

# Tijdelijke snelheidsbeperkingen

Een onderzoek naar het voorspellen van de effecten  
van tijdelijke snelheidsbeperkingen

## Master Project BMI

Marjolein Schipper

Juni 2012





# Tijdelijke snelheidsbeperkingen

Een onderzoek naar het voorspellen van de effecten  
van tijdelijke snelheidsbeperkingen

Master Project BMI

Marjolein Schipper

Begeleiding: prof. dr. A. van der Vaart, drs. M. Onderwater en V. Bahorie MSc.

Vrije Universiteit Amsterdam

Faculteit der Exacte Wetenschappen

Master Business Mathematics and Informatics

De Boelelaan 1081a

1081 HV Amsterdam

Stage bedrijf:

Nederlandse Spoorwegen

NS Reizigers / Transport Besturing/ Het Kenniscentrum

Laan van Puntenburg 100

3511 ER Utrecht

Juni 2012



## Voorwoord

Het laatste onderdeel van de master opleiding *Business Mathematics and Informatics* aan de Vrije Universiteit te Amsterdam is de afstudeerstage. Ik heb deze afstudeerstage gedaan bij NS Reizigers, bij het Kenniscentrum, een afdeling binnen het bedrijfsonderdeel Transport Besturing. Tijdens deze stage heb ik onderzoek gedaan naar de effecten van tijdelijke snelheidsbeperkingen.

De stage heb ik onder begeleiding van Aad van der Vaart (VU), Martijn Onderwater (VU) en Viru Bahorie (NS) gedaan. Ik wil beide begeleiders bedanken voor hun enthousiaste hulp, adviezen en ondersteuning tijdens mijn onderzoek en het schrijven van het stageverslag.

Daarnaast wil ik Rob van Kampen bedanken voor de goede ideeën, hulp en tijd die hij vrij maakte om al mijn vragen te beantwoorden.

Tenslotte wil ik ook de rest van mijn collega's van het Kenniscentrum bedanken voor de ontzettend leuke en gezellige periode die ik op de afdeling heb gehad, en het enthousiasme, de hulp en openheid waarmee jullie kennis overgebracht hebben.

Marjolein Schipper  
Juni 2012



## Samenvatting

Punctualiteit is voor NS een van de belangrijkste prestatie indicatoren. Punctualiteit is een maat voor de stiptheid of nauwkeurigheid. De term wordt het meest gebruikt in het openbaar vervoer om aan te geven in welke mate de realisering van een lijndienst overeenkomt met de tijdsplanning in de dienstregeling die vooraf bekend is voor de reiziger.

Verskillende factoren hebben invloed op de rijtijd van een trein. De rijtijd van een trein over een baanvak hangt in de eerste plaats af van de plaatselijk toegestane snelheid, en de maximale acceleratie en snelheid van het ingezette materieel. Daarnaast zijn er andere factoren die impact hebben op de rijtijd, zoals defect materieel, niet (voldoende) beschikbare infrastructuur, planning van de dienstregeling materieel en personeel, rijstijl van de machinist en overige factoren (weer, calamiteiten etc.). Door ervoor te zorgen dat zoveel mogelijk grip op deze factoren is en blijft, kunnen de gevolgen voor onder andere de rijtijd en de punctualiteit beheerst worden.

In dit onderzoek is gefocust op de beschikbaarheid van de infrastructuur, met in het bijzonder tijdelijke snelheidsbeperkingen voor treinen. Tijdelijke snelheidsbeperkingen (TSB's) worden opgelegd wanneer de toestand van het spoor dit noodzakelijk maakt. TSB's zijn een inbreuk op de levering van het primaire product van infrabeheerder ProRail aan de vervoerders.

Er is aan de hand van data analyse onderzocht wat de impact van tijdelijke snelheidsbeperkingen is op de rijtijd en punctualiteit. Tevens hebben we onderzocht of het mogelijk is deze effecten op de rijtijd en punctualiteit veroorzaakt door een opgelegde snelheidsbeperking te voorspellen.

Aan de hand van 3 case studies is meer inzicht verkregen in de effecten van TSB's op de punctualiteit en rijtijd. De TSB's rondom stations Delft, Abcoude en Boxtel zijn geanalyseerd.

Uit de case studies kwam naar voren dat voor vrijwel alle TSB's spreiding van de rijtijd een stuk groter werd. Naarmate de TSB snelheid hoger werd, nam de spreiding af. De spreiding kan ervoor zorgen dat veel treinen niet op tijd aankomen op volgende dienstregelpunten. Dit is niet wenselijk.

Het is belangrijk van tevoren in te kunnen schatten wat de impact van een TSB zal zijn op de punctualiteit. Wanneer het ontstane rijtijdverlies door een TSB voorspeld kan worden, zal er ook iets gezegd kunnen worden over wat het effect op de punctualiteit van de treinen zal zijn.

Door middel van meervoudige lineaire regressie hebben we een voorspellingsmodel voor het ontstane rijtijdverlies door TSB's gemaakt. Het rijtijdverlies door een TSB wordt in het model door de volgende onafhankelijke variabelen verklaard: "rijtijdverlies op het TSB traject", "rijtijdverlies door afremmen Intercity", "rijtijdverlies door optrekken Intercity", "rijtijdverlies door afremmen Sprinter", "rijtijdverlies door optrekken Sprinter" en "correctiefactor". Dit regressiemodel verklaart 95,76% van de waarnemingen.

We hebben bij de case studies gezien dat het lastig is aan te tonen hoeveel punctualiteitsverlies exact door de TSB wordt veroorzaakt. Op sommige trajecten is speling ingebracht waardoor het opgelopen rijtijdverlies nog net goedgemaakt kan worden voor aankomst op een HoofdRailNet (HRN) knooppunt. Wanneer er krappere gepland is, zal het moeilijk zijn dit verlies nog in te lopen.

We hebben een model gemaakt om het punctualiteitsverlies door een TSB voor een willekeurige treinserie te schatten. Wanneer er aangekondigd wordt dat een TSB zal worden opgelegd, kan het model een handvat bieden voor het voorspellen van het effect op de punctualiteit van het eerstvolgende HRN knooppunt, en op de landelijke punctualiteit. Er wordt berekend hoeveel treinactiviteiten binnen de norm van drie minuten aankomen op het eerstvolgende HRN knooppunt in een periode zonder TSB. Vervolgens wordt door middel van een voorspelde waarde van het rijtijdverlies voor een treinserie berekend hoeveel treinactiviteiten van deze treinserie nog binnen de norm van drie minuten aankomen wanneer dit rijtijdverlies op zou treden. Het verschil tussen beide waarden geeft een schatting van het punctualiteitsverlies dat is ontstaan door de TSB.

Voor het punctualiteitsverlies model is het zeer belangrijk een representatieve periode te kiezen. Deze periode mag niet te veel onregelmatigheden/verstoringen in de treindienst bevatten. Wanneer dit wel het geval is, zal een vertekend beeld van het voorspelde punctualiteitsverlies ontstaan.

Er zijn een aantal aannames gemaakt bij het maken van dit model. Er wordt vanuit gegaan dat na halteren op het eerstvolgende HRN knooppunt het rijtijdverlies is goedge maakt en niet verder zal uitstralen op de volgende HRN knooppunten op het traject van de desbetreffende treinseries. Voor de meeste TSB's zal dit een goede aanname zijn. Wanneer een 'heftige' TSB plaatsvindt, met een groot verwacht rijtijdverlies kan het zijn dat het effect wel degelijk doorwerkt op volgende knooppunten waar de punctualiteit gemeten wordt.

Een andere aanname is dat het rijtijdverlies door de TSB niet kan worden goedge maakt voor het eerstvolgende HRN knooppunt. We hebben in de case studies gezien dat dit over het algemeen het geval was.



## Inhoud

Voorwoord .....	5
Samenvatting .....	7
1 Inleiding.....	11
1.1 Probleembeschrijving .....	11
1.2 Structuur van het verslag.....	12
2 Organisatiebeschrijving.....	13
2.1 NS Reizigers .....	13
2.2 Transport Besturing .....	14
3 Begrippen en data.....	17
3.1 Begrippen.....	17
3.2 Gegevensbronnen .....	18
4 Tijdelijke snelheidsbeperkingen.....	21
4.1 Geplande en ongeplande tijdelijke snelheidsbeperkingen .....	21
4.2 Procedure/acties .....	21
5 Case studies .....	23
5.1 Algemeen voor de case studies .....	23
5.2 Samenvatten van de data .....	23
5.3 TSB Delft .....	26
5.3.1 Treinseries 5000 en 5100 .....	27
5.3.2 Treinseries 1900 en 2200 .....	32
5.3.3 Treinseries 2100 en 9200 .....	36
5.3.4 Punctualiteitseffect TSB Delft .....	40
5.3.5 Samenvatting .....	43
5.4 TSB Abcoude .....	45
5.4.1 Even richting.....	45
5.4.2 Oneven richting.....	49
5.4.3 Punctualiteitseffect TSB Abcoude .....	50
5.5 TSB Boxtel - Liempde .....	52
5.5.1 Treinseries 800 en 3500 .....	53
5.5.2 Treinserie 9600.....	55
5.5.3 Punctualiteitseffect op HRN-knooppunt Eindhoven.....	57
6 Rijtijdverlies voorspellingsmodel .....	59

6.1 Meervoudige lineaire regressie analyse .....	59
6.1.1 Parameters schatten .....	60
6.1.2 Residuen .....	60
6.1.3 Voorwaarden voor een regressiemodel.....	60
6.1.4 Uitschieters .....	61
6.1.5 Keuze van variabelen .....	61
6.1.6 Kwaliteit van het model .....	61
6.2 Variabelen.....	62
6.2.1 Afhankelijke variabele .....	62
6.2.2 Onafhankelijke variabelen.....	63
6.2.3 Samenhang tussen de variabelen .....	67
6.3 Het regressiemodel.....	69
6.3.1 Resultaten analyse .....	70
6.3.2 Controle voorwaarden .....	71
6.3.3 Uitschieters .....	74
6.3.4 Kwaliteit van het model .....	74
6.3.5 Testen van het model.....	75
6.4 Conclusie.....	76
7 Punctualiteitsverlies voorspellingsmodel .....	77
7.1 Model voor punctualiteitsverlies door een TSB .....	77
7.2 Input van het model .....	78
7.3 Aannames .....	79
7.4 Kwaliteit van het model.....	79
8 Conclusie / aanbevelingen .....	81
8.1 Conclusies .....	81
8.2 Aanbevelingen .....	81
Referenties.....	83
Bijlagen.....	85
Bijlage A: Lijst van HRN knooppunten .....	85

# 1 Inleiding

Punctualiteit is voor NS een van de belangrijkste prestatie indicatoren. Punctualiteit is een maat voor de stiptheid of nauwkeurigheid. De term wordt het meest gebruikt in het openbaar vervoer om aan te geven in welke mate de realisering van een lijndienst overeenkomt met de tijdsplanning in de dienstregeling die vooraf bekend is voor de reiziger.

Om ervoor te zorgen dat treinen punctueel kunnen rijden is een robuuste dienstregeling nodig. Een robuuste dienstregeling zorgt ervoor dat het plan makkelijk uit te voeren is en als er dan vertragingen ontstaan deze makkelijk opgevangen kunnen worden zonder dat de vertragingen grote gevolgen hebben voor de rest van de dienstregeling. In de dienstregeling wordt daarom speling opgenomen in de rij-, halteer- en opvolgtijden. Wanneer er veel speling in de dienstregeling wordt ingebracht, zullen treinen meer op tijd kunnen rijden. Het nadeel hiervan is dat met een zeer ruime tijdsplanning de vervoerssnelheid aanzienlijk lager is dan in theorie mogelijk, waardoor de attractiviteit van de vervoersdienst afneemt. Er zal een optimale balans gevonden moeten worden om verschillende belangrijke aspecten in een dienstregeling naar voren te laten komen.

## 1.1 Probleembeschrijving

De rijtijd van een trein op een traject wordt beïnvloed door verschillende factoren. De rijtijd van een trein over een baanvak hangt in de eerste plaats af van de plaatselijk toegestane snelheid, en de maximale acceleratie en snelheid van het ingezette materieel. De rijtijd in de dienstregeling wordt hier op gepland, met een extra speling in de rijtijd van 5%. Een aantal factoren die impact op de rijtijd hebben zijn:

- Defect materieel. Door defect materieel heeft de trein onvoldoende rijvermogen en kan niet op maximale kracht rijden, waardoor een rijtijdverlies optreedt.
- Infrastructuur niet (voldoende) beschikbaar. Door een defect in de infrastructuur kan het voorkomen dat er tijdelijk minder capaciteit is dan gepland. Dit is het geval wanneer er bijvoorbeeld een sein- en wisselstoring is, een defect in de bovenleidingsspanningen of wanneer een tijdelijke snelheidsbeperking is opgelegd. Doordat de capaciteit in deze situaties niet optimaal is, kan er ook niet optimaal gereden worden. Hierdoor wordt er rijtijdvertraging gegenereerd.
- Planning. Door te krap plannen van rijtijden tussen dienstregelpunten in de dienstregeling, kan het zijn dat een trein de geplande rijtijd niet haalt. Er ontstaat dan rijtijdverlies op dat traject. Materieel waar de treinen mee rijden wordt zo gepland dat de geplande rijtijd tussen twee dienstregelpunten gehaald kan worden. Wanneer materieel verkeerd of onvoldoende gepland of ingezet wordt, kan ook een rijtijdverlies ontstaan.
- Rijstijl machinist. De rijstijl van de machinist heeft invloed op de rijtijd tussen twee knooppunten.
- Anders. Het weer, calamiteiten en aanrijdingen zijn ook van invloed op de rijtijd op een traject.

Variaties in de rijstijl van de machinist, de bovenleidingsspanning en weersomstandigheden zorgen voor spreiding in de uitgevoerde rijtijden. Op deze factoren is weinig invloed uit te oefenen. De factoren waar tot op zekere hoogte invloed op uitgeoefend kan worden zijn defect materieel, infrastructuur en de planning van de dienstregeling, het materieel en personeel. Door ervoor te zorgen dat er zoveel mogelijk

grip op deze factoren is en blijft, kunnen de gevolgen voor onder andere de rijtijd en de punctualiteit beheerst worden.

Wij zullen onderzoeken wat de impact is van onvoldoende beschikbaarheid van de infrastructuur op de rijtijd. Er zal gekeken worden naar tijdelijke snelheidsbeperkingen voor treinen. Deze snelheidsbeperkingen worden door infrabeheerder ProRail opgelegd als de toestand van de infrastructuur dit noodzakelijk maakt.

Door de snelheidsbeperkingen zal rijtijdverlies optreden. *Rijtijdverlies* wordt gedefinieerd als het verlies van rijtijd tussen twee knooppunten gemeten vanaf het uitrijsein van het ene knooppunt tot het inrijsein van het andere knooppunt. Wanneer er teveel rijtijdverlies op een traject ontstaat, zal de ingebouwde rijtijdspeeling gebruikt moeten worden.

Eerst zal aan de hand van data analyse onderzocht worden wat de effecten op de rijtijd en punctualiteit zijn als een snelheidsbeperking opgelegd wordt. Tevens zal onderzocht worden of het mogelijk is deze effecten op de rijtijd en punctualiteit veroorzaakt door een opgelegde snelheidsbeperking te voorspellen.

## 1.2 Structuur van het verslag

In het volgende hoofdstuk zal een korte beschrijving gegeven worden van de organisatie. Er zal vooral ingegaan worden op het deel van de organisatie waar de stage plaatsvindt. Vervolgens zullen in hoofdstuk 3 een aantal belangrijke begrippen besproken worden. Er zal globaal beschreven worden hoe een treindienst eruit ziet. Er zal uitgelegd worden hoe de gerealiseerde treindienst buiten op het spoor omgezet wordt in data. In hoofdstuk 4 zal omschreven worden wat tijdelijke snelheidsbeperkingen zijn. De procedures en acties rondom tijdelijke snelheidsbeperkingen zullen ook aan bod komen.

Tijdens het onderzoek zijn drie case studies gedaan. De tijdelijke snelheidsbeperkingen in drie verschillende regio's in Nederland zijn onder de loep genomen. Aan de hand van data analyse zal onderzocht worden wat de effecten van deze snelheidsbeperkingen op de rijtijd en punctualiteit zijn geweest. De resultaten van de case studies worden weergegeven in hoofdstuk 5.

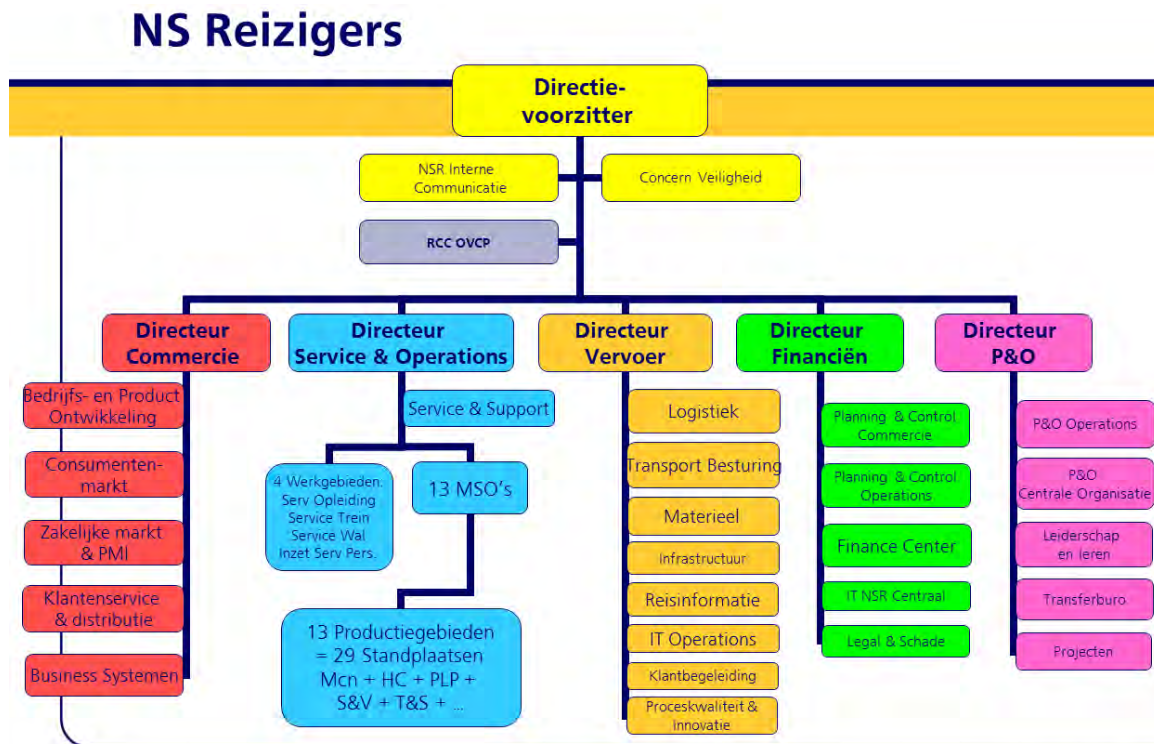
In het volgende hoofdstuk zullen we beschrijven hoe een voorspellingsmodel voor rijtijdverlies door meervoudige lineaire regressie analyse tot stand is gekomen. Vervolgens zal in hoofdstuk 7 een model voor het punctualiteitseffect door een tijdelijke snelheidsbeperking besproken worden. Uiteindelijk zullen wij in het laatste hoofdstuk conclusies en aanbevelingen van het onderzoek geven.

## 2 Organisatiebeschrijving

In dit hoofdstuk zal een organisatiebeschrijving gegeven worden over de Nederlandse Spoorwegen (NS). Er zal vooral ingegaan worden op een van de belangrijkste bedrijfsonderdelen binnen NS, namelijk NS Reizigers (NSR). Binnen dit bedrijfsonderdeel vindt de afstudeerstage plaats.

### 2.1 NS Reizigers

NS is voornamelijk bekend van het vervoeren van reizigers. Naast reizigersvervoer is NS ook verantwoordelijk voor stationsgebiedsontwikkeling en bouw. NS bestaat uit verschillende bedrijfsonderdelen. De bekendste is NSR (zie figuur 2.1). NSR is verantwoordelijk voor het reizigersvervoer en de serviceverlening naar de klant en focust op het realiseren van kwalitatieve vervoerscapaciteit, goede service en informatie, aantrekkelijke reisproducten en een hoogwaardig veiligheidsprofiel. De missie van NSR voor de komende jaren is *“Meer reizigers veilig, comfortabel en op tijd vervoeren op een zodanige manier dat zij anderen aanraden om met de trein te gaan in plaats van met de auto”* (bron: NS Reizigers op weg naar 2015).



Figuur 2.1: Organigram van NSR



NSR bestaat uit verschillende onderdelen die verantwoordelijk zijn voor hun eigen taken binnen NSR:

- Commercie (o.a. bedrijfs- en productontwikkeling, marketing, sales en klantenservice)
- Service & Operations (o.a. service, informatie en veiligheid)
- Vervoer (o.a. dienstregeling en materieelinzet)
- Financiën
- Personeel en Organisatie

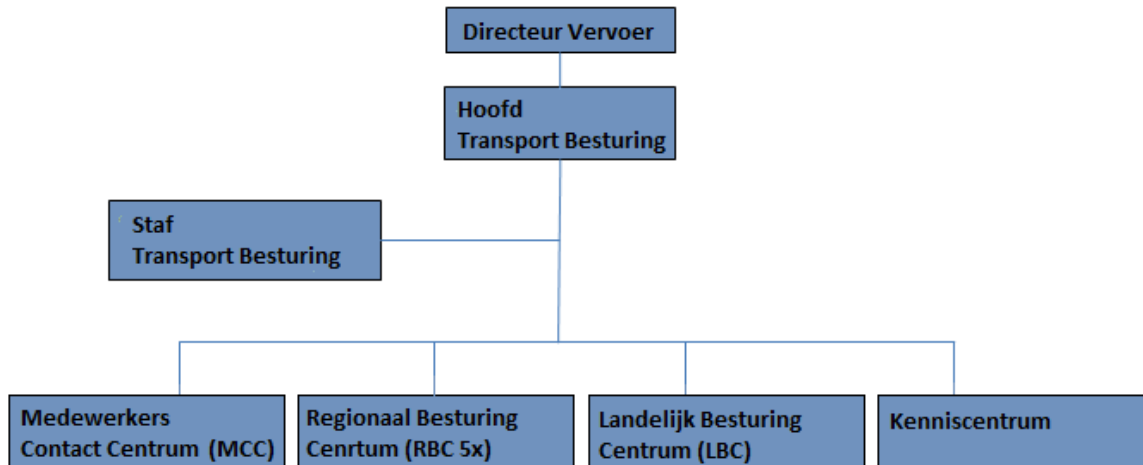
## 2.2 Transport Besturing

Het onderdeel waar de stage plaatsvindt is Vervoer. Dit onderdeel is onder andere verantwoordelijk voor het maken van de dienstregeling, materieelinzet en reisinformatie naar de klant toe. Eén van de bedrijfsonderdelen van Vervoer is de Transport Besturing (TB). TB neemt de dagelijkse besturing van de treindienst voor zijn rekening. (Rijdend) personeel en materieel worden door TB aangestuurd en waar nodig bijgestuurd. Wanneer een verstoring op het spoor optreedt, zal TB het personeel en materieel zodanig bijsturen dat de treindienst zo goed mogelijk verder kan verlopen.

Sinds januari 2009 is TB verantwoordelijk voor de punctualiteit van de treinen. De punctualiteit van de treinen is een van de belangrijkste prestatie indicatoren van NS. *Punctualiteit* wordt gedefinieerd als het percentage van het totaal aantal gereden treinen dat binnen een marge van drie minuten (interne maat) of vijf minuten (externe maat) ten opzichte van de geplande aankomsttijd aangekomen is, gemeten op 35 HoofdRailNet (HRN) stations in Nederland. Jaarlijks worden door de overheid eisen aan de punctualiteit gesteld, en NS wordt hier op afgerekend als niet aan de eisen voldaan wordt. Voor 2012 is de punctualiteit doelstelling 87%.

TB probeert de treindienst zodanig bij te sturen dat de punctualiteitscijfers zo hoog mogelijk zijn. De prestatie van TB is in hoge mate afhankelijk van een betrouwbare levering van de componenten Dienstregeling, Uitvoering, Infrastructuur en Materieel. De punctualiteit is ook van deze factoren afhankelijk. Het is belangrijk dat TB inzicht heeft in deze afhankelijkheden en deze zo goed mogelijk worden beheerst. Daarmee kan dan daadwerkelijk invloed uitgeoefend worden op het verbeteren van de punctualiteit.

TB bestaat uit het Medewerkers Contact Centrum, een landelijk besturing centrum en vijf regionale besturing centra verspreid over verschillende regio's in Nederland (zie figuur 2.2). Hier vindt de besturing van de treindienst plaatsvindt. Daarnaast heeft TB een ondersteunende afdeling, het Kenniscentrum. De afstudeerstage vindt plaats op het Kenniscentrum.



*Figuur 2.2: Organigram van Transport Besturing*

De kernactiviteiten van het Kenniscentrum zijn het verder verbeteren van de punctualiteit van de treinen (op tijd rijden) en de zitplaatskans verhogen (op maat rijden). Het Kenniscentrum levert een bijdrage aan TB/NSR door het geven van inzicht, advies en actie met betrekking tot de treindienst. Er wordt gestreefd naar een nog betere prestatie voor de reiziger. Het Kenniscentrum vergaart informatie over hoe de bedrijfsprocessen verlopen. Deze informatie wordt geanalyseerd en vervolgens wordt advies gegeven over de processen en eventueel verbeteringen geïnitieerd.





## 3 Begrippen en data

In dit hoofdstuk zal aan de hand van een aantal begrippen globaal beschreven worden hoe een treindienst eruit ziet, en hoe de gerealiseerde treindienst buiten op het spoor omgezet wordt in data. Met behulp van deze verkregen data worden onder andere de punctualiteitscijfers berekend en verschillende analyses gedaan. Er zal een beschrijving volgen over hoe de punctualiteit berekend wordt. Verder zullen wij omschrijven welke data wij gebruiken voor dit onderzoek.

### 3.1 Begrippen

#### *Treinseries en -nummers*

Een *treinserie* is een groepering van treinen die op basis van een gezamenlijk patroon gepland worden en globaal gezien hetzelfde traject rijden. Een treinserie wordt aangeduid met een nummer, normaal gesproken een honderdtal, dat tegelijkertijd fungeert als treinnummer range van de treinen die tot die treinserie behoren. Een treinserie rijdt in vier richtingen: even, oneven, van en naar buitenland. In even richting zijn de treinnummers even, en in oneven richting zijn de treinnummers oneven. Voor vrijwel alle treinseries geldt dat in alle richtingen twee keer per uur wordt gereden. We nemen als voorbeeld de treinserie 3100. Deze Intercity serie rijdt twee keer per uur vanaf Schiphol naar Nijmegen en vice versa.

Elke afzonderlijke trein wordt bij vertrek aangeduid met een *treinnummer*. Dit is een uniek nummer op een verkeersdag (loopt van 02:00 uur tot 01:59 uur). De treinnummers bestaan uit het nummer van de treinserie, waarbij de twee nullen in het serienummer zijn vervangen door het treinnummer. Elk half uur wordt het treinnummer met 2 opgehoogd. Hier volgt een voorbeeld om dit te verduidelijken. Treinserie 3100 rijdt elk half uur van Schiphol en Nijmegen en vice versa. Treinnummer 3140 vertrekt om 11:57 uur vanaf Nijmegen naar Schiphol in even richting. Treinnummer 3141 vertrekt vanaf Schiphol om 11:30 uur naar Nijmegen in oneven richting. Vervolgens vertrekt om 12:27 uur de 3142 vanaf Nijmegen, enzovoorts.

