de werkelijke uitrolvertraging (zie Tabel 5.4). Het verschil in de werkelijke en gesimuleerde uitrolvertraging is dus te verklaren doordat de Dons weerstandsformule niet overeenkomt met werkelijk gereden gedrag. Deze kan daarom niet worden gebruikt voor het simuleren van werkelijk gereden gedrag.

Er zijn veel verschillende weerstandsformules voor een treinsamenstelling in omloop. Veel van deze formules lijken op elkaar of zijn een afleiding van elkaar. Daarom is gezocht naar algemene formule die alle andere formules kan verklaren. Dit is gedaan met behulp van (Wende, 1983). De algemene formule is te vinden in Bijlage I: Weerstandformules, 8.1.1. Als de formule wordt ingevuld met parameters afkomstig van Treinplein.net (Lloyd's Register Rail Europe B.V., 2014), een windsnelheid van 4,0 km/u (MeteoRoosendaalWest, 2017) en een gemiddelde bezettingsgraad van 42 % (NS, 2017) komt de gesimuleerde uitrolvertraging goed overeen met de gemeten data, zie Figuur 5.4 en Tabel 5.4. Daarom wordt aanbevolen deze formule te gebruiken in Xandra als werkelijk gedrag wordt gesimuleerd. De formule met ingevulde parameters is te vinden in Bijlage I: Weerstandformules, 8.1.3.



Figuur 5.4 - Snelheidsprofiel ten opzichte van afgelegde afstand in Xandra met weerstandsformules van Dons & Treinplein.net

Tabel 5.4 - Overzicht gemiddelde versnelling verschillende weerstandsformules en werkelijke situatie

	Windsnelheid [km/u]	Bezettingsgraad [%]	Versnelling [m/s ²]	Vertraging [(km/u)/km]
Werkelijke situatie	10	100	-0,0346	3,516
Dons	-10	142	-0,038	5,021
Dons	10	100	-0,041	6,793
Treinplein.net	4	42	-0,0351	3,521

5.3.1 Conclusie

- De gebruikte Dons weerstandsformule levert een uitrolvertraging op die niet overeenkomt met de werkelijkheid
- De algemene weerstandsformule met parameters van Treinplein.net is goed om werkelijk gereden rijgedrag te simuleren.

5.4 Remfase

De gesimuleerde remcurve komt op hogere snelheid goed overeen met de remcurve van de sportieve ritten. Doordat machinisten, indien de snelheid van 80 km/u bereikt is, geen tractie meer geven, ontstaat een verschil met de gemeten ritten. Dit verschil wordt vervolgens weer gecompenseerd doordat Xandra tot +/- 40 km/u harder remt dan de gemeten ritten. De remming van 40 km/u tot stilstand is gelijk.

In de gemeten ritten wordt veelal eerder geremd dan de uiterste remcurve. De variatie hierin bedraagt +/- 1,5 kilometer en kan dus erg variëren. Dit is niet verschillend voor groene of sportieve ritten. Om toch een realistisch beeld te simuleren kan dit worden gemodelleerd door eenzelfde spreiding te gebruiken voor het rempunt zoals dit is gedaan voor het uitrolpunt.

5.4.1 Conclusie

- De uiterste remcurve wordt goed gesimuleerd
- Een spreidingsfunctie in het rempunt kan worden gebruikt om realistisch gedrag te simuleren

6 Implementatie Xandra

In Xandra is op dit moment behoefte aan het kunnen simuleren van machinistengedrag. Machinistengedrag kan herleid worden uit het werkelijk gereden gedrag. Hiervan maakt groen rijgedrag deel uit. Voor het simuleren van werkelijk gereden gedrag is het nodig onderscheid te maken in het type simulatie dat wordt uitgevoerd. Het toetsen van een dienstregeling stelt andere eisen aan de simulatie dan het simuleren van werkelijk gereden gedrag.

In het geval waarin gevraagd wordt een dienstregeling te toetsen is het nodig te simuleren met aangeleverde gegevens van de klant. Deze stelt namelijk eisen aan de dienstregeling. De eisen worden uniform toegepast en houden rekening met de gestelde eisen aan de toetsing van de dienstregeling. In Xandra kunnen deze simulaties met de betreffende gegevens gesimuleerd worden. Werkelijk gereden gedrag wijkt af van het voorgeschreven rijgedrag uit de dienstregeling. Het is daarom niet mogelijk dezelfde invoergegevens te gebruiken voor het simuleren van werkelijk gereden gedrag. Door variatie aan te brengen in de invoergegevens van de simulatie is het mogelijk werkelijk gereden gedrag te simuleren.

De variatie in het werkelijk gereden rijgedrag kan aangebracht worden door meerdere type machinisten (rijgedragingen) te simuleren. Een verdeling tussen een groene en een sportieve machinist, die rijden volgens de karakteristieken van respectievelijk een groene rit en een sportieve rit, zouden voor het onderzoekstraject gebruikt kunnen worden als machinisttypes in een simulatie. Xandra kan een rit simuleren die rijdt volgens de kenmerken van één machinisttype. In Xandra ontbreekt echter op dit moment de mogelijkheid om meerdere type machinisten en daarmee variatie in de snelheidsprofielen te simuleren in één simulatierun. Een algoritme dat vanuit een kansverdeling een type machinist kiest en hieruit meerdere snelheidsprofielen kan simuleren in één simulatierun is daarom nodig in Xandra voor het simuleren van machinistengedrag.

Uit de data-analyse komt naar voren dat er variatie is in het aanzetvermogen, de gereden constante snelheid, het uitrolpunt en het remgedrag. Voor elk type machinist dienen deze machinisteigenschappen dus ingesteld te kunnen worden. Vervolgens dient per type machinist de aanwezige populatie ingevoerd te worden. Xandra moet uit deze verdeling kunnen bepalen welk rijgedrag voor een simulatierit wordt toegepast. Een voorbeeld is dat 30% van de machinisten rijden volgens machinisttype A en 70 % volgens machinisttype B. Deze verdeling is afhankelijk van de vertrekvertraging en moet daarom per vertrekvertraging bepaald worden. Uit het onderzoek volgt namelijk dat groene machinisten met een vertrekvertraging hoger dan 180 seconden niet meer volgens het profiel van de groene machinist rijden.

In dit onderzoek ligt de focus op het UZI-rijgedrag. Eerder bleek in dit onderzoek dat Xandra in staat is UZI-gedrag te simuleren. Er kan namelijk een vast uitrolpunt worden aangegeven. Uit de data-analyse kwam echter voort dat het UZI-rijgedrag breder benadert dient te worden. In het uitrolpunt zit namelijk een grote spreiding. Xandra moet hierom een spreiding in het uitrolpunt kunnen simuleren. Uit de resultaten van de data-analyse viel te herleiden dat er ook spreiding kan zijn in het uitrolpunt per type machinist. Het type groene machinist had namelijk een uniforme verdeling in het uitrolpunt. Het moet dus in Xandra mogelijk zijn de parameters, zoals genoemd in de vorige alinea, ook in te stellen volgens een (kans)verdeling.

Het voorstel hoe de eigenschappen van de machinist ingevoerd moeten kunnen worden is te zien in Tabel 6.1. Het algoritme moet uit deze gegevens een rit kunnen simuleren met de bijbehorende machinist eigenschappen, het type machinist moet op basis van de kans dat deze voorkomt getrokken kunnen worden. Het UZI-rijgedrag kan als machinisttype A in de tabel gekarakteriseerd worden.

Tabel 6.1 - Voorstel definiëren machinist eigenschappen gebruiker Xandra

Keuze in Xandra		Eigenschappen machinist				
Kans dat machinist rijdt [%]	Type machinist	Aanzet vermogen [%]	Gereden constante snelheid [km/u]	Uitrolpunt [km]	Remvermogen t.o.v. comfortremming [%]	Parameter X
30	A	100	Maximumsnelheid	25	100	Waarde Y
60	B	90	Weibull (maximumsnelheid,2)	Uniform (33,36)	90	Waarde Z
10	C	Kenmerken machinist C				

Het invullen van deze gegevens kan voor het uitrolpunt op basis van een data-analyse, met het daarbij gebruikte faseherkenning algoritme, zoals gedaan in paragraaf 4.4.3. Deze uitrolverdeling is door verschillen in rijtijdspeeling en maximumsnelheden sterk afhankelijk van het traject waarop gereden wordt. Het is daarom nodig deze voor elk traject los te bepalen, tenzij in een onderzoek wordt aangetoond dat een universele verdeling voor het uitrolpunt toegepast kan worden. Het invullen van de in de Tabel 6.1 voorgestelde parameters kan lastig zijn om ervoor te zorgen dat Xandra een goed beeld geeft van de werkelijkheid.

Het faseherkenning algoritme kan in sommige situaties niet bruikbaar zijn door invloed van hellingen rondom faseovergangspunten of gps-verlies in tunnels. Indien dit niet het geval is kan de vertrekvertraging worden gebruikt om het uitrolpunt te bepalen. Door aan te nemen dat elke machinist op tijd wil aankomen volgens dienstregeling kan uit de rijtijdspeeling en de vertrekvertraging het maximale tijdsverlies door uitrollen worden berekend. In een formule kan dit worden weergegeven als:

$$\text{Maximaal tijdsverlies uitrollen [s]} = \text{Rijtijdspeeling [s]} - \text{Vertrekvertraging [s]}$$

Gegeven het maximale tijdsverlies moet het uitrolpunt bepaald kunnen worden. Xandra dient dus een functionaliteit te hebben die uit het maximale tijdsverlies voor uitrollen de plaats van het uitrolpunt kan berekenen. Het grote voordeel hiervan is dat geen externe onderzoeken nodig zijn om een spreiding in de uitrolpunten te bepalen. Daarbij zijn vertrekvertragingen zeer eenvoudig af te leiden uit meetgegevens

Het simuleren van de uitrolpunten op deze manier zorgt ervoor dat vertrekvertragingen wel degelijk significant invloed gaan hebben op het uitrolpunt, indien de vertrekvertraging minder dan 180 seconden bedraagt. Daarmee wordt het effect van de vertrekvertraging op het uitrolpunt wellicht overdreven ten opzichte van de gemeten ritten in dit onderzoek (zie, paragraaf 4.5.3). Machinisten zijn vakmensen die op tijd willen aankomen (Bijlage Y: Interview J. Mulder). Het modelleren van aankomstvertragingen door bewust groen te rijden is daarom geen goede representatie van de gedachte van de machinist. Het bepalen van het uitrolpunt op basis van de vertrekvertraging zou dus een mogelijkheid kunnen zijn om zonder een spreiding in de werkelijke uitrolpunten werkelijk gereden gedrag te simuleren

Tenslotte is de Dons weerstandsformule die wordt gebruikt in de Xandra simulaties voor dit onderzoek niet representatief voor de werkelijkheid. Deze formule is mogelijk voor een worst-case scenario opgesteld. De weerstand wordt namelijk hoger berekend dan deze in werkelijkheid is. De zelf opgestelde algemene formule voor de treinweerstand met daarin de gebruikte parameters uit Treinplein.net is daarentegen een goede benadering van de werkelijke weerstand en wordt daarom aanbevolen om werkelijk gereden gedrag te simuleren.

7 Conclusie

UZI is een rijstrategie die door machinisten van NS wordt gebruikt om energiezuinig te rijden. Dit levert veranderingen in het werkelijk gereden gedrag op. Arcadis wil graag weten hoe zij dit met Xandra kunnen simuleren. Om te bepalen hoe dit gedrag in Xandra gesimuleerd kan worden werd de volgende hoofdvraag opgesteld.

Hoe kan machinistengedrag worden beschreven op basis van gps-data op het traject Rotterdam Blaak-Dordrecht-Roosendaal en hoe kan dit gedrag worden vertaald naar een nieuwe uitrolfunctie in Xandra?

UZI schrijft voor dat machinisten maximaal optrekken naar maximale snelheid, uitrollen vanaf een in UZI-kaartjes aangegeven uitrolpunt en op het laatste moment, een voor de reiziger comfortabele, remming inzetten (comfortremming). Met uitrollen wordt het uitschakelen van de tractie en het enkel afremmen door weerstandskrachten bedoelt. Het is mogelijk in Xandra dit voorgeschreven UZI-gedrag te simuleren. Hierbij dient wel gebruik te worden gemaakt van de in dit onderzoek opgestelde algemene weerstandformule en hiervoor de parameters van Treinplein.net te gebruiken. Deze formule geeft namelijk een goede benadering van de werkelijke weerstand. De Dons weerstandsformule berekent een te hoge weerstand dan de werkelijke weerstand.

Om machinistengedrag te beschrijven aan de hand van gps-data is een algoritme opgesteld dat kan bepalen in welke ritfase een meetpunt zich bevindt. Door invloed van de Willemsspoortunnel, Spoorbrug Dordrecht en de Moerdijkbrug was het alleen mogelijk dit algoritme toe te passen op het traject Dordrecht – Roosendaal. Na filtering van gehinderde ritten zijn de resterende ritten op dit traject gebruikt om machinisten gedrag te karakteriseren.

De gps-data laat zien dat het machinistengedrag breder moet worden benaderd dan UZI-gedrag alleen. In 29% van de ritten wordt niet uitgerold en in de ritten waarin wel wordt uitgerold zit een grote spreiding in het uitrolpunt. Terwijl UZI slechts een vast uitrolpunt kent. Het is daarom nodig meer dan alleen UZI-gedrag te kunnen simuleren in Xandra.

Het wel of niet uitrollen wordt gekarakteriseerd als respectievelijk groene rit of sportieve rit. In sportieve ritten wordt niet uitgerold en geremd op het laatst mogelijke moment met een comfortremming. In groene ritten wordt wel uitgerold en dit wordt volgehouden totdat een comfortremming ingezet moet worden. Het uitrolpunt kent een spreiding in de werkelijkheid. In groene ritten wordt sneller opgetrokken en minder hard geremd dan in sportieve ritten. In beide type ritten wordt gemiddeld langzamer constant gereden dan de maximumsnelheid. Deze drie kenmerken kennen wel een spreiding per machinisttype. De werkelijk gereden ritten bevatten dus een grote variatie in de snelheidsprofielen.

In Xandra ontbreekt echter op dit moment de mogelijkheid om deze variatie in het snelheidsprofiel te simuleren in één simulatie. De variatie in de snelheidsprofielen is voor het toetsen van dienstregelingen niet nodig. Er is dus een verschil in type simulatie dat nodig is voor het doel van de simulatie. Het simuleren van werkelijk gereden gedrag en daarmee machinistengedrag moet dus meerdere snelheidsprofielen in één simulatie kunnen simuleren.

Om al het mogelijke machinistengedrag te simuleren is het nodig meerdere typen machinisten in te kunnen stellen. Deze machinistentypes moeten specifieke rijgedragseigenschappen (machinisteigenschappen) meegegeven kunnen worden. Het moet mogelijk zijn deze machinisteigenschappen te bepalen volgens (kans)verdelingen, omdat er spreidingen in het aanzetvermogen, gereden constante snelheid, uitrolpunten en remvermogen zijn. Xandra moet aan de hand van een populatie per machinisttype kunnen bepalen welk type machinist in de simulatierit wordt gebruikt. Het simuleren van meerdere simulatieritten levert gezamenlijk het beeld op van werkelijk gereden gedrag.

Bij de simulatie waarin machinistengedrag wordt toegepast hoeft geen rekening te worden gehouden met het lente of winterseizoen waarvoor wordt gesimuleerd. Er is namelijk geen significant verschil in het gemeten rijgedrag te bewijzen. De treinsamenstelling heeft geen invloed op het plaats van het uitrolpunt. Wel is het nodig machinisteigenschappen te specificeren per vertrekvertraging. Machinisten rollen na drie minuten vertrekvertraging namelijk niet meer significant uit.

Door de machinisteigenschappen in te stellen volgens de door ERTMS Pilot voorgestelde simulatieregels voor machinistengedrag kan ook dit worden gesimuleerd. Uit de gemeten data blijkt dat dit echter niet voldoende is om werkelijk gereden gedrag te simuleren. Om hiervoor de instellingen van de machinisteigenschappen te kunnen bepalen kan het faseherkenning algoritme uit dit onderzoek gebruikt worden.

Het kan echter voorkomen dat dit algoritme door grote invloeden van hellingen rondom fase overgangspunten niet bruikbaar is. Door gebruik te maken van gesimuleerde vertrekvertraging en het verband tussen het toenemen van de ritduur, naarmate het uitrolpunt verder weg van de plaats van bestemming komt te liggen, kan een benadering van de uitrolspreiding gedaan worden. Door aan te nemen dat machinisten op tijd op de plaats van bestemming willen komen en hieruit hun uitrolpunt aanpassen, is er een verband tussen de vertrekvertraging en het uitrolpunt op te stellen. Xandra dient uit een simulatiestudie het verband tussen het uitrolpunt en de verloren rijtijd te bepalen. Door de gegeven rijtijdspeling af te trekken van de vertrekvertraging kan de overgebleven tijd worden gebruikt om uit te rollen. Uit het door Xandra opgestelde verband kan vervolgens het uitrolpunt worden bepaald. Hierdoor is eenzelfde spreiding te creëren in de uitrolpunten en wordt voldaan aan het concept altijd op tijd te willen aankomen.