#### *Dienstregelpunt*

Een *dienstregelpunt (of knooppunt)* is een primair gebied dat een aaneengesloten begrensde deel van het spoorwegnet vormt en een functie vervult bij het opzetten en vastleggen van de dienstregeling. De vertrektijden, aankomsttijden en doorrijtijden op deze punten worden in de dienstregeling opgenomen. In het verdere verslag zullen dienstregelpunt en knooppunt beide gebruikt worden.

Een *trainactiviteit* is een aankomst (A), vertrek (V), doorkomst (D) of korte stop (K) van een treinnummer op een bepaalde verkeersdatum en bepaald dienstregelpunt. Van alle trainactiviteiten worden voor elk dienstregelpunt de plan- en uitvoeringstijden gemeten en opgeslagen. De *plantijd* is de datum en het tijdstip waarop de uitvoering van een activiteit is gepland. De *uitvoeringstijd* is de datum en het tijdstip waarop een bepaalde activiteit daadwerkelijk is uitgevoerd. Op een groot station waar een trein een stop maakt, wordt een aankomst- en vertrektijd van de trein gepland. Op kleinere stations wordt een korte stop gemaakt. Dit houdt in dat er geen halteringstijd gepland wordt. De geplande aankomst- en vertrektijd van de trein is dus gelijk. In theorie duurt een korte stop 36 seconden.

## Tijdsmetingen

Een dienstregelpunt fungeert ook als meetpunt op een emplacement of vrije baan waar een trein volgens dienstregeling op een bepaalde tijd moet passeren om een eventuele afwijking vast te stellen en in procesleiding te verwerken. Op de meeste dienstregelpunten wordt twee keer gemeten. Daarbij is het eerste meetpunt gekoppeld aan het inrijsein, dat toegang geeft tot de volgende spoorbundel. Dit eerste meetpunt geeft de tijdsmeting voor de aankomsttijd van de trein. Het tweede meetpunt is gekoppeld aan het uitrijsein dat toegang geeft van de spoorbundel naar het hoofdbaanvak. Deze tweede meting geeft de uitgevoerde vertrektijd van de trein aan. Wanneer een doorkomst- of korte stop activiteit plaatsvindt, wordt er slechts één uitvoertijd gemeten. De uitvoertijd van deze treinactiviteiten zal dan gelijk aan de vertrektijd zijn. Indien op dienstregelpunten slechts één keer wordt gemeten bij aankomst-, vertrek-, doorkomst- of korte stop activiteit, geldt de gemeten tijd zowel voor aankomst als voor vertrek. Het detail van de metingen is op seconde niveau.

Op sommige kleinere dienstregelpunten worden de tijdsmetingen geëxtrapoleerd. Doorgaans vinden op deze dienstregelpunten alleen doorkomstactiviteiten plaats. De extrapolatie wordt gedaan aan de hand van de tijdsmeting op het vorige dienstregelpunt. De tijdsmeting wordt dan de tijdsmeting van het vorige dienstregelpunt plus de geplande rijtijd tussen de twee dienstregelpunten, afgerond op gehele minuten.

## Punctualiteit

De *punctualiteit* is het percentage van het totaal aantal aankomst-, doorkomst-, of korte stop activiteiten dat binnen een marge van drie minuten ten opzichte van de plantijd gerealiseerd is.

Voor het berekenen van de punctualiteit worden niet alle metingen op de dienstregelpunten meegeteld. Met de overheid zijn afspraken gemaakt over op welke dienstregelpunten de punctualiteit gemeten wordt. Dit zijn 35 dienstregelpunten. Deze dienstregelpunten maken onderdeel uit van het HoofdRailNet (HRN), het spoornet waar NS tot 2015 het alleenrecht heeft voor het rijden van reizigerstreinen. Alle treinseries van NSR, inclusief de Internationale treinseries, die op een van de 35 HRN-dienstregelpunten een treinactiviteit hebben, tellen mee voor de punctualiteitsberekeningen. Intercity treinseries zullen zwaarder mee tellen dan Sprinter treinseries aangezien deze series onderweg vaker gemeten worden. Een HRN-dienstregelpunt met veel treinactiviteiten telt zwaarder mee dan een HRN-dienstregelpunt met relatief weinig treinactiviteiten.

De treinactiviteiten die gepland en uiteindelijk ook uitgevoerd zijn, tellen mee bij de berekening van de punctualiteit. Een wel geplande, maar uiteindelijk opgeheven trein wordt niet gebruikt bij de berekening van de punctualiteit.

## 3.2 Gegevensbronnen

ProRail levert dagelijks de data van alle meetgegevens van de uitgevoerde treinactiviteiten op de dienstregelpunten, met de daarbij behorende plantijd. Deze data worden verzameld in het Centrale Data Warehouse (CDW). Het CDW bevat data vanaf dienstregeling 2009. Van alle geplande NSR treinen beschikt het CDW over de geplande en uitgevoerde treinactiviteiten, personeelsactiviteiten en

materieelactiviteiten. Ook worden monitoring data bijgehouden over eventuele treinafwijkingen en oorzaken van deze treinafwijkingen.

Voor dit onderzoek zullen we gebruik maken van de data van de trein- en materieelactiviteiten van dienstregeling 2010, 2011 en 2012<sup>1</sup>.

Tevens hebben we van deze dienstregelingen data van alle grote onregelmatigheden op het spoor tot onze beschikking. In dit bestand is weergegeven wanneer, waar en welke onregelmatigheden plaatsvonden op het spoor.

Voor de analyse zijn alleen treinactiviteiten geanalyseerd die niet opgeheven waren, en die volgens het oorspronkelijk plan gereden hebben.

---

<sup>1</sup>Dienstregeljaren zijn niet gelijk aan kalenderjaren. Dienstregeling 2010: 13 december 2009 t/m 11 december 2010, dienstregeling 2011: 12 december 2010 t/m 10 december 2011 en dienstregeling 2012: 11 december 2011 t/m 8 december 2012



## 4 Tijdelijke snelheidsbeperkingen

In dit hoofdstuk zal beschreven worden wat tijdelijke snelheidsbeperkingen zijn. Er zal onderscheid gemaakt worden tussen geplande en ongeplande snelheidsbeperkingen. Vervolgens zullen de procedures en acties rondom tijdelijke snelheidsbeperkingen aan bod komen.

### 4.1 Geplande en ongeplande tijdelijke snelheidsbeperkingen

*Tijdelijke snelheidsbeperkingen* (verder aangeduid met TSB's) zijn een inbreuk op de levering van het primaire product van infrabeheerder ProRail aan vervoerders. TSB's voor treinen worden opgelegd als de toestand van de infrastructuur dit noodzakelijk maakt. TSB's zijn altijd ongewenst, maar zijn niet altijd te voorkomen. Zij kunnen voortkomen uit veiligheidsoverwegingen of kunnen noodzakelijk zijn om te voldoen aan bepaalde eisen (milieunormen, geluid, etc.), dan wel door aanwijzingen van daartoe bevoegde instanties, zoals de Inspectie van Verkeer en Waterstaat (IVW). Oorzaken voor het invoeren van een tijdelijke snelheidsbeperking kunnen zijn:

- Er dienen vooraf geplande projectwerkzaamheden uitgevoerd te worden aan een baanvak. Dit zijn *geplande TSB's*. Deze geplande TSB's worden vooraf gemeld en afgestemd qua impact en tijdsduur. Hierover vindt overleg plaats met de vervoerders. De invloed op de punctualiteit is in de regel zeer beperkt. Het uitgangspunt is dat het rijtijdverlies door de TSB niet groter is dan de halve rijtijdspeling op dat traject. Bij geplande TSB's kan meestal aan dit uitgangspunt voldaan worden, aangezien er voorafgaand onderhandeld kan worden over de tijdsduur, de snelheidsbeperking en de lengte van het traject. Een voorbeeld van een geplande TSB is de aanleg van een nieuw stuk spoor dat enige tijd nodig heeft om zich te zetten.
- Aanwijzingen door bevoegd gezag. Voorbeelden zijn het nog niet kunnen voldoen aan veiligheidseisen (bijvoorbeeld ATBv, geluidshinder), of het niet meer kunnen voldoen aan de normen die vereist zijn om het rijden met baanvaksnelheid veilig te kunnen garanderen. Dit zijn *ongeplande TSB's*. Deze TSB's komen voort uit onverwachte storingen aan de infrastructuur. De effecten van deze TSB's op de punctualiteit kunnen veel groter zijn, omdat hier vooraf geen invloed uitgeoefend kan worden op de tijdsduur, de lengte van het traject en de snelheidsbeperking. Een voorbeeld van een ongeplande TSB is een wissel dat op korte termijn vervangen of gesaneerd moet worden, maar waarbij de veiligheid door versnelde degeneratie niet langer kan worden gegarandeerd.

### 4.2 Procedure/acties

Infrabeheerder ProRail is verantwoordelijk voor het spoorwegnet van Nederland. ProRail zorgt voor aanleg, onderhoud, beheer en veiligheid van het spoor. TSB's zijn een inbreuk op de afgesproken kwaliteit van het primaire product van ProRail aan de vervoerders.

Het ontstaan van een TSB wordt gezien als een gegeven. Een TSB wordt afgekondigd door de 'inspecteur baan' van ProRail. Deze inspecteur bepaalt dat er een snelheidsbeperking op een bepaald traject moet komen. Voor NSR staat deze beslissing buiten discussie. Er zal door de inspecteur bepaald worden wat de snelheidsbeperking is en wat de prognose voor de einddatum van de werkzaamheden is. De maximaal opgelegde snelheid hangt af van de situatie, en daar kan niet over gediscussieerd worden. De

duur van de TSB hangt ook van de situatie van de infrastructuur af. NSR kan druk uitoefenen om ervoor te zorgen dat de duur zo kort mogelijk is en de maximale baanvaksnelheid weer gereden kan worden.

TSB's zijn altijd ongewenst, maar zijn niet altijd te voorkomen. Er kan namelijk altijd een defect in de infrastructuur optreden. Gezien de impact die op de treindienst kan ontstaan, is er behoefte om het aantal TSB's te reduceren tot het absolute minimum, te voorkomen dat een TSB langer in stand wordt gehouden dan strikt noodzakelijk en maximale focus op TSB's te krijgen. Primair ligt hiervoor de verantwoordelijkheid bij het regiomanagement van Infra Operatie (ProRail). Zij kennen de TSB's, zijn verantwoordelijk voor de levering van de beschikbare infrastructuur, kunnen de verwachte duur van de TSB inschatten en sturen op de geprognosticeerde eindtijd.

Asset Management (ProRail) zal in het geval van een ongeplande TSB zo snel mogelijk een plan van aanpak maken voor het elimineren van de TSB. Vervoerders kunnen hun bedrage leveren door mee te werken om noodzakelijke buitendienststellingen via verkorte procedures mogelijk te maken. Tijdens een buitendienststelling van een traject is er geen treinverkeer mogelijk op dat traject. Dit is zeer in het nadeel van de reizigers, dus in de meeste gevallen geen wenselijke oplossing voor NS.

Wanneer een TSB afgekondigd wordt, analyseert NSR wat de gevolgen van de TSB zijn. Doordat de treinen niet de maximale baanvaksnelheid kunnen rijden, zal er rijtijdverlies optreden. Hierdoor kan het voorkomen dat een trein niet punctueel op het volgende dienstregelpunt aankomt, wat gevolgen kan hebben voor de rest van de dienstregeling, maar ook voor het punctualiteitscijfer. Het belang van NSR is om de impact van een TSB op de treindienst tot een minimum te beperken. Aan de hand van de analyse naar de gevolgen van de TSB wordt een advies gegeven over het dan wel niet aanpassen van de dienstregeling of invoeren van een buitendienststelling. Een groot probleem is dat van de ongeplande TSB's vooraf niet bekend is hoelang de situatie gaat duren. Hierdoor is het niet duidelijk wat er verwacht kan worden en of de dienstregeling zal moeten worden aanpast. Wanneer gekozen wordt om de dienstregeling aan te passen, zal dit doorgaans gedaan worden door een latere aankomsttijd in te stellen op het eerstvolgende HRN-dienstregelpunt waar de punctualiteit gemeten wordt.

NSR informeert de machinisten zo goed mogelijk over de opgelegde TSB's, en stimuleren hen het rijtijdverlies wat ontstaan is door de TSB zo goed mogelijk te compenseren. Dit blijkt in praktijk echter vaak niet haalbaar.

De verschillende betrokken partijen dienen continu in overleg te blijven over TSB's en volledig op de hoogte te zijn van elkaars wensen. Het is belangrijk om zo snel mogelijk in kaart te brengen wat de impact van een TSB op de treindienst zal zijn wanneer deze wordt aangekondigd. Dit inzicht kan gebruikt worden om de andere partijen bewuster te maken van de consequenties van een TSB.

## 5 Case studies

In dit hoofdstuk zullen drie case studies aan bod komen. De tijdelijke snelheidsbeperkingen rondom stations Delft, Abcoude en Boxtel zullen geanalyseerd worden. Iedere TSB heeft zijn eigen karakteristieken.

De data van de periodes dat de TSB's zijn opgelegd zullen geanalyseerd worden om inzicht te krijgen in wat de effecten voor de rijtijden zijn wanneer een TSB wordt opgelegd. Verder zal onderzocht worden wat voor effect een TSB op de punctualiteit heeft.

### 5.1 Algemeen voor de case studies

Extreem grote of kleine waarnemingen in de data kunnen de resultaten van de analyse negatief beïnvloeden. Voor alle treinseries zijn de uitschieters aan beide kanten verwijderd door 5% van de snelste en 5% van de langzaamste treinnummers eruit te halen. Op deze manier worden de treinnummers die last hebben gehad van verstoringen (sein- en wisselstoringen, calamiteiten, etc.) verwijderd. Ook zijn de treinnummers met een zeer korte uitgevoerde rijtijd op een baanvak verwijderd.

Tijdens het analyseren zal onderscheid gemaakt worden tussen de richtingen waarin de treinseries rijden. Het komt voor dat de rijtijd in beide richtingen niet gelijk is. Dit heeft te maken met de infrastructuur waar de treinen overheen rijden. Het kan bijvoorbeeld voorkomen dat in de ene richting op een traject de maximale baanvaksnelheid 130 km/uur is, en in de andere richting 100 km/uur.

Als een TSB wordt opgelegd, wordt in veel gevallen de TSB snelheid na een aantal dagen verhoogd. Per TSB zal voor de periodes met de verschillende TSB snelheden geanalyseerd worden wat de verschillen in rijtijd zijn. Om een indruk van het effect van een opgelegde TSB's op de rijtijd te krijgen, zullen histogrammen worden gemaakt voor de verschillende periodes. Een histogram geeft een indruk van de onderliggende kansverdeling van de data.

Per TSB zal onderscheid gemaakt worden tussen de verschillende treinseries die over het traject rijden. De geplande en uitgevoerde rijtijden van de treinseries verschillen op de meeste trajecten. De rijtijden zijn voornamelijk afhankelijk van het soort materieel waarmee gereden wordt. Intercity (IC) series rijden met een ander soort materieel dan Sprinter (SPR) series. Het rijtijdverlies dat door een TSB opgelopen wordt, hangt per treinserie onder andere af van waar een stop gemaakt wordt rondom de TSB.

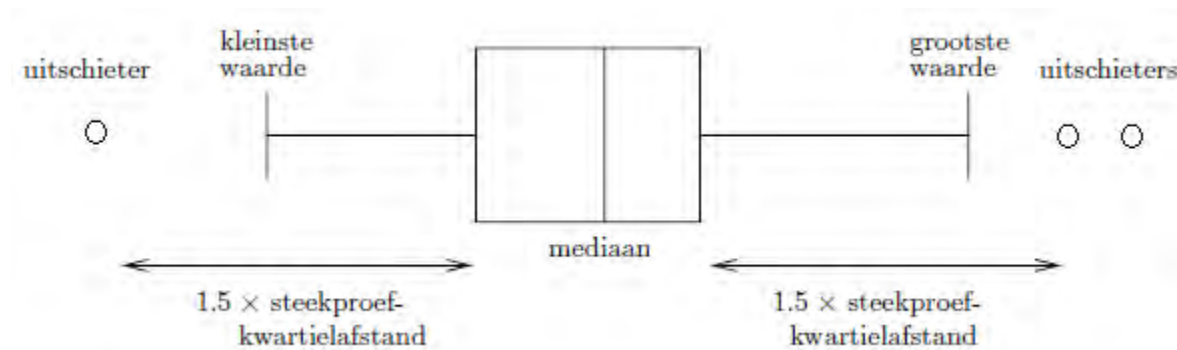
Per TSB zijn de treinseries gegroepeerd in types. Deze types zijn samengesteld uit treinseries met dezelfde rij karakteristieken, en dezelfde soort treinactiviteiten rondom de TSB. Alle treinseries binnen een bepaald type hebben ongeveer een gelijke plan- en rijtijd op het traject waar de TSB plaatsvindt.

### 5.2 Samenvatten van de data

Voor elke TSB zullen histogrammen van de uitgevoerde rijtijden in seconden weergegeven worden. Een *histogram* is een univariate techniek die grafisch de frequentieverdeling van gegroepeerde data weergeeft. Het is een eenvoudige techniek om een eerste indruk te geven van de onderliggende

verdelingen van de data. Ook geeft een histogram een beeld van hoe de spreiding van de verdeling eruit ziet.

Tevens zullen we voor elke periode box plots maken. Een *box plot* is een grafische weergave van de data die een indruk geeft van de locatie en spreiding van de data, en eventuele uitschieters in de waarnemingen (zie figuur 5.1). De mediaan wordt omgeven door de “box” met de kwartielen (het kleinste kwartiel  $Q_1$  en het grootste kwartiel  $Q_3$ ) die met een lijn (whiskers) verbonden zijn met de uiterste waarden van de metingen. Het kleinste (respectievelijk grootste) kwartiel van de data is die waarde  $x$  zodanig dat een kwart van de waarnemingen kleiner (respectievelijk groter) is dan  $x$ . De “box” vertegenwoordigt 50% van de waarnemingen (van der Vaart, 2003).



Figuur 5.1: schematische weergave van een box plot

Naast de grafische weergave van de data zullen ook numerieke waarden van de uitgevoerde rijtijden gerepresenteerd worden. Aan de hand van numerieke waarden kan ook een inzicht gegeven worden in de data. Deze numerieke samenvattingen zijn weergegeven in tabel 5.1. Het gemiddelde en de mediaan geven een indruk van de locatie van de onderliggende verdeling. De *mediaan* geeft het midden van een verdeling aan. Deze centrummaat is relatief ongevoelig voor uitschieters vergeleken met het gemiddelde. Zelfs als bijna alle waarnemingen extreem zijn, levert de mediaan nog een zinvolle schatting van de locatie. In de verdere analyses zullen we daarom bij het vergelijken van verschillende periodes/omstandigheden voornamelijk de mediaan vergelijken.

Om informatie te krijgen over de spreiding van de data kunnen de variantie, range en interkwartiel afstand inzicht bieden. Een spreidingsmaat geeft aan of waarnemingen in een verdeling dichtbij of ver van elkaar liggen. De *interkwartiel afstand* geeft de bandbreedte van de middelste helft van de rijtijden. In de box plot is de interkwartiel afstand gelijk aan de “box”. Deze maat voor spreiding is minder gevoelig voor uitschieters in de data dan de variantie. De *range* is het verschil tussen de hoogste en laagste waarneming in de verdeling.

*Skewness* en *kurtosis* zijn twee karakteristieken van een verdeling die een idee geven over respectievelijk de asymmetrie en de dikte van de staarten van de verdeling.



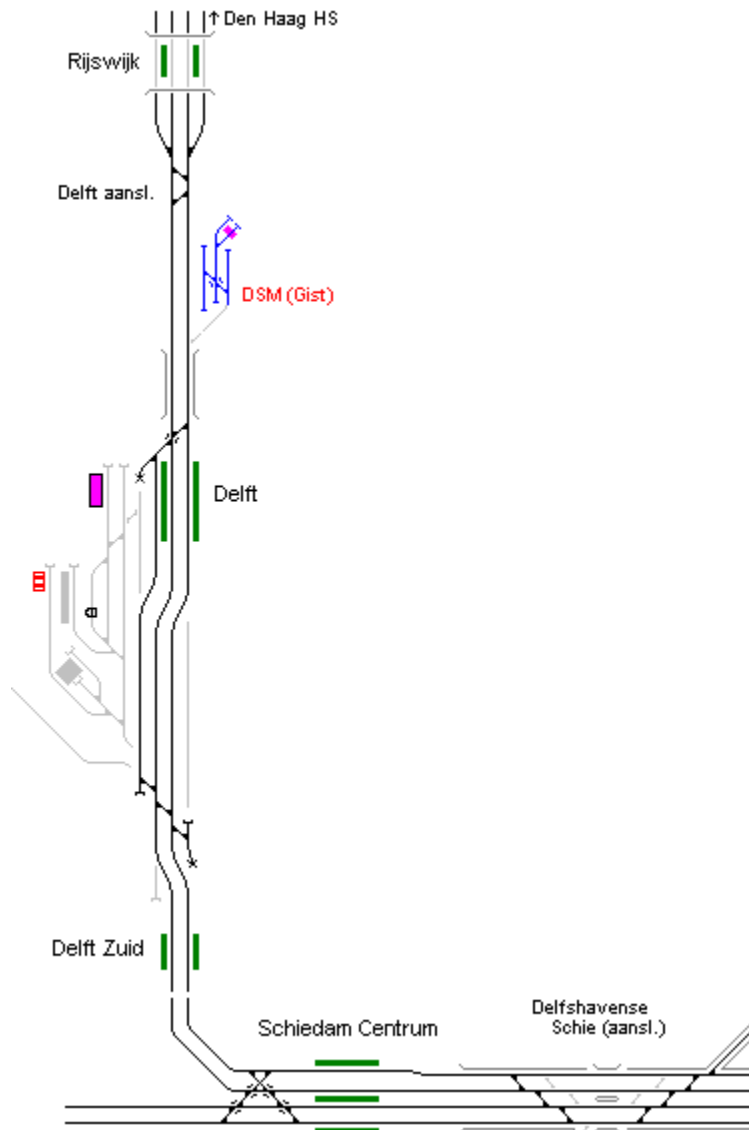
Gemiddelde	$\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i$
Mediaan	$\text{med}(X) = \begin{cases} X_{((n+1)/2)}, & \text{als } n \text{ oneven} \\ \frac{1}{2}(X_{(n/2)} + X_{((n/2)+1)}), & \text{als } n \text{ even} \end{cases}$
Variantie	$S^2 = \frac{1}{n-1} \left( \sum_i (X_i - \bar{X})^2 \right)$
Range	$(X_{(1)}, X_{(n)})$
Interkwartiel afstand	$Q_3 - Q_1$
Skewness coëfficiënt	$\beta_1 = \frac{E(X - EX)^3}{\{E(X - EX)^2\}^{\frac{3}{2}}}$
Kurtosis coëfficiënt	$\beta_2 = \frac{E(X - EX)^4}{\{E(X - EX)^2\}^2}$

Tabel 5.1: enkele numerieke samenvattingen

Wanneer wordt aangenomen dat de data normaal verdeeld zijn, zullen het gemiddelde en de mediaan (bijna) gelijk zijn. De skewness coëfficiënt, de mate van symmetrie, zal dan rond de 0 zijn. Een positieve waarde van de skewness coëfficiënt geeft aan dat de data naar rechts scheef is, en een negatieve waarde naar links scheef. De kurtosis coëfficiënt geeft de dikte van de staarten weer. Wanneer de data normaal verdeeld is zal de waarde van deze coëfficiënt rond 0 liggen. Een positieve waarde geeft aan dat de verdeling steiler is dan de normale verdeling, bij een negatieve waarde is de verdeling platter.

### 5.3 TSB Delft

Medio november 2011 is een tijdelijke snelheidsbeperking over een afstand van 1,1 kilometer opgelegd in beide richtingen tussen dienstregelpunten Delft (Dt) en Delft Aansluiting (Dta). Figuur 5.2 laat de huidige spoor situatie rondom de TSB zien. Door de bouw van een viaduct naast het spoor is spoorverzakking opgetreden rondom het station Delft. Dit heeft ervoor gezorgd dat het niet meer veilig was om met een maximale baanvaksnelheid van 130 km/uur op dit traject te rijden.



Figuur 5.2: Spoor situatie rondom Delft waar de TSB plaatsvindt

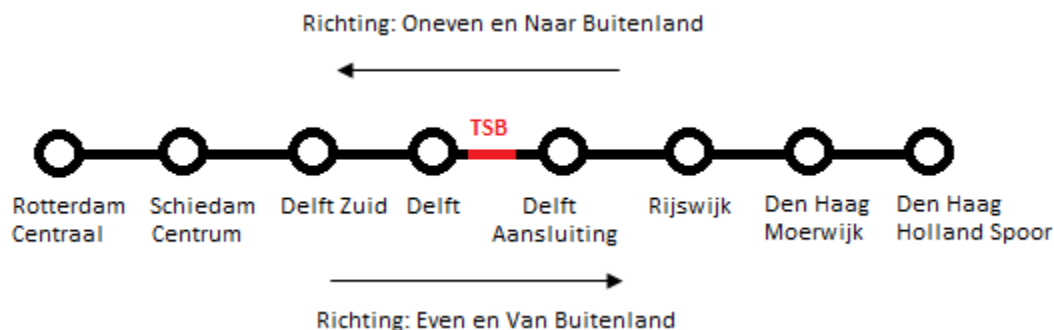
De TSB is opgelegd vanaf 18 november 2011 tot heden. Deze periode is in 4 periodes opgedeeld, omdat de opgelegde snelheid per periode verschillend is.

Periode 1: periode zonder TSB	130 km/uur (normale snelheid)
Periode 2: 18 november 2011 t/m 6 december 2011	40 km/uur
Periode 3: 7 t/m 8 december 2011	60 km/uur
Periode 4: 9 december 2011 t/m 19 december 2011	80 km/uur
Periode 5: 20 december 2011 t/m heden	100 km/uur

19 en 20 november 2011 zijn er geen treinactiviteiten geweest tussen Rotterdam Centraal en Den Haag HS door werkzaamheden aan het spoor.

Voor de analyse van deze TSB zijn alleen de data van dienstregeling 2011 gebruikt. Wij zullen periode 5 niet analyseren. Door verschillende wijzigingen in de nieuwe dienstregeling op dit traject in beide richtingen is het lastig om deze periode te vergelijken met de andere periodes en het effect van de TSB op de rijtijd te bepalen. Zo zijn op het traject onder andere voor treinserie 2100 en 9200 één minuut extra rijtijd gepland en een korte stop voor de 2100 op dienstregelpunt Delft gepland. Hierdoor wordt het lastig om deze serie in deze periode te vergelijken met de andere periodes waarin geen stop gemaakt wordt. Voor periode 4 gebruiken we alleen de laatste twee dagen van dienstregeling 2011: 9 en 10 december 2011.

De treinseries die wij zullen analyseren zijn de 1900, 2100, 2200, 5000, 5100 en 9200. Deze treinseries rijden in beide richtingen tussen HRN dienstregelpunten Rotterdam Centraal komen en Den Haag Holland Spoor. Figuur 5.3 laat van dit traject een schematische weergave zien, met tussenliggende dienstregelpunten waar de series eventueel een stop maken (met uitzondering van Delft Aansluiting; hier stoppen geen treinen). De series rijden doordeweeks en in het weekend twee maal per uur in beide richtingen, met uitzondering van de 9200. Deze treinserie rijdt een keer per uur. In dienstregeling 2011 rijdt treinserie 5000 niet in het weekend.



Figuur 5.3: schematische weergave ligging TSB tussen HRN dienstregelpunten Rotterdam Centraal en Den Haag HS

### 5.3.1 Treinseries 5000 en 5100

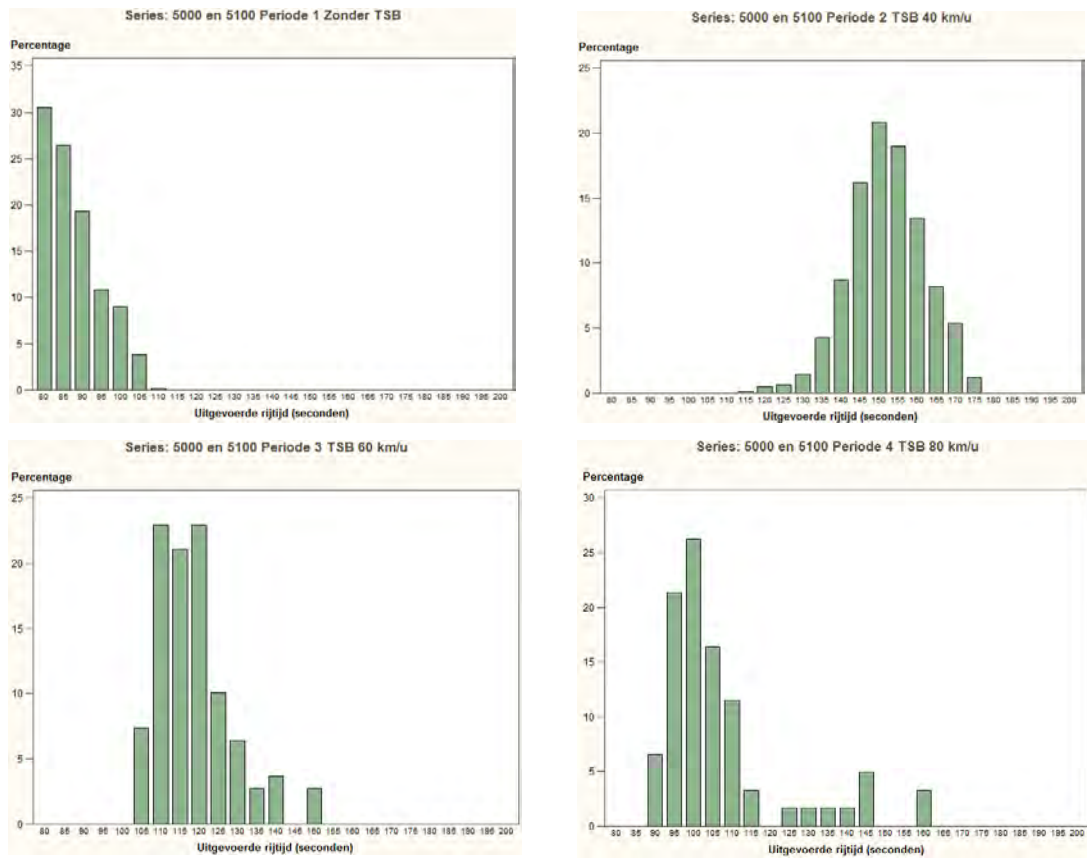
Er rijden op het traject Delft – Delft Aansluiting twee Sprinter treinseries 5000 en 5100. De 5000 rijdt tussen Den Haag Centraal en Dordrecht. De 5100 rijdt tussen Den Haag Centraal en Roosendaal. Tussen Rotterdam Centraal en Den Haag HS hebben deze series dezelfde geplande rijtijd, en maken hetzelfde aantal stops. In even richting maken beide series 0,1 kilometer voor de TSB een stop op dienstregelpunt

Delft. Hierdoor zal er niet afgeremd hoeven worden voor de TSB, omdat toch nog niet op hoge snelheid gereden wordt. In even richting wordt 3,2 kilometer na de TSB een stop gemaakt op station Rijswijk. Na de TSB zal dus opgetrokken worden van TSB snelheid naar maximale baanvaksnelheid, waarna er na 3,2 kilometer geremd wordt om een stop te maken. In oneven geldt precies het omgekeerde. Het station voor de TSB waar de stop gemaakt wordt is Rijswijk, 3,2 kilometer tot het begin van het TSB traject. Er zal hier dus rijtijdverlies optreden door het afremmen van maximale baanvaksnelheid naar TSB snelheid. Het eerst volgende station na de TSB waar een stop gemaakt wordt, is station Delft op 0,1 kilometer afstand van het einde van de TSB. Hier zal nauwelijks rijtijdverlies bijkomen, aangezien de trein normaliter toch al zou afremmen voor het station Delft.

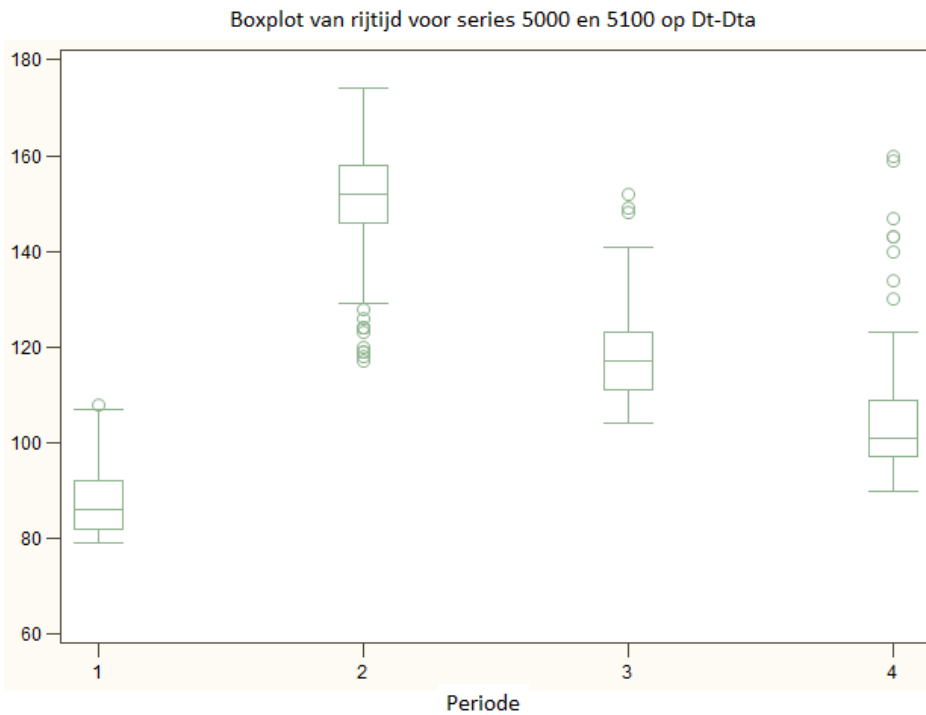
In figuur 5.4 zijn histogrammen van de uitgevoerde rijtijden in seconden per periode voor deze treinseries voor de even richting Delft – Delft Aansluiting weergegeven. De numerieke waarden van de uitgevoerde rijtijd van deze treinseries zijn in tabel 5.2 weergegeven. Het verschil in modale rijtijd in periode 2 en periode 1 is 66 seconden. Het verschil tussen de modale rijtijden van periode 1 en periode 3 is 31 seconden. Tussen periode 1 en periode 4 is het verschil in modale rijtijd 15 seconden.

Figuur 5.5 geeft per periode de rijtijd in seconden aan in de vorm van box plots. De box plots geven een goede indruk van de spreiding en de ligging van de data. Te zien is dat voor de periodes 1, 2 en 3 de data in de box redelijk symmetrisch oogt (de mediaan ligt mooi in het midden van de box). Aan de hand van de histogrammen en de box plots is te zien dat de periodes met TSB meer spreiding bevatten dan de periode zonder TSB.

De waarden die individueel weergegeven worden zijn de uitschieters. Voor periode 2 zijn een aantal uitschieters naar beneden te zien. Vooral voor periode 4 is te zien dat deze periode een aantal uitschieters met grote waarden bevat. Ook is te zien voor periode 4 dat de bovenkant van de box groter is, wat duidt op relatief meer grote waarnemingen (langere rijtijden).



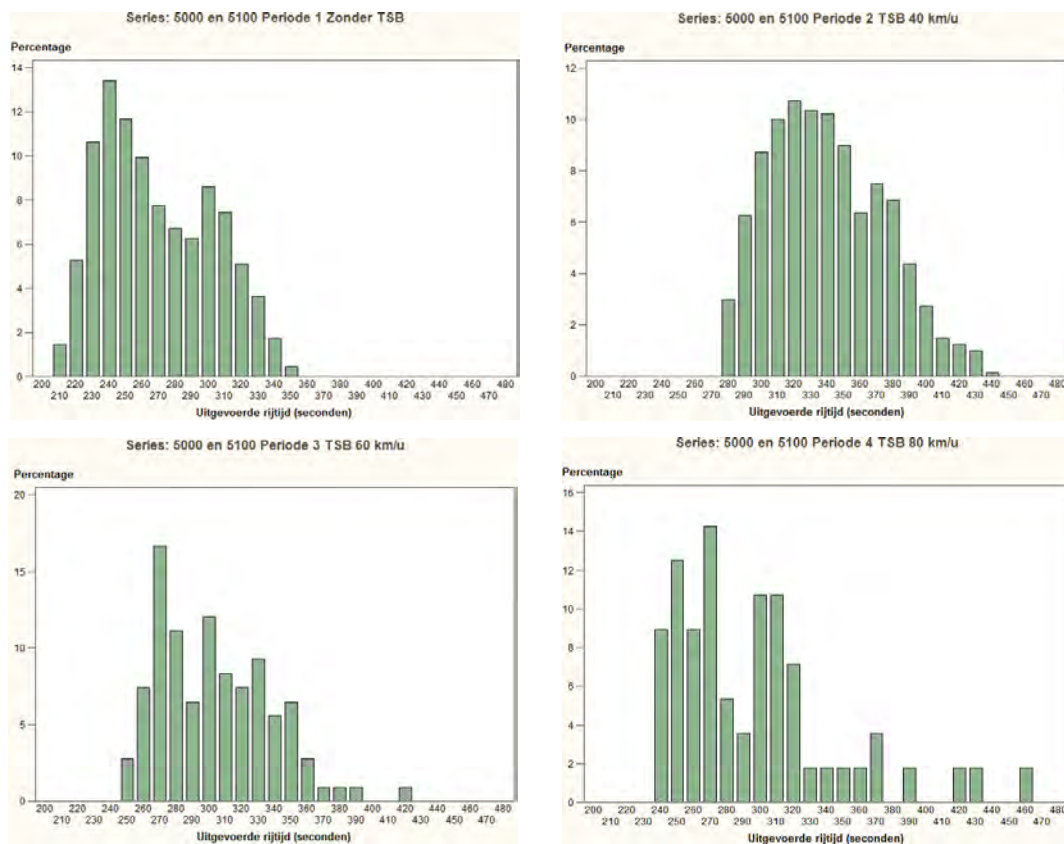
Figuur 5.4: histogrammen van de uitgevoerde rijtijden in seconden voor treinseries 5000 en 5100 (richting Dt- Dta)



Figuur 5.5: box plots van rijtijd in seconden voor de verschillende periodes

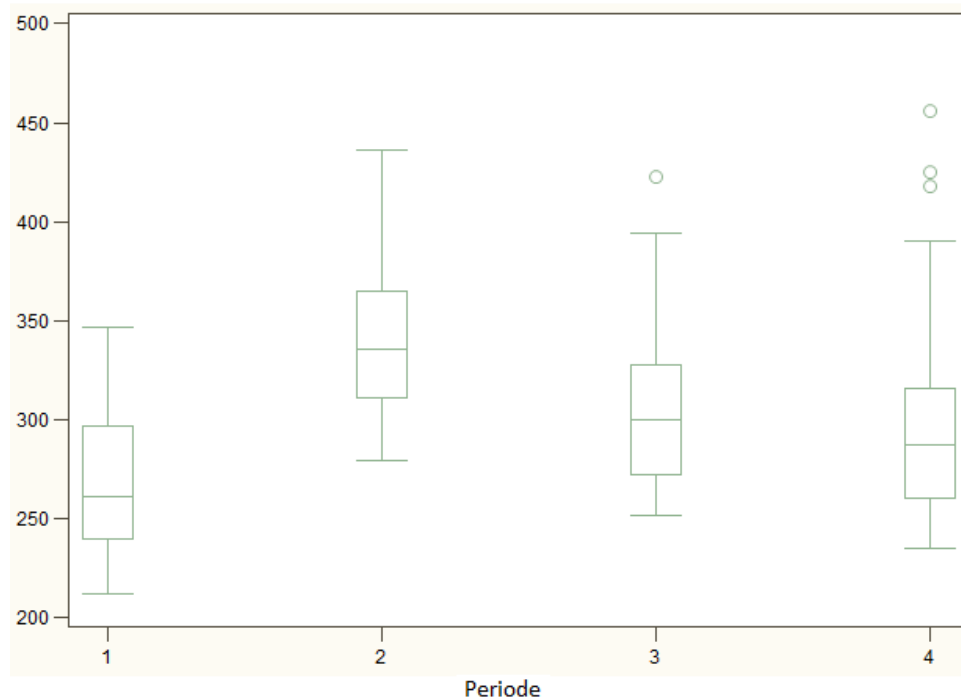
	Zonder TSB	TSB 40 km/uur	TSB 60 km/uur	TSB 80 km/uur
<i>steekproefgrootte</i>	711	816	109	61
<i>gemiddelde</i>	87,62	152,00	118,52	106,64
<i>mediaan</i>	86,00	152,00	117,00	101,00
<i>variantie</i>	50,11	98,79	99,88	274,70
<i>range</i>	29,00	57,00	48,00	70,00
<i>interkwartiel afstand</i>	10,00	12,00	12,00	12,00
<i>skewness</i>	0,81	-0,24	1,15	1,85
<i>kurtosis</i>	-0,26	0,22	1,39	2,83

Tabel 5.2: numerieke waarden van de uitgevoerde rijtijd in seconden voor treinseries 5000 en 5100 (richting Dt – Dta)



Figuur 5.6: histogrammen van de uitgevoerde rijtijden in seconden voor treinseries 5000 en 5100 (richting Dta- Dt)

Boxplot van rijtijd voor series 5000 en 5100 op Dta-Dt



Figuur 5.7: box plots van rijtijd in seconden voor de verschillende periodes

	Zonder TSB	TSB 40 km/uur	TSB 60 km/uur	TSB 80 km/uur
<i>steekproefgrootte</i>	686	801	108	56
<i>gemiddelde</i>	268,27	339,12	302,80	295,32
<i>mediaan</i>	261,00	336,00	300,00	284,50
<i>variantie</i>	1126,20	1197,10	1185,43	2488,88
<i>range</i>	135,00	157,00	171,00	221,00
<i>interkwartiel afstand</i>	57,00	54,00	55,00	55,00
<i>skewness</i>	0,37	0,41	0,73	1,30
<i>kurtosis</i>	-0,96	-0,55	0,37	1,61

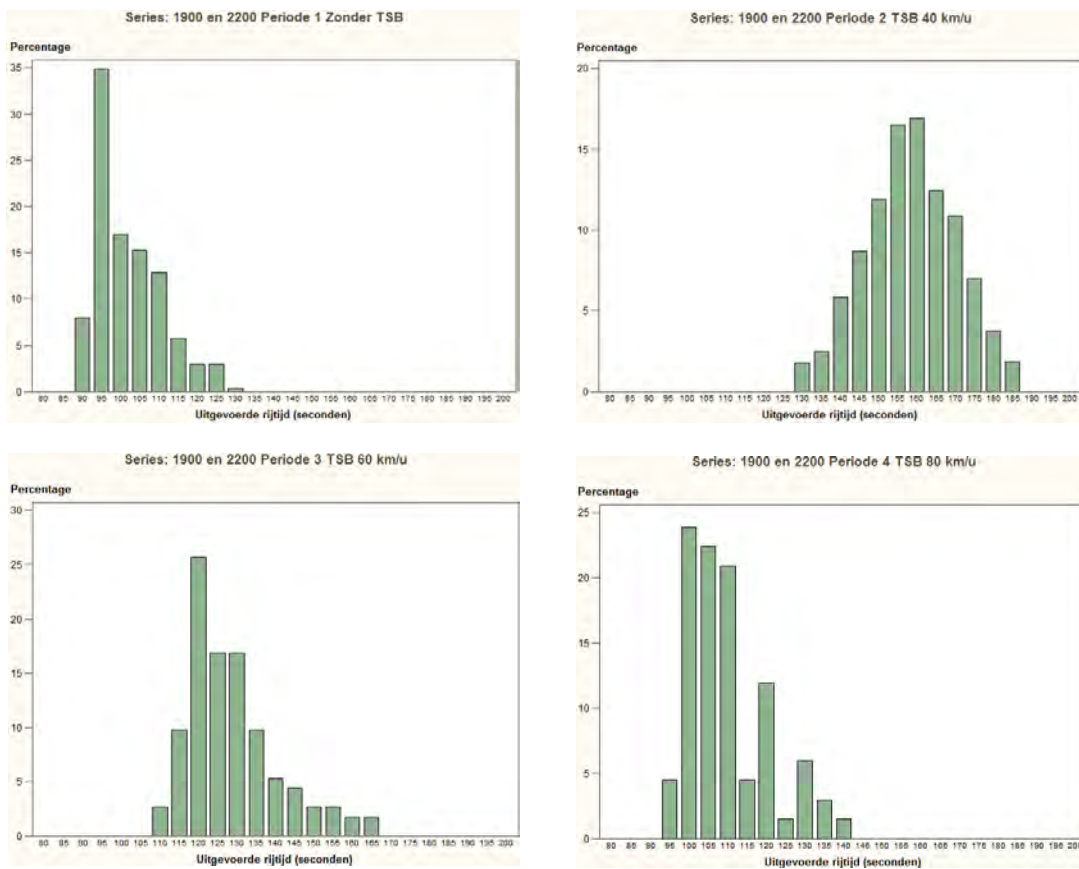
Tabel 5.3: numerieke waarden van de uitgevoerde rijtijd in seconden voor treinseries 5000 en 5100 (richting Dta – Dt)

In figuur 5.6 zijn histogrammen van de uitgevoerde rijtijden in seconden per periode voor de treinseries 5000 en 5100 voor de oneven richting Delft Aansluiting – Delft weergegeven. In tabel 5.3 zijn de numerieke waarden van de uitgevoerde rijtijd van deze treinseries weergegeven. Het verschil in modale rijtijd in periode 2 en periode 1 is 75 seconden. Het verschil tussen de modale rijtijden van periode 1 en periode 3 is 39 seconden. Tussen periode 1 en periode 4 is het verschil in modale rijtijd 23,5 seconden.

Figuur 5.7 geeft per periode de rijtijd in seconden aan in de vorm van box plots. Te zien is dat voor alle periodes de data in de box redelijk symmetrisch oogt (de mediaan ligt mooi in het midden van de box). Ook voor deze richting heeft periode 4 een aantal uitschieters met hogere waarden dan de rest van de data.

### 5.3.2 Treinseries 1900 en 2200

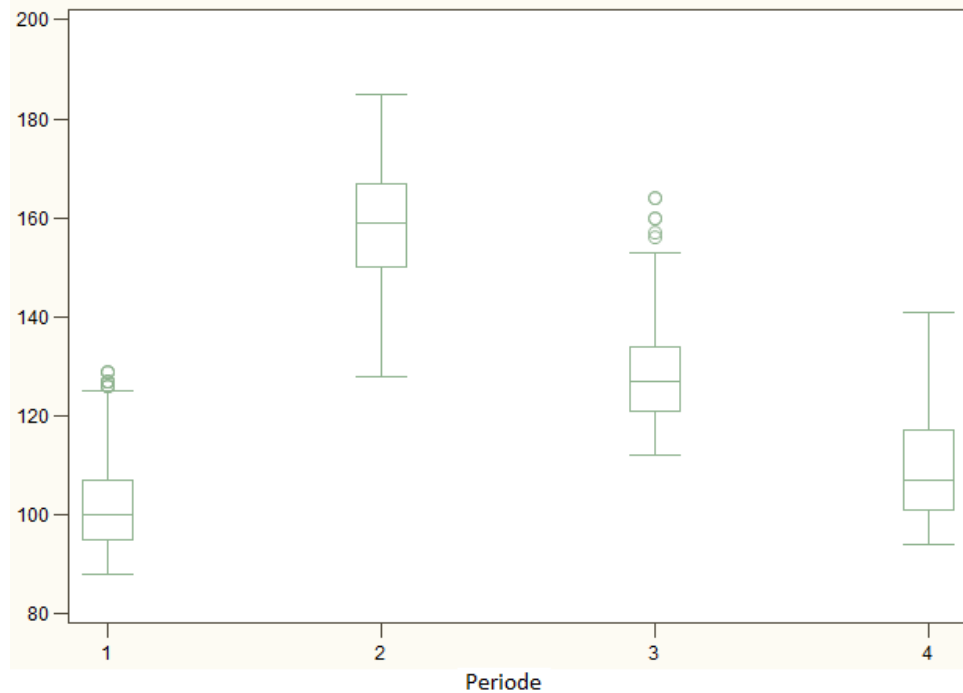
Op het traject Delft – Delft Aansluiting rijden in beide richtingen de treinseries 1900 en 2200. De 1900 is een Intercity die tussen Den Haag Centraal en Venlo rijdt. De 2200 is ook een Intercity en deze serie rijdt tussen Amsterdam Centraal en Breda. Op het traject tussen Rotterdam Centraal en Den Haag HS maken beide series in beide richtingen een stop op station Delft. Treinserie 2200 maakt nog een extra stop op Schiedam Centrum. Zoals eerder besproken ligt station Delft zeer dichtbij de TSB, op 0,1 kilometer afstand. In even richting stoppen de series dus voor het begin van het TSB traject op station Delft. Na de TSB wordt er pas na 7,0 kilometer op station Den Haag HS gestopt. In even richting zal geen rijtijdverlies verkregen worden door afremmen, aangezien er niet alleen afgeremd hoeft te worden voor de TSB, maar ook al voor de geplande stop. Omdat er niet op korte afstand een stop gemaakt wordt na de TSB, zal met optrekken van TSB snelheid naar de maximale baanvaknelheid wel rijtijdverlies optreden. In oneven richting is het omgekeerd. Het station voor de TSB waar een stop gemaakt wordt is Den Haag HS. Na de TSB wordt een korte stop gemaakt op station Delft.



Figuur 5.8: histogrammen van de uitgevoerde rijtijden in seconden voor treinseries 1900 en 2200 (richting Dt- Dta)



Boxplot van rijtijd voor series 1900 en 2200 op Dt-Dta



Figuur 5.9: box plots van rijtijd in seconden voor de verschillende periodes

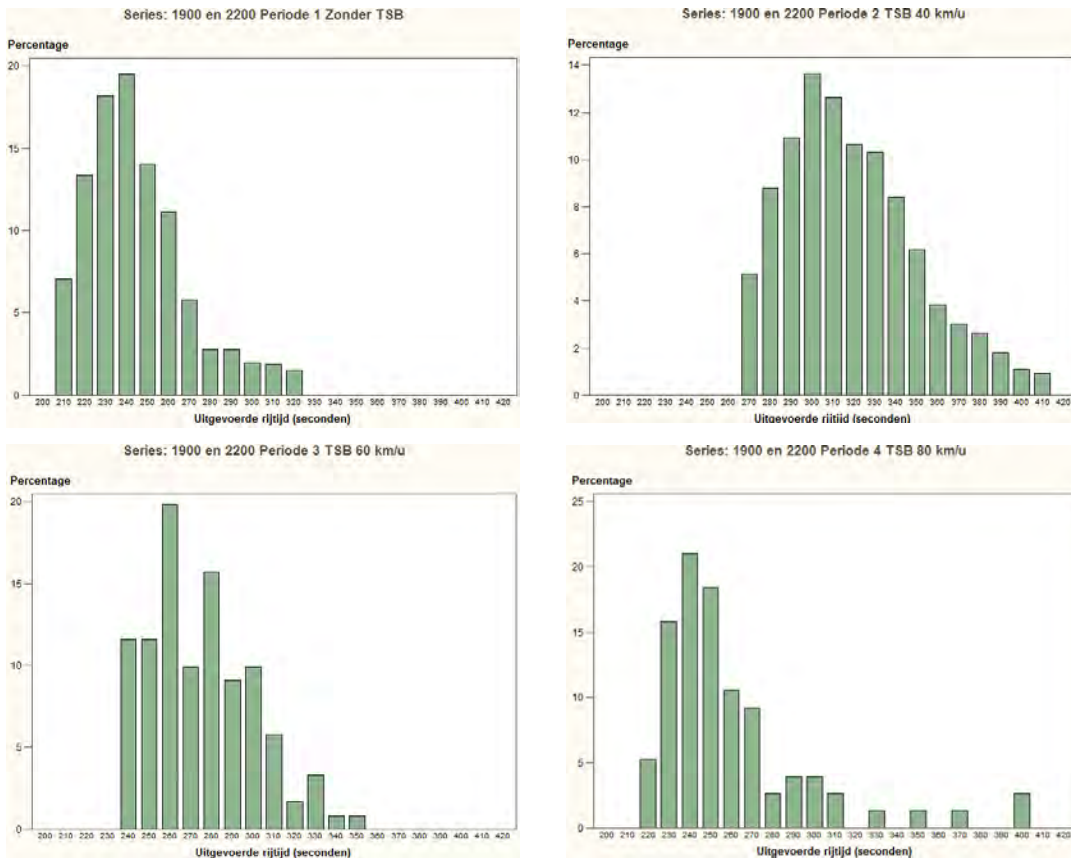
	Zonder TSB	TSB 40 km/uur	TSB 60 km/uur	TSB 80 km/uur
<i>steekproefgrootte</i>	829	958	113	67
<i>gemiddelde</i>	101,87	158,48	128,69	110,07
<i>mediaan</i>	100,00	159,00	127,00	107,00
<i>variantie</i>	76,13	143,13	142,38	115,40
<i>range</i>	41,00	57,00	52,00	47,00
<i>interkwartiel afstand</i>	12,00	17,00	13,00	16,00
<i>skewness</i>	0,88	-0,08	1,09	1,00
<i>kurtosis</i>	0,17	-0,43	0,86	0,51

Tabel 5.4: numerieke waarden van de uitgevoerde rijtijd in seconden voor treinseries 1900 en 2200 (richting Dt – Dta)

In figuur 5.8 zijn histogrammen van de uitgevoerde rijtijden in seconden per periode voor treinseries 1900 en 2200 voor de even richting Delft – Delft Aansluiting weergegeven. In tabel 5.4 zijn de numerieke waarden van de uitgevoerde rijtijd van deze treinseries weergegeven. Tussen de periode met een TSB van 40 km/uur (periode 2) en zonder TSB (periode 1) is het verschil in modale rijtijd bijna 1 minuut. Als vervolgens de snelheidsbeperking van 40 km/uur wordt bijgesteld naar 60 km/uur (periode 3) wordt de modale rijtijd 32 seconden korter. Het verschil in modale rijtijd tussen periode 1 en periode 4, met een TSB van 80 km/uur, is vrij klein, 7 seconden. De spreiding in rijtijd in periode 4 is echter wel een stuk groter.

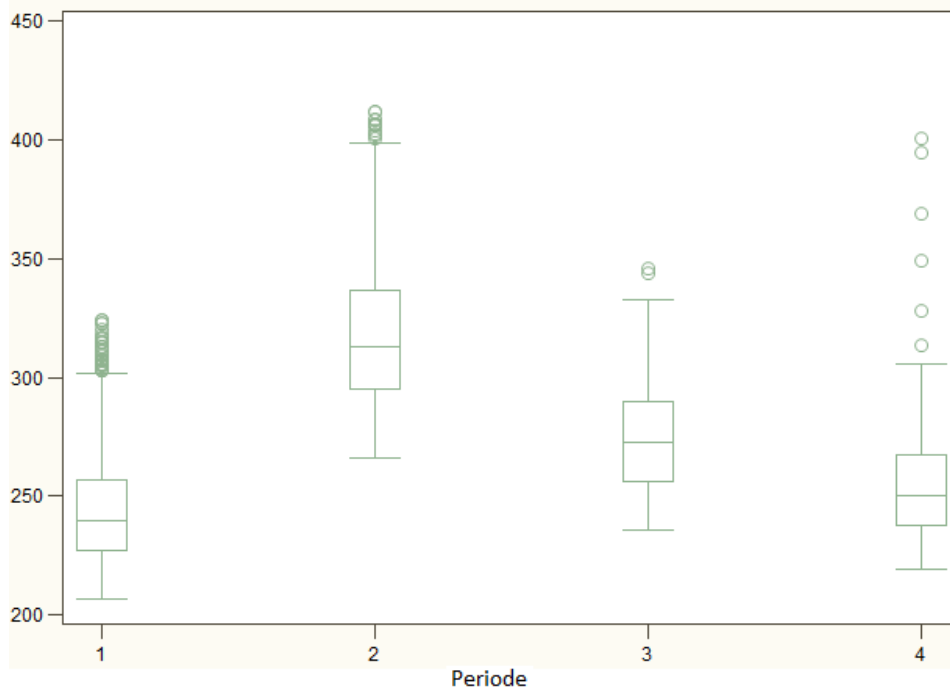
Figuur 5.9 geeft per periode de rijtijd in seconden aan in de vorm van box plots. Ook voor deze treinseries geldt dat de data in de box redelijk symmetrisch ogen. Periode 1 en 3 heeft een paar uitschieterende waarden. Voor periode 1, 3 en 4 is aan de whiskers te zien dat er meer spreiding is in de langere rijtijden zijn dan in de kortere rijtijden.