8 Aanbevelingen

Het is nu bekend hoe UZI-gedrag vertaald kan worden naar een nieuwe uitrolfunctie in Xandra. Er is echter nooit onderzocht in hoeverre deze nieuwe functie vragen van een opdrachtgever kan beantwoorden. Daarom wordt aanbevolen te onderzoeken in hoeverre de uitrolfunctie bij zal dragen aan de vragen van een opdrachtgever; waarom zou Arcadis werkelijk rijgedrag willen simuleren?

Ook ontbreekt de mogelijkheid in dit onderzoek het opgestelde faseherkenning algoritme te gebruiken voor trajecten waarin hellingen significant invloed hebben op het snelheidsprofiel rondom fase wisselingen. Het kan zeer interessant zijn om een algoritme te hebben dat dit, zonder beïnvloed te worden door hellingen en gps-verlies nog steeds kan interpreteren. Aanbevolen wordt nader onderzoek te doen naar de mogelijkheden om uit gps-gegevens ritfases te kunnen classificeren zonder beïnvloed te worden door hellingen.

In dit onderzoek een weerstandsformule opgesteld die de weerstand zeer goed benaderd. Er is echter nog niet een marktbrede bevestiging van de in dit onderzoek opgestelde formule. Een bevestiging van deze formule maakt de formule robuuster. Hierom wordt aanbevolen in een vervolgonderzoek de weerstand nader te bepalen met een onderbouwing van de gekte weerstandsformule.

Tenslotte wordt aanbevolen te onderzoeken in hoeverre het beschreven UZI-gedrag (groene rijgedrag) in dit onderzoek terug te vinden is op andere trajecten. Hierdoor kan de onzekerheid die er nu nog is hoe UZI-gedrag op ander trajecten wordt toegepast worden weggenomen. Ook kunnen hierdoor de invloeden van verschillende treintype en rijtijdspeling nader onderzocht worden. Aansluitend zou een analyse van de invloeden op het rijgedrag in de herfst ook een zeer nuttig vervolgonderzoek zijn. Door gladdere sporen in de herfst kunnen remwegen langer zijn, wat invloed zou kunnen hebben op het uitrolgedrag.

Overzicht afkortingen

N.A.P. – Normaal Amsterdams Pijl
VIRM – Verlengd Interregionaal Rail Materieel
NS – Nederlandse Spoorwegen
OBE-bladen – Overzicht Baan en Emplacement bladen
OS-bladen – Overzicht Seinbeelden bladen
ATB – Automatische treinbeïnvloeding
ATB-EG - Automatische treinbeïnvloeding Eerste Generatie
TSB – Tijdelijke snelheidsbeperking
n.v.– niet vergelijkbaar
Rtb – Rotterdam Blaak
Ddr – Dordrecht
Rsd – Roosendaal
t.o.v. – ten opzichte van

Verwijzingen

- Brand, I., & Kalle, i. (2017). *Train simulation model Xandra*. Opgehaald van Citeseerx: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.126.4906&rep=rep1&type=pdf>
- Brax, E. (2014). *A train driver's view: Rotterdam CS - Dordrecht, VIRM, 1-Sep-2014*. Opgeroepen op mei 1, 2017, van YouTube: <https://www.youtube.com/watch?v=q4RuE4CXFOI>
- Bruggenstichting. (2017). *Spoorhefbrug o.d. Oude Maas*. Opgeroepen op mei 2, 2017, van Bruggenstichting: <http://db.bruggenstichting.nl/BruggenDB/nbs.asp?id=1239&mode=ShowRecord>
- Encyclo. (2017). *Dienstregeling*. Opgeroepen op april 5, 2017, van Encyclo: <http://www.encyclo.nl/begrip/dienstregeling>
- Gigch, J. v., & Kouijzer, A. (1996). *Basis Materieelmodel*. Utrecht: Holland Railconsult.
- Gompel, M. v. (2014). *ILT: meerdere installaties beveiligingssysteem ATB Vv werken niet*. Opgeroepen op mei 29, 2017, van OV Pro: <https://www.ovpro.nl/special/2014/03/04/ilt-meerdere-installaties-beveiligingssysteem-atb-vv-werken-niet/>
- Gompel, M. v. (2016, mei 9). *Kritiek op routelint door spoorvakbond is onterecht*. Opgeroepen op 2017, van Spoor Pro: <https://www.spoorpro.nl/materieel/2016/07/27/kritiek-op-routelint-door-spoorvakbond-is-onterecht/>
- Google. (2017). *Google maps*. Opgeroepen op mei 2, 2017, van Google maps: <https://www.google.nl/maps/@51.7129908,4.4288639,11z>
- Goverde, R. M. (2011). *Design and Control of Public Transport Systems*. Delft: TU Delft.
- Jansen van Galen, M. (2016). *Energy Efficient Train Control in the Netherlands*. Enschede: Universiteit Twente.
- Lexion. (2013). *Sectie*. Opgeroepen op april 13, 2017, van Treinwiki: <http://www.treinwiki.nl/tag/sectie/>
- Lloyd's Register Rail Europe B.V. (2014). *Treintype karakteristieken*. Opgeroepen op mei 9, 2017, van Treinplein: https://treinplein.net/cas/login?service=https%3A%2F%2Ftreinplein.net%3A443%2Flogin_check
- Luijt, R., Berge, M. v., Willeboordse, H., & Hoogenraad, J. (2017). 5 years of Dutch eco-driving: Managing behavioural change. *Elsevier*, 46-63.
- MacDonald, M., & Zigterman, L. (2015). *Antwoord onderzoeksvraag 02.07*. Utrecht: ProRail.
- MeteoRoosendaalWest. (2017). *Weersamenvatting 2016*. Opgehaald van Meteo Roosendaal: <http://meteorosendaal.nl/index.php?p=wsWUstart&ID=INOORDBR66&month=06&day=25&year=2017&units=M&mode=4#data-area>
- Ministerie van Infrastructuur en Milieu. (2017). *Eisen aan dienstregeling*. Opgeroepen op april 12, 2017, van Rijksoverheid: <https://www.rijksoverheid.nl/onderwerpen/openbaar-vervoer/inhoud/eisen-aan-dienstregeling-ov>
- NS. (2016). *Halfjaarrapportage HRN-Concessie*. Utrecht: NS.

- NS. (2017). *Groene Stroom*. Opgeroepen op mei 19, 2017, van NS: <http://www.ns.nl/over-ns/energie/groene-stroom.html>
- NS. (2017). *Klantoordelen en Prestaties*. Utrecht: NS.
- NS Reizigers. (2011). *Seinenboek NS Reizigers*. Utrecht: NS Reizigers.
- OSM. (2007). *Waalviaduct*. Opgeroepen op mei 2, 2017, van Map io: <http://mapio.net/s/41224641/>
- Oud, H., & Koten, D. v. (1987). *Tunnels in Nederland: ondergrondse transportschakels*. Amsterdam: Bouwdienst Rijkswaterstaat.
- Ov Tijden. (2017). *Ov tijden archief 2016*. Opgeroepen op mei 9, 2017, van Ov tijden: <https://www.ovtijden.com/avtdag/DDR/20160421/>
- Pachl, J. (2002). *Railway Operation and Control*. Rochester: VTD Rail Publishing.
- Pieters, M. (2015). *Nederlands enige Treinbeveiliging-site*. Opgeroepen op mei 16, 2017, van Beveiliging: <http://marcrpieters.nl/>
- Pieters, M. (2017). *ATB-EG*. Opgeroepen op mei 29, 2017, van Marc Pieters: <http://www.marcrpieters.nl/atb.html>
- Projectteam capaciteitseffecten ERTMS. (2014). *Railmap ERTMS Bijlage 1*. Utrecht: ProRail.
- ProRail. (2007). *Maatregelen reistijdverbeteringen, bijlage 2: keuze treinbeveiliging*. Utrecht: ProRail.
- ProRail. (2016). *Rangeerterrein Kijfhoek*. Utrecht: ProRail.
- ProRail. (2017). *Netverklaring*. Utrecht: ProRail.
- ProRail. (2017). *Netwerkverklaring 2018*. Utrecht: ProRail.
- ProRail. (2017). *Over punctualiteit*. Opgeroepen op mei 3, 2017, van ProRail: <http://www.prorail.nl/reizigers/over-punctualiteit>
- ProRail. (2017). *ProRail in cijfers*. Opgeroepen op mei 4, 2017, van ProRail: <http://www.prorail.nl/over-prorail/wat-doet-prorail/prorail-in-cijfers>
- ProRail. (2017). *Railmaps regio Zuid Holland*. Opgeroepen op juni 27, 2017, van Railmaps: https://www.railmaps.nl/SilverlightViewer/Viewer.html?Viewer=RailMaps_Extern
- ProRail, NS, CapTrain, DB Schenker, LTE, Shunter, Strukton en TX. (2015). *Eindrapport pilot Amsterdam-Utrecht ERTMS*. Utrecht: NS.
- ProRail, NS, Ministerie van Infrastructuur en Milieu. (2015). *De invoering van ERTMS*. Utrecht: NS.
- Robinson, S. (2014). *Simulation*. United Kingdom: Palgrave.
- Scheepmaker, G. (2013). *Rijtijdspeling in treindienstregelingen: EZR vs. robuustheid*. Opgehaald van TU Delft: <http://repository.tudelft.nl/islandora/object/uuid:c9a3971f-8b01-4ac4-a61c-90b41d41d7af/datastream/OBJ/view>
- Scheepmaker, G., & Goverde, R. (2015). The interplay between energy-efficient train control and scheduled running time supplements. *Elsevier*, 225–239.

- Slootjes, E. (2013). *Vergelijkend onderzoek naar ERTMS invoering en gebruik scenario's*. Enschede: Universiteit Twente.
- Spilt, N. (2017). *Verkortingen tabel*. Opgeroepen op mei 29, 2017, van Nico Spilt:
http://www.nicospilt.com/verkortingen_tabel.htm
- ter Horst, W. (2010). *Overstromingsrisico Dijkkring 17 IJsselmonde*. Den Haag: Ministerie van Infrastructuur en Milieu.
- Tielman, W. (2017). Beschrijving dataset.
- Tromp, W. (2017). *Schaal van Beaufort*. Opgeroepen op mei 30, 2017, van Weerstation Uithuizermeeden:
<http://www.weerstationuithuizermeeden.nl/Schaal-van-Beaufort.htm>
- Vooren, R. v. (2016). *Xandra user manual*. Opgeroepen op mei 3, 2017, van Arcadis Sharepoint:
https://arcadiso365.sharepoint.com/SITES/EMEUK_XANDRA/UserManual
- Wende, D.-I. (1983). *Fahrdynamik*. Berlijn: Transpress.
- Wilco. (2016). *Gekoppelde VIRM Almere*. Opgeroepen op april 20, 2017, van OV in Nederland:
<http://wiki.ovinnederland.nl/wiki/Bestand:8707-2600.jpg>

Bijlage

Bijlage A: Spoorkaart 2016



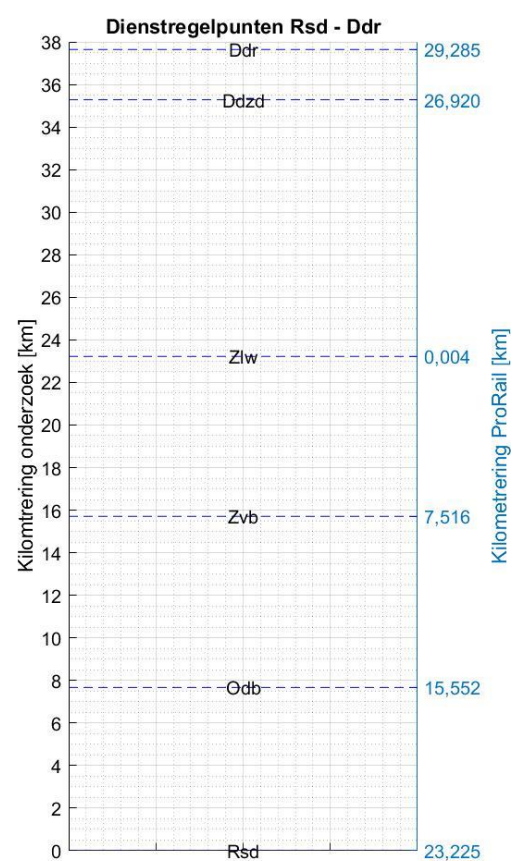
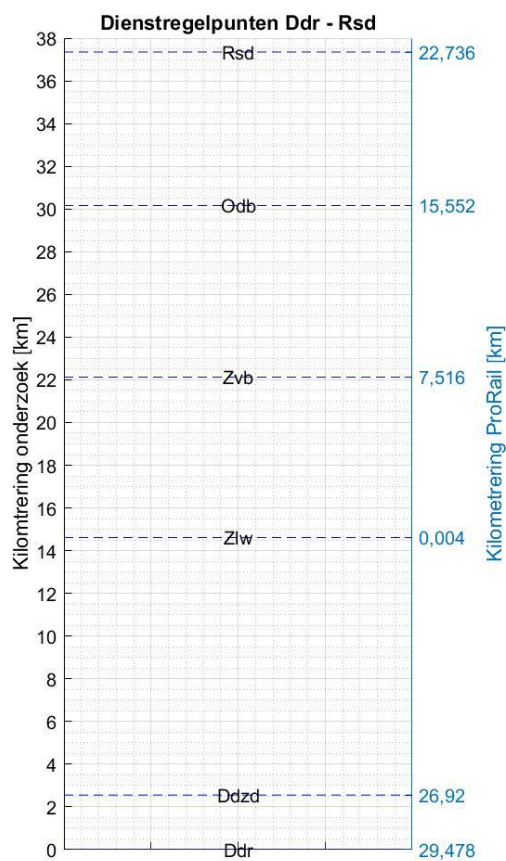
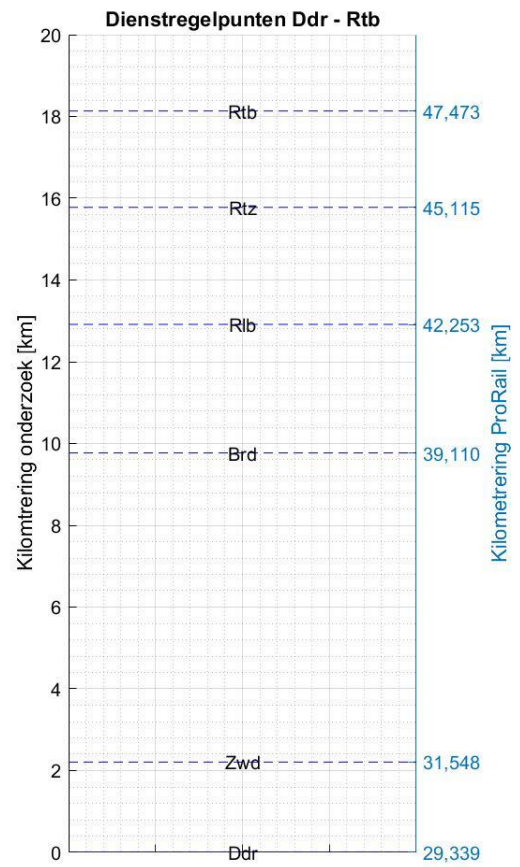
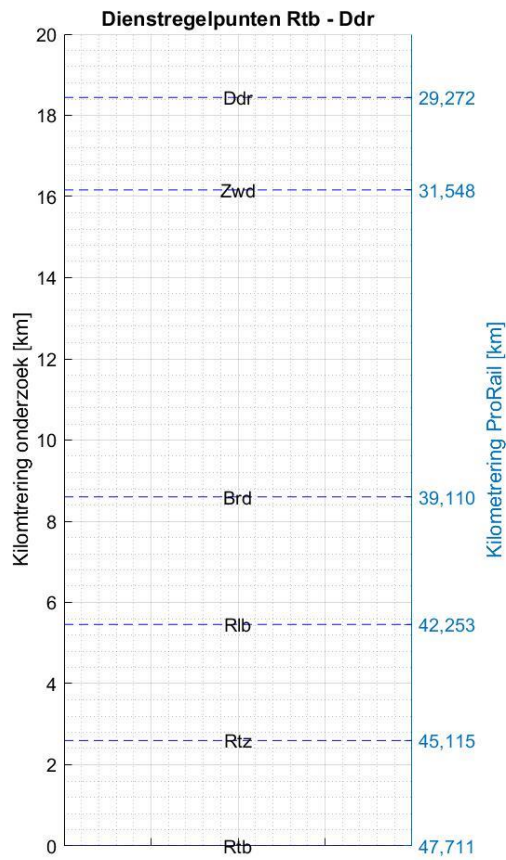
Figuur 0.1 - Spoorkaart 2016 (Luijt, Berge, Willeboordse, & Hoogenraad, 2017)

Bijlage B: Overzicht infrastructuur



Figuur 0.2 – Overzichtskaart topografie studiegebied, onderzoekstraject geel gemarkeerd (ProRail, 2017)