Als we de modale rijtijden in de verschillende periodes van de treinseries 1900/2200 met de modale rijtijden van treinseries 5000/5100 vergelijken zien we dat de Sprintersseries 5000 en 5100 iets meer rijtijdverlies hebben door de TSB.



Figuur 5.10: histogrammen van de uitgevoerde rijtijden in seconden voor treinseries 1900 en 2200 (richting Dta- Dt)

Boxplot van rijtijd voor series 1900 en 2200 op Dta-Dt



Figuur 5.11: box plots van rijtijd in seconden voor de verschillende periodes

	Zonder TSB	TSB 40 km/uur	TSB 60 km/uur	TSB 80 km/uur
<i>steekproefgrootte</i>	862	989	121	76
<i>gemiddelde</i>	244,40	318,09	274,64	259,18
<i>mediaan</i>	240,00	313,00	273,00	250,00
<i>variantie</i>	580,79	997,83	673,13	1345,17
<i>range</i>	117,00	146,00	110,00	182,00
<i>interkwartiel afstand</i>	30,00	42,00	34,00	30,00
<i>skewness</i>	1,00	0,65	0,63	2,10
<i>kurtosis</i>	0,88	-0,06	-0,03	5,03

Tabel 5.5: numerieke waarden van de uitgevoerde rijtijd in seconden voor treinseries 1900 en 2200 (richting Dta – Dt)

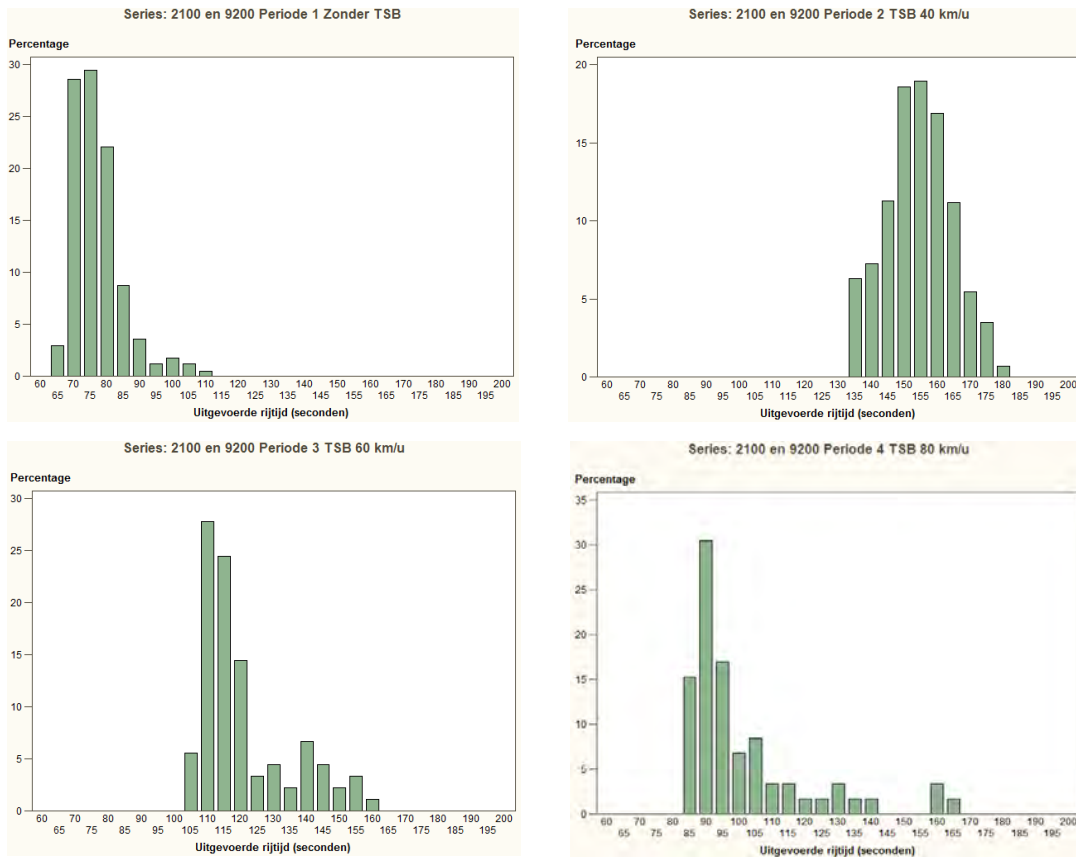
In figuur 5.10 zijn histogrammen van de uitgevoerde rijtijden in seconden per periode voor treinseries 1900 en 2200 voor het traject Delft Aansluiting – Delft weergegeven. In tabel 5.5 zijn de numerieke waarden van de uitgevoerde rijtijd van deze treinseries weergegeven. Tussen de periode met een TSB van 40 km/uur (periode 2) en zonder TSB (periode 1) is het verschil in modale rijtijd bijna 73 seconden. Als vervolgens de snelheidsbeperking van 40 km/uur wordt opgehoogd naar 60 km/uur (periode 3) wordt de modale rijtijd 40 seconden korter. Het verschil in modale rijtijd tussen periode 1 en periode 4 is 10 seconden.

Figuur 5.11 geeft per periode de rijtijd in seconden aan in de vorm van box plots. Voor deze treinseries zitten in alle periodes een aantal uitschieterende waarden naar boven, vooral voor periode 4. Voor deze

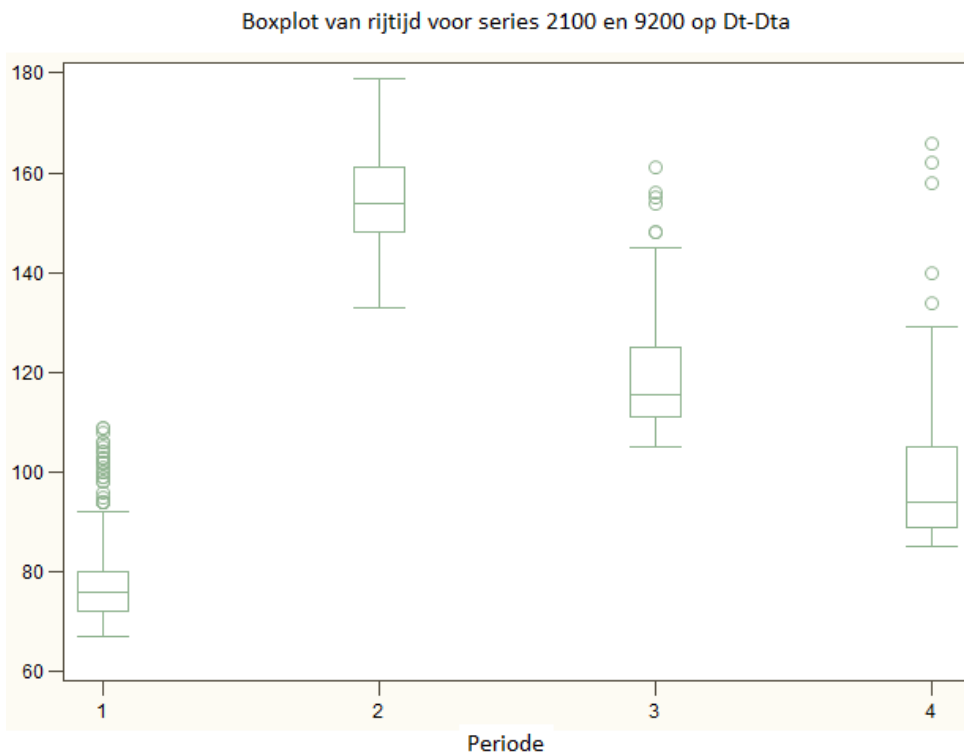
periode is er ook redelijk wat spreiding in deze waarden. De spreiding voor deze periode is vergeleken met de andere periodes ook een stuk groter.

### 5.3.3 Treinseries 2100 en 9200

Treinseries 2100 en 9200 rijden in beide richtingen op het traject Delft - Delft Aansluiting. Treinserie 2100 is een Intercity die tussen Amsterdam Centraal en Vlissingen rijdt. De Internationale serie 9200 rijdt tussen Amsterdam Centraal en Brussel Zuid. Beide series rijden tussen HRN dienstregelpunten Rotterdam Centraal en Den Haag HS en komen over het TSB traject en maken alleen een stop op Rotterdam Centraal en Den Haag HS, en niet op een van de tussengelegen dienstregelpunten. Er wordt verwacht dat deze treinseries het meeste last van de TSB zullen hebben aangezien deze normaal gesproken op het gehele traject de maximale baanvaksnelheid kunnen rijden. Door de TSB moet er nu tussendoor afgeremd worden, een lagere snelheid gereden worden, en vervolgens weer opgetrokken worden.



Figuur 5.12: histogrammen van de uitgevoerde rijtijden in seconden voor treinseries 2100 en 9200 (richting Dt- Dta)



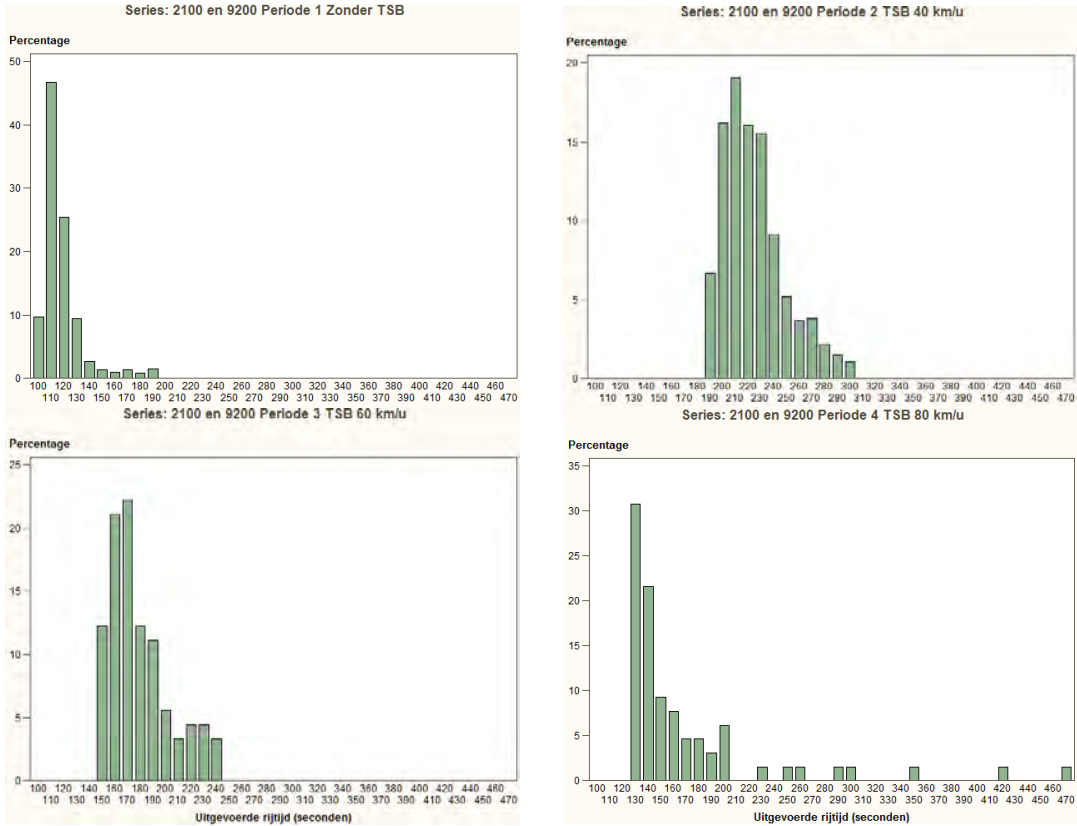
Figuur 5.13: box plots van rijtijd in seconden voor de verschillende periodes

	Zonder TSB	TSB 40 km/uur	TSB 60 km/uur	TSB 80 km/uur
<i>steekproefgrootte</i>	581	717	90	59
<i>gemiddelde</i>	77,06	154,29	120,73	101,24
<i>mediaan</i>	76,00	154,00	115,00	94,00
<i>variantie</i>	59,09	101,21	189,83	372,36
<i>range</i>	42,00	46,00	56,00	81,00
<i>interkwartiel afstand</i>	8,00	13,00	14,00	16,00
<i>skewness</i>	1,53	0,02	1,25	1,94
<i>kurtosis</i>	3,00	-0,41	0,50	3,40

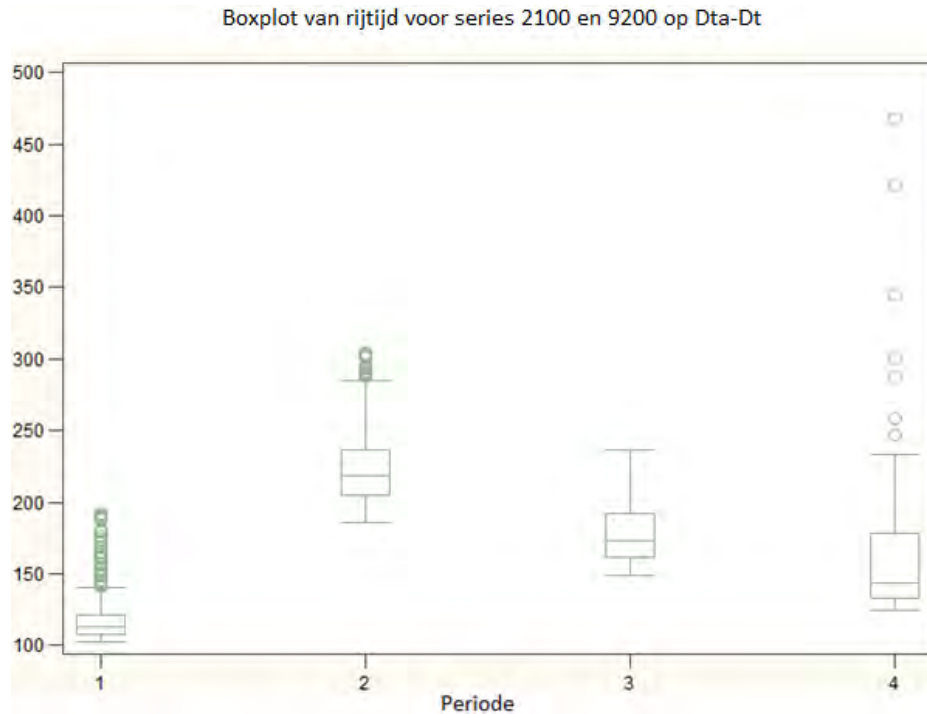
Tabel 5.6: numerieke waarden van de uitgevoerde rijtijd in seconden voor treinseries 2100 en 9200 (richting Dt – Dta)

In figuur 5.12 zijn histogrammen van de uitgevoerde rijtijden in seconden per periode voor de treinseries 2100 en 9200 voor de richting Delft – Delft Aansluiting weergegeven. In tabel 5.6 zijn de numerieke waarden van de uitgevoerde rijtijd van deze treinseries weergegeven. Dit zijn de treinseries die beide geen stop maken rondom de TSB. Normaal gesproken is de modale rijtijd op dit traject 76 seconden. In periode 1 is de modale rijtijd 154 seconden; de rijtijdverlenging opgetreden door de TSB van 40 km/uur is 78 seconden. Het verschil in rijtijd tussen de periode zonder TSB en periode met een TSB van 60 km/uur is 39 seconden. Voor periode 4 is de rijtijdverlenging 18 seconden. In deze laatste periode is de variantie erg hoog vergeleken met de andere periodes.

Dit is ook te zien in figuur 5.13. Dit figuur geeft per periode de rijtijd in seconden aan in de vorm van box plots. Voor deze treinseries zitten in alle periodes een aantal uitschieterende waarden naar boven, vooral voor periode 4. Voor deze periode is er ook redelijk wat spreiding in deze waarden. De spreiding voor deze periode is vergeleken met de andere periodes ook een stuk groter.



Figuur 5.14: histogrammen van de uitgevoerde rijtijden in seconden voor treinseries 2100 en 9200 (richting Dta- Dt)



Figuur 5.15: box plots van rijtijd in seconden voor de verschillende periodes

	Zonder TSB	TSB 40 km/uur	TSB 60 km/uur	TSB 80 km/uur
<i>steekproefgrootte</i>	593	735	90	65
<i>gemiddelde</i>	117,50	223,98	179,37	169,83
<i>mediaan</i>	113,00	219,00	173,00	144,00
<i>variantie</i>	260,48	604,02	571,00	4456,55
<i>range</i>	90,00	118,00	88,00	343,00
<i>interkwartiel afstand</i>	13,00	32,00	31,00	45,00
<i>skewness</i>	2,55	0,95	0,96	2,79
<i>kurtosis</i>	7,35	0,59	0,02	8,52

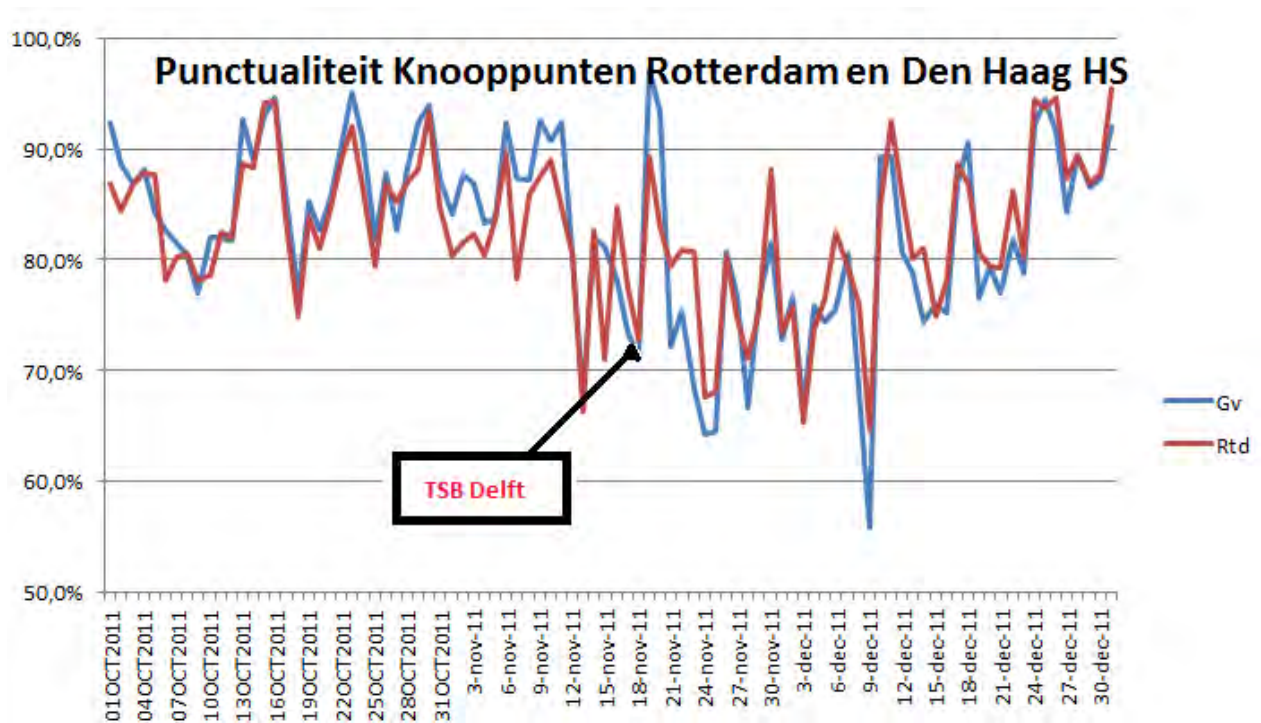
Tabel 5.7: numerieke waarden van de uitgevoerde rijtijd in seconden voor treinseries 2100 en 9200(richting Dta – Dt)

In figuur 5.14 zijn histogrammen van de uitgevoerde rijtijden in seconden per periode voor de treinseries 2100 en 9200 voor de richting Delft Aansluiting – Delft weergegeven. In tabel 5.7 zijn de numerieke waarden van de uitgevoerde rijtijd van deze treinseries weergegeven. Dit zijn de treinseries die beide geen stop maken rondom de TSB. Normaal gesproken is de modale rijtijd op dit traject 113 seconden. In periode 1 is de modale rijtijd 219 seconden; de rijtijdverlenging opgetreden door de TSB van 40 km/uur is 106 seconden. Het verschil in rijtijd tussen de periode zonder TSB en periode met een TSB van 60 km/uur is 60 seconden. Voor periode 4 is de rijtijdverlenging 31 seconden. In deze laatste periode is de variantie erg hoog vergeleken met de andere periodes.

Dit is ook te zien in figuur 5.15. Dit figuur geeft per periode de rijtijd in seconden aan in de vorm van box plots. Voor deze treinseries zitten in alle periodes een aantal uitschieterende waarden naar boven, vooral voor periode 4. Voor deze periode is er ook redelijk wat spreiding in deze waarden. De spreiding voor deze periode is vergeleken met de andere periodes ook een stuk groter. Voor periode 1 is te zien dat de data in de box dichtbij elkaar liggen, en redelijk symmetrisch eruit zien. Wel bevat deze periode vele uitschieters naar boven.

### 5.3.4 Punctualiteitseffect TSB Delft

Door het ontstane rijtijdverlies door de TSB zullen veel treinen niet op tijd (binnen 3 minuten van plantijd) aankomen op een van de eerstvolgende HRN knooppunten. Het eerstvolgende HRN dienstregelpunt na de TSB in even en van buitenland richting is Den Haag HS (afkorting Gv). Dit knooppunt ligt op 7,0 kilometer afstand van de TSB. In oneven en naar buitenland richting is dat dienstregelpunt Rotterdam Centraal (afkorting Rtd). Dit dienstregelpunt ligt op 14,3 kilometer afstand vanaf de TSB. In figuur 5.16 is het verloop van de punctualiteit voor deze stations weergegeven over een periode van 3 maanden. Alle treinseries die in die richtingen aankomen op een van de knooppunten zijn meegenomen in de berekening van deze punctualiteitscijfers. In het figuur is goed te zien dat de punctualiteit fors daalt wanneer de TSB medio november 2011 wordt opgelegd. Wanneer de TSB snelheid verhoogt wordt, is er ook een kleine verhoging te zien in de punctualiteitscijfers.



Figuur 5.16: verloop van de punctualiteit van dienstregelpunten Den Haag HS en Rotterdam Centraal



## Even richting

In even richting vindt de TSB tussen Delft en Delft Aansluiting plaats met als eerstvolgend dienstregelpunt na deze TSB Den Haag Holland Spoor. We zullen voor de treinseries 1900, 2100, 2200, 5000, 5100 en 9200 onderzoeken hoeveel de aankomstpunctualiteit gedaald is in periode met TSB ten opzichte van de periode zonder TSB. Eerst zullen we bekijken wat de punctualiteit van de genoemde series is op Delft Aansluiting in een periode zonder TSB, en wat de punctualiteit is van deze series op Den Haag Holland Spoor in een periode zonder TSB. Het verschil tussen deze twee waarden geeft punctualiteitsverlies of –winst aan tussen Delft Aansluiting en Den Haag HS. Ditzelfde zullen we doen voor de periodes dat er een TSB was opgelegd. De resultaten hiervan zijn weergegeven in tabel 5.8 en 5.9.

	gemiddeld aantal activiteiten	gemiddeld aantal binnen 3 minuten norm	gemiddelde dag punctualiteit
Zonder TSB	168	138	82,14%
Met TSB 40 km/uur	176	104	59,09%
Met TSB 60 km/uur	186	127	68,28%
Met TSB 80 km/uur	115	83	72,17%

Tabel 5.8: gemiddelde waarden voor Delft Aansluiting

	gemiddeld aantal activiteiten	gemiddeld aantal binnen 3 minuten norm	gemiddelde dag punctualiteit
Zonder TSB	168	138	82,14%
Met TSB 40 km/uur	176	102	57,95%
Met TSB 60 km/uur	186	127	68,28%
Met TSB 80 km/uur	114	83	72,81%

Tabel 5.9: gemiddelde waarden voor Den Haag Holland Spoor

In de tabellen zijn de gemiddelde waarden van het aantal treinactiviteiten, aantal treinactiviteiten binnen de 3 minuten norm en de dag punctualiteit weergegeven. In tabel 5.9 is te zien dat door de TSB van 40 km/uur de punctualiteit voor deze treinseries op Den Haag Holland Spoor met gemiddeld 24,19% daalt ten opzichte van de periode zonder TSB. De TSB van 60 km/uur veroorzaakt een punctualiteitsverlies van 13,86%, en de TSB van 80 km/uur een verlies van 9,33%.

In een periode zonder TSB blijft de punctualiteit op het traject Delft Aansluiting - Den Haag Holland Spoor gelijk. Dit geeft aan dat normaal gesproken op dit traject geen eventueel opgelopen vertragingen worden ingehaald, maar ook niet erbij komen. In de periode met de snelheidsbeperking van 40 km/uur daalt de punctualiteit op het traject met 1,14%. De TSB van 60 km/uur veroorzaakt geen verder verlies op het traject, maar de opgelopen vertragingen door de TSB worden ook niet goedgemaakt. In de periode met een TSB van 80 km/uur stijgt de punctualiteit op het traject met 0,64%. Een aantal treinen heeft het opgelopen rijtijdsverlies nog enigszins goed kunnen maken.

## Oneven richting

Voor de oneven richting vindt de TSB op het traject Delft-Delft Aansluiting plaats met Rotterdam Centraal als eerstvolgend HRN dienstregelpunt. We zullen voor de eerder genoemde treinseries onderzoeken hoeveel de aankomstpunctualiteit op dit knooppunt is gedaald door de TSB. In de tabellen 5.10 en 5.11 zijn de gemiddelde waarden van het aantal treinactiviteiten, aantal treinactiviteiten binnen de 3 minuten norm en de dag punctualiteit weergegeven.

De punctualiteit in de periode met een TSB van 40 km/uur voor deze treinseries daalt ten opzichte van de punctualiteit in een periode zonder TSB op Rotterdam Centraal met gemiddeld met 23,57%. De gemiddelde daling door de TSB van 60 km/uur is 10,39%, en door de TSB van 80 km/uur 22,04%. In de laatste periode is een grotere daling in de punctualiteit dan in de periode ervoor.