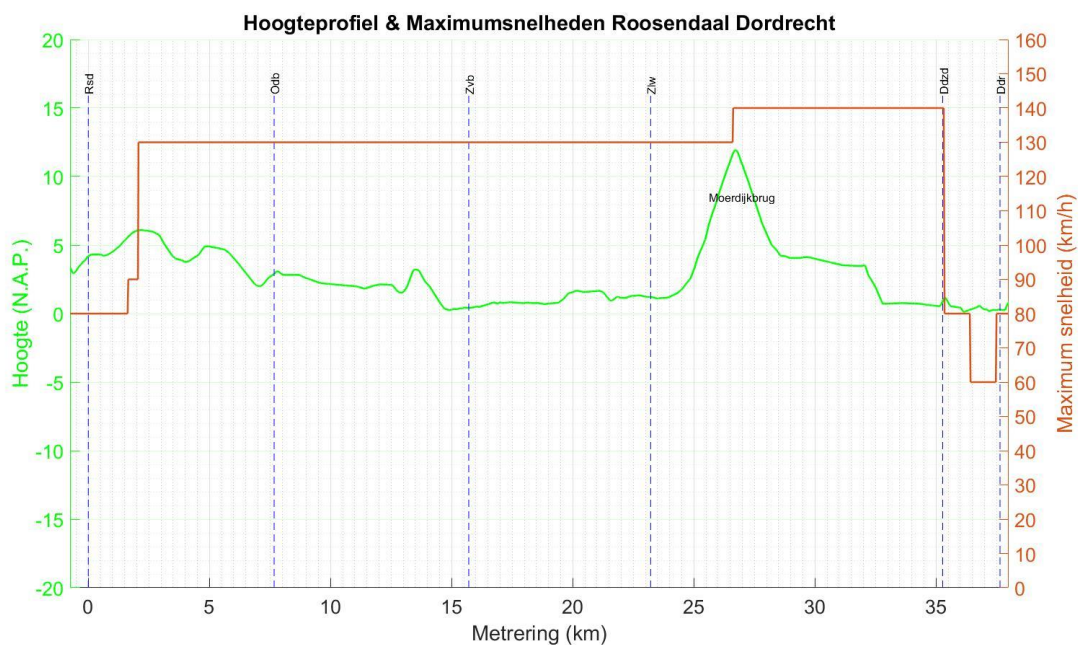
Bijlage C: Overzicht dienstregelpunten



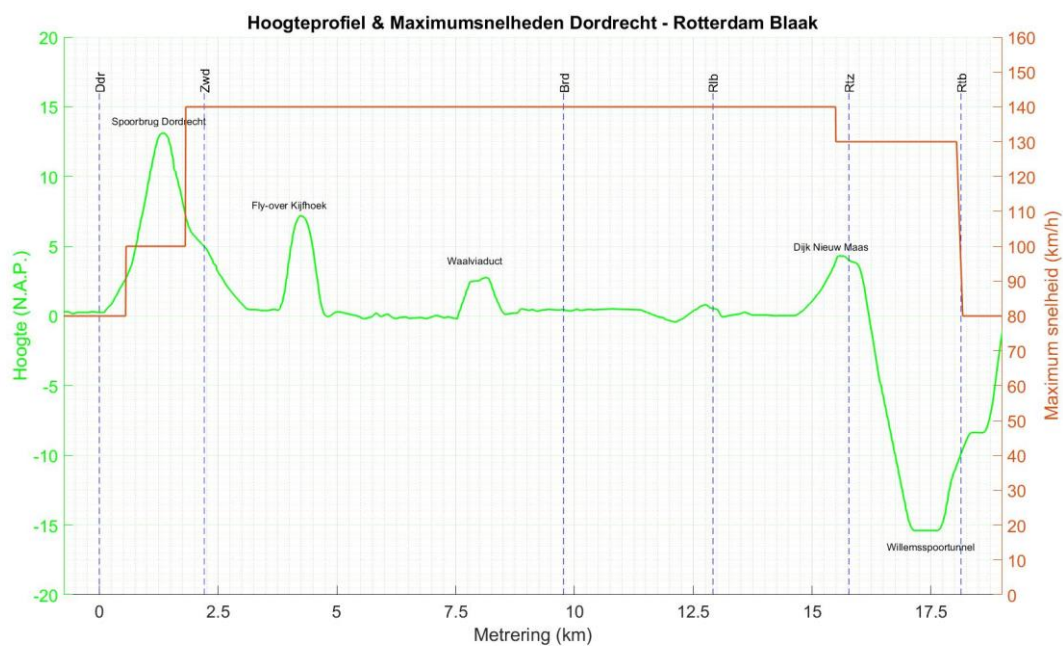
Tabel 0.1 - Overzicht afkortingen dienstregelpunten (Spilt, 2017)

Rtd	Rosendaal
Odb	Oudenbosch
Mabr	Markbrug
Zvbi	Zevenbergen (industrie/inh)
Zvb	Zevenbergen
Zlw	Lage Zwaluwe
Mdbz	Moerdijkbrug
Wld	Willemsdorp
Dtd	Dordrecht Zuid
Ddr	Dordrecht
Gbr	Grote Brug
Zwd	Zwijndrecht
Kthaz	Kijfhoek aansluiting
Brd	Barendrecht
Rlb	Rotterdam Lombardijle
Rst	Rotterdam Stadion
Rtz	Rotterdam Zuid
Wltz	Willemstunnel Zuid
Rtb	Rotterdam Blaak

Bijlage D: Hoogteprofielen

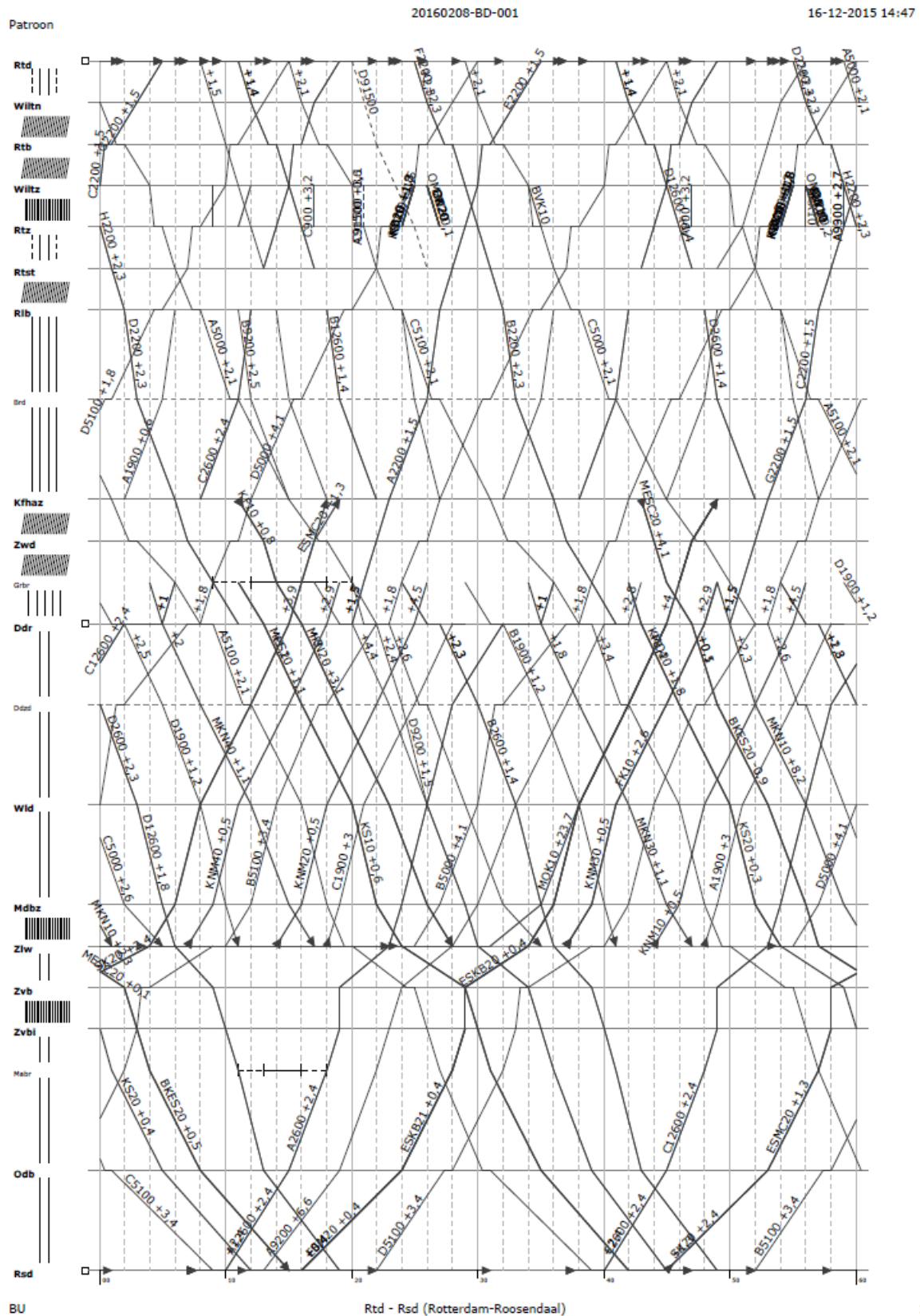


Figuur 0.3 - Hoogteprofiel en maximumsnelheden Rosendaal – Dordrecht



Figuur 0.4 - Hoogteprofiel en maximumsnelheden Dordrecht - Rotterdam Blaak

Bijlage E: BUP Rotterdam Centraal – Roosendaal

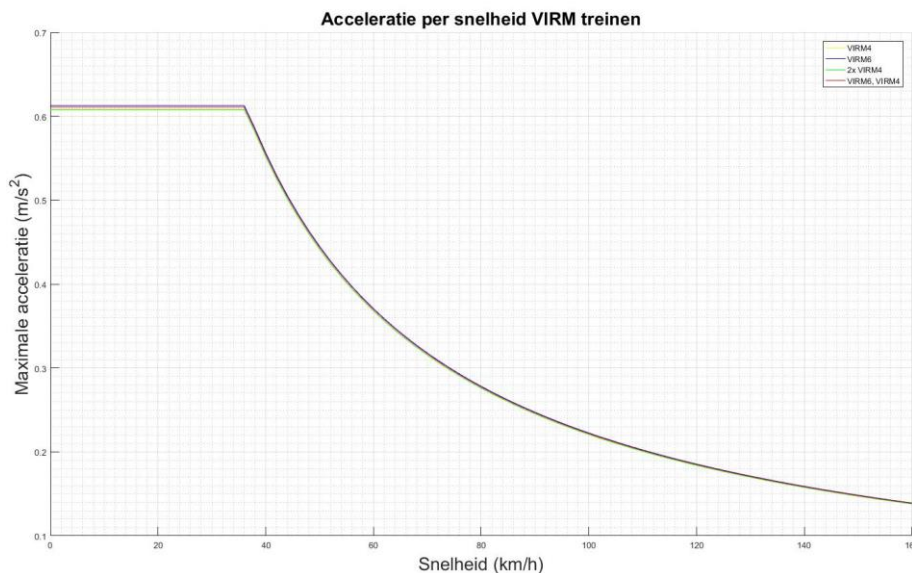


Figuur 0.5 - Basis Uur Patroon Rtd - Rsd (spits) 2016

Bijlage F: Kenmerken treinsamenstellingen

Tabel 0.2 - Kenmerken treinsamenstellingen (Lloyd's Register Rail Europe B.V., 2014)

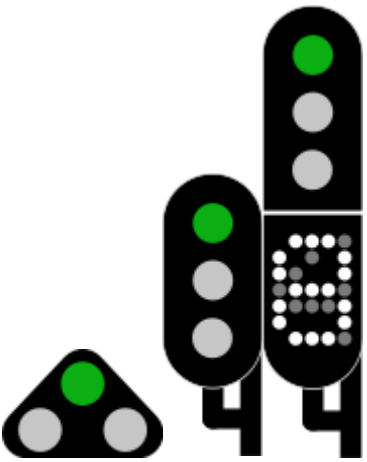
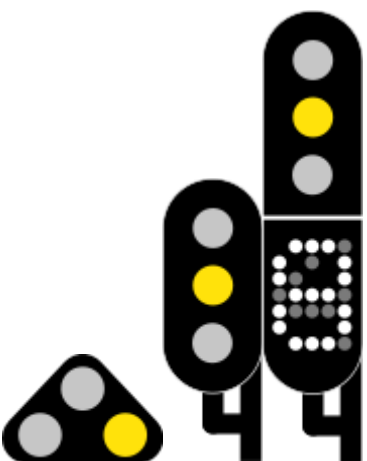
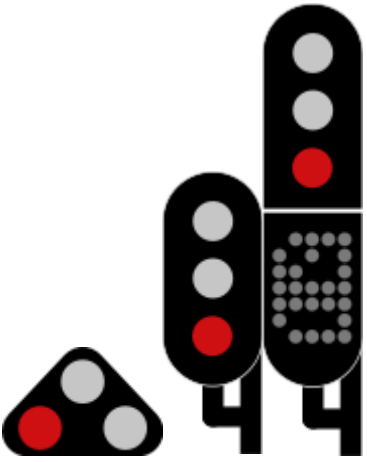
Type	VIRM IV	VIRM VI	2x VIRM IV	VIRM IV, VIRM VI
Gewicht ledig [kg]	234600	349000	469200	583600
Massa comfortabel [kg] ¹⁷	31075	45725	62150	76800
Massa acceptabel [kg]	37300	55025	74600	92325
Massa vol [kg]	43825	64475	87650	108300
Zitplaatsen (incl. klapstoelen) [-]	407	597	814	1004
Sta plaatsen [-]	186	276	327	462
Loopweerstand [N/kg]	0,00678	0,00678	0,00678	0,00678
Snelheidsafhankelijke loopweerstand [N/(kg * m/s)]	0	0	0	0
Interne luchtweerstand [N/(m/s)]	0	0	0	0
Lengteafhankelijke weerstand [N/(m/s) ²]	2,36490	2,36490	2,36490	2,36490
Kop/staart weerstand [N/(m/s) ²]	1,3030	1,3030	1,3030	1,3030
Aantal bakken [-]	4	6	8	10
Lengte [m]	109	162	217	271



Figuur 0.6 - Maximale acceleratie treinsamenstelling (op basis van $F_{trekkracht} = m_{ledige\ massa} * a$) (Lloyd's Register Rail Europe B.V., 2014)

¹⁷ Comfortabele bezetting gaat uit van alle stoelen bezet (100% bezettingsgraad), acceptabele bezetting gaat uit van het rekenkundig gemiddelde van de capaciteiten 'comfortabel' en 'vol' (121% bezettingsgraad), volle bezetting zijn alle zitplaatsen (excl. klapzittingen) en sta plaatsen bezet (142% bezettingsgraad).

Bijlage G: Seinbeelden NS'54

	<i>Hooggeplaatst groen licht:</i> Voorbijrijden toegestaan met inachtneming van de plaatselijke snelheid. Indien bij vertrek de plaatselijke snelheid niet bekend is, is voorbijrijden met een snelheid van ten hoogste 40 km/u toegestaan. <i>Hooggeplaatst knipperend groen licht met een verlicht getal:</i> Voorbijrijden toegestaan met ten hoogste de door het getal aangegeven snelheid. (Getal * 10km/u) <i>Hooggeplaatst knipperend groen licht of laaggeplaatst knipperend groen licht:</i> Voorbijrijden toegestaan met een snelheid van ten hoogste 40 km/u.
	<i>Hoog- of laaggeplaatst geel licht:</i> Snelheid begrenzen tot 40 km/u en afhankelijk van zicht en beremming met een zodanige snelheid verder te rijden om voor het eerstvolgende ('stop' tonende) sein te kunnen stoppen. <i>Hoog- of laaggeplaatst knipperend geel licht:</i> Voorbijrijden toegestaan met maximaal 40km/u en op zicht (ROZ). Dit wordt meestal gebruikt voor een rijweg naar bezet spoor (om bijvoorbeeld twee stellen te combineren). <i>Hooggeplaatst geel licht met verlicht getal:</i> Snelheid begrenzen tot de door het getal aangegeven snelheid. Deze snelheid moet bij het volgende lichtsein bereikt zijn. <i>Hooggeplaatst geel licht met knipperend getal:</i> Snelheid begrenzen tot de door het getal aangegeven snelheid. Als het volgende lichtsein een verdere snelheidsbegrenzing gebiedt wordt de remming niet onderbroken.
	<i>Hoog- of laaggeplaatst rood licht:</i> Stoppen voor het sein.

Bron: (NS Reizigers, 2011)

Bijlage H: UZI-kaartjes

Kort traject (rijtijd 2 t/m 8 minuten)

Probeer altijd zo snel mogelijk de aangegeven snelheid te rijden. Dus kort optrekken en lang uitrollen.

Rijtijd in minuten	Uitschakelen bij
2	80 km/h
3	90 km/h
4	100 km/h
5	110 km/h
6	120 km/h
7	130 km/h (SGM n.v.t.)
8	140 km/h (SGM n.v.t.)

Stoptrein 5744 van Hollandse Rading naar Hilversum Sportpark.
Vertrek Hollandse Rading 13.20 uur, aankomst Hilversum Sportpark 13.25 uur. Rijtijd van 5 minuten. Vlot optrekken en bij 110 km/h tractie uitschakelen.

Lang traject (rijtijd meer dan 8 minuten)

Probeer altijd zo snel op te schakelen naar de baanvak-snelheid! Indien mogelijk, na bereiken van de baanvak-snelheid, het aangegeven aantal minuten voor aankomst uitschakelen.

Baanvak-snelheid	Uitschakelen (oms baanvak-snelheid is bereikt)
140 km/h	8 min. voor aankomst (SGM n.v.t.)
130 km/h	7 min. voor aankomst (SGM n.v.t.)
120 km/h	6 min. voor aankomst
110 km/h	5 min. voor aankomst
100 km/h	4 min. voor aankomst

ICE 2134 van Leiden naar Schiphol, vertrektijd Leiden 12.30 uur. De aankomst is 12.45 uur. Rijtijd is 15 min. De baanvak-snelheid is 140 km/h. Dat betekent dus dat je 8 minuten kunt aftrekken van de aankomsttijd. Uitschakelen om 12.37 uur.