In een normale periode is het punctualiteitsverlies op het traject Delft-Rotterdam Centraal 0,07%. In de periode met een TSB van 40 km/uur stijgt de punctualiteit ongeveer 10%. De opgelopen vertragingen door de TSB worden deels goedge maakt op het traject. In de periode van de TSB van 60 km/uur stijgt de punctualiteit op het traject met ruim 4%. In de periode van 80 km/uur daalt de punctualiteit met 1,9%. Ondanks dat in vergelijking met de andere periodes vrij weinig treinactiviteiten waren. In deze periode was er rondom dienstregelpunt Delft een sein- en wisselstoring. Deze storing zal het extra verlies in punctualiteit veroorzaakt kunnen hebben.

	gemiddeld aantal activiteiten	gemiddeld aantal binnen 3 minuten norm	gemiddelde dag punctualiteit
Zonder TSB	170	150	88,24%
Met TSB 40 km/uur	178	101	56,74%
Met TSB 60 km/uur	189	139	73,54%
Met TSB 80 km/uur	122	83	68,03%

Tabel 5.10: gemiddelde waarden voor Delft

	gemiddeld aantal activiteiten	gemiddeld aantal binnen 3 minuten norm	gemiddelde dag punctualiteit
Zonder TSB	169	149	88,17%
Met TSB 40 km/uur	161	104	64,60%
Met TSB 60 km/uur	189	147	77,78%
Met TSB 80 km/uur	124	82	66,13%

Tabel 5.11: gemiddelde waarden voor Rotterdam Centraal

### 5.3.5 Samenvatting

Voor alle treinseries op het traject Delft – Delft Aansluiting in even en van buitenland richting geldt dat in een periode zonder TSB (periode 1) veel minder spreiding in rijtijden is. De spreiding die er is, wordt voornamelijk veroorzaakt door de rijstijl van de machinist, de bovenleidingspanning en weersomstandigheden. Wanneer er meer spreiding in de rijtijd is, is de kans op vertraging groter.

In periode 2, de periode dat er een snelheidsbeperking van 40 km/uur is opgelegd, is voor alle treinseries te zien dat de data anders verdeeld is dan de andere periodes. Er is meer spreiding rond de mediaan dan in andere periodes. In deze periode reden alle treinen op aanwijzing van de verkeersleider met 40 km/uur op een traject van 3,6 kilometer. Het kan zijn dat ondanks de aanwijzing machinisten toch harder reden dan 40 km/uur.

In de periodes 2 en 3 wordt de spreiding in rijtijd groter dan in de periode zonder TSB. De kans op meer vertraging is hierdoor in deze periode groter dan in een periode zonder TSB.

In periode 4 is een sein- en wisselstoring rondom station Delft geweest, wat kan leiden tot langere rijtijden. De verstoring is niet de gehele periode geweest. De wat grotere spreiding en de uitschieters in deze periode vergeleken met andere periodes wordt zeer waarschijnlijk door deze verstoring op het traject veroorzaakt. Met name de dagen uit deze periode zullen voor verdere analyses nauwlettend in de gaten gehouden worden.

Een van de voorwaarden voor normaal verdeelde data is dat het gemiddelde en de mediaan (bijna) gelijk zijn. Ook liggen de kurtosis en skewness coëfficiënt bij een normale verdeling rond de 0. Voor de treinseries 1900/2200 zijn de mediaan en het gemiddelde in alle periodes ongeveer gelijk. De skewness coëfficiënt ligt alleen voor periode 2 rond de 0. In de andere periodes is de data scheef naar rechts verdeeld. Voor de treinseries 5000/5100 en 2100/9200 zijn het gemiddelde en mediaan ook ongeveer gelijk, behalve in periode 4. Voor periode 2 is de skewness coëfficiënt -0,17. Voor de andere periodes zijn de waarden positief, wat betekent dat de data naar rechts scheef verdeeld is. Aan de hand van deze resultaten kunnen nog geen sterke conclusies formuleren over of de data normaal verdeeld is of niet.

Voor alle treinseries in oneven en naar buitenland richting is de spreiding in vergelijking met de andere richting een stuk groter. De treinseries 1900, 2200, 5000 en 5100 maken op station Delft een korte stop. Bij een korte stop wordt de uitvoertijd één keer gemeten op dat dienstregelpunt. Deze uitvoertijd is gelijk aan de tijd dat de trein vertrekt van het dienstregelpunt. De gemeten rijtijd van deze series is dus de rijtijd tussen Delft Aansluiting en Delft plus de halteringstijd op station Delft. Enige spreiding in de verdelingen kan veroorzaakt worden door de halteringstijd op dat station. In de regel duurt een korte stop 36 seconden. Bij een groter reizigersaanbod kan de halteringstijd iets langer zijn. De spreiding in de verdelingen van de treinseries 2100 en 920 in deze richting is echter ook een stuk groter is dan in de andere richting. Deze series maken geen korte stop op station Delft.

Ook is te zien dat voor alle series in de oneven en naar buitenland richting het rijtijdverlies groter is dan in de even en van buitenland richting. Dit zal niets te maken hebben met de korte stop, omdat dit ook het geval is voor de twee series die geen korte stop maken. Er zal in deze richting dus een andere onbekende factor zijn die de grote spreiding in de rijtijdverdelingen en het grotere rijtijdverlies veroorzaken. Mogelijk zal het te maken hebben met een verschil in infrastructuur tussen beide richtingen.

Eveneens geldt voor alle treinseries op het traject Delft Aansluiting – Delft in oneven en naar buitenland richting dat in een periode zonder TSB (periode 1) minder spreiding in rijtijden is in vergelijking met de periodes met TSB's.

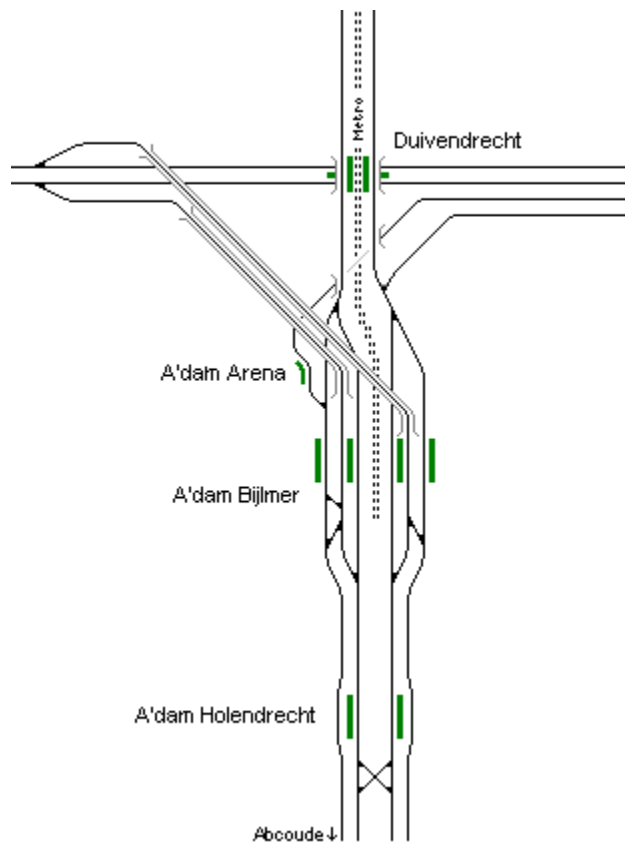
In periode 4 is de variantie erg hoog en bevatten de data een aantal uitschieters voor alle treinseries. Zoals eerder genoemd heeft dit te maken met de sein- en wisselstoring in die periode rondom dienstregelpunt Delft.

Voor alle treinseries in alle periodes geldt dat het gemiddelde en mediaan redelijk dichtbij elkaar liggen. De skewness coëfficiënt is voor alle treinseries in alle periodes positief en niet rond de 0. De data is dus scheef naar rechts verdeeld. Aan de hand van deze resultaten kunnen nog geen sterke conclusies formuleren over of de data normaal verdeeld is of niet.

De punctualiteit is door de TSB voor beide HRN knooppunten Den Haag Holland Spoor en Rotterdam Centraal flink gedaald. Naarmate de TSB snelheid verhoogd werd, werd de punctualiteit ook iets hoger.

## 5.4 TSB Abcoude

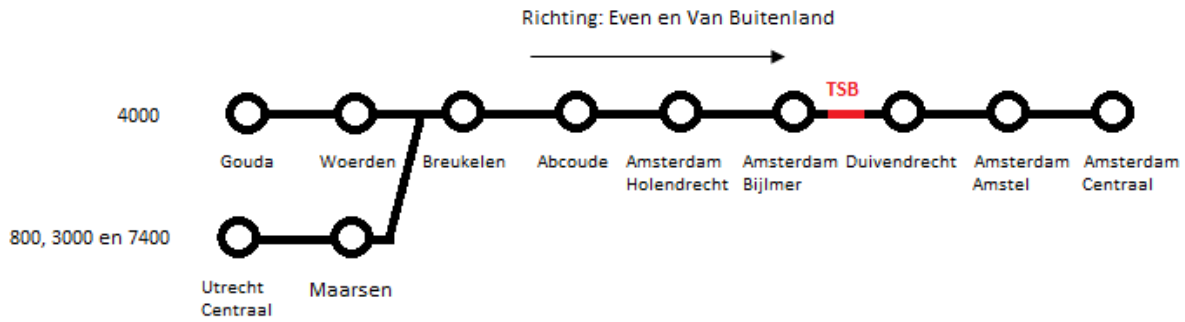
De TSB van Abcoude is ingevoerd op 5 januari 2008 toen de spoor situatie op dat traject gewijzigd was van twee sporen naar vier sporen. Tot op heden is de snelheidsbeperking nog steeds van kracht, omdat een gevaarlijke situatie dreigt te ontstaan bij het zijdelings berijden van het wissel. Deze snelheidsbeperking is van 140 km/uur naar 90 km/uur met een lengte van 300 meter. De exacte ligging van de TSB is in even richting tussen station Amsterdam Bijlmer en Duivendrecht en in oneven richting tussen station Amsterdam Bijlmer en Amsterdam Holendrecht (zie figuur 5.17). De snelheidsbeperking is van eind april 2011 t/m eind juni 2011 eraf geweest. In deze periode werd met een normale snelheid van 140 km/uur over dit traject gereden.



Figuur 5.17: Spoor situatie rondom Amsterdam Bijlmer waar de TSB plaatsvindt

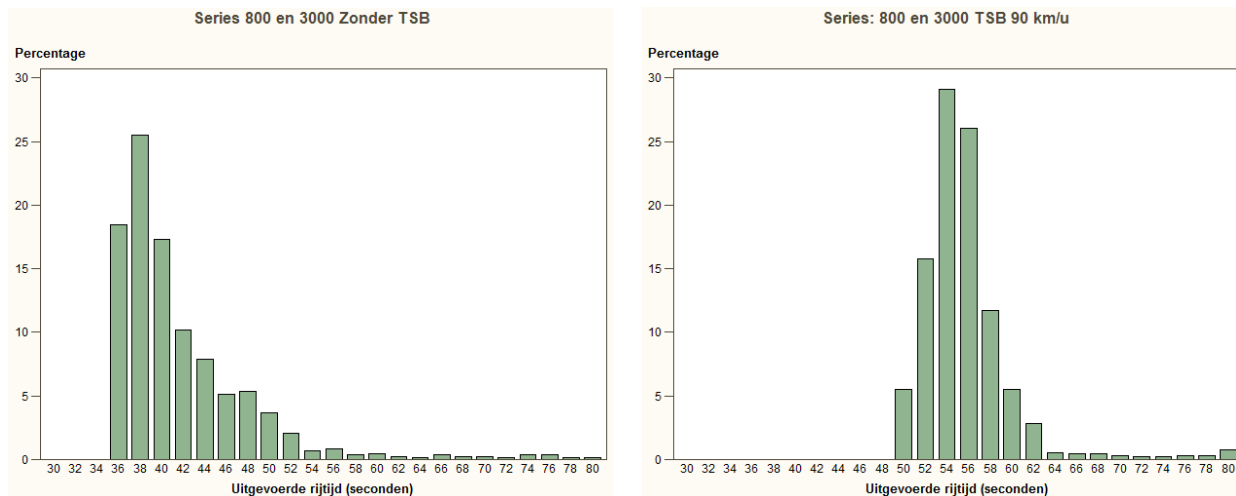
### 5.4.1 Even richting

Op het traject Amsterdam Bijlmer (Asb) en Duivendrecht (Dvd) in even richting rijden verschillende treinseries zoals Intercity's, Sprinters, Internationale treinseries en series van het Nachtnet. Voor de analyse zullen treinseries 800, 3000, 4000 en 7400 geanalyseerd worden. De TSB zal geen effect hebben op de rijtijden van de treinseries 3100 en 3500, want deze series rijden vanaf een ander spoor weg van station Amsterdam Bijlmer en komen daarom niet langs de TSB.



Figuur 5.18: schematische weergave ligging TSB tussen HRN dienstregelpunten

Treinserie 800 is een Intercity die van Maastricht naar Schagen (of Alkmaar/Den Helder) rijdt. De Intercity serie 3000 rijdt tussen Nijmegen en Den Helder. Beide series stoppen voor het begin van de TSB op Utrecht Centraal (30,8 kilometer van begin TSB traject). 3,3 kilometer na de TSB wordt een korte stop op station Amsterdam Amstel gemaakt. Door de TSB zijn deze Intercity's genoodzaakt af te remmen van 140 km/uur naar 90 km/uur tussen Amsterdam Bijlmer en Duivendrecht, en vervolgens weer op te trekken.



Figuur 5.19: histogrammen van de uitgevoerde rijtijden in seconden voor treinseries 800 en 3000 in even richting

Voor deze treinseries zijn in figuur 5.19 histogrammen van de rijtijden in seconden van de periode met en zonder TSB weergegeven. In figuur 5.20 zijn de box plots voor deze periodes (periode 1 zonder TSB en periode 2 met TSB) weergegeven. Er is te zien dat er meer spreiding in de rijtijden is in een periode zonder TSB dan in de periode met TSB. Voor de eerder onderzochte TSB van Delft was dit voor alle treinseries andersom. Een verklaring hiervoor zou kunnen zijn dat doordat de snelheidsbeperking er al zo lang op zit het "normaal" is geworden om op dat traject af te remmen en TSB snelheid te rijden. De TSB is er ongeveer twee maanden per ongeluk af geweest. Ondanks dat de TSB er af is geweest zullen sommige machinisten toch nog TSB snelheid hebben gereden. Dit zou kunnen verklaren waarom er veel langere rijtijden zijn.

Ook is in de box plot te zien dat er veel uitschieters in beide periode zitten. Hier zal rekening mee gehouden worden voor de verdere analyse.

Het verschil in modale rijtijd in periode met en zonder TSB is 15 seconden. We zullen later in het verslag laten zien wat de invloed van dit rijtijdverlies is op de punctualiteit op het eerstvolgende HRN dienstregelpunt Amsterdam Centraal.



Figuur 5.20: boxplots van rijtijd in seconden voor de verschillende periodes

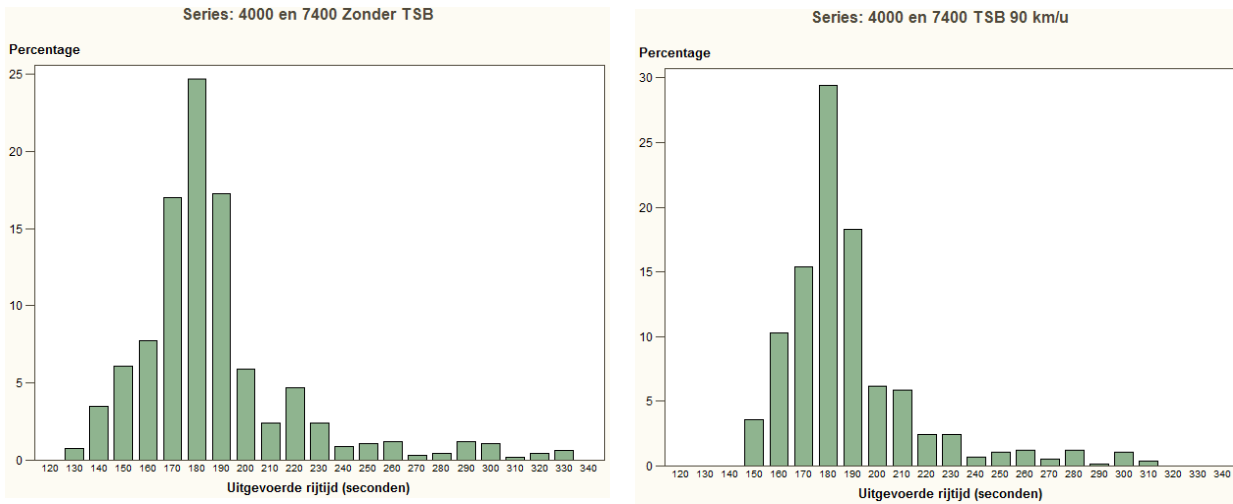
	Zonder TSB	TSB 90 km/uur
<i>steekproefgrootte</i>	877	925
<i>gemiddelde</i>	41,14	55,21
<i>mediaan</i>	39,00	54,00
<i>variantie</i>	41,61	21,44
<i>range</i>	44,00	41,00
<i>interkwartiel afstand</i>	6,00	3,00
<i>skewness</i>	2,50	3,46
<i>kurtosis</i>	8,67	18,88

Tabel 5.12: numerieke waarden van de uitgevoerde rijtijd in seconden voor treinseries 800 en 3000 in even richting

De 4000 serie is een Sprinter. Deze rijdt tussen Uitgeest en Rotterdam Centraal. Sprinter serie 7400 rijdt tussen Amsterdam Centraal (of Breukelen) en Rhenen. Beide series maken op 0,8 kilometer voor de TSB een stop op Amsterdam Bijlmer. Na de TSB wordt na 0,4 kilometer een stop gemaakt op station Duivendrecht. Deze series zullen minder last hebben van de TSB aangezien deze series op het traject al niet maximale snelheid rijden, en moeten optrekken en afremmen voor de twee geplande stops.

Wederom zijn voor deze series histogrammen en box plots weergegeven (figuur 5.21 en 5.22). Voor deze series is ook te zien dat de spreiding in de periode zonder TSB groter is dan in de periode met TSB. Tevens worden voor beide series vele uitschieters aangegeven.

Het verschil in modale rijtijd tussen beide periodes is nihil. Dit komt doordat er vlak voor en na de TSB twee stops gepland zijn.



Figuur 5.21: histogrammen van de uitgevoerde rijtijden in seconden voor treinseries 4000 en 7400 in even richting



Figuur 5.22: box plots van rijtijd in seconden voor de verschillende periodes



	Zonder TSB	TSB 90 km/uur
<i>steekproefgrootte</i>	654	584
<i>gemiddelde</i>	186,85	187,48
<i>mediaan</i>	181,00	182,00
<i>variantie</i>	1097,57	763
<i>range</i>	202,00	160,00
<i>interkwartiel afstand</i>	24,00	20,50
<i>skewness</i>	1,83	11,96
<i>kurtosis</i>	4,43	4,78

Tabel 5.13: numerieke waarden van de uitgevoerde rijtijd in seconden voor treinseries 4000 en 7400 in even richting

## 5.4.2 Oneven richting



Figuur 5.23: schematische weergave ligging TSB tussen HRN dienstregelpunten Amsterdam Centraal en Gouda

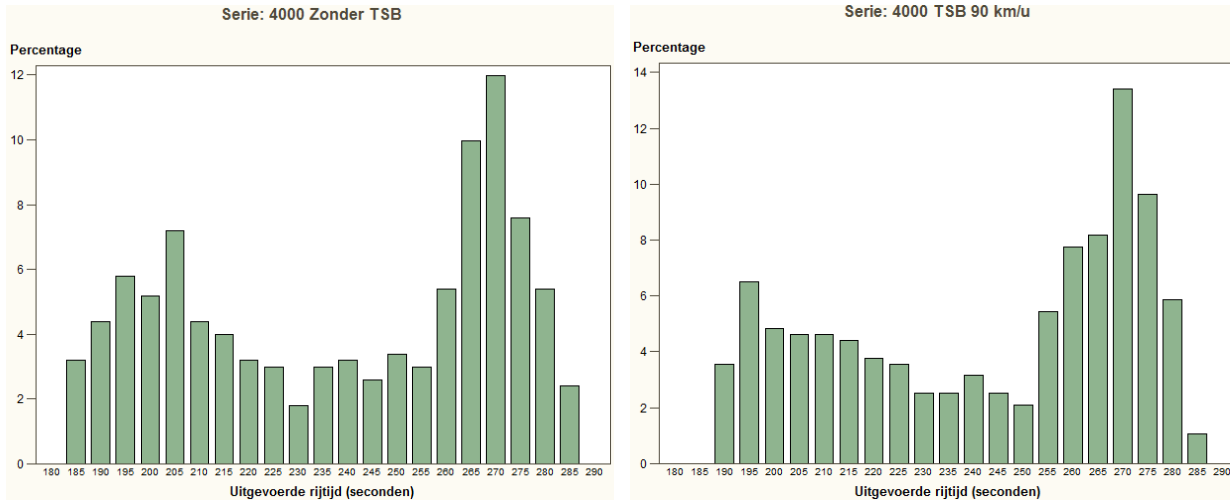
In oneven richting bevindt de TSB zich tussen dienstregelpunten Amsterdam Bijlmer (Asb) en Amsterdam Holendrecht (Ashd). De series die op dit traject rijden zijn de 800, 3000, 3100, 3500, 4000 en 7400. In deze richting hebben alleen de 4000 en 7400 er last van. Deze series rijden over de wissel waarvoor de snelheidsbeperking van kracht is. De 4000 is een Sprinter serie die van Uitgeest naar Rotterdam Centraal rijdt. Vanaf de TSB zijn de volgende stopstations voor deze serie Amsterdam Holendrecht, Abcoude, Breukelen, Woerden en Gouda. Gouda is het eerstvolgende HRN dienstregelpunt na de TSB (zie figuur 5.23). Wij zullen onderzoeken of er een punctualiteitsverlies optreedt door de TSB voor dit dienstregelpunt.

De 7400 is een Sprinter serie die van Breukelen naar Rhenen rijdt en in de spits vanaf Amsterdam Centraal naar Rhenen. Voor deze serie is het eerstvolgende HRN dienstregelpunt na de TSB Utrecht Centraal. Aangezien deze serie alleen in de spits langs de TSB komt en dus alleen in de spitsuren eventueel effect kan hebben op de punctualiteit van Utrecht Centraal hebben we deze serie voor deze richting niet verder geanalyseerd.

In de grafieken in figuur 5.24 zijn de rijtijdverdelingen in seconden van de 4000 serie in periodes met en zonder TSB weergegeven. Te zien is dat in beide periodes de rijtijd een twee toppige verdeling bevat. Uit onderzoek blijkt dat deze verdeling wordt veroorzaakt door een goederentrein die vaak in het tijdspad van de 4000 serie rijdt, onder andere op het traject Amsterdam Bijlmer – Amsterdam Holendrecht. Deze goederentrein heeft veel invloed op de rijtijden op het traject. Wanneer de 4000 serie geen last heeft van de goederentrein, zullen de rijtijden zich voornamelijk in en rondom de meest linker top bevinden. Het gemiddelde rijtijdverschil tussen de twee linker toppen is ongeveer 9 seconden. Deze 9 seconden zullen hoogstwaarschijnlijk door de TSB veroorzaakt worden. Wanneer de 4000 serie

wel last heeft van de goederentrein voor zich, zullen de rijtijden zich bevinden in de rechter top in de grafieken. Ook hier is het gemiddelde rijtijdverschil tussen de twee toppen ongeveer 9 seconden.

Doordat deze treinserie teveel last heeft van deze goederentrein, zullen we de data van deze treinserie in het rijtijdverlies voorspellingsmodel niet gebruiken.



Figuur 5.24: histogrammen van de uitgevoerde rijtijden in seconden voor treinserie 4000 in oneven richting

	Zonder TSB	TSB 90 km/u
<i>steekproefgrootte</i>	501	477
<i>gemiddelde</i>	239,15	242,54
<i>mediaan</i>	245,00	254,00
<i>variantie</i>	1013,32	892,71
<i>range</i>	102,00	97,00
<i>interkwartiel afstand</i>	62,00	57,00
<i>skewness</i>	-0,24	-0,38
<i>kurtosis</i>	-1,48	-1,37

Tabel 5.14: numerieke waarden van de uitgevoerde rijtijd in seconden voor treinserie 4000 in oneven richting

### 5.4.3 Punctualiteitseffect TSB Abcoude

In even richting is Amsterdam Centraal het eerstvolgende HRN dienstregelpunt na de TSB waar de punctualiteit gemeten wordt. Dit dienstregelpunt ligt op 9,3 kilometer van het einde van het TSB traject. We hebben onderzocht of aankomstpunctualiteit op Amsterdam Centraal lager was voor de treinseries 800, 3000, 4000 en 7400 door de TSB. De TSB vindt plaats tussen de dienstregelpunten Amsterdam Bijlmer en Duivendrecht. Eerst hebben we bekeken wat de punctualiteit van de genoemde series is op Duivendrecht in een periode zonder TSB, en wat de punctualiteit is van deze series op Amsterdam Centraal in een periode zonder TSB. Het verschil tussen deze twee waarden geeft het punctualiteitsverlies of –winst aan tussen Duivendrecht en Amsterdam Centraal. Vervolgens hebben we

gekeken wat dit verschil is in een periode met TSB. De resultaten hiervan zijn weergegeven in tabel 5.15 en 5.16.

	gemiddeld aantal activiteiten	gemiddeld aantal binnen 3 minuten norm	gemiddelde dag punctualiteit
Zonder TSB	103	87	84,47%
Met TSB	115	100	86,96%

Tabel 5.15: gemiddelde waarden voor Duivendrecht

	gemiddeld aantal activiteiten	gemiddeld aantal binnen 3 minuten norm	gemiddelde dag punctualiteit
Zonder TSB	103	89	86,41%
Met TSB	115	102	88,70%

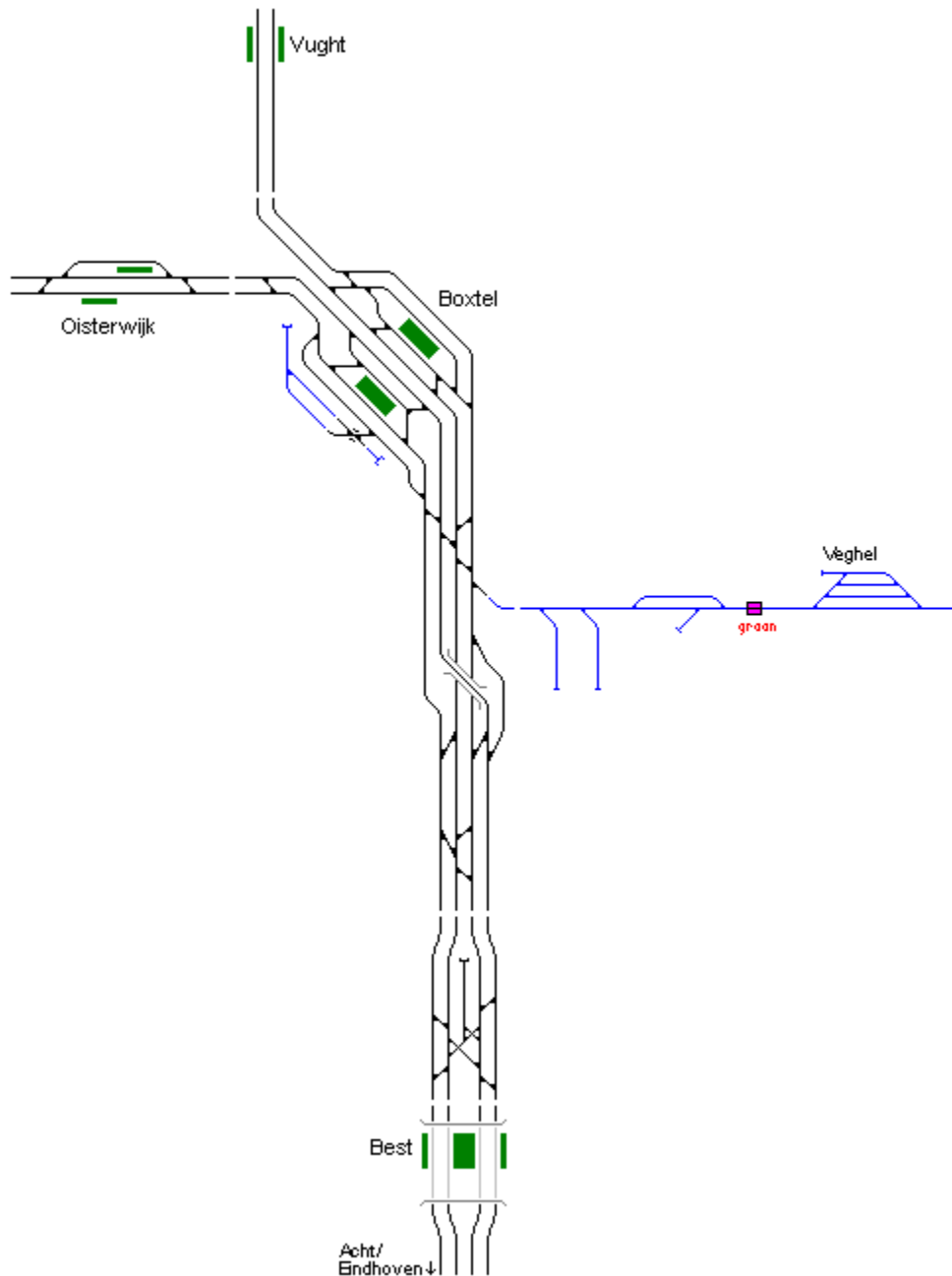
Tabel 5.16: gemiddelde waarden voor Amsterdam Centraal

In de tabellen zijn de gemiddelde waarden van het aantal treinactiviteiten, aantal treinactiviteiten binnen de 3 minuten norm en de dag punctualiteit weergegeven. De punctualiteit op beide dienstregelpunten is in de periode zonder TSB zelfs lager dan met TSB. Dit heeft er mee te maken dat er geen rekening gehouden wordt wat er met de treinactiviteiten voor het TSB traject is gebeurd. Het kan bijvoorbeeld zijn dat een trein van de 800 serie in Utrecht al tien minuten te laat is vertrokken. Deze trein komt dan zeer waarschijnlijk ook niet op tijd aan op in Duivendrecht en Amsterdam Centraal.