Figuur 0.7 – UZI-kaartje (Scheepmaker G., 2013)

VAN	NAAR	RIJTIJD	UZI ADVIES IN KM/H	BIZONDERHEDEN
Asd	A Sgra	- 2:00	40-60- 1x80	
Sgra	- Ass	+ 4:00	uitrollen	
Ass	+ Asdl	+ 4:00	80- 1x100	
Asdl	+ Shl	V 6:00	80- 1x100	
Shl	A Ledn	V 16:00	140 Uitschakelen bij Nvp	
Ledn	A Laa	+ 9:00	80- 1x130	
Laa	+ Gv	V 3:00	1x60	
Gv	A Dt	+ 6:00	1x120	TSB 80
Dt	+ Sdm	+ 8:00	1x120	
Sdm	+ Dhs	- 2:00	1x80	
Dhs	- Rtd	V 3:00	uitrollen	
Rtd	A Rtb	+ 3:00	1x60	
Rtb	+ Ddr	V 12:00	1x140	
Ddr	A Mdbz	- 8:00	140	
Mdbz	- Zlw	- 1:00	Uitschakelen bij Km18, uitrollen tot Zlw	
Zlw	- Mabr	- 4:00	130	
Mabr	- Rsd	V 8:00	Uitschakelen bij Km 10	
Rsd	A Bgn	+ 9:00		EZR niet mogelijk, rijtijd te kort
Bgn	+ Rb	+ 9:00	140 uitschakelen bij Km 18.5, Snelheid handhaven bij brug	120 HH klim
Rb	+ Kbd	+ 4:00	1x100	
Kbd	+ Krg	+ 5:00	1x120	EZR niet mogelijk, rijtijd te kort
Krg	+ Bzl	+ 6:00	1x110	
Bzl	+ Gs	V 6:00	1x90	
Gs	A Arn	+ 9:00	140 Uitschakelen bij Km 54	
Arn	+ Mdb	+ 5:00	1x80	
Mdb	+ Vss	+ 4:00	1x100	
Vss	+ Vs	V 5:00	60	

Publicatiedatum: 11-02-2016 Queljoe, BJ de, Bron: bnunku@zeelandnet.nl

Afkortingen en symbolen	Betekenis
+	Korte stop, 30 seconden voor vertrektijd aankomen
-	Doorrij station of dienstregelpunt
VSB	Vaste snelheidsbeperking
BVS	Baanvak-snelheid
HH	Snelheid handhaven bij klim die is ontstaan door het uitrollen
1x120	1x naar de aangegeven snelheid
40	De aangegeven snelheid aanhouden
U	Uitschakelen tractie
Km	Kilometerbord / Hectometerbord

Figuur 0.8 – UTT-kaartje 2600A Amsterdam Centraal – Vlissingen (Kaart is opgevraagd bij Gerben Scheepmaker)

Bijlage I: Weerstandformules

8.1.1 Opbouw weerstandsformule

Het simuleren van de treinweerstand gebeurt aan de hand van een weerstandsformule. Er bestaan meerder formules van diverse bedrijven. Allen hebben zij eenzelfde opbouw (Wende, 1983):

$$F_{wtrein} = a + b * v + c * v^2$$

De parameters a , b en c zijn omschreven als

$$a = cr_1 \cdot M + ca_2 \cdot v_{wind} + ca_1 + (ca_{31} + N \cdot ca_{32}) \cdot v_{wind}^2$$

$$b = ca_2 + 2 \cdot v_{wind} \cdot (ca_{31} + N \cdot ca_{32}) + cr_2 \cdot M$$

$$c = ca_{31} + N \cdot ca_{32} + cr_3 \cdot M$$

Met daarin:

Parameter	Omschrijving	Eenheid
F_{wtrein}	Weerstand van de trein	N
cr_1	Loopweerstand	N/kg
cr_2	Snelheidsafhankelijke loopweerstand	$N/kg * (m/s)$
cr_3	Kwadratisch snelheidsafhankelijke loopweerstand	$N/kg * (m/s)^2$
ca_1	Luchtweerstand	N
ca_2	Snelheidsafhankelijke luchtweerstand	$N/(m/s)$
ca_{31}	Kop/staart luchtweerstand (kwadratisch snelheidsafhankelijk)	$N/(m/s)^2$
ca_{32}	Lengte afhankelijke luchtweerstand (kwadratisch snelheidsafhankelijk)	$N/(m/s)^2$
v	Snelheid waarop gereden wordt	m/s
v_{wind}	Snelheid tegenwind	m/s

8.1.2 Weerstandformules Dons (huidig gebruikt Xandra)

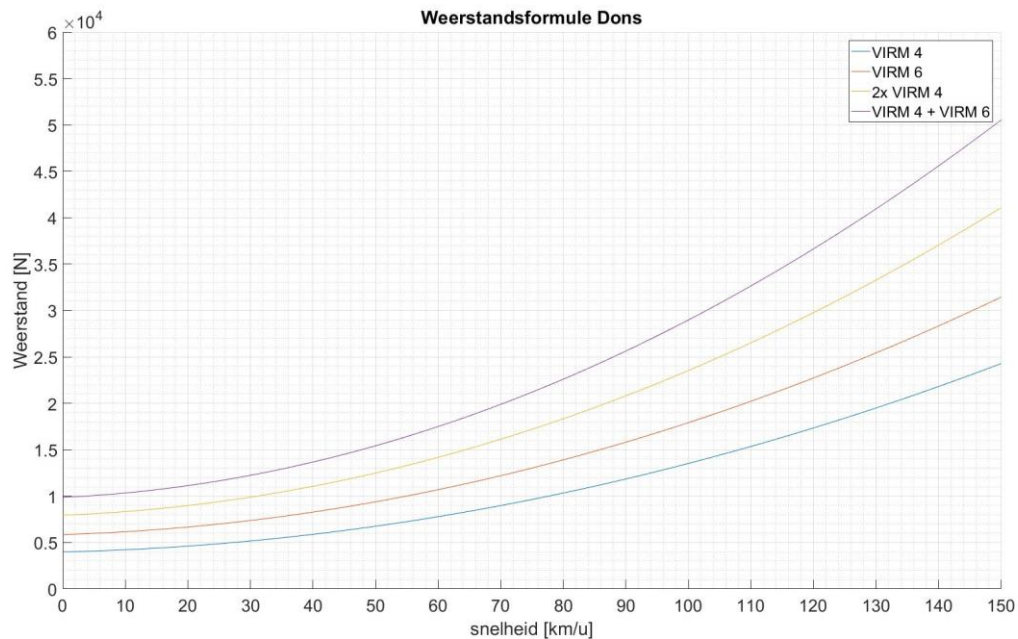
In Xandra worden voor de huidige simulatiemodellen de weerstandsformules gebruikt die afkomstig zijn van ProRail en ook worden gebruikt in het dienstregelingsontwerpprogramma Dons. De bron van de formules mag niet openbaar worden gemaakt. De formules zijn geplot in Figuur 0.9

Treinsamenstelling	Weerstandformule
VIRM 4	$F_{wtrein} = 14,706 * M - 0.7 * v + 0.8 * (v + v_{wind})^2$
2x VIRM 4	$F_{wtrein} = 14,719 * M - 0.1 * v + 1.3 * (v + v_{wind})^2$
VIRM 6	$F_{wtrein} = 14,727 * M + 0.6 * v + (v + v_{wind})^2$
VIRM 4 + VIRM 6	$F_{wtrein} = 14,713 * M - 0.9 * v + 1.6 * (v + v_{wind})^2$

Met daarin:

Parameter	Omschrijving	Eenheid
F_{wtrein}	Weerstand van de trein	N
M	Massa van de trein (Trein met 100% bezetting)	ton
v	Snelheid waarop gereden wordt	km/u
v_{wind}	Snelheid tegenwind (moet op 10 km/u zijn ingesteld) ¹⁸	km/u

¹⁸ 10 km/u (windkracht 2 Beaufort) (Tromp, 2017).



Figuur 0.9 - Weerstandformules Dons (massa = massa ledig + massa comfortabel, vwind = 10 km/u)

8.1.3 Weerstandformules Treinpleint.net

De weerstandsformule van treinplein.net kent een basisformule. De formule is terug te vinden in diverse onderzoeken (Scheepmaker G. , 2013), (Jansen van Galen, 2016) en (Gigch & Kouijzer, 1996). De parameters in de formule zijn te vinden in (Lloyd's Register Rail Europe B.V., 2014).

De weerstandsformule is als volgt opgebouwd

$$W_{trein} = (A + N * B) * (v + v_{wind})^2 + m_{trein} * (C + d * v) + N * E * (v + v_{wind})$$

Met daarin:

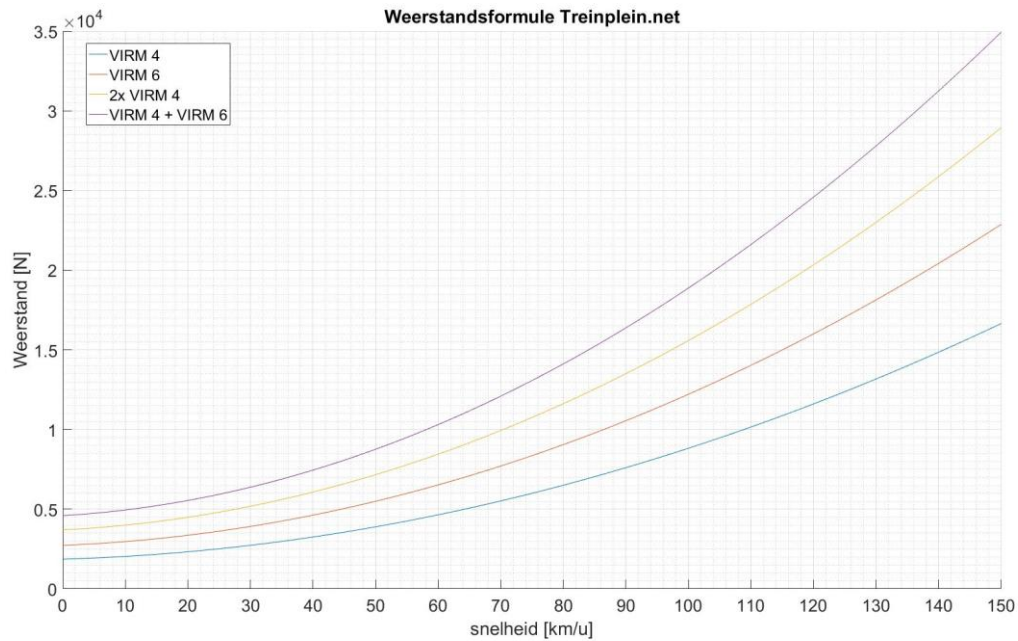
Parameter	Omschrijving	Eenheid
W_{trein}	Weerstand van de trein	N
A	Kop/start luchtweerstandcoëfficiënt	$N/(m/s)^2$
N	Aantal rijtuigen	—
B	Lengte afhankelijke luchtweerstandcoëfficiënt	$N/(m/s)^2$
v	Snelheid waarop gereden wordt	m/s
v_{wind}	Snelheid tegenwind	m/s
m_{trein}	Massa van de trein	kg
C	Loopweerstandcoëfficiënt	N/kg
d	Snelheidsafhankelijke loopweerstandcoëfficiënt	$N/kg * (m/s)$
E	Interne luchtweerstandcoëfficiënt	$N/(m/s)$

Door de parameters vanuit treinplein in te vullen ontstaan de onderstaande weerstandformules. De formules zijn visueel te zien in Figuur 0.10.

Treinsamenstelling	Weerstandformule
VIRM 4	$F_{wtrein} = 6,78 * M + 0,58 * (v + v_{wind})^2$
VIRM 6	$F_{wtrein} = 6,78 * M + 0,79 * (v + v_{wind})^2$
2x VIRM 4	$F_{wtrein} = 6,78 * M + 0,99 * (v + v_{wind})^2$
VIRM 4 + VIRM 6	$F_{wtrein} = 6,78 * M + 1,19 * (v + v_{wind})^2$

Met daarin:

Parameter	Omschrijving	Eenheid
F_{wtrein}	Weerstand van de trein	N
M	Massa van de trein	ton
v	Snelheid waarop gereden wordt	km/u
v_{wind}	Snelheid tegenwind	km/u



Figuur 0.10 - Weerstandformules Treinplein.net (massa = massa ledig + massa comfortabel, vwind = 10 km/u)

Bijlage J: Overzicht reminstellingen Xandra

Tabel 0.3 – Overzicht reminstellingen Xandra (Projectteam capaciteitseffecten ERTMS, 2014)

Parameter	Waarde	Eenheid
Vrije remming	0,5	m/s^2
Sein remming	0,66	m/s^2
Rem los snelheid ¹⁹	1,0	m/s^3
Rem aanpak snelheid ²⁰	1,0	m/s^3
Sein remming modus	Uitsmeren	-
Minimale remming ²¹	0,31	m/s^2
Afstand voor doel ²²	50	m

¹⁹ Met de rem lossnelheid wordt de tijd tussen het los laten van de remmen door de machinist en het daadwerkelijk los laten van de remmen op de wielen.

²⁰ De rem aanpak snelheid is de tijd tussen het starten van een remming door de machinist en het daadwerkelijk remmen van trein gegeven de gewenste remvertraging.

²¹ Minimale remming volgens ATB, in de praktijk valt deze waarde echter lager uit.

²² Afstand voor het doel dat de snelheid bereikt moet zijn.

Bijlage K: Seinbeelden t.g.v. rood sein

Tabel 0.4 - Overzicht voorafgaande seinbeelden op basis van rood sein station bij nadering Dordrecht vanuit Rotterdam Blaak

Sein	Seinbeeld	Kilometrering [km]
1180	R	18,418
1280	GL	17,655
1326	GL6	16,491

Tabel 0.5 - Overzicht voorafgaande seinbeelden op basis van rood sein station bij nadering Dordrecht vanuit Roosendaal

Sein	Seinbeeld	Kilometrering [km]
1196	R	37,947
1136	GL	37,443
1112	GL6	36,747
627	GL8	35,700

Tabel 0.6 - Overzicht voorafgaande seinbeelden op basis van rood sein bij nadering Roosendaal vanuit Dordrecht

Sein	Seinbeeld	Kilometrering [km]
150	R	37,573
74	GL	36,418

Bijlage L: Invloed bogen

Om te bepalen of het nodig is bogen in te voeren in Xandra, is gekeken in hoeverre de boog met de laagste boogstraal in het traject, het snelheidsprofiel significant beïnvloedt. Xandra bleek een boog niet goed te simuleren. Indien er een boog binnen een gegeven metrerings in de route wordt ingevoerd gaat Xandra ervan uit dat zich over het gehele traject een boog bevindt. Om toch de invloed van bogen op het snelheidsprofiel te kunnen bepalen, is eerst de weerstand van de boog na station Dordrecht berekend. Deze boog is namelijk met een straal van 430 meter de scherpste boog in het onderzoekstraject en dus maatgevend voor de maximale boogweerstand op het hele traject. De boogweerstand berekend volgens de formules uit (Pachl, 2002):

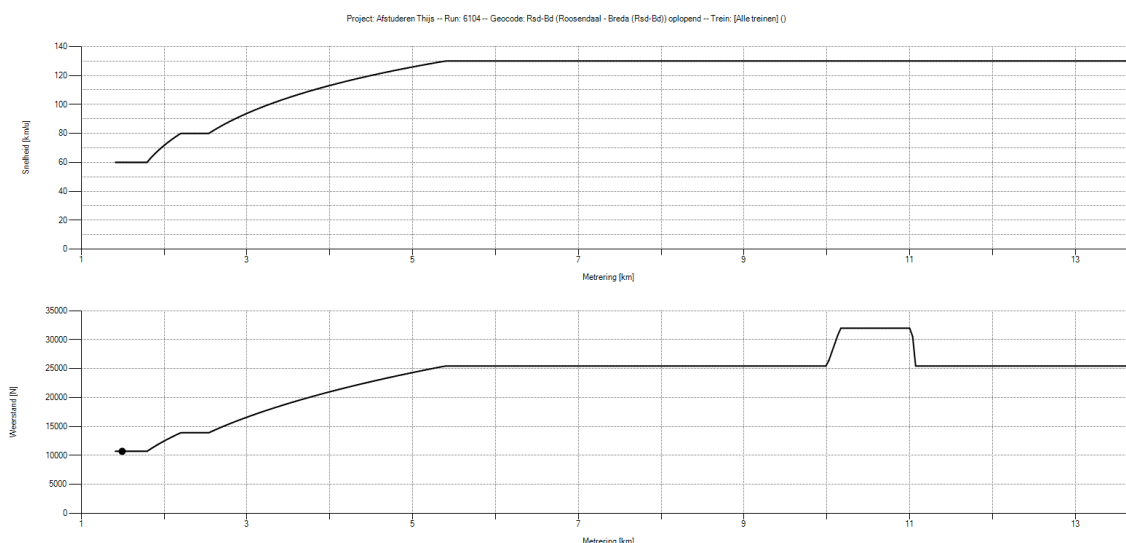
$$r_{curve} = \frac{650}{R - 55} \text{ met } R > 300 \text{ m}$$

$$r_{curve} = \frac{500}{R - 55} \text{ met } R < 300 \text{ m}$$

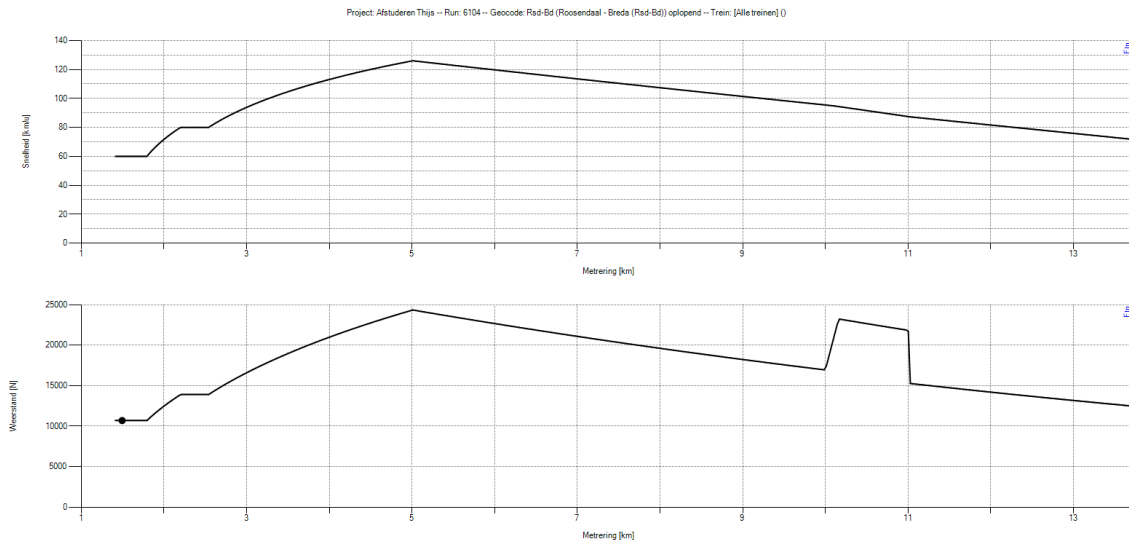
$$R = \text{boogstraal [m]}$$

De boogweerstand wordt berekend op 1,7 ‰. Om te kunnen kijken in hoeverre dit invloed heeft op het rijgedrag, is in Xandra een treinrit gesimuleerd met een VIRM 6 trein en een helling tussen metrerings 10,0 en 11,0 van 1,7‰. Uit de snelheidsprofielen (Figuur 0.11 & Figuur 0.12) valt af te leiden dat indien gereden wordt op constante snelheid de invloed van de boog niet terug te zien is uit het snelheidsprofiel en indien er wordt uitgerold de invloed nihil is. Uit deze resultaten kan worden geconcludeerd dat het niet nodig is om de invloeden van bogen te simuleren op het onderzoekstraject.

Pachl bevestigt dat boogweerstand weinig invloed hebben op de weerstand van een trein, maar dat deze wel een grotere rol spelen als deze in combinatie met grote hellingen voorkomen en het effect op de weerstand kunnen vergroten of verkleinen. In dit traject zijn er geen significante bogen te zien op basis van de topografie in Railmaps op plaatsen waar ook significante hellingen zoals aangegeven in Figuur 2.2 Figuur 2.3 zich bevinden

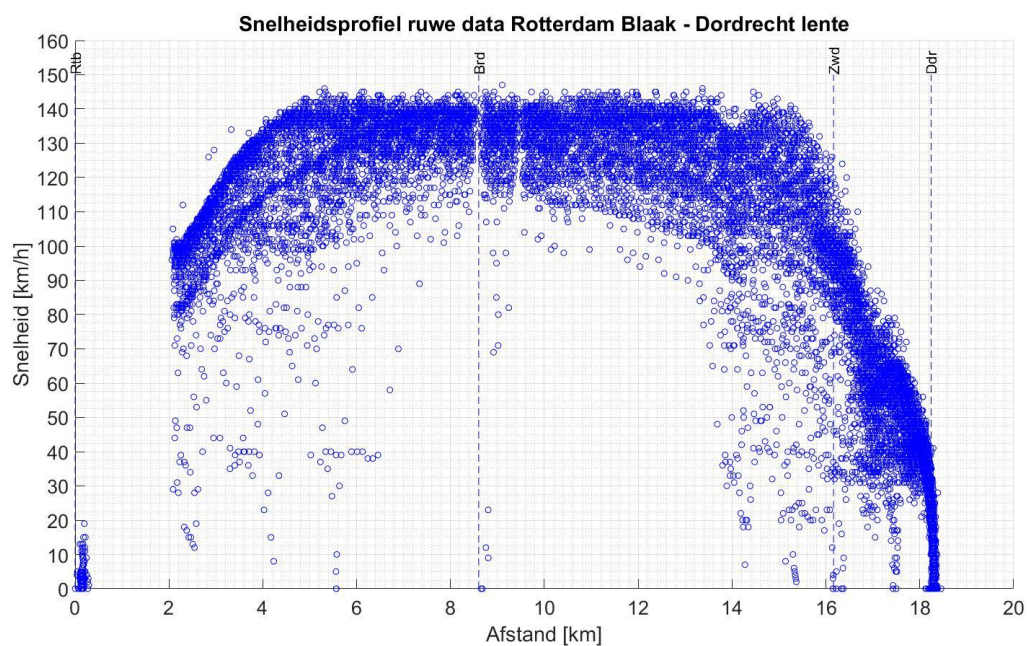


Figuur 0.11 - Snelheidsprofiel helling tussen km 10 en 11 waarbij constante snelheid wordt gereden

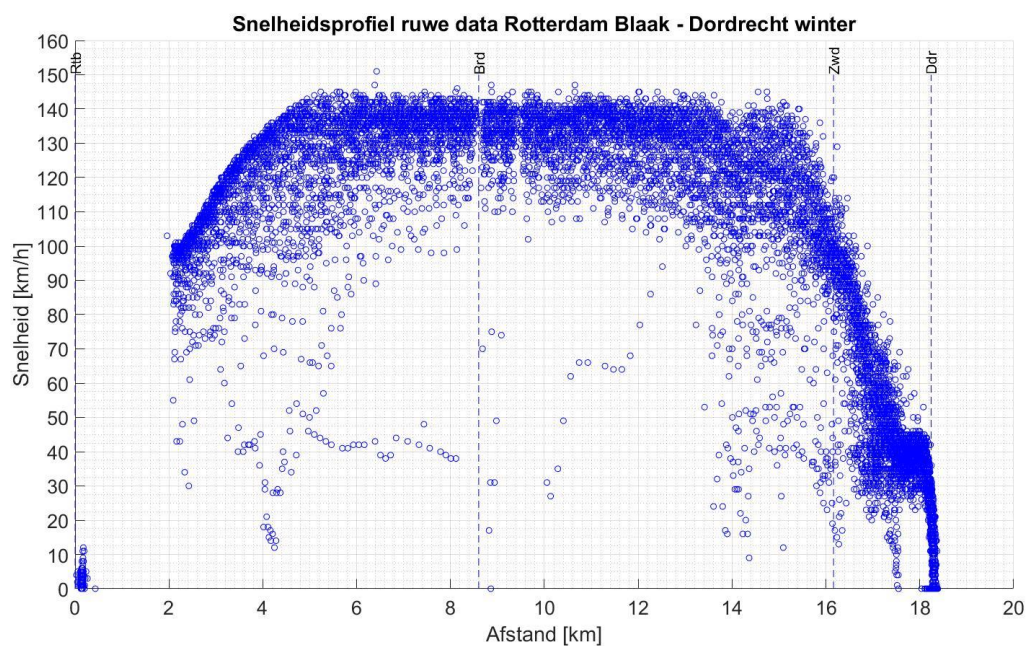


Figuur 0.12 - Snelheidsprofiel helling tussen km 10 en 11 waarbij constante wordt uitgerold

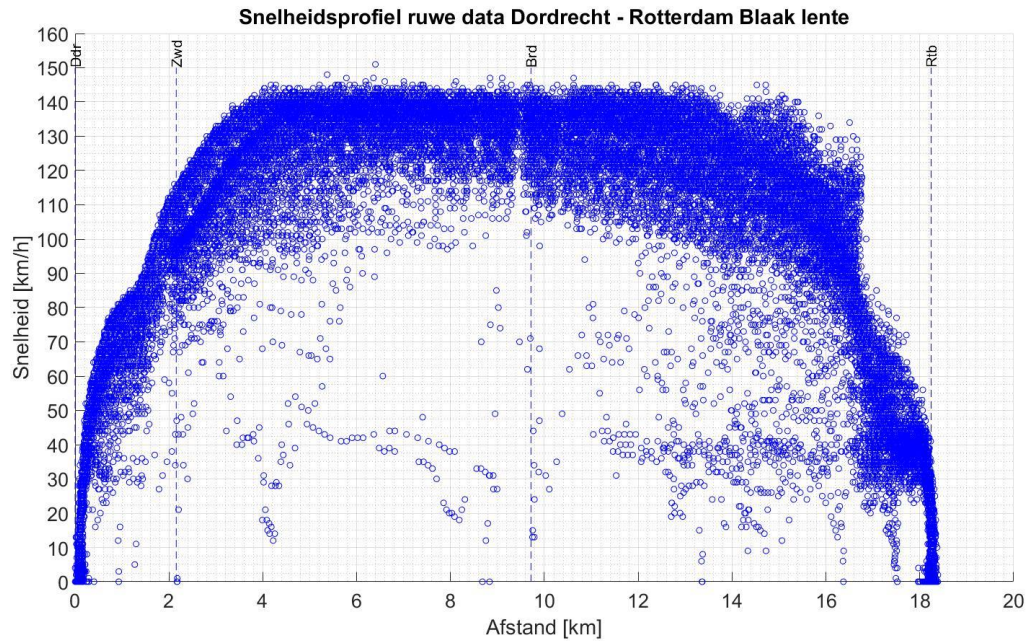
Bijlage M: Ruwe data



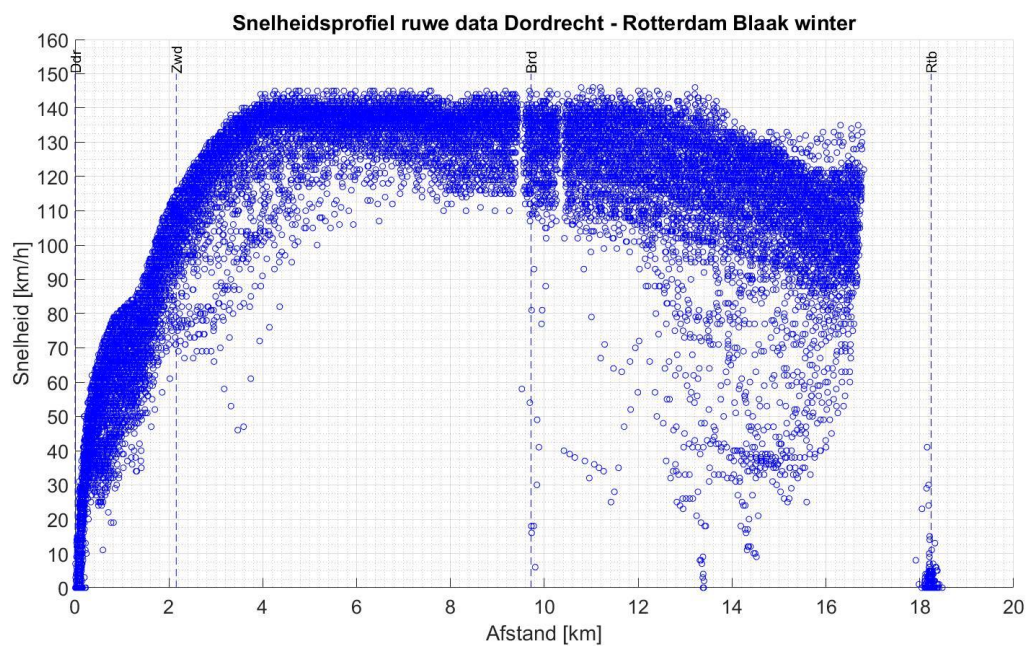
Figuur 0.13 Snelheidsprofiel ten opzichte van afgelegde afstand ongefiltreerde data Rotterdam Blaak - Dordrecht lente (329 ritten)



Figuur 0.14- Snelheidsprofiel ten opzichte van afgelegde afstand ongefiltreerde data Rotterdam Blaak - Dordrecht winter (237 ritten)



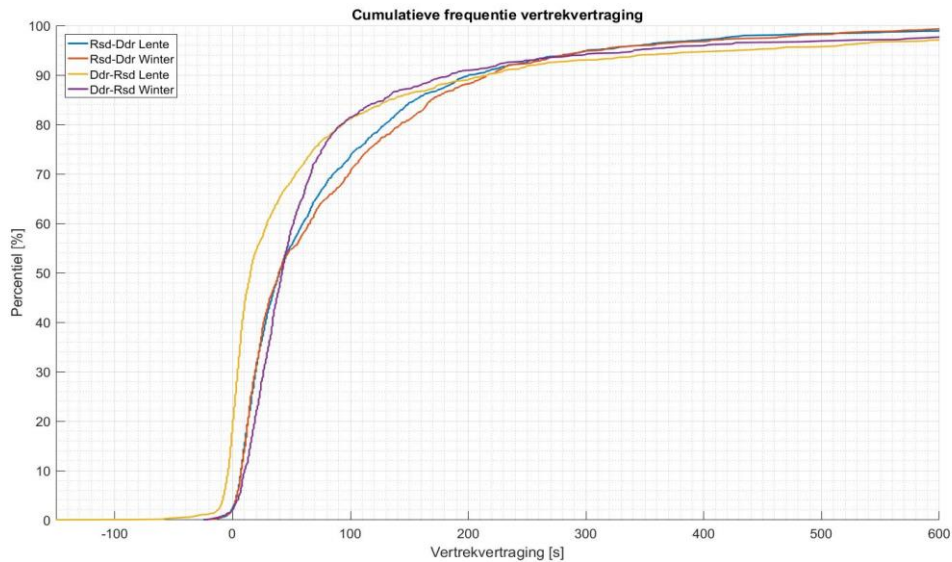
Figuur 0.15 - Snelheidsprofiel ten opzichte van afgelegde afstand ongefilderde data Dordrecht - Rotterdam Blaak lente (613 ritten)



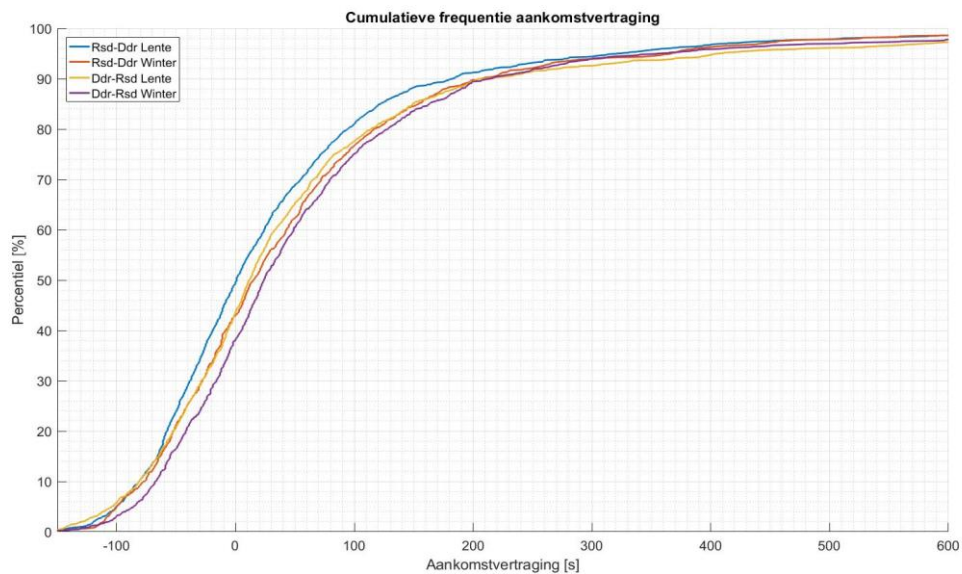
Figuur 0.16 - Snelheidsprofiel ten opzichte van afgelegde afstand ongefilderde data - Rotterdam Blaak lente (419 ritten)

Bijlage N: Cumulatieve frequenties

In de figuren Figuur 0.17 en Figuur 0.18 zijn de cumulatieve vertrek en aankomstvertraging functies geplot. Hieruit valt te herleiden hoeveel procent van de treinen voor of na een bepaald aantal seconden vertraging vertrok of aankwam. De percentages voor te vroeg of te laat vertrekkende treinen zijn te vinden in Tabel 0.7, deze zijn uitgelezen uit de figuren Figuur 0.17 en Figuur 0.18.