In een periode zonder TSB stijgt de punctualiteit op het traject Duivendrecht-Amsterdam Centraal met 1,94%. Met TSB stijgt de punctualiteit op het traject ook, met 1,74%. Er is dus op dit traject een verlies van 0,2% wat hoogst waarschijnlijk door de TSB veroorzaakt wordt.

## 5.5 TSB Boxtel - Liempde

Deze TSB is gelegen tussen dienstregelpunten Boxtel (Btl) en Liempde (Lpe) en geldt alleen in oneven richting. In figuur 5.25 is de huidige spoor situatie weergegeven. Liempde ligt tussen Boxtel en Best. Door de toestand van een wissel is deze snelheidsbeperking opgelegd. De maximale baanvaksnelheid die normaal gereden mag worden is 130 km/uur. De snelheidsbeperking van 80 km/uur zit er sinds 8 september 2011 op. De snelheid is 29 september 2011 verhoogd naar 100 km/uur. Vervolgens is de snelheid verhoogd naar 120 km/uur en die snelheidsbeperking is tot op heden nog steeds van kracht.



Figuur 5.25: spoor situatie rondom de TSB

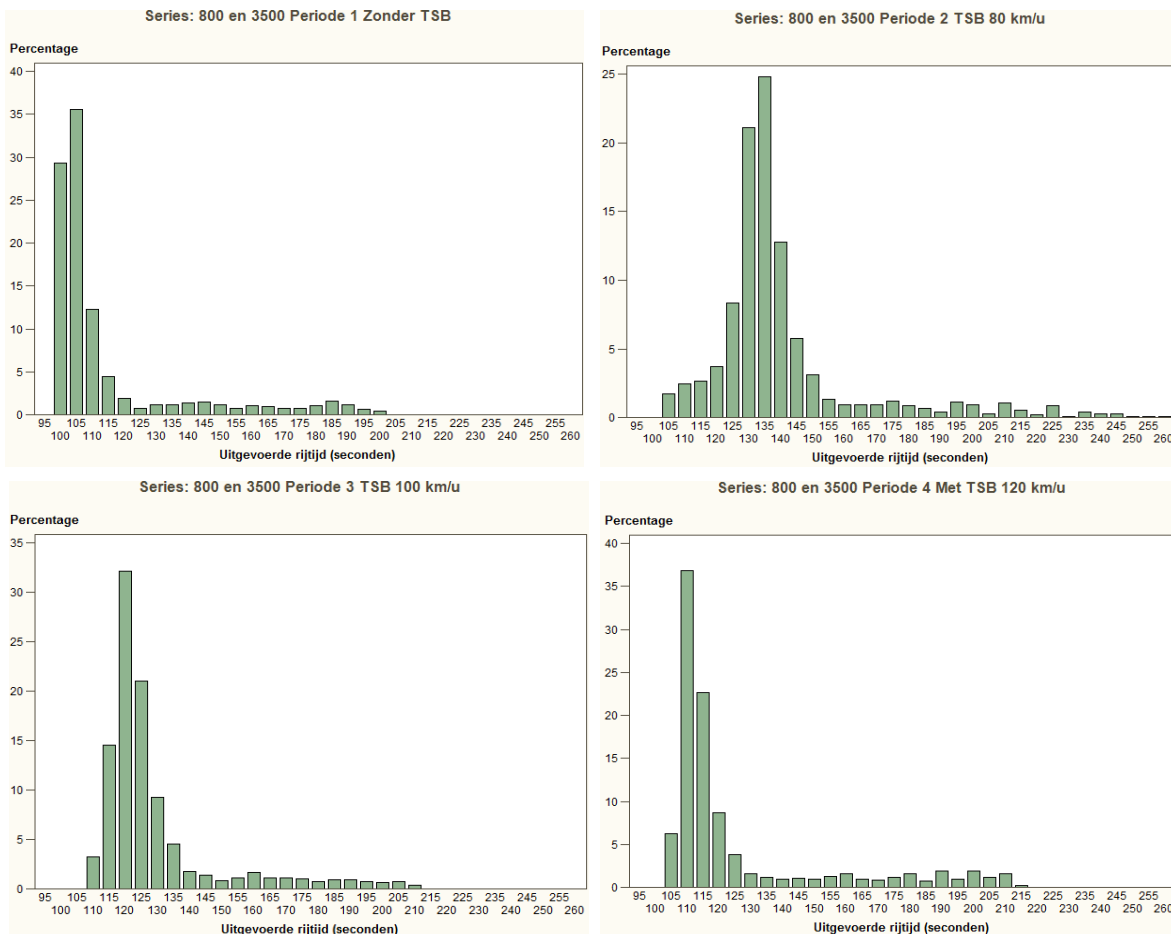
De TSB is opgelegd vanaf 8 september 2011 tot heden. Deze periode is in 4 periodes opgedeeld, omdat de opgelegde snelheid per periode verschillend is.

Periode 1: zonder TSB	140 km/uur (normale snelheid)
Periode 2: 8 september 2011 t/m 28 september 2011	80 km/uur
Periode 3: 29 september 2011 t/m 28 februari 2012	100 km/uur
Periode 4: 29 februari 2011 t/m heden	120 km/uur

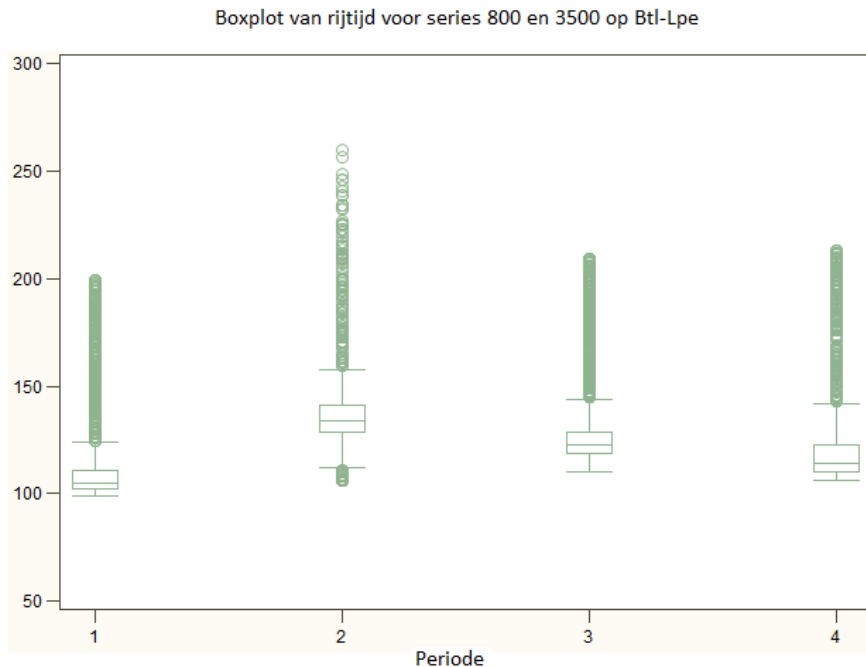
Treinseries 800, 3500 en 9600 hebben last van de TSB. Andere series die op het traject rijden zijn de 1900 en 5200. Deze series rijden in een andere richting (Tilburg) dan de 800, 3500 en 9600. Hierdoor rijden deze series over een ander spoor waardoor ze geen last zullen hebben van de TSB.

### 5.5.1 Treinseries 800 en 3500

Treinseries 800 en 3500 zijn Intercity's. De 800 rijdt tussen Maastricht en Schagen (of Alkmaar/Den Helder). De 3500 rijdt tussen Schiphol en Eindhoven (of Maastricht). 800 en 3500 rijden vanaf Eindhoven naar Den Bosch en maken tussendoor geen stops, alleen op Den Bosch, 15 kilometer voor de TSB, en op Eindhoven, op 16,3 kilometer van de TSB.



Figuur 5.26: histogrammen van de uitgevoerde rijtijden in seconden voor treinseries 800 en 3500 op Btl-Lpe



Figuur 5.27: box plots van rijtijd in seconden voor de verschillende periodes

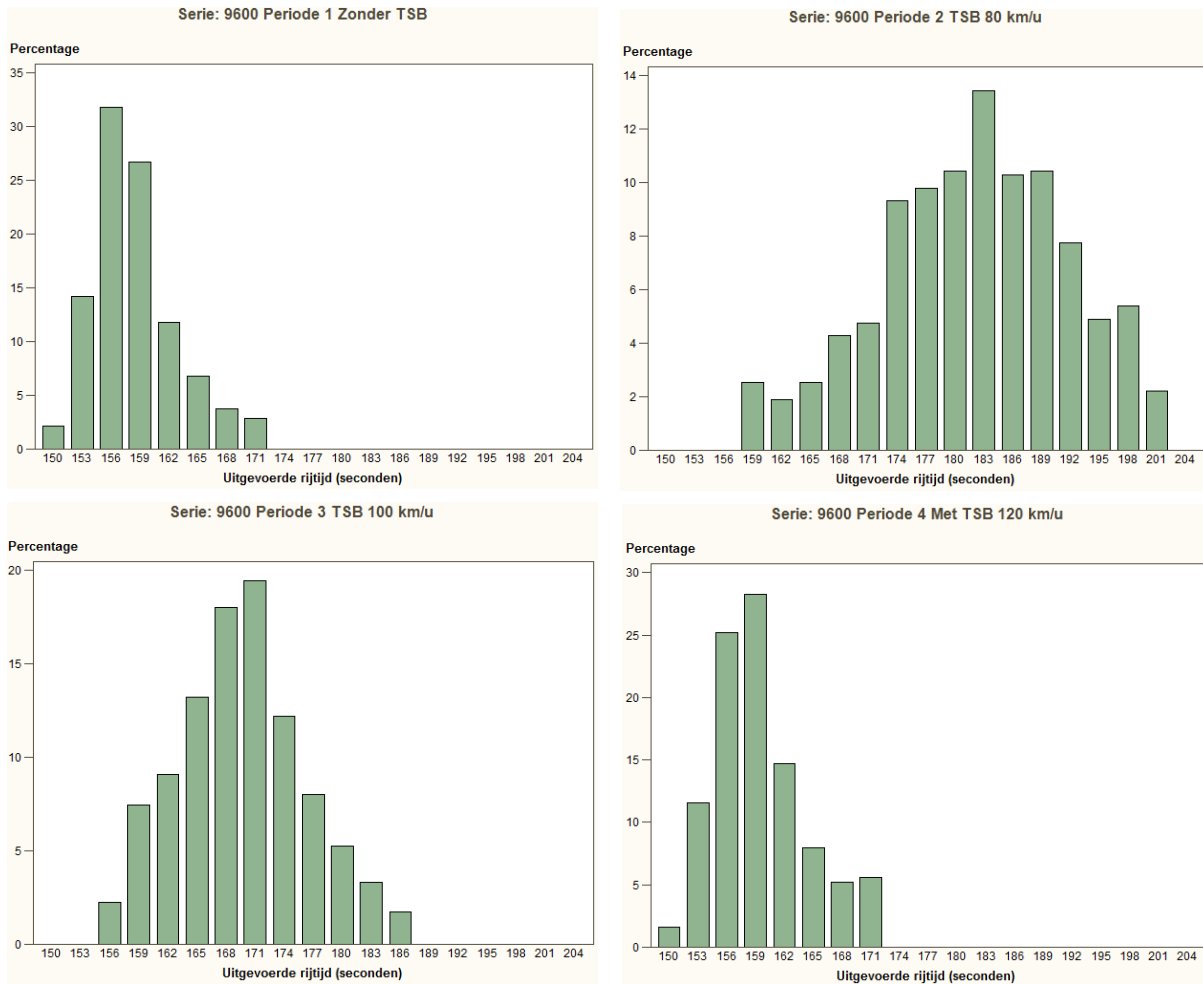
	Zonder TSB	TSB 80 km/u	TSB 100 km/u	TSB 120 km/u
<i>steekproefgrootte</i>	1920	1057	3428	1153
<i>gemiddelde</i>	114,08	104,24	129,04	125,80
<i>mediaan</i>	105,00	134,00	123,00	114,00
<i>variantie</i>	519,40	570,75	375,39	763,91
<i>range</i>	100,00	154,00	99,00	107,00
<i>interkwartiel afstand</i>	9,00	12,00	10,00	13,00
<i>skewness</i>	2,25	2,28	2,32	1,86
<i>kurtosis</i>	4,05	5,84	4,95	2,14

Tabel 5.17: numerieke waarden van de uitgevoerde rijtijd in seconden voor treinseries 800 en 3500 op Btl-Lpe

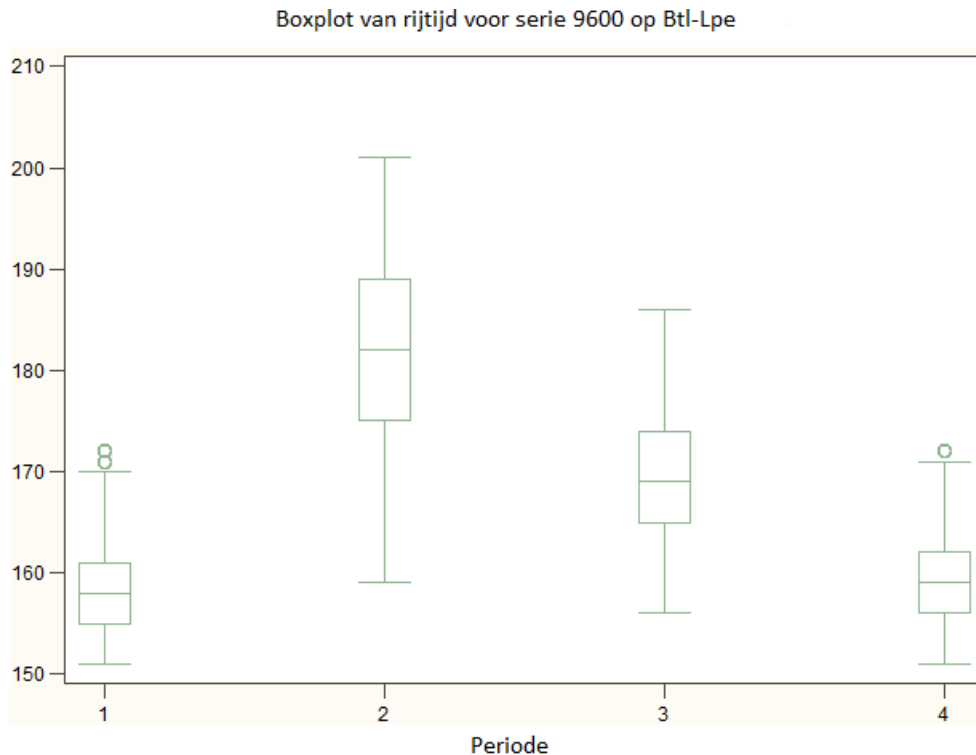
In figuur 5.26 zijn histogrammen van de uitgevoerde rijtijden in seconden per periode voor treinseries 800 en 3500 weergegeven. Tevens geven de box plots in figuur 5.27 een indruk van de ligging en spreiding van de data van de verschillende periodes. De numerieke waarden van de uitgevoerde rijtijd van deze treinseries zijn in tabel 5.17 weergegeven. Het verschil in modale rijtijd in periode 2 en periode 1 is 29 seconden. Het verschil tussen de modale rijtijden van periode 1 en periode 3 is 18 seconden. Tussen periode 1 en periode 4 is het verschil in modale rijtijd 9 seconden. In de box plots en de histogrammen is te zien dat er veel uitschieters zijn voor alle periodes.

## 5.5.2 Treinserie 9600

De 9600 is een Sprinter die tussen Den Bosch en Deurne rijdt. De 9600 rijdt ook tussen Eindhoven en Den Bosch en maakt op verschillende dienstregelpunten een korte stop. Deze serie maakt 2,9 kilometer voor de TSB een stop op dienstregelpunt Boxtel. Na de TSB wordt dienstregelpunt Best een stop gemaakt, 6,3 kilometer na de TSB.



Figuur 5.28: histogrammen van de uitgevoerde rijtijden in seconden voor treinserie 9600 op Btl-Lpe



Figuur 5.29: box plots van rijtijd in seconden voor de verschillende periodes

	Zonder TSB	TSB 80 km/u	TSB 100 km/u	TSB 120 km/u
<i>steekproefgrootte</i>	1100	632	2141	754
<i>gemiddelde</i>	158,44	181,98	169,60	159,51
<i>mediaan</i>	158,00	182,00	169,00	159,00
<i>variantie</i>	19,33	95,01	44,04	23,24
<i>range</i>	21,00	42,00	30,00	21,00
<i>interkwartiel afstand</i>	6,00	14,00	9,00	6,00
<i>skewness</i>	0,90	-0,23	0,20	0,72
<i>kurtosis</i>	0,68	-0,41	-0,36	0,08

Tabel 5.18: numerieke waarden van de uitgevoerde rijtijd in seconden voor treinserie 9600 op Btl-Lpe

In figuur 5.28 zijn histogrammen van de uitgevoerde rijtijden in seconden per periode voor treinserie 9600 weergegeven. Tevens geven de box plots in figuur 5.29 een indruk van de ligging en spreiding van de data van de verschillende periodes. De numerieke waarden van de uitgevoerde rijtijd van deze treinserie zijn in tabel 5.18 weergegeven. Het verschil in modale rijtijd in periode 2 en periode 1 is 24 seconden. Het verschil tussen de modale rijtijden van periode 1 en periode 3 is 11 seconden. Tussen periode 1 en periode 4 is er geen significant verschil (1 seconde).

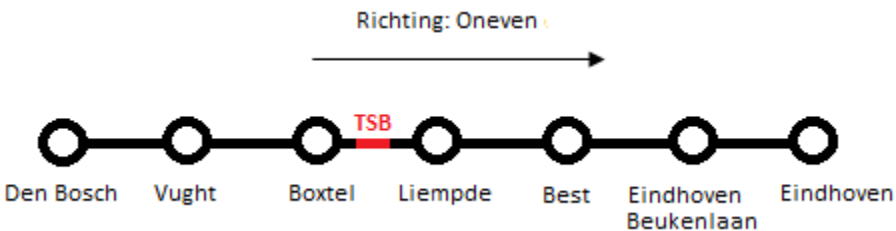
In alle periodes is de spreiding relatief laag. Wel is de spreiding in de periodes met TSB hoger, en wordt deze weer lager naarmate de TSB snelheid omhoog gaat. In de box plots is te zien dat er nauwelijks uitschieters in de rijtijd zijn voor deze treinserie.



Voor elke periode oogt de data in de box symmetrisch oogt, de mediaan ligt mooi in het midden van de box.

### 5.5.3 Punctualiteitseffect op HRN-knooppunt Eindhoven

In figuur 5.30 laat een schematische weergave zien van de ligging van de TSB tussen de twee HRN dienstregelpunten Den Bosch en Eindhoven. Het eerstvolgende HRN knooppunt na deze TSB is Eindhoven. Dit knooppunt ligt op 16,3 kilometer afstand vanaf het einde van het TSB traject. We zullen onderzoeken of de aankomstpunctualiteit van de treinseries 800, 3500 en 9600 anders is in een periode met een snelheidsbeperking.



Figuur 5.30: schematische weergave ligging TSB tussen HRN dienstregelpunten Den Bosch en Eindhoven

In tabel 5.19 en 5.20 zijn de gemiddelde waarden van het aantal treinactiviteiten, aantal treinactiviteiten binnen de 3 minuten norm en de dag punctualiteit weergegeven. In tabel 5.20 is te zien dat in de periode met een TSB van 80 km/uur de gemiddelde dag punctualiteit van de treinseries 800, 3500 en 9600 op HRN knooppunt Eindhoven 5.31% daalt in vergelijking met de periode zonder TSB. In de periode met de TSB's van 100 km/uur en 120 km/uur is de punctualiteit ondanks de TSB's gestegen op Eindhoven voor deze drie series. Dit kan te maken hebben met het feit dat de eerste periodes in dienstregeling 2011 vallen, en periode met TSB 100 km/uur en periode met TSB 120 km/uur (deels) in dienstregeling 2012. Door een aanpassing op een eerder gedeelte van het traject dat deze treinseries afleggen, bijvoorbeeld door meer rijtijd of halteringstijd te geven, kan het zijn dat de punctualiteitscijfers daardoor hoger zijn. Het is voor deze periodes moeilijk vast te stellen wat het aandeel is geweest van de TSB in de punctualiteitscijfers.

In de periode zonder TSB (periode in dienstregeling 2011) stijgt de punctualiteit op het traject Liempde – Eindhoven met 1.06%. Dit geeft aan dat normaal gesproken op dit traject ongeveer 1% van de treinen eventuele vertragingen goed kunnen maken. In de periode met een TSB van 80 km/uur daalt de punctualiteit op het traject met 2.12%. Het absolute verschil is ruim 3% met de periode zonder TSB. Hoogstwaarschijnlijk zorgt de TSB voor deze daling op het traject. In de periode met de TSB's van 100 km/uur en 120 km/uur stijgt de punctualiteit op het traject met ongeveer 5%. Dit heeft zeer waarschijnlijk te maken met de verandering in de dienstregeling.

	gemiddeld aantal activiteiten	gemiddeld aantal binnen 3 minuten norm	gemiddelde dag punctualiteit
Zonder TSB	94	76	80,85%
Met TSB 80 km/uur	94	74	78,72%
Met TSB 100 km/uur	95	74	77,89%
Met TSB 120 km/uur	91	78	85,71%

*Tabel 5.19: gemiddelde waarden voor Liempde*

	gemiddeld aantal activiteiten	gemiddeld aantal binnen 3 minuten norm	gemiddelde dag punctualiteit
Zonder TSB	94	77	81,91%
Met TSB 80 km/uur	94	72	76,60%
Met TSB 100 km/uur	95	78	82,11%
Met TSB 120 km/uur	91	82	90,11%

*Tabel 5.20: gemiddelde waarden voor Eindhoven*

## 6 Rijtijdverlies voorspellingsmodel

In dit hoofdstuk zal beschreven worden hoe het voorspellingsmodel voor rijtijdverlies door meervoudige lineaire regressie analyse tot stand is gekomen. Zoals eerder besproken is het belangrijk om van tevoren in te kunnen schatten wat de impact van een TSB zal zijn op de punctualiteit. Wanneer het rijtijdverlies dat door een TSB is ontstaan voorspeld kan worden, zal ook iets gezegd kunnen worden over wat het effect zal zijn op de punctualiteit van de treinen.

Allereerst zal een beschrijving gegeven worden van de theorie achter meervoudige lineaire regressie analyse. Vervolgens zullen de factoren die van invloed kunnen zijn op de afhankelijke variabele mediaan rijtijdverlies beschreven worden. In de volgende paragraaf zal het model beschreven worden, met de daadwerkelijke factoren die van invloed zijn op de het rijtijdverlies. Ook zal aangegeven worden of aan de gestelde voorwaarden voldaan is, en hoe goed het model het modale rijtijdverlies door een TSB kan voorspellen.

### 6.1 Meervoudige lineaire regressie analyse

Bij meervoudige lineaire regressie analyse gaat het erom te onderzoeken hoe een afhankelijke variabele afhangt van meerdere andere variabelen. Het doel is de *afhankelijke variabele* zo goed mogelijk te beschrijven of te voorspellen op grond van meerdere onafhankelijke of verklarende variabelen. Deze *onafhankelijke of verklarende variabelen* worden in het model opgenomen, omdat vermoed wordt dat deze een invloed hebben op de afhankelijke variabele.

Bij meervoudige lineaire regressie worden verbanden tussen de variabelen in een lineaire vergelijking weergegeven. De regressievergelijking met  $n$  waarnemingen en  $p$  onafhankelijke variabelen ( $p < n$ ), ziet er als volgt uit:

$$\begin{aligned} y_i &= \beta_0 + x_{i1}\beta_1 + \dots + x_{ip}\beta_p + e_i \\ Ee_i &= 0, & i, j &= 1, \dots, n, \\ Ee_i e_j &= \begin{cases} \sigma^2, & i = j \\ 0, & i \neq j \end{cases} \end{aligned}$$

waarin  $y_i$  de  $i$ -de waarneming is,  $x_{ij}$  de bij deze waarneming behorende, bekende waarde van de  $j$ -de verklarende variabele,  $\beta_0, \beta_1, \dots, \beta_p$  onbekende regressiecoëfficiënt en  $e_i$  de stochastische meetfout in de  $i$ -de waarneming. De parameter  $\beta_0$  wordt ook wel het *intercept* genoemd en is de verwachte waarde van  $y_i$  wanneer alle onafhankelijke variabelen gelijk aan nul zijn. De *regressiecoëfficiënten*  $\beta_i$  geven de hoeveelheid verandering in afhankelijke variabele  $Y_i$  aan, wanneer de betreffende onafhankelijke variabele met één eenheid toeneemt, terwijl de invloed van alle overige onafhankelijke variabelen constant wordt gehouden (de Gunst, 2005).

### 6.1.1 Parameters schatten

De regressiecoëfficiënten  $\beta_i$  worden geschat met de zogenaamde *kleinste-kwadratenmethode*. Deze methode is het meest efficiënt om te gebruiken als de meetfouten een normale verdeling hebben (zie paragraaf 6.1.2). De kleinste-kwadratenmethode minimaliseert de gekwadrateerde afstanden van alle punten tot het meerdimensionale vlak. De volgende functie geeft de som van de kwadraten van de afstanden tussen de observaties en de verwachte waarde van de observaties:

$$S(\beta) = \sum_{i=1}^n (y_i - \beta_0 - \beta_1 x_{i1} - \dots - \beta_p x_{ip})^2$$

De parametervector  $\beta$  kan geschat worden door de vector  $\hat{\beta}$  die de functie  $S(\beta)$  minimaliseert.

### 6.1.2 Residuen

De stochastische meetfout  $e_i$  voor de  $i$ -de waarneming geeft het residu aan dat niet verklaard kan worden door de onafhankelijke variabelen in het model. *Residuen* zijn de verschillen tussen de door het regressiemodel voorspelde  $\hat{Y}$  en de 'echte'  $Y$ -waarden van de afhankelijke variabele. De residuen geven een beeld van de kwaliteit van het regressiemodel. Hoe dichter de punten bij de lijn liggen, des te kleiner de residuen en des te sterker het verband en des te beter de kwaliteit van het regressiemodel.