Figuur 0.17 - Cumulatieve frequentie vertrekvertraging ongefilderde data Ddr-Rsd en Rsd-Ddr, lente en winter



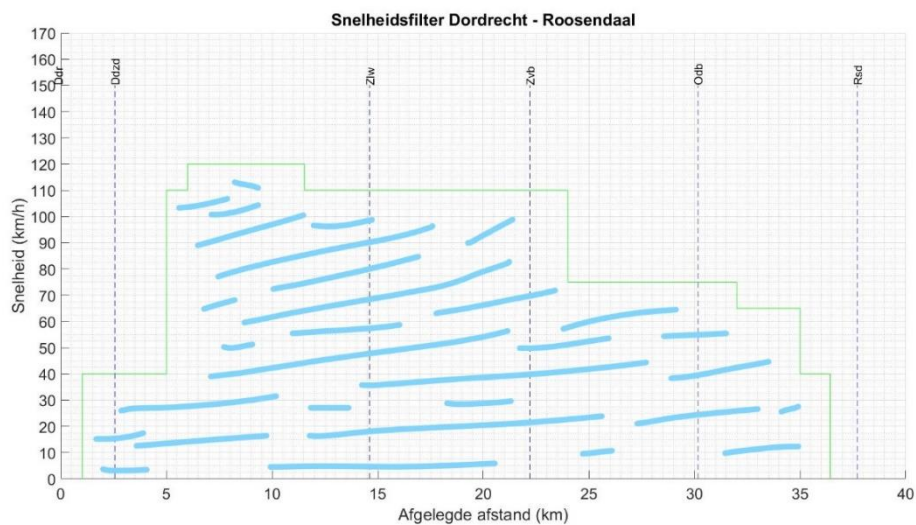
Figuur 0.18 - Cumulatieve frequentie aankomst vertraging ongefilderde data Ddr-Rsd en Rsd-Ddr, lente en winter

Tabel 0.7 - Percentage te vroeg/te laat vertrekkende en aankomende treinen

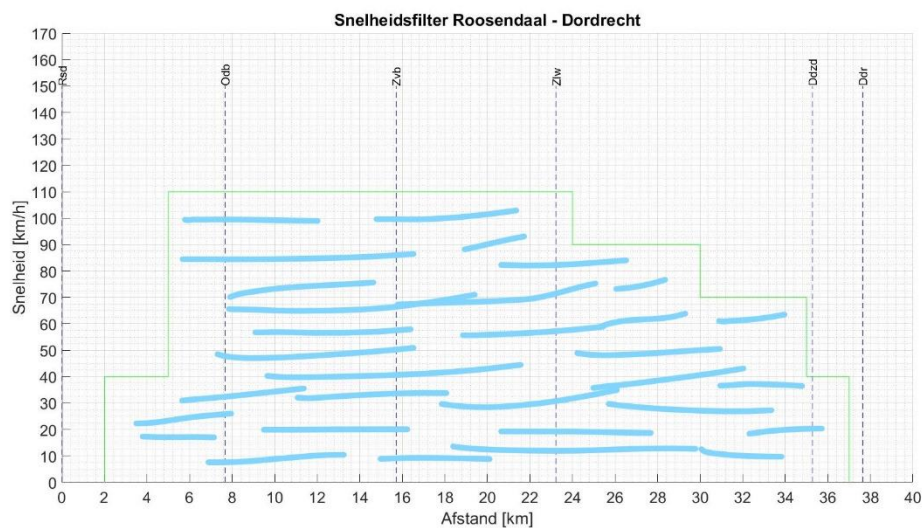
Traject	Te vroeg (<0 sec) [%]	Te laat (>180 sec) [%]
Rsd - Ddr Lente		
Vertrekvertraging	2,2	12,5
Aankomstvertraging	49,1	10,1
Rsd - Ddr Winter		
Vertrekvertraging	1,8	13,6
Aankomstvertraging	42,8	11,7
Ddr - Rsd Lente		
Vertrekvertraging	17,6	11,8
Aankomstvertraging	43,2	12,4
Ddr - Rsd Winter		
Vertrekvertraging	1,8	10,4
Aankomstvertraging	38	13,3

Bijlage O: Filter niet logische snelheden

De ritten met meetpunten onder de groene lijn (in het blauw gearceerde stuk) zijn gefilterd door het snelheidsfilter.

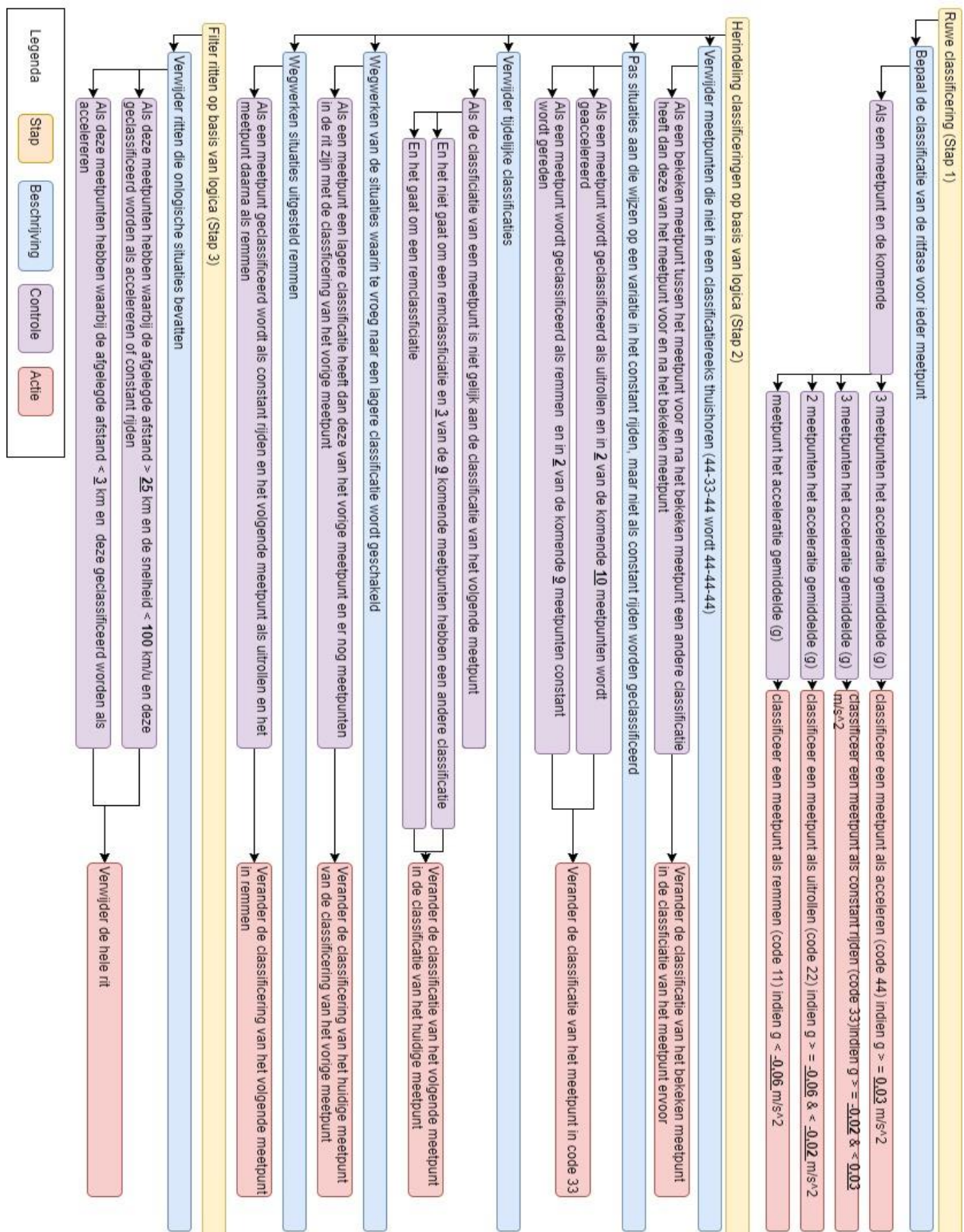


Figuur 0.19 - Snelheidsfilter Dordrecht - Roosendaal

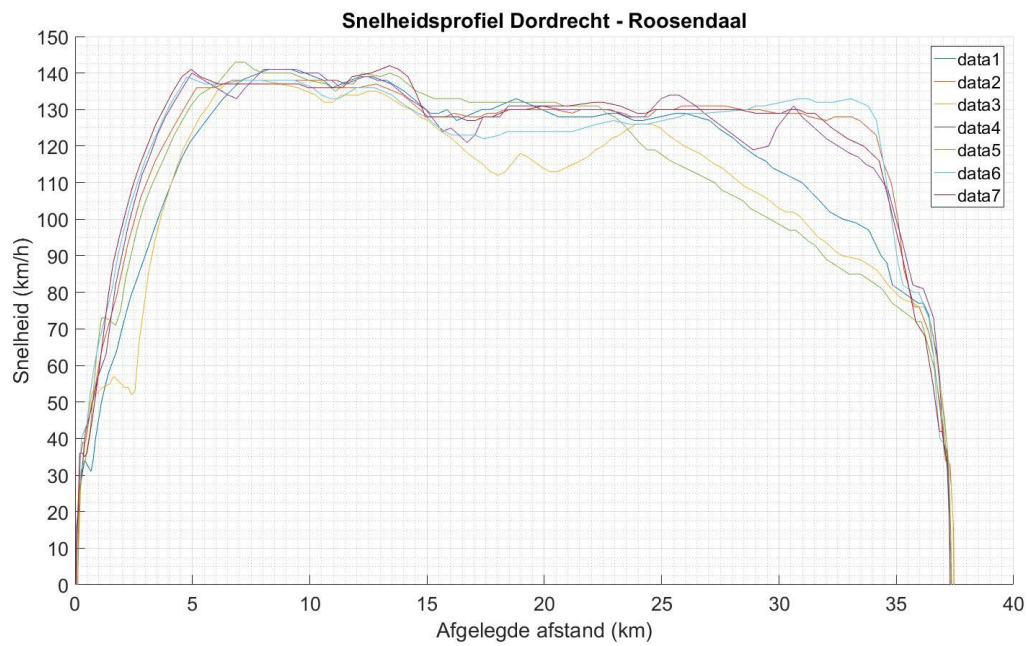


Figuur 0.20 - Snelheidsfilter Roosendaal – Dordrecht

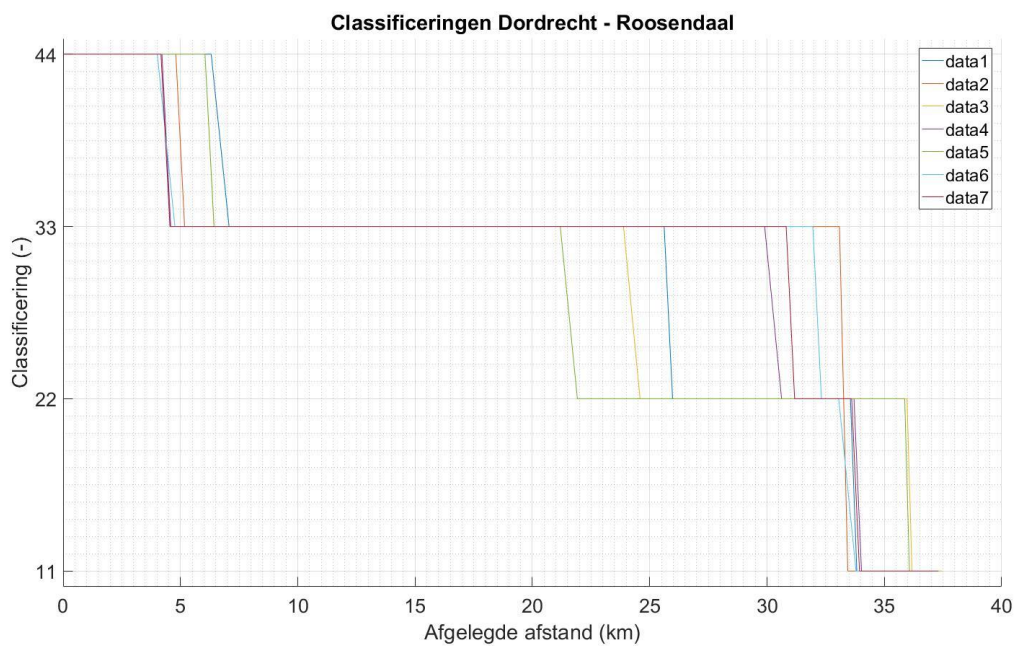
Dit conceptuele model is een geeft in stappen weer hoe het fase herkenning algoritme de meetpunten classificeert op basis van ritfases. Het algoritme gebruikt de acceleratiewaardes van de meetpunten om een ruwe classificatie op te stellen en herstelt deze classificering vervolgens op basis van logica. De in het conceptuele model dikgedrukte en onderstreepte getallen zijn in dit onderzoek bepaald door circa 100 ritten te controleren op correctheid van het algoritme door middel van expert judgment. Deze getallen gaven het beste resultaat voor het algoritme.



Bijlage Q: Voorbeeld classificering ritten



Figuur 0.21 - Snelheidsprofiel van 7 ritten uit de dataset

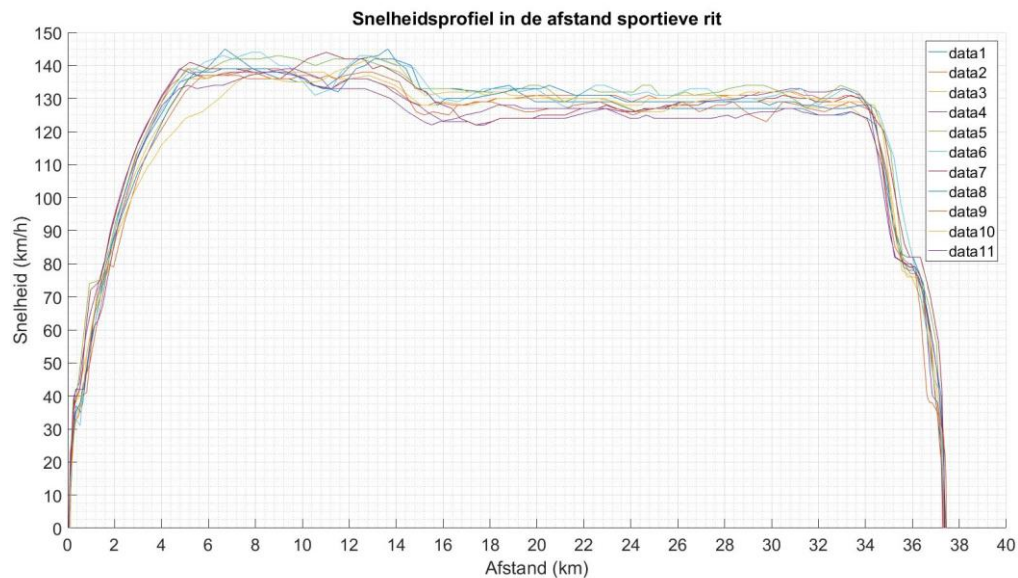


Figuur 0.22 - Bijbehorende classificering van de 7 ritten uit de dataset

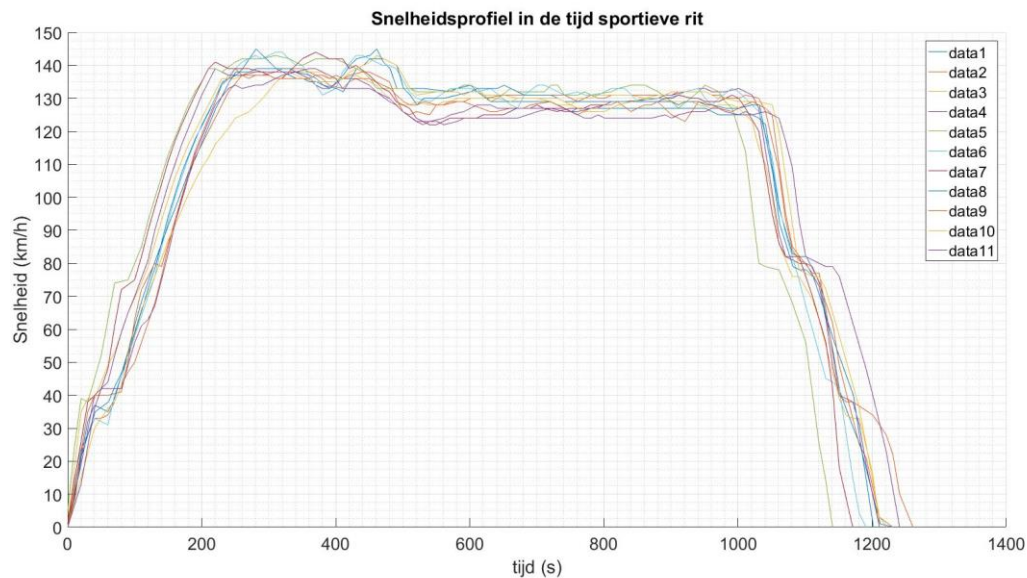
Bijlage R: Verschil sportieve en groene ritten

Op basis van een t-toets uit (Robinson, 2014) met een significantieniveau van 5%

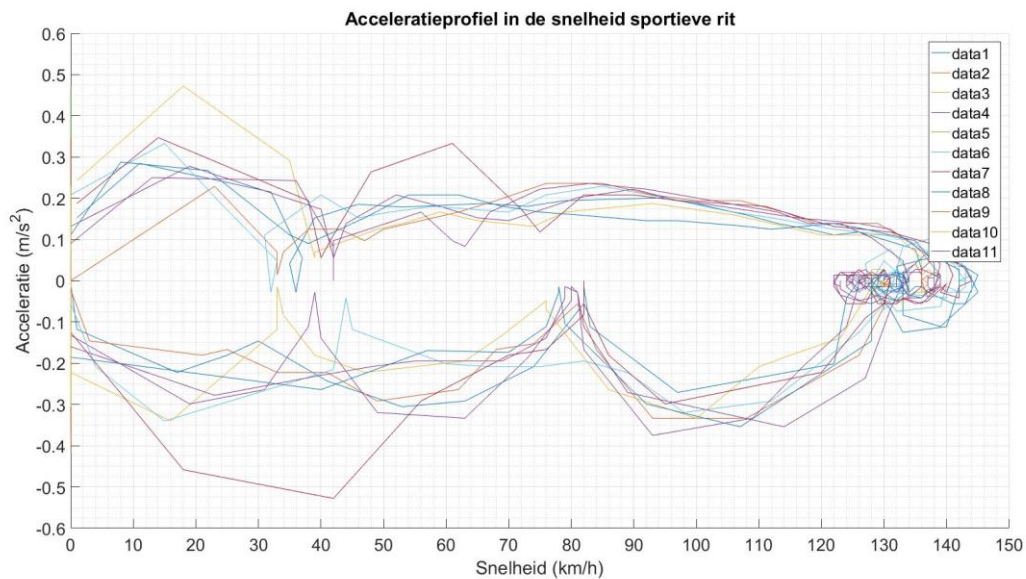
Kenmerk	Groen gem	Groen SD	Sportief gem	Sportief SD	Vers gem	Aantal metingen	Ondergrens	Bovengrens	Conclusie	Som variantie	Variantie verschillen	Resultaat
Accelereren	0.15555 1099	0.08795 0414	0.14958 187	0.08989 8107	0.00596 923	3197	0.002	0.031	S1>S2	0.015816 945	3.79351E-06	Variantie gereduceerd
Remmen	0.156	0.088	0.150	0.090	0.006	3197.000	0.002	0.031	S1>S2	0.016	0.000	Variantie gereduceerd



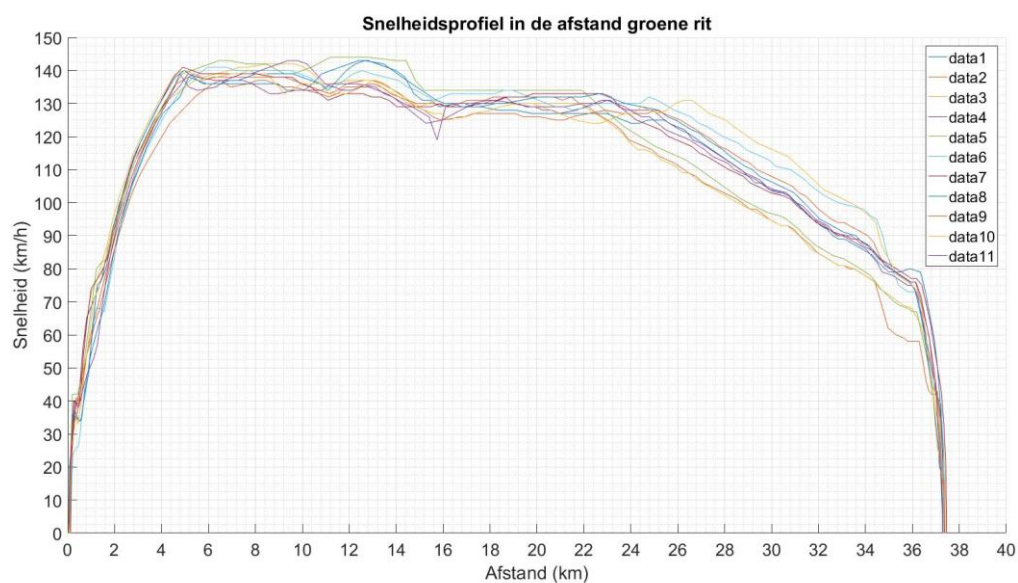
Figuur 0.23 - Snelheidsprofiel ten opzichte van de afstand 11 sportieve ritten Dordrecht - Roosendaal



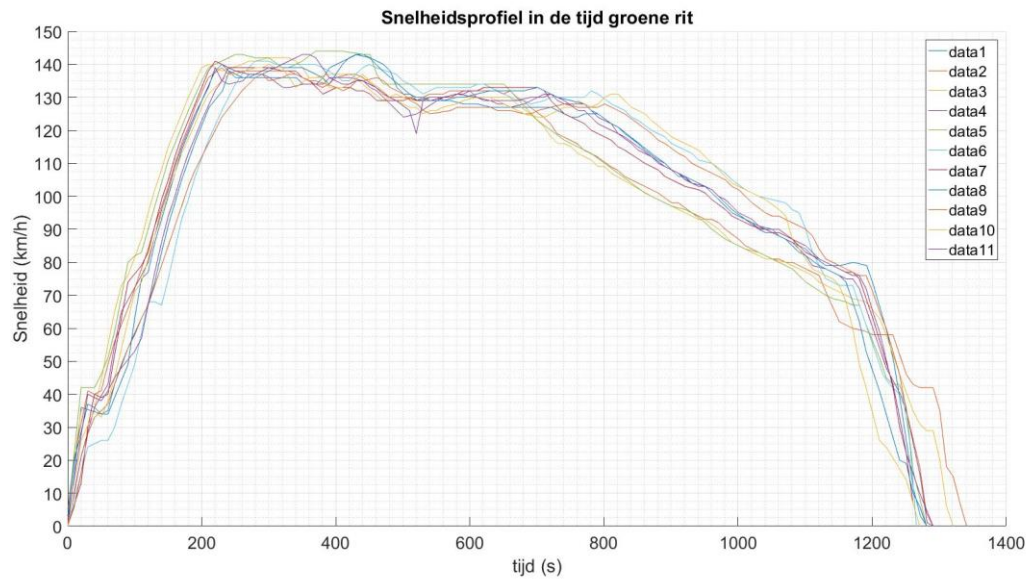
Figuur 0.24 - Snelheidsprofiel ten opzichte van de tijd 11 sportieve ritten Dordrecht - Roosendaal



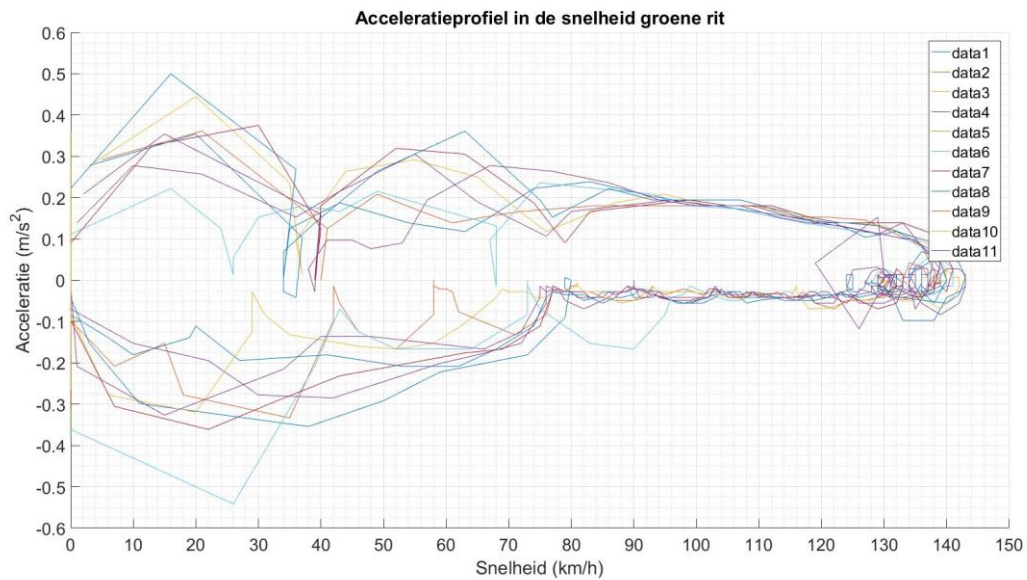
Figuur 0.25 - Acceleratie ten opzichte van de snelheid 11 sportieve ritten Dordrecht - Roosendaal



Figuur 0.26 - Snelheidsprofiel ten opzichte van de afstand 11 groene ritten Dordrecht - Roosendaal



Figuur 0.27 - Snelheidsprofiel ten opzichte van de tijd 11 groene ritten Dordrecht - Roosendaal

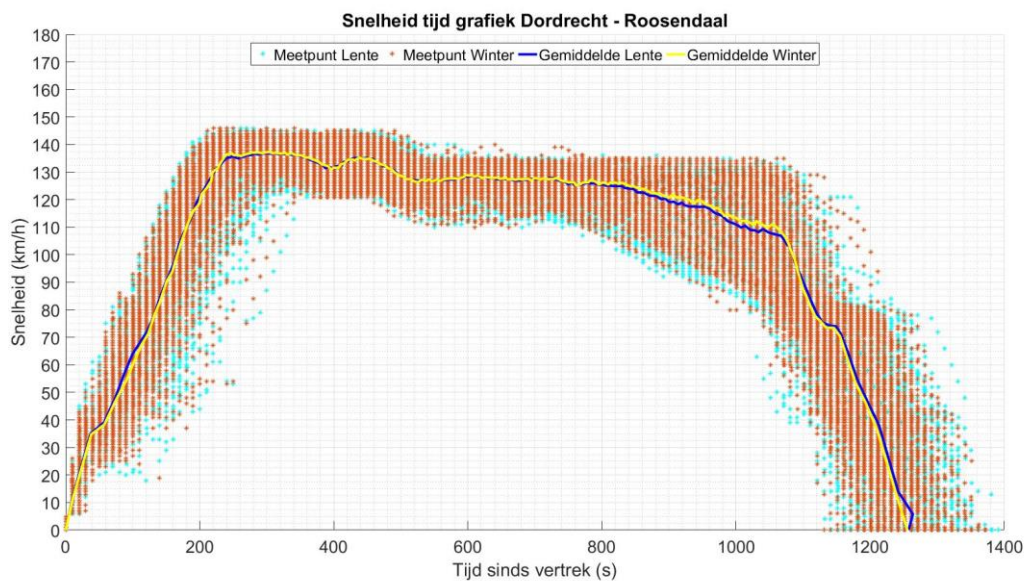


Figuur 0.28 - Acceleratie ten opzichte van de snelheid 11 groene ritten Dordrecht - Roosendaal

Bijlage S: Invloed seizoenen

Op basis van een t-toets uit (Robinson, 2014) met een significantieniveau van 5%

Kenmerk	Lente gem	Lente SD	Winter gem	Winter SD	Vers gem	Aantal metingen	Onder rens	Boveng rens	Conclusi e	Som variantie	Variantie verschillen	Resultaat
Acceleratie versnelling	0.154	0.089	0.153	0.085	0.001	7780.000	-0.002	0.025	Geen verschil	0.015	0.000	Variantie gereduceerd
Uitrol versnelling	-0.034	1.051	-0.036	0.968	0.002	3569.000	-0.045	0.285	Geen verschil	2.042	0.007	Variantie gereduceerd
Rem versnelling	-0.154	0.106	-0.155	0.105	0.001	6466.000	-0.003	0.030	Geen verschil	0.022	0.000	Variantie gereduceerd
Overgang constante fase	5.193	1.051	5.146	0.968	0.048	410.000	-0.091	0.331	Geen verschil	2.042	0.007	Variantie gereduceerd
Overgang uitrol fase	28.259	3.368	28.733	3.000	-0.474	251.000	-1.035	0.420	Geen verschil	20.342	0.135	Variantie gereduceerd
Overgang rem fase	34.363	0.871	34.240	0.858	0.123	251.000	-0.029	0.365	Geen verschil	1.496	0.000	Variantie gereduceerd



Figuur 0.29 – Snelheid, tijd grafiek gemeten ritten Dordrecht - Roosendaal

Bijlage Q: Invloed treinsamenstellingen

Op basis van een t-toets uit (Robinson, 2014) met een significantieniveau van 5%

VIRM4 – VIRM6

Kenmerk	VIRM4 gem	VIRM 4 SD	VIRM6 gem	VIRM 6 SD	Vers gem	Aantal metingen	Onder rens	Boveng rens	Conclusi e	Som variantie	Variantie verschillen	Resultaat
Acceleratie versnelling	0.155	0.155	0.154	-0.154	0.000	2086.000	-0.009	0.044	Geen verschil	0.048	0.095	Variantie niet gereduceerd
Uitrol versnelling	-0.036	-0.036	-0.035	-0.035	- 0.002	1034.000	-0.005	0.008	Geen verschil	0.003	0.000	Variantie gereduceerd
Rem versnelling	-0.152	-0.152	-0.154	-0.154	0.002	1702.000	-0.008	0.045	Geen verschil	0.047	0.000	Variantie gereduceerd
Overgang constante fase	5.130	5.130	5.080	5.080	0.050	109.000	-1.321	1.482	Geen verschil	52.131	0.002	Variantie gereduceerd
Overgang uitrol fase	28.537	28.537	28.315	28.315	0.222	68.000	-9.506	8.198	Geen verschil	1616.100	0.049	Variantie gereduceerd
Overgang rem fase	34.275	34.275	34.280	34.280	- 0.005	68.000	-11.735	9.613	Geen verschil	2349.863	0.000	Variantie gereduceerd

VIRM4 – 2x VIRM4

Kenmerk	VIRM4 gem	VIRM 4 SD	VIRM8 gem	VIRM 8 SD	Vers gem	Aantal metingen	Onder rens	Boveng rens	Conclusi e	Som variantie	Variantie verschillen	Resultaat
Acceleratie versnelling	0.155	0.155	0.149	0.086	0.006	1774.000	-0.002	0.041	Geen verschil	0.031	0.005	Variantie gereduceerd
Uitrol versnelling	-0.036	-0.036	-0.034	0.015	- 0.002	811.000	-0.005	0.006	Geen verschil	0.002	0.003	Variantie niet gereduceerd
Rem versnelling	-0.152	-0.152	-0.157	0.107	0.006	1391.000	-0.004	0.042	Geen verschil	0.035	0.067	Variantie niet gereduceerd

Overgang constante fase	5.130	5.130	5.347	1.086	- 0.216	91.000	-1.308	0.824	Geen verschil	27.500	16.354	Variantie gereduceerd
Overgang uitrol fase	28.537	28.537	28.547	3.245	- 0.010	60.000	-7.427	5.688	Geen verschil	824.896	639.666	Variantie gereduceerd
Overgang rem fase	34.275	34.275	34.121	0.891	0.154	59.000	-8.778	6.957	Geen verschil	1175.562	1114.505	Variantie gereduceerd

VIRM4 – VIRM4, VIRM6

Kenmerk	VIRM4 gem	VIRM 4 SD	VIRM10 gem	VIRM1 0 SD	Vers gem	Aantal metingen	Ondergrens	Bovengrens	Conclusie	Som variantie	Variantie verschillen	Resultaat
Acceleratie versnelling	0.155	0.155	0.151	0.087	0.004	2086.000	-0.004	0.039	Geen verschil	0.032	0.005	Variantie gereduceerd
Uitrol versnelling	-0.036	-0.036	-0.034	0.016	- 0.003	1034.000	-0.005	0.005	Geen verschil	0.002	0.003	Variantie niet gereduceerd
Rem versnelling	-0.152	-0.152	-0.159	0.106	0.007	1702.000	-0.002	0.044	Geen verschil	0.034	0.067	Variantie niet gereduceerd
Overgang constante fase	5.130	5.130	5.203	0.896	- 0.073	109.000	-1.062	0.960	Geen verschil	27.123	17.931	Variantie gereduceerd
Overgang uitrol fase	28.537	28.537	28.638	3.494	- 0.101	68.000	-7.058	5.603	Geen verschil	826.568	627.179	Variantie gereduceerd
Overgang rem fase	34.275	34.275	34.287	0.808	- 0.012	68.000	-8.308	6.790	Geen verschil	1175.421	1120.064	Variantie gereduceerd

VIRM6 – 2x VIRM4

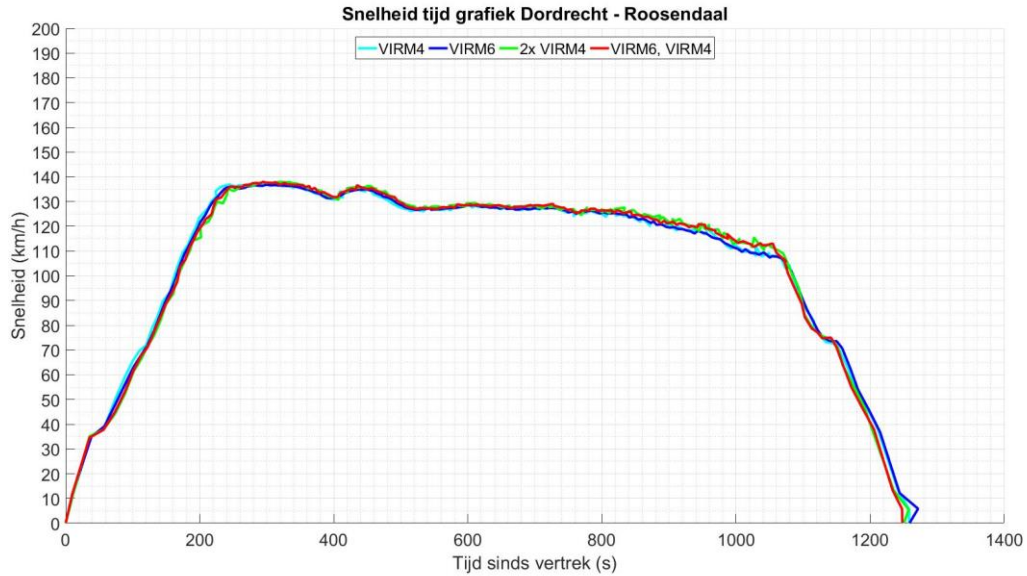
Kenmerk	VIRM 6 gem	VIRM 6 SD	VIRM8 gem	VIRM 8 SD	Vers gem	Aantal metingen	Ondergrens	Bovengrens	Conclusie	Som variantie	Variantie verschillen	Resultaat
Acceleratie versnelling	0.154	-0.154	0.149	0.086	0.006	1774.000	-0.003	0.041	Geen verschil	0.031	0.058	Variantie niet gereduceerd
Uitrol versnelling	-0.035	-0.035	-0.034	0.015	0.000	811.000	-0.003	0.007	Geen verschil	0.001	0.002	Variantie niet gereduceerd
Rem versnelling	-0.154	-0.154	-0.157	0.107	0.004	1391.000	-0.006	0.041	Geen verschil	0.035	0.068	Variantie niet gereduceerd
Overgang constante fase	5.080	5.080	5.347	1.086	- 0.266	91.000	-1.348	0.764	Geen verschil	26.991	15.953	Variantie gereduceerd
Overgang uitrol fase	28.315	28.315	28.547	3.245	- 0.232	60.000	-7.592	5.422	Geen verschil	812.269	628.481	Variantie gereduceerd
Overgang rem fase	34.280	34.280	34.121	0.891	0.159	59.000	-8.774	6.962	Geen verschil	1175.887	1114.822	Variantie gereduceerd