### 6.1.3 Voorwaarden voor een regressiemodel

Er zijn een aantal voorwaarden waaraan een regressiemodel moet voldoen.

- Alle variabelen hebben een interval- of ratioschaal. Als onafhankelijke variabelen mogen ook categorale variabelen (dummy's) gebruikt worden.
- Het model is lineair.
- Er is geen multicollineariteit. *Multicollineariteit* bestaat als er sprake is van een sterk verband tussen twee of meerdere onafhankelijke variabelen in het model. Om dit probleem te voorkomen wordt één van de twee onderling correlerende onafhankelijke variabelen uit de analyse verwijderd bij de aanname  $|r| \geq 0,9$  (de Vocht, 1998).
- Voor elke combinatie van waarden van alle onafhankelijke variabelen is in de populatie een normale verdeling van  $Y$ -waarden. Al deze normale verdelingen hebben dezelfde variantie. Aan deze voorwaarde is voldaan als de residuen onafhankelijk en identiek verdeeld zijn. En de residuen zijn normaal verdeeld met

$$Ee_i = 0, \text{ voor } i, j = 1, \dots, n,$$
$$Ee_i e_j = \begin{cases} \sigma^2, & i = j \\ 0, & i \neq j \end{cases}$$

Door de residuen te analyseren kun je nagaan of aan deze voorwaarden van regressie zijn voldaan.

### 6.1.4 Uitschieters

Het komt in de praktijk voor dat één of meerdere datapunten een voorspelde waarde hebben die niet lijkt te corresponderen met het model dat voor het overgrote deel van de punten wel lijkt te passen. Het is belangrijk deze datapunten op te sporen, omdat deze punten grote invloed kunnen hebben op de kwaliteit van het model. Met behulp van de residuen analyse kunnen deze punten in de data opgespoord worden. Deze datapunten die ver van het regressievlak afliggen, en dus grote residuen hebben, worden *uitschieters* genoemd.

### 6.1.5 Keuze van variabelen

In de praktijk zijn vaak veel mogelijke verklarende variabelen beschikbaar voor regressie analyse. De vraag is dan welke wel of niet opgenomen dienen te worden om een 'best passend' model te krijgen. Het doel is om met zo min mogelijk verklarende variabelen een zo goed mogelijk model te verkrijgen.

Bij het opstellen van een meervoudige lineair regressiemodel kunnen twee typen methoden worden onderscheiden: de standaardmethode en de stapsgewijze methoden. Bij *de standaardmethode* worden alle verklarende variabelen tegelijk in het model opgenomen. Hierbij kunnen zowel significante als niet significante variabelen worden opgenomen. Een andere manier om tot de keuze van een model te komen is door het model stapsgewijs op te bouwen. Bij *de stapsgewijze methoden* wordt telkens één variabele toegevoegd aan het model. Er wordt gestopt met variabelen toe te voegen wanneer alle significante verklarende variabelen in het model zijn opgenomen. Een andere stapsgewijze methode is om te beginnen met alle beschikbare variabelen en vervolgens volgens bepaalde regels telkens één variabele weg te halen totdat alleen significante variabelen in het model overblijven.

Bij meervoudige lineaire regressie wordt het hele model op significantie getoetst met de F-toets (ANOVA). De *F-toets* geeft informatie over de standaard schattingsfout. Als de overschrijdingskans  $p > 0,05$  is er geen sprake van een significant model. Daarnaast wordt elke onafhankelijke verklarende variabele apart getoetst met de t-toets op significantie. De *t-toets* onderzoekt de betrouwbaarheid van  $\beta_i$ . Als de overschrijdingskans  $p > 0,05$ , dan is er geen verband tussen de desbetreffende onafhankelijke variabele en afhankelijke variabele.

### 6.1.6 Kwaliteit van het model

De kwaliteit van het model kan in termen van de determinatiecoëfficiënt worden uitgedrukt. De *determinatiecoëfficiënt* is een maat voor de fractie van de variatie in de waarneming dat door het lineaire regressiemodel wordt verklaard.

De determinatiecoëfficiënt is als volgt gedefinieerd:

$$R^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y}_n)^2 - \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{\beta}_0 - \hat{\beta}_1 x_{i1} - \dots - \hat{\beta}_p x_{ip})^2}{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y}_n)^2}$$

met:

$\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y}_n)^2$  de residuele kwadraatsom en  $\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{\beta}_0 - \hat{\beta}_1 x_{i1} - \dots - \hat{\beta}_p x_{ip})^2$  de gekwadrateerde verschillen tussen de werkelijk gemeten waarden  $Y_i$  en de door het model voorspelde waarden  $\hat{Y}_i$ .

$R^2$  neemt waarden tussen 0 en 1 aan. Hoe dichter  $R^2$  bij 1 ligt, hoe beter de werkelijke waarden van de afhankelijke variabele benaderd worden door het model. Als  $R^2$  gelijk is aan 0, dan heeft het model geen enkele toegevoegde waarde.

## 6.2 Variabelen

Zoals eerder gezien ontstaat door een TSB rijtijdverlies. We gaan proberen het ontstane rijtijdverlies door een TSB te voorspellen aan de hand van verschillende variabelen. Als we alleen kijken naar de rijtijd van een trein, zien we dat deze afhankelijk is van verschillende factoren, waaronder het materieelsoort waar de trein mee rijdt, maar ook factoren zoals de rijstijl van de machinist, de bovenleidingspanning en weersomstandigheden. Deze laatste drie factoren zorgen voor de spreiding in de rijtijd en zijn lastig te onderzoeken. We gaan er vanuit dat deze factoren gelijk blijven ondanks dat er een TSB opgelegd wordt.

Factoren die van invloed kunnen zijn op het rijtijdverlies veroorzaakt door een TSB zijn afhankelijk van het soort TSB en de ligging van de TSB. Deze factoren zullen in de volgende paragrafen besproken worden. Eerst zullen we de afhankelijke variabele mediaan rijtijdverlies kort bespreken. Daarna zullen we de factoren noemen die eventueel van invloed kunnen zijn op de grootte van het modale rijtijdverlies.

### 6.2.1 Afhankelijke variabele

#### *Rijtijdverlies*

Het rijtijdverlies voor een treinserie veroorzaakt door een TSB wordt gedefinieerd als het verschil tussen de modale rijtijd in een periode met TSB en de modale rijtijd in een periode zonder TSB. Zoals we hebben gezien in de drie case studies, ontstaat er veel spreiding in de rijtijd wanneer een TSB wordt opgelegd. Ook zijn er trajecten waar altijd veel uitschieters in de rijtijd zijn. Door voor alle periodes de mediaan van de rijtijd te gebruiken, hebben we minder last van de spreiding en uitschieters.

De keuze van de periode zonder TSB is belangrijk om de rijtijden uit de periodes met en zonder TSB met elkaar te kunnen vergelijken. De periode zonder TSB is zo gekozen dat deze representatief is voor de rijtijd van die serie op het desbetreffende traject. In sommige periodes van het jaar kunnen de rijtijden

langer zijn dan normaal door bijvoorbeeld weersomstandigheden. Dit is bijvoorbeeld in de winter het geval. Door gladde sporen zijn de rijtijden wat langer.

Voor het bepalen van de modale rijtijd in periodes met en zonder TSB, zijn zoveel mogelijk eventuele grote onregelmatigheden die rondom het TSB traject plaatsvonden, verwijderd. Op deze manier worden andere factoren die van invloed kunnen zijn op de rijtijd verwijderd en is het effect op de rijtijd door de TSB zichtbaar.

## 6.2.2 Onafhankelijke variabelen

### *Rijtijdverlies op het TSB traject*

Allereerst is de rijtijdverlenging door een TSB afhankelijk van de maximale baanvaknelheid die normaal gesproken gereden mag worden en de snelheidsbeperking die opgelegd wordt. Bij een groot verschil tussen de maximale baanvaknelheid en de snelheidsbeperking, zal meer rijtijdverlies optreden dan bij een kleiner verschil.

De lengte van het TSB traject speelt ook een rol. Het is logisch dat wanneer de afstand van het TSB traject langer is, het rijtijdverlies zal oplopen.

$$\text{Rijtijdverlies TSB traject in seconden: } \left( \frac{\text{Lengte TSB traject}}{\text{TSB snelheid}} - \frac{\text{Lengte TSB traject}}{\text{Maximale snelheid}} \right) * 3600$$

Het rijtijdverlies op het TSB traject zal voor Sprinters en Intercity's even groot zijn. Het is logisch om aan te nemen dat wanneer Sprinters en Intercity's even hard mogen rijden, er even lang over zullen doen.

### *IC/SPR*

De inzet van een bepaald materieelsoort heeft invloed op de rijtijd van een trein. Zo is er verschil tussen de maximale snelheid van de verschillende materieelsoorten, en de snelheid van het optrekken en afremmen met bepaald materieel.

Intercity's en Sprinters hebben verschillende rijkenmerken. Sprinters maken veel stops op korte afstand na elkaar. Hiervoor wordt Sprintermaterieel ingezet. Het Sprintermaterieel heeft als eigenschappen dat het snel kan optrekken en afremmen. Sprintermaterieel soorten zijn onder andere SLT, MAT '64 en SGM. Tussen deze soorten kunnen de rijkenmerken ook verschillen.

Intercity's worden gepland met materieel die een hoge maximale snelheid kunnen rijden. Voorbeelden van Intercity materieel zijn VIRM, ICM en NID. Dit materieel heeft doorgaans meer tijd nodig om af te remmen en op te trekken dan het Sprintermaterieel.

Er wordt zo gepland dat het materieel de geplande rijtijd op een traject kan halen en dat de ingebouwde 5% rijtijdspeeling niet gebruikt hoeft te worden. De onderzochte treinseries in dit onderzoek reden over het algemeen met hetzelfde materieel als gepland. Wij gaan er vanuit dat de treinseries met het materieel waarmee ze zijn gepland, de geplande rijtijd in de dienstregeling kunnen halen. Er zal in het

onderzoek geen rekening gehouden worden met de eventuele onderlinge verschillen tussen de materieelsoorten van de Sprinters. Hetzelfde geldt voor de materieelsoorten van Intercity's. Er kunnen kleine verschillen in eigenschappen van de Intercity materieelsoorten onderling zijn. Hier zal ook geen rekening mee worden gehouden in dit onderzoek.

In het onderzoek zullen we wel onderscheid maken tussen Intercity's en Sprinters, maar niet tussen de de onderlinge eigenschappen van het materieel van de Intercity's en Sprinters.

### *Afstand tussen stopstations en TSB traject*

De afstand tussen het stopstation voor de TSB waar een treinserie een stop maakt en het begin van het TSB traject heeft invloed op het rijtijdverlies. Als een stopstation vlakbij het TSB traject ligt, zal er niet of nauwelijks rijtijdverlies ontstaan aangezien de trein toch al moet optrekken en dus niet op maximale snelheid rijdt. Wanneer een stopstation verder van het begin van het TSB traject afligt, zal het rijtijdverlies groter zijn. De trein moet dan door de TSB van maximale baanvaknelheid afremmen naar TSB snelheid.

Hetzelfde geldt voor de afstand van het einde van het TSB traject naar het eerstvolgende station waar de treinserie een stop maakt. Als de TSB vlak voor een stopstation plaatsvindt, zal het rijtijdverlies minder groot zijn aangezien de trein toch al niet de maximale baanvaknelheid rijdt, omdat afgeremd moet worden. Bij een grote afstand tussen het einde van het TSB traject en het eerstvolgende stopstation, zal een groter rijtijdverlies optreden. Er zal dan afgeremd moet worden van maximale baanvaknelheid naar TSB snelheid, terwijl er normaal maximale baanvaknelheid gereden mag worden.

### *Rijtijdverlies door afremmen*

De afstand die nodig is om af te remmen wordt met de volgende formule berekend:

$$s = \frac{1}{a} \cdot \frac{v_0^2 - v_1^2}{2}$$

met:

$s$  : de afgelegde afstand

$v_0$  : de beginsnelheid

$v_1$  : de eindsnelheid

$a$  : de constante vertraging.

Er wordt berekend wat de afgelegde afstand is als afgeremd wordt van beginsnelheid  $v_0$  naar eindsnelheid  $v_1$  met een constante vertraging  $a$ . Om uit te rekenen hoeveel tijd het kost deze afstand af te leggen wordt de afgelegde afstand gedeeld door de gemiddelde snelheid die gereden wordt.



Aan de hand van gesprekken met machinisten en een aantal andere deskundigen zal de volgende aanname gedaan worden: als de afstand van het stopstation naar het begin van het TSB traject kleiner is dan 1,5 kilometer, komt er geen extra rijtijdverlies bij. Er wordt aangenomen dat binnen een afstand van 1,5 kilometer nog niet op maximale snelheid gereden wordt.

Het rijtijdverlies door afremmen wordt met behulp van de vorige formule als volgt berekend:

Als afstand[stopstation, begin TSB traject] > 1,5 km dan:

$$\frac{(1/a) * ((\text{Maximale snelheid})^2 - (\text{TSB snelheid})^2) / 2}{(\text{Maximale snelheid} + \text{TSB snelheid}) / 2} - \frac{(1/a) * ((\text{Maximale snelheid})^2 - (\text{TSB snelheid})^2) / 2}{\text{Maximale snelheid}},$$

anders rijtijdverlies door afremmen = 0.

Er wordt berekend hoeveel tijd het kost de afstand af te leggen die nodig is om van maximale snelheid af te remmen naar TSB snelheid met een constante vertraging als er met een gemiddelde snelheid (gemiddelde van TSB snelheid en maximale snelheid) gereden wordt. Vervolgens wordt berekend hoeveel tijd het kost om de afstand af te leggen die nodig is om af te remmen van maximale snelheid naar TSB snelheid met een constante vertraging als de maximale snelheid gereden wordt. Het verschil tussen deze tijden geeft het rijtijdverlies door het afremmen voor de TSB.

### *Rijtijdverlies door optrekken*

Optrekken van TSB snelheid naar maximale snelheid zal even lang duren als afremmen van maximale snelheid naar TSB snelheid. Het rijtijdverlies door optrekken zal dus hetzelfde berekend worden als het rijtijdverlies door afremmen. We nemen hier aan dat wanneer de afstand tussen het einde van het TSB traject en het eerst volgende stopstation kleiner is dan 1,5 kilometer, het rijtijdverlies door optrekken 0 zal zijn. Anders wordt het rijtijdverlies door optrekken als volgt berekend: hoeveel tijd het kost om de afstand die nodig is om van TSB snelheid naar maximale snelheid op te trekken als er met gemiddelde snelheid (het gemiddelde van maximale en TSB snelheid) gereden wordt. Vervolgens wordt berekend hoeveel tijd het kost om de afstand af te leggen die nodig is om op te trekken van TSB snelheid naar maximale snelheid als de maximale snelheid gereden wordt. Het verschil tussen deze tijden geeft het rijtijdverlies door optrekken. Voor verdere uitleg zie hierboven: *rijtijdverlies door afremmen*.

### *Correctiefactor*

Wanneer op zeer korte afstand van een TSB traject een stop gemaakt wordt, zal op het TSB traject langzamer gereden worden dan de TSB snelheid. Wanneer net na het einde van het TSB traject een stop gemaakt wordt, zal op het TSB traject afgeremd worden tot stilstand. Hierdoor rijdt de trein al langzamer dan TSB snelheid. Het rijtijdverlies dat we berekenen op het TSB traject zullen we hierdoor enigszins moeten corrigeren, omdat dit rijtijdverlies niet geheel wordt opgelopen aangezien al een stop gemaakt wordt. Hetzelfde geldt omgekeerd voor een stop op zeer korte afstand voor het begin van het TSB traject. De trein zal op het TSB traject nog bezig zijn met optrekken en niet de TSB snelheid rijden. Het berekende rijtijdverlies op het TSB traject zal dan ook gecorrigeerd worden.

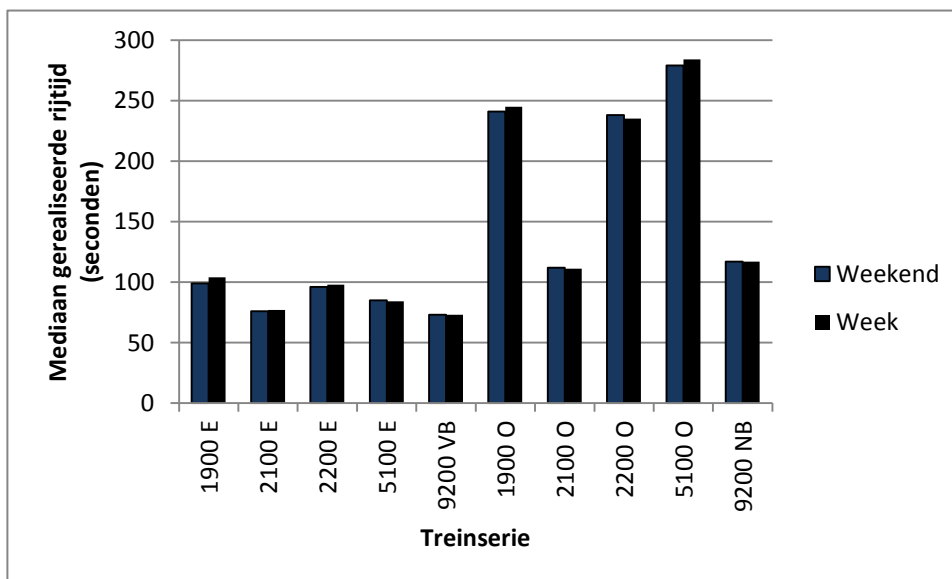
De correctie wordt toegepast als de afstand van het einde van het TSB traject naar het stopstation of de afstand van het stopstation naar het begin van het TSB traject kleiner dan 0,2 kilometer is. Wanneer deze afstand groter is dan 0,2 kilometer zal er niet gecorrigeerd worden. Deze correctiefactor is voor Sprinters en Intercity's verschillend.

De correctiefactor zal in dezelfde orde van grootte als het optrekken/afremmen zijn. Het regressiemodel zal berekenen hoeveel tijd er daadwerkelijk gecorrigeerd zal worden voor de treinseries die zo dichtbij het TSB traject een stop maken.

### *Werk- en weekenddagen*

In het weekend rijden op sommige trajecten minder treinen dan doordeweeks, omdat het reizigersaanbod in het weekend voor sommige treinseries kleiner is. Een groter aantal reizigers kan leiden tot langere halteringstijden van treinen, maar zal hoogst waarschijnlijk geen invloed hebben op de rijtijd van treinen. Er zal onderzocht worden of de werk- en weekenddagen van invloed zijn op de gerealiseerde rijtijden. Enerzijds wordt verwacht dat de rijtijden in het weekend niet significant verschillend zijn van de rijtijden doordeweeks. Anderzijds kunnen de rijtijden lager uitvallen in het weekend, omdat er minder treinactiviteiten zijn in het weekend.

We hebben dit onderzocht door te kijken naar de gerealiseerde rijtijden van alle treinseries op het traject Delft – Delft Aansluiting en vice versa. Op dit traject rijdt treinserie 5000 niet in het weekend. Verder rijden alle treinseries even vaak doordeweeks als in het weekend. In figuur 6.1 zijn de modale uitgevoerde rijtijden voor werk- en weekenddagen per treinserie weergegeven. Er kan gezien worden dat er geen significant verschil is tussen week- en weekenddagen.



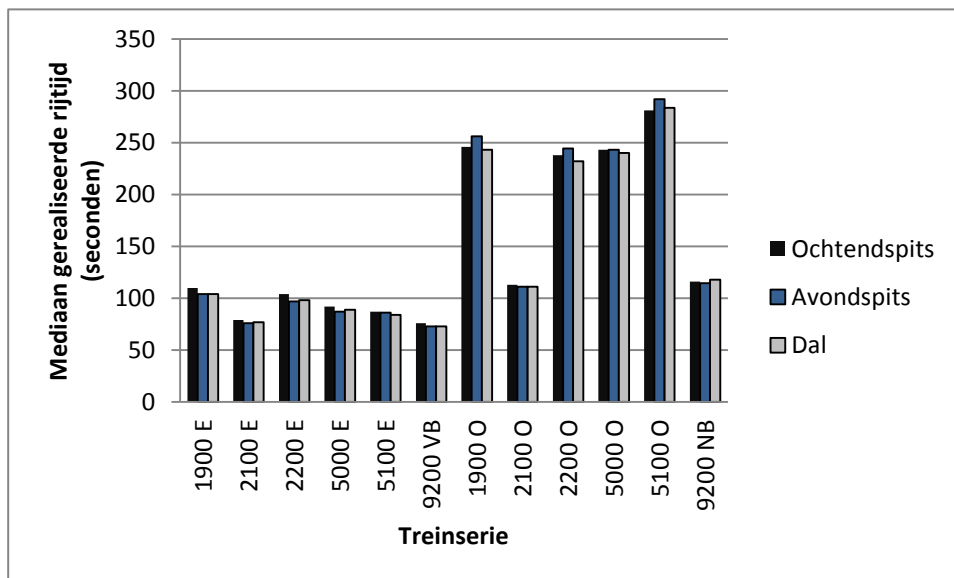
*Figuur 6.1: Modale uitgevoerde rijtijden per treinserie voor week/weekenddagen*

## Spits/dal

In de spitsperiodes is het reizigersaanbod groter dan in daluren. Door het grotere reizigersaanbod zullen op bepaalde trajecten meer treinactiviteiten plaatsvinden. Hierdoor wordt het drukker op het spoor. Dit zou kunnen leiden tot een langere rijtijd.

We hebben onderzocht of dit daadwerkelijk het geval is door te kijken naar de rijtijden van alle treinseries op het traject Delft-Delft Aansluiting en vice versa. De werkdag is in drie periodes opgedeeld om te onderzoeken of de rijtijden op bepaalde momenten van de dag hoger zijn. De ochtendspits bevindt zich tussen 06:30 uur – 09:00 uur, de avondspits tussen 16:00 uur – 18:30 uur en het dal zijn de overige uren van de dag. In figuur 6.2 zijn de modale uitgevoerde rijtijden per treinserie weergegeven, uitgesplitst in drie periodes van de weekdag. Voor de treinseries in even richting en serie 9200 vanuit het buitenland is weinig of geen significant verschil tussen de uitgevoerde rijtijden in de verschillende periodes. Voor de treinseries 1900, 2200, 5000 en 5100 in oneven richting bestaat de uitgevoerde rijtijd uit de uitgevoerde rijtijd op het traject Delft Aansluiting – Delft en een korte stop op het station Delft. Voor deze series is een iets groter verschil tussen de spits en dal periode te zien. Het grotere reizigersaanbod in de spits zorgt ervoor dat de haltering iets langer kan duren dan in de daluren.

Aan de hand van deze resultaten kan geconcludeerd worden dat uitsplitsing naar spits/dal periodes weinig tot geen significant verschil in uitgevoerde rijtijden is en voor verdere analyses niet nodig zal zijn.



Figuur 6.2: Mediaan van uitgevoerde rijtijden per treinserie voor spits/dal periodes

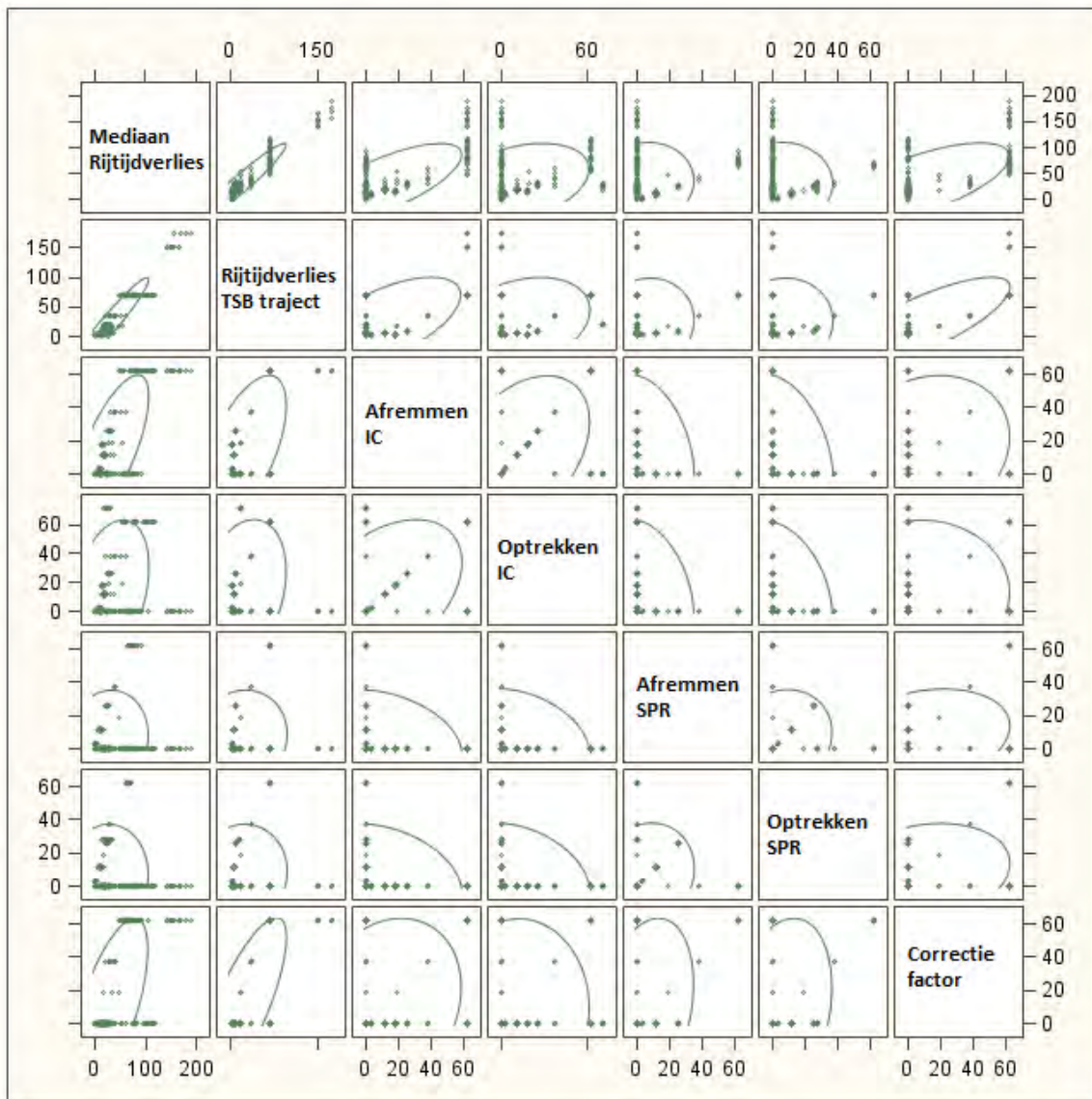
De variabelen week- en weekenddagen en spits/dal zullen niet meegenomen worden in het regressiemodel aangezien deze waarden geen significante invloed hebben op de rijtijd.

### 6.2.3 Samenhang tussen de variabelen

Een van de voorwaarden voor een regressiemodel is dat de onafhankelijke variabelen enige samenhang hebben met de afhankelijke variabele. De *scatterplot* is een bivariate data analyse techniek. Het is een

grafische weergave van bivariate data (twee variabelen) die inzicht geeft in de eventueel lineaire of kwadratische relatie tussen de variabelen. Een scatterplot geeft tevens informatie over het gemiddelde, de vorm van de verdeling, de eventuele uitschieters en clustervormingen (Tukey, 1977).

Een andere manier om te onderzoeken of zekere samenhang is tussen twee variabelen is met de Pearson correlatiecoëfficiënt. Een *Pearson correlatiecoëfficiënt*  $r$  is een maat voor de correlatie tussen twee stochastische variabelen. Het geeft de richting en sterkte aan van de samenhang tussen twee variabelen. Correlatiecoëfficiënten kunnen waarden tussen -1 (een perfecte negatieve correlatie) en +1 (een perfecte positieve correlatie) aannemen.