VIRM6 – VIRM4, VIRM6

Kenmerk	VIRM 6 gem	VIRM 6 SD	VIRM10 gem	VIRM1 0 SD	Vers gem	Aantal metingen	Ondergrens	Bovengrens	Conclusie	Som variantie	Variantie verschillen	Resultaat
Acceleratie versnelling	0.154	-0.154	0.151	0.087	0.003	3159.000	-0.003	0.038	Geen verschil	0.031	0.058	Variantie niet gereduceerd
Uitrol versnelling	-0.035	-0.035	-0.034	0.016	- 0.001	1532.000	-0.003	0.007	Geen verschil	0.001	0.003	Variantie niet gereduceerd
Rem versnelling	-0.154	-0.154	-0.159	0.106	0.005	2452.000	-0.002	0.042	Geen verschil	0.035	0.067	Variantie niet gereduceerd
Overgang constante fase	5.080	5.080	5.203	0.896	- 0.123	163.000	-0.921	0.900	Geen verschil	26.613	17.511	Variantie gereduceerd
Overgang uitrol fase	28.315	28.315	28.638	3.494	- 0.323	108.000	-5.765	5.337	Geen verschil	813.941	616.103	Variantie gereduceerd
Overgang rem fase	34.280	34.280	34.287	0.808	- 0.007	107.000	-6.578	6.796	Geen verschil	1175.746	1120.382	Variantie gereduceerd

2x VIRM4 – VIRM4, VIRM6

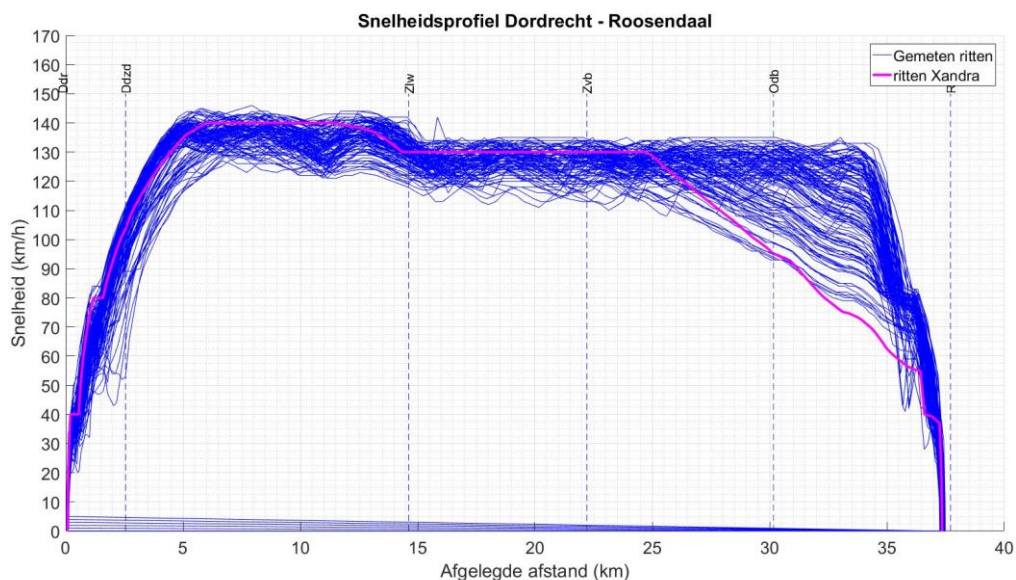
Kenmerk	VIRM8 gem	VIRM 8 SD	VIRM10 gem	VIRM1 0 SD	Vers gem	Aantal metingen	Ondergrens	Bovengrens	Conclusie	Som variantie	Variantie verschillen	Resultaat
Acceleratie versnelling	0.149	0.086	0.151	0.087	- 0.002	1774.000	-0.008	0.022	Geen verschil	0.015	0.000	Variantie gereduceerd
Uitrol versnelling	-0.034	0.015	-0.034	0.016	- 0.001	811.000	-0.002	0.004	Geen verschil	0.000	0.000	Variantie gereduceerd
Rem versnelling	-0.157	0.107	-0.159	0.106	0.001	1391.000	-0.007	0.031	Geen verschil	0.023	0.000	Variantie gereduceerd
Overgang constante fase	5.347	1.086	5.203	0.896	0.143	91.000	-0.150	0.423	Geen verschil	1.982	0.036	Variantie gereduceerd
Overgang uitrol fase	28.547	3.245	28.638	3.494	- 0.091	60.000	-1.322	0.855	Geen verschil	22.738	0.062	Variantie gereduceerd
Overgang rem fase	34.121	0.891	34.287	0.808	- 0.166	59.000	-0.479	0.072	Geen verschil	1.445	0.007	Variantie gereduceerd



Figuur 0.30 - Snelheid, tijd grafiek per treinsamenstelling Dordrecht - Roosendaal

Bijlage T: Vergelijking hellingweerstand

In Figuur 0.31 zijn 100 ritten geplot waarin is gereden met VIRM6 samenstelling. Ook is een rit uit Xandra geplot. Uit het figuur valt af te leiden dat er eenzelfde verandering in de helling van het snelheid profiel optreedt bij alle lijnen op exact hetzelfde punt (zie km tussen km 30 en 35). Dit komt doordat er een helling op het spoor zit op die punten (Figuur 2.3). Eenzelfde verandering in de helling van snelheidsprofiel is ook terug te zien in de rit van Xandra. Geconcludeerd kan worden dat Xandra de helling dus goed simuleert.



Figuur 0.31 - Snelheidsprofiel Dordrecht - Roosendaal enkele VIRM 6 ritten, vergeleken met groene rit in Xandra

Bijlage U: Interview M. ten Broek

Michiel ten Broek is een senior specialist bij Arcadis in het Railverkeersstudie team. Hij heeft 37 jaar bij NS gewerkt waarin hij veel ervaring heeft op gedaan over het opstellen van dienstregelingen en ook zo nu en dan eens als machinist optrad. In dit interview zijn vragen gesteld gedurende het onderzoek gebundeld tot een interview. De vragen zijn gesteld in de periode 10 april – 30 juni 2017.

1. Welk dienstregelprogramma is toegepast bij het opstellen van de dienstregeling 2016 op het traject: Rotterdam Blaak – Dordrecht – Roosendaal?

Dons, in Donna zat namelijk eerst nog een fout in de software, waardoor deze soms onnodig extra reistijd inplande. Dit is hersteld in maart. Daarvoor kwam deze fout echter nooit voor.

2. Hoe kan het dat de gemiddelde rijtijdspeeling veel hoger ligt dan de minimale rijtijdspeeling?
Zie hiervoor de netverklaring van ProRail.

3. Is het normaal dat machinisten sterk wisselen met hun snelheid indien zij zich in het constante snelheidsprofiel regime bevinden?

Machinisten zijn allemaal erg verschillend. Het is in een trein moeilijk een lange tijd een snelheid vast te houden, omdat je de tractie niet op een stand kan zetten maar hier wat mee moet spelen. Sommige machinisten zijn wat lui en laten de trein vieren en vervolgens trekken ze weer op tot baanvaksnelheid om hem vervolgens weer te laten vieren. Het zou dus best logisch zijn dat het accelereren en vervolgens weer uitrollen een gedrag is van de machinist en niet het gevolg van seingeving.

4. Hoe kan het dat machinisten eerder beginnen met remmen indien zij station Dordrecht naderen?
Het stop door principe zal hier weleens toegepast kunnen zijn. Een trein komt dan binnen met een rood sein, wat betekent dat een geel sein vooraf gegaan moet zijn. Dit gele sein verplicht een remopdracht, wat de vroege remming van de treinen kan verklaren.

5. Het valt op aan de data dat de snelheid van veel treinen daalt indien ze een heuvel opgaan en weer toeneemt als ze de heuvel afgaan. In Xandra is dit niet te herkennen, het ligt dus zeer waarschijnlijk niet aan de beperkingen van de trein, wat zou een verklaring kunnen zijn?

Als machinisten de snelheid op baanvaksnelheid aanhouden en vervolgens de heuvel afgaan stijgt hun snelheid, waardoor ze boven de baanvaksnelheid uitkomen en de ATB begint te bellen. Ze moeten daardoor weer een remming inzetten. Ze laten daarom liever de trein met dezelfde tractie de heuvel op en af gaan, om niet boven de maximumbaanvaksnelheid uit te komen. Dit is ook nog energiezuinig en bevordert het reizigerscomfort.

6. Uit de meetdata valt te zien dat veel machinisten net voor het inzetten van een remming de trein even uit laten rollen. Mijn verwachting is dat het een soort wisseling is tussen gas geven en remmen, als je de tijd hebt als machinist kun je hier tenslotte rustig de tijd voor nemen. Is dit een mogelijke verklaring of zijn er meerdere?

Er is niet een eenduidige verklaring voor te vinden. Maar wat je nu zegt zou wel kunnen. De tractie moet namelijk eerst uit zijn voordat er geremd kan worden. Maar natuurlijk snapt de trein wel dat indien er geremd wordt de tractie ook wordt uitgeschakeld.

7. Past een machinist zijn rijgedrag aan op kennis over het baanvak?

Jazeker, als je als machinist weet waar je rem of stopopdrachten gaat ontvangen kun je hierop inspelen door de trein al iets eerder uit te laten rollen of juist wat minder snel te remmen. Een voorbeeld is een geel sein gevolgd door een rood sein: als je als machinist weet dat je remweg veel korter is dan de afstand tussen beide seinen kun je de trein langzaam remmen in plaats van zo snel mogelijk naar 40 km/u te remmen om vervolgens lange tijd 40 km/u te rijden op zicht naar het rode sein.

Bijlage V: Interview R. van Vooren

Robbert van Vooren is senior specialist bij Arcadis in het Railverkeersstudie team. De vragen zijn gesteld in de periode 10 april – 30 juni 2017.

1. Welke infragegevens worden in de praktijk ingevoerd in Xandra?

Spoorsecties die gebruikt worden in de simulatie en de betreffende beveiligingsinstallaties en hoogtegegevens op dit traject. Boogstralen worden niet meegenomen, omdat zij weinig invloed hebben op de weerstand van een trein; de hoogte bepaalt dit grotendeels.

2. Welke beveiligingssysteem wordt er gebruikt op het traject Rotterdam Blaak – Roosendaal?

ATB EG met seinstelsel NS'54

Bijlage W: Interview A. Katstra

Allard Katstra is junior specialist bij Arcadis in het Railverkeersstudie team. De vragen zijn gesteld in de periode 10 april – 30 juni 2017.

1. Waarvoor is Xandra ooit ontwikkeld?

Xandra is ontwikkeld om tractievoorziening te kunnen simuleren. Hierin liep Arcadis erg voorop andere applicaties van andere bedrijven die dit nog niet zo goed konden als Arcadis. Tegenwoordig wordt Xandra meer gebruikt voor het beoordelen van spoorontwerpen en is het ontwerp van de tractievoorziening slechts een onderdeel van deze algemene beoordeling.

Bijlage X: Interview J. Klok

Jip Klok is trainee bij Arcadis in het Railverkeersstudie team en werkt tevens ook op de hogeschool in Amsterdam als docent verkeerskunde. De vragen zijn gesteld in de periode 10 april – 30 juni 2017.

1. Vanaf welke aankomstvertraging beginnen treinen last te krijgen van treinen die voor hun rijden?

Op zich is hier niet een vast getal aan te hangen, wel zie je vaak dat treinen die later dan 4 à 5 minuten dan gepland aankomen ze moeten wachten op andere treinen of op andere sporen rijden.

Bijlage Y: Interview J. Mulder

Jeroen Mulder is machinist bij NS. Dit interview is telefonisch afgenomen op 13 juni 2017.

1. Hoe wordt UZI aanbevolen vanuit NS?

Laat de trein altijd uitrollen op de aangegeven punten volgens de UZI-kaartjes, tenzij je langer dan drie minuten vertraging hebt.

2. Is het makkelijk UZI in de praktijk toe te passen?

Door drukke baanvakken is de rijtijdspeling zo krap, dat je niet veel UZI kunt rijden. Ook zijn er soms extra haltes gepland die niet op de UZI-kaartjes vermeld staan. Daardoor moet je wel doorrijden, want anders kom je te laat.

Aan het einde van een treindienst zit vaak de meeste rijtijdspeling, als je dus weet dat je het station ervoor ruim op tijd vertrekt dan laat iedereen de trein wel uitrollen

3. Zijn er ook nadelen aan UZI?

Het is moeilijk om buiten alle UZI-kaartjes ook nog op de weg te letten. Dat maakt dat je bij een onbekend baanvak niet precies weet waar alle uitschakelpunten liggen omdat je er zeker van wilt zijn dat je alles goed doet. Vooral bij machinisten die jong zijn is dit erg moeilijk. Ook is het zo dat je van tevoren niet precies weet wat een treindienstleider met jouw trein gaat doen. Dit kan tot gevolg hebben dat een trein die eerst netjes UZI reedt, vervolgens een opdracht opgelegd krijgt van de treindienstleider en hierdoor vertraging op loopt, waardoor de trein uiteindelijk te laat op de plaats van bestemming aankomt. Zonder

UZI te rijden, zal dit niet gebeurd zijn. Ook worden tijdelijke snelheidsbeperkingen meegenomen in de UZI-kaartjes, deze snelheidsbeperkingen zijn soms echter lang van kracht (meer dan een jaar), waardoor je niet volledig kunt vertrouwen op de UZI-kaartjes.

4. Wordt UZI nu nog steeds toegepast?

Vanaf 2011 kwam er instructie voor UZI en werden ook UZI-kaartjes aanbevolen. Toen is er fanatiek ingezet op energiezuinig rijden. Tot vorig jaar (eind 2016), je hoort er nu niks meer over en er wordt nu ingezet op 'op tijd rijden' Liever te vroeg aankomen dan energiezuinig. NS gebruikt nu alleen nog maar groene stroom, deze stroom kun je niet opslaan wat het niet heel nuttig maakt om energiezuinig te gaan rijden, omdat je het milieu er niet mee vervuult. Dit zou een oorzaak kunnen zijn dat er minder wordt ingezet op EZR

5. Zijn er nu vervangende opties voor EZR?

Routelint laat zien welke treinen voor je rijden, dat is pas sinds eind vorig jaar. Dit maakt dat je als machinist beter weet wat je te wachten staat en daardoor je gedrag kunt aanpassen. Een voorbeeld is waarin ik op Routelint zie dat er een goederentrein voor mij rijdt. Dit maakt dat ik weet dat als ik hard doorrij ik vervolgens niet harder dan 100 km/u kan rijden. Dan laat ik de trein wel uitrollen. Dus in die zin kan routelint een grote bijdrage leveren aan EZR

6. In de data viel op dat de snelheid van treinen erg schommelt in de 'constante snelheid fase' is dit een vorm van machinistengedrag of is dit erg moeilijk met een VIRM-trein?

Tegenwoordig zitten in veel sprinters cruise control, maar in VIRM en ICMm treinen zit dit nog niet. Het is niet moeilijk deze treinen op constante snelheid te houden. Luiheid van deze machinisten zal een goede verklaring kunnen zijn.

7. Uit de data valt te zien dat sommige treinen zie je de maximumsnelheid overtreden bij optrekken en remmen, is dit normaal?

Snelheidsborden van 70/100 worden vaak wel iets minder nou genomen, omdat er hier geen ATB is die ingrijpt en een signaal aan de machinist geeft. Dit zijn waarschijnlijk wel machinisten die vooral niet zitten op te letten, want het is zeker niet de bedoeling om de snelheid te overtreden. Er zijn ook snelheidscontroles en als machinist wil je niet dat ze je daar pakken, want dan ben je echt aan de beurt. Veiligheid staat stipt op 1, gevolgd door punctueel rijden.

8. In de data valt een klein verschil te zien in winter en lente snelheidsprofiel. Wat zou een verklaring kunnen zijn?

Een moeilijke vraag. Ik kan hier niet echt antwoord op geven. Wel weet ik dat het in de herfst moeilijker is om je rijtijd te halen, omdat je minder snel kunt optrekken door gladdere sporen.