Figuur 6.3: scatterplotmatrix van de afhankelijke en onafhankelijke variabelen

	Rijtijd- verlies	Rijtijd- verlies op TSB traject	Optrekken IC	Afremmen IC	Optrekken SPR	Afremmen SPR	Correctie factor
Rijtijdverlies	1,00	0,96	0,35	0,72	0,99	0,17	0,66
Rijtijdverlies op TSB traject	0,96	1,00	0,29	0,61	0,07	0,09	0,79
Optrekken IC	0,35	0,29	1,00	0,40	-0,34	-0,31	0,00
Afremmen IC	0,72	0,61	0,40	1,00	-0,34	-0,32	0,21
Optrekken SPR	0,99	0,07	-0,34	-0,34	1,00	0,12	0,22
Afremmen SPR	0,17	0,09	-0,31	-0,32	0,12	1,00	0,25
Correctie factor	0,66	0,79	0,00	0,21	0,22	0,25	1,00

Tabel 6.1: Pearson correlatiecoëfficiënten van de afhankelijke en onafhankelijke variabelen

In figuur 6.3 is een scatterplotmatrix weergegeven van de afhankelijke variabele 'rijtijdverlies' en de onafhankelijke variabelen 'rijtijdverlies op het TSB traject', 'afremmen IC/SPR', 'optrekken IC/SPR' en 'correctiefactor'. In tabel 6.1 zijn voor dezelfde variabelen de Pearson correlatiecoëfficiënten berekend. Er is te zien dat de afhankelijke variabele 'rijtijdverlies' met de variabelen 'rijtijdverlies op TSB traject' 'afremmen IC', 'optrekken SPR' en 'correctiefactor' een hoge samenhang laat zien. Voor de twee variabelen 'optrekken IC' en 'Afremmen SPR' is dit niet het geval.

De onafhankelijke variabelen onderling correleren niet of nauwelijks met elkaar, behalve 'correctiefactor' en 'rijtijdverlies op TSB traject'. Aangezien niet geldt dat correlatiecoëfficiënt  $|r| \geq 0.9$  is, zien we dit niet als een verontrustend teken.

De onafhankelijke variabelen die uiteindelijk mee genomen zullen worden in de regressie analyse zijn 'rijtijdverlies op TSB traject', 'optrekken voor IC/SPR', 'afremmen voor IC/SPR' en 'correctiefactor'.

### 6.3 Het regressiemodel

Aan de hand van de stapsgewijze methode is een regressiemodel ontwikkeld. In deze paragraaf zullen de uitkomsten van het model laten zien worden. We zullen de gestelde voorwaarden voor een regressiemodel controleren. Vervolgens zullen we laten zien hoe goed het model van een nieuwe TSB het rijtijdverlies kan voorspellen.

### 6.3.1 Resultaten analyse

Het model is gebaseerd op 575 dagen dat er TSB's zijn geweest.

Tabel 6.2 toont welke onafhankelijke variabelen significant zijn in het model volgens de stapsgewijze methode, en hoeveel variantie verklaard wordt door de variabelen toe te voegen ("Model R-square"). Wanneer alleen de variabele 'rijtijdverlies op het TSB traject' wordt toegevoegd aan het model zal 91,96% van de totale variantie van de waarnemingen verklaard worden. Door het toevoegen van de andere variabelen stijgt de waarde van  $R^2$  naar 95,76%. Dit geeft aan dat 95,76% van de waarnemingen verklaard kan worden door dit regressiemodel.

Summary of Stepwise Selection								
Step	Variable Entered	Variable Removed	Number Vars In	Partial R-Square	Model R-Square	C(p)	F Value	Pr > F
1	Rijtijdverlies_TSB_traject		1	0.9196	0.9196	506.254	6554.61	<.0001
2	Afremmen_IC		2	0.0277	0.9473	136.533	301.37	<.0001
3	Correctie		3	0.0044	0.9517	79.9264	51.73	<.0001
4	Afremmen_SPR		4	0.0042	0.9559	25.8510	54.10	<.0001
5	Optrekken_SPR		5	0.0007	0.9566	19.0351	8.62	0.0035
6	Optrekken_IC		6	0.0010	0.9576	7.0000	14.04	0.0002

Tabel 6.2: uitkomsten van de parameters door stapsgewijze regressie analyse

In tabel 6.3 worden de parameterschattingen aangegeven voor de significante variabelen met de daarbij behorende 95%-betrouwbaarheidsintervallen. De regressievergelijking

$y_i = \beta_0 + x_{i1}\beta_1 + \dots + x_{ip}\beta_p + e_i$  heeft de volgende waarden voor de parameters:

$\hat{\beta}_0 = 5,41$	Intercept
$\hat{\beta}_1 = 0,89$	$x_1$ = Rijtijdverlies op het TSB traject
$\hat{\beta}_2 = 0,37$	$x_2$ = Rijtijdverlies door afremmen Intercity
$\hat{\beta}_3 = 0,06$	$x_3$ = Rijtijdverlies door optrekken Intercity
$\hat{\beta}_4 = 0,26$	$x_4$ = Rijtijdverlies door afremmen Sprinter
$\hat{\beta}_5 = 0,11$	$x_5$ = Rijtijdverlies door optrekken Sprinter
$\hat{\beta}_6 = -0,17$	$x_6$ = correctiefactor

Parameter Estimates							
Variable	DF	Parameter Estimate	Standard Error	t Value	Pr >  t	95% Confidence Limits	
Intercept	1	5.41233	0.50842	10.65	<.0001	4.41371	6.41095
Rijtijdverlies_TSB_traject	1	0.88748	0.02379	37.31	<.0001	0.84075	0.93421
Afremmen_IC	1	0.37238	0.02650	14.05	<.0001	0.32033	0.42443
Optrekken_IC	1	0.06317	0.01686	3.75	0.0002	0.03005	0.09629
Afremmen_SPR	1	0.23586	0.02734	8.63	<.0001	0.18215	0.28957
Optrekken_SPR	1	0.11065	0.02696	4.10	<.0001	0.05768	0.16361
Correctie	1	-0.16499	0.02530	-6.52	<.0001	-0.21469	-0.11530

Tabel 6.3: parameter schattingen met bijbehorende betrouwbaarheidsintervallen

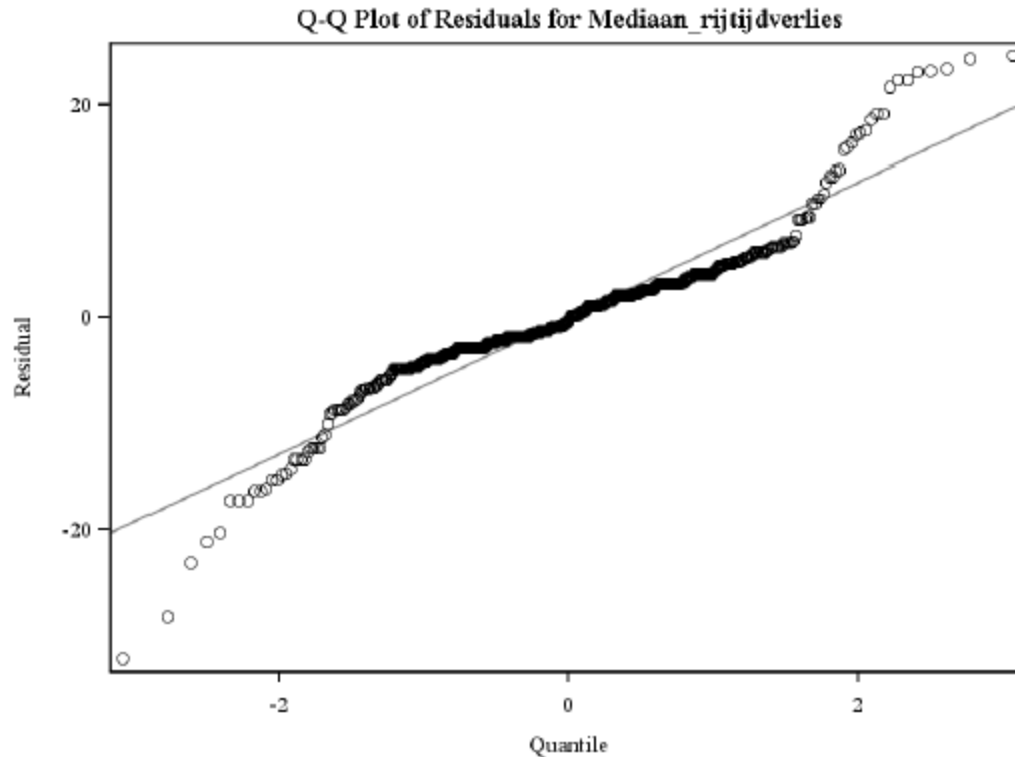
Deze waarden geven aan hoe zwaar de variabelen mee tellen in de berekening van het rijtijdverlies. Te zien is dat een Intercity meer tijd nodig heeft om af te remmen dan een Sprinter. Dit is logisch, want het Sprinter materieel kan sneller afremmen. Sprinters en Intercity's zullen na een TSB sneller optrekken naar maximale baanvaksnelheid dan dat ze afremmen. Dit kan ook makkelijk verklaard worden. Wanneer er weer snel opgetrokken wordt naar volle snelheid, zal het minder rijtijdverlies kosten. Bij het afremmen zullen ze langer op hogere snelheid willen blijven rijden, waardoor er langer over het afremmen gedaan wordt. De correctiefactor is negatief. Deze factor zal ervoor zorgen dat er rijtijdverlies afgaat wanneer het station op zeer kleine afstand van de TSB ligt.

### 6.3.2 Controle voorwaarden

In deze paragraaf zullen we de voorwaarden controleren waar het regressiemodel aan moet voldoen.

#### Controle op normaliteit

Om te controleren of aan de voorwaarde voldaan is dat de residuen normaal verdeeld zijn, is een Q-Q plot van de gestandaardiseerde residuen gemaakt. In figuur 6.4 is deze Q-Q plot weergegeven. Aan de hand van het figuur is te zien dat de residuen redelijk normaal verdeeld zijn. Alle punten liggen rondom de diagonaal, met wat uitschieters aan beide uiteinden.



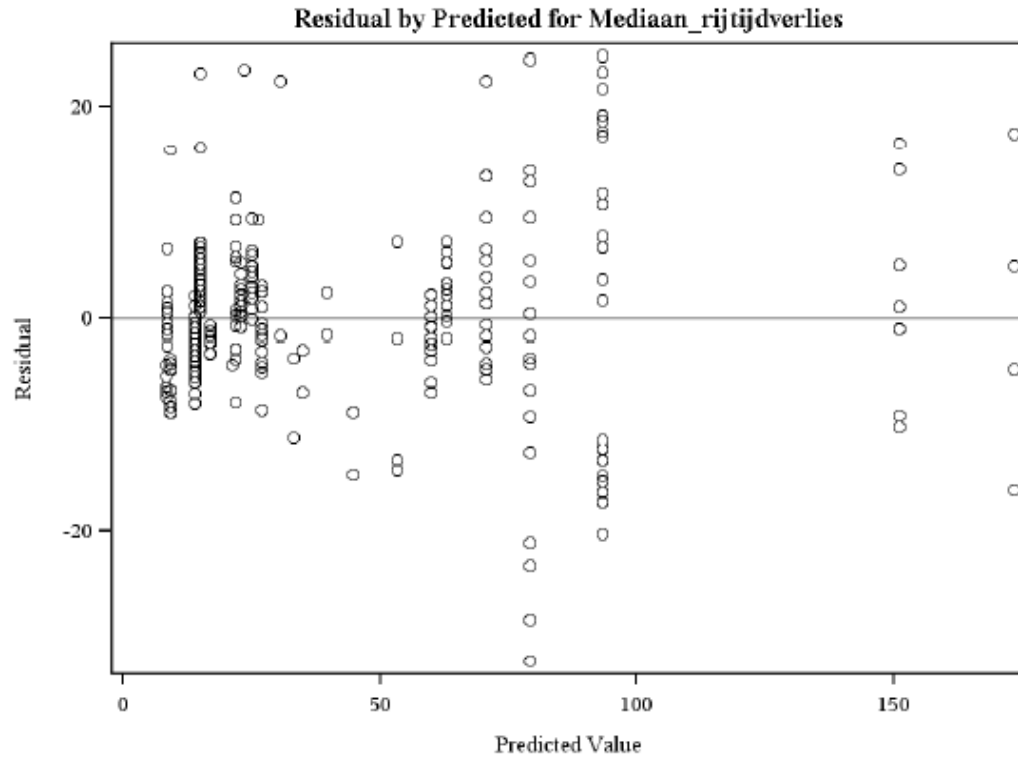
*Figuur 6.4: Q-Q plot van de gestandaardiseerde residuen*

### **Controle op lineariteit en homoscedaciteit regressiemodel**

Aan de hand van het spreidingsdiagram van de gestandaardiseerde residuen tegen de gestandaardiseerde voorspelde waarden kan gecontroleerd worden of het regressiemodel lineair is en of de variantie van de residuen homogeen/constant zijn. In figuur 6.5 is een lichte heteroscedasticiteit te zien. Voor de kleine voorspelde waarden is een kleinere spreiding te zien, dan voor de hogere voorspelde waarden.

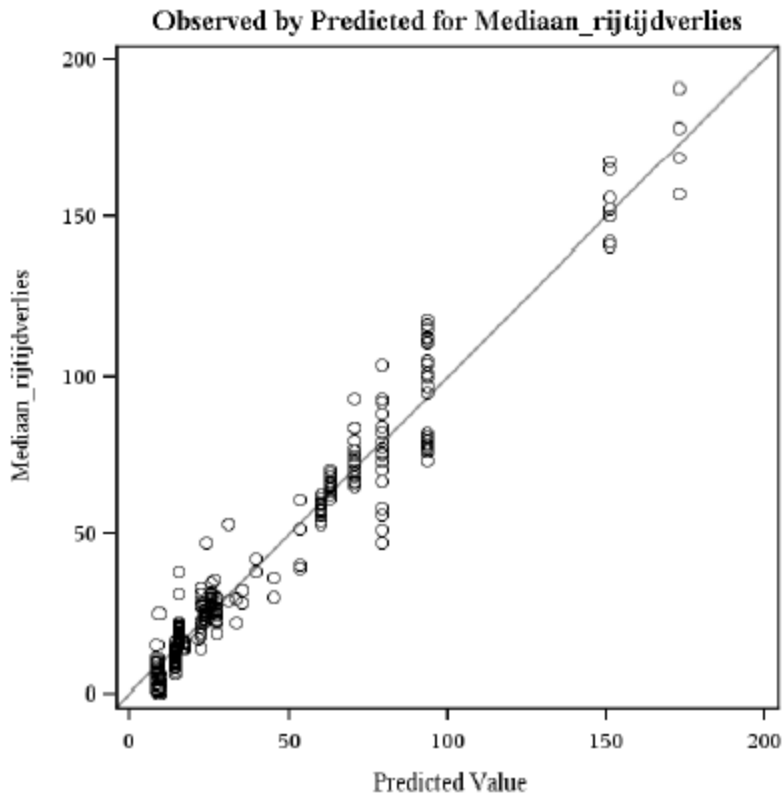
Wanneer het regressiemodel lineair is vertonen de residuen geen duidelijk patroon. Alle positieve en negatieve residuen liggen min of meer evenwichtig gespreid rondom de horizontale nullijn van de grafiek.





*Figuur 6.5: spreidingsdiagram van de gestandaardiseerde residuen tegen de gestandaardiseerde voorspelde waarden*

Een andere manier om lineariteit te testen, is door de werkelijke waarden van de afhankelijke variabele te plotten tegen de voorspelde waarden. Dit is in figuur 6.6 laten zien. De punten liggen rondom de diagonaal, wat laat zien dat het model lineair is.



Figuur 6.6: werkelijke waarden tegen de voorspelde waarden van de afhankelijke variabele

### 6.3.3 Uitschieters

Uitschieters kunnen een grote invloed hebben op het regressiemodel. Aan de hand van Cook's distance hebben we de uitschieters opgespoord. *Cook's distance* geeft aan hoeveel de residuen van alle waarnemingen veranderen, als een waarneming niet in de berekeningen wordt meegenomen. We hebben de waarden van 9 december 2011 van de TSB Delft-Delft Aansluiting en vice versa uiteindelijk niet meegenomen bij het maken van het model. Op deze dag was de sein- en wisselstoring rondom dienstregelpunt Delft. De rijtijden waren hierdoor flink beïnvloed. Ook hebben we de TSB van Amsterdam Bijlmer – Amsterdam Holendrecht niet meegenomen. De rijtijden van die treinserie die daar reed werd te veel beïnvloed door de goederentrein die in soms in het tijdpad van treinserie 4000 reed.

### 6.3.4 Kwaliteit van het model

In de "Analysis of Variance" tabel (tabel 6.4) wordt aangegeven dat het regressiemodel significant is ( $p < .0001$ ) voor de bovengenoemde variabelen. Zoals eerder genoemd is de waarde van  $R^2$  0,96. Dit duidt erop dat de correlatie tussen de echte waarden en de voorspelde waarden van mediaan rijtijdverlies hoog is, en de werkelijke waarden dus goed voorspeld worden door het regressiemodel. Dit blijkt ook uit figuur 6.6. De werkelijke waarden en de voorspelde waarden liggen dicht langs de diagonaal. De werkelijke waarden lijken goed te worden voorspeld door het model.

Analysis of Variance					
Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	6	536836	89473	2138.68	<.0001
Error	568	23763	41.83551		
Corrected Total	574	560599			

Root MSE	6.46804	R-Square	0.9576
Dependent Mean	30.00522	Adj R-Sq	0.9572
Coeff Var	21.55638		

Tabel 6.4: Analysis of Variance (ANOVA) tabel

### 6.3.5 Testen van het model

We hebben aan de hand van een nieuwe TSB getest of het model naar verwachting werkt. In 2010 is er een TSB geweest tussen Amsterdam Riekerpolder Aansluiting (Asra) en Schiphol (Shl). Deze TSB was 1,9 kilometer lang en de TSB snelheid was 40 km/uur. De afstand van het stopstation Amsterdam Zuid naar de TSB is 5,7 kilometer. 0,1 kilometer na de TSB wordt een stop gemaakt op Schiphol. Normaal gesproken wordt er maximaal 130 km/uur gereden. De test hebben we gedaan voor de Intercity serie 3100.

Tabel 6.5 toont de waarden van het werkelijke gerealiseerde rijtijdverlies, het voorspeld rijtijdverlies en het verschil hiertussen voor deze TSB. Per dag is het modale rijtijdverlies uitgerekend. Er is te zien dat de waarden van het rijtijdverlies al behoorlijk fluctueren, namelijk van 132 tot 160 seconden. Het voorspelde rijtijdverlies met dit model is 123,4 seconden. Deze schatting is wat aan de lage kant. Dit zou verklaard kunnen worden doordat er bij Schiphol tijdens de periode van de TSB ook een buitendienststelling was van een van de tunnels. Het kan zijn dat hierdoor de treinen wat langer op elkaar moesten wachten dan gebruikelijk, waardoor de rijtijd ook wat langer is geworden.

datum	Gerealiseerd rijtijdverlies	Voorspeld rijtijdverlies	Vershil
3-sep-10	129	123,40	5,60
4-sep-10	132,5	123,40	9,10
5-sep-10	149	123,40	25,60
6-sep-10	160	123,40	36,60
7-sep-10	132	123,40	8,60
8-sep-10	159	123,40	35,60
9-sep-10	140	123,40	16,60

Tabel 6.5: werkelijk en voorspeld rijtijdverlies in seconden

## 6.4 Conclusie

Het rijtijdverlies door een TSB wordt in het model door de volgende onafhankelijke variabelen verklaard: “rijtijdverlies op het TSB traject”, “rijtijdverlies door afremmen Intercity”, “rijtijdverlies door optrekken Intercity”, “rijtijdverlies door afremmen Sprinter”, “rijtijdverlies door optrekken Sprinter” en “correctiefactor”. 95,76% van de waarnemingen kan worden verklaard door dit regressiemodel.

De test met de nieuwe TSB laat zien dat het model ook voor een nieuwe TSB die niet in het model is opgenomen een aardige voorspelling doet. Er moet rekening mee gehouden worden dat het model een minimaal rijtijdverlies voorspeld. Zoals bij de TSB van Schiphol te zien was, is dat wanneer er niet alleen een TSB plaatsvindt op het traject, maar ook nog andere onregelmatigheden, dat het rijtijdverlies dan lager wordt ingeschat. Het model kan geen rekening houden met andere verstoringen op het spoor.

## 7 Punctualiteitsverlies voorspellingsmodel

We hebben bij de case studies gezien dat het lastig is aan te tonen hoeveel punctualiteitsverlies exact door de TSB wordt veroorzaakt. Op sommige trajecten is speling ingebracht waardoor het opgelopen rijtijdverlies nog net goedge maakt kan worden voor aankomst op een HRN knooppunt. Wanneer krappere gepland is zal het moeilijk zijn dit verlies nog in te lopen. Ook speelt de afstand van het einde van het TSB traject naar een HRN station een rol. Verder hebben sommige trajecten tussendoor stops met lange halteringstijden, waardoor op die manier het rijtijdverlies door een TSB kan worden ingehaald. We hebben geprobeerd door middel van meervoudige lineaire regressie een voorspelling te maken van het punctualiteitsverlies dat veroorzaakt wordt door een TSB. Dit gaf geen goede resultaten.

In dit hoofdstuk zal beschreven worden hoe een model om het punctualiteitsverlies door een TSB te schatten tot stand gekomen is. Wanneer aangekondigd wordt dat een TSB zal worden opgelegd, kan het model een handvat bieden voor het voorspellen van het effect op de punctualiteit van het eerstvolgende HRN knooppunt, en op de landelijke punctualiteit. Verder zal in dit hoofdstuk aangegeven worden wat de voorwaarden zijn om het model te kunnen gebruiken.

### 7.1 Model voor punctualiteitsverlies door een TSB

We willen aan de hand van het model berekenen wat het punctualiteitsverlies door een TSB zal zijn op het eerstvolgende HRN knooppunt<sup>2</sup> voor een bepaalde treinserie. Door middel van een voorspelde waarde van het rijtijdverlies voor een treinserie zal berekend worden hoeveel treinactiviteiten van deze treinserie niet meer binnen de norm van drie minuten aankomen op het eerstvolgende HRN knooppunt als dat rijtijdverlies optreedt op een eerder traject.

Punctualiteit wordt als volgt berekend:

$$\left( \frac{\text{aantal treinactiviteiten dat binnen 3 minuten ten opzichte van de plantijd aankomt}}{\text{totaal aantal activiteiten}} \right) * 100$$

Het aantal treinactiviteiten dat binnen drie minuten ten opzichte van plantijd aankomt wordt bepaald door:

Als (verschil\_uitvoer\_plantijd < 180)  
dan 1  
anders 0

met verschil\_uitvoer\_plantijd = uitgevoerde aankomsttijd – geplande aankomsttijd in seconden.

Verschil\_uitvoer\_plantijd geeft aan hoeveel seconden te vroeg of te laat een trein aankomt op een knooppunt. Deze formule zal de punctualiteit zonder TSB berekenen.

Nu willen we weten wat de punctualiteit zou zijn als een treinserie rijtijdverlies oploopt. De punctualiteit als een TSB wordt opgelegd, zal zijn:

---

<sup>2</sup> In bijlage A is een lijst met de 35 HRN knooppunten vermeld.

(aantal treinactiviteiten dat binnen 3 minuten ten opzichte van de plantijd aankomt) / (totaal aantal activiteiten)\*100

Het aantal treinactiviteiten dat binnen drie minuten ten opzichte van plantijd aankomt op een knooppunt wordt nu zo berekend:

Als (verschil\_uitvoer\_plantijd + voorspeld\_rijtijdverlies < 180)  
dan 1  
anders 0

Bij verschil\_uitvoer\_plantijd wordt het rijtijdverlies opgeteld. Dit geeft het aantal seconden aan dat de trein te vroeg of te laat aankomt op het knooppunt plus de vertraging door het opgelopen rijtijdverlies.

Om dit geheel te verduidelijken zal een voorbeeld gegeven worden. De geplande aankomst van een willekeurige trein uit treinserie X op station A is 18:00:00 uur. De trein komt daadwerkelijk om 18:02:10 uur aan. Verschil\_uitvoer\_plantijd is dus 130 seconden. De trein is dus binnen de norm van 180 seconden (3 minuten) aangekomen, en dus punctueel. Stel dat er op het traject voor station A een TSB is opgelegd. Stel dat het voorspelde rijtijdverlies voor treinserie X 60 seconden is. De trein zal dan in plaats van 18:02:10 uur om 18:03:10 uur aankomen. Verschil\_uitvoer\_plantijd is nu dus 190 seconden. De trein is door het ontstane rijtijdverlies niet meer binnen de norm van 180 seconden, en is dus niet punctueel.

Aan de hand van deze methodiek zal bepaald worden hoeveel treinen er zonder TSB binnen 3 minuten van plantijd aankomen op het eerstvolgende HRN knooppunt, en hoeveel treinen er met TSB binnen 3 minuten van plantijd aankomen op dat HRN knooppunt. Het verschil tussen deze twee aantallen geeft aan hoeveel treinen door de TSB niet meer op tijd aan zullen komen op dat HRN knooppunt. Dit zal het punctualiteitsverlies zijn door de TSB. Dit cijfer kan verder doorgerekend worden op landelijk niveau, maar ook op treinserie niveau, en eventueel opgesplitst voor week- en weekenddagen.

## 7.2 Input van het model

Om het punctualiteitseffect op het eerstvolgende HRN knooppunt na de TSB te berekenen zal als input gegeven worden welk HRN knooppunt dat zal zijn. Vervolgens zal bepaald moeten worden welke treinseries langs de TSB rijden en dus last hebben van de TSB. Voor deze treinseries dient aangegeven te worden in welke richting gereden wordt, en hoeveel verwacht rijtijdverlies opgelopen zal worden. Zoals eerder gezien zal dit verwachte rijtijdverlies niet voor alle series gelijk zijn.

Vervolgens dient een periode gekozen te worden. Aan de hand van de realisatie van deze periode zal berekend worden wat de punctualiteit zal zijn als er een TSB wordt opgelegd. Deze periode dient met zorg uitgekozen te worden. Wanneer bijvoorbeeld wordt aangegeven dat in de maand juni een TSB zal worden opgelegd, kan het verstandig zijn om de data van vorig jaar juni te gebruiken. Er moet dan wel opgelet worden dat de dienstregeling niet al te veel is aangepast op en na het traject van de TSB. Wanneer er bijvoorbeeld veel speling op het traject is bijgekomen in de nieuwe dienstregeling, kan dit voor een vertekend beeld zorgen. Een andere optie is om de gerealiseerde data van een maand eerder te gebruiken, in dit geval van de maand mei. De dienstregeling zal dan hetzelfde zijn.

Ook moet er bij de keuze van de periode erop gelet worden dat de gekozen periode niet te veel verstoringen bevat. Wanneer er veel verstoringen zijn geweest, zullen al minder treinen op tijd gereden hebben. Dit kan ook voor een vertekend beeld zorgen.

### 7.3 Aannames

Er zijn een aantal aannames gemaakt bij het maken van dit model. Er wordt vanuit gegaan dat na het halteren op het eerstvolgende HRN knooppunt het rijtijdverlies is goedge maakt en niet verder zal uitstralen op de volgende HRN knooppunten op het traject van de desbetreffende treinseries. Voor de meeste TSB's zal dit een goede aanname zijn. Wanneer een 'heftige' TSB plaatsvindt, met een groot verwacht rijtijdverlies kan het zijn dat het effect wel degelijk doorwerkt op volgende knooppunten waar de punctualiteit gemeten wordt.

Een andere aanname is dat het rijtijdverlies door de TSB niet kan worden goedge maakt voor het eerstvolgende HRN knooppunt. We hebben in de case studies gezien dat dit over het algemeen het geval was.

### 7.4 Kwaliteit van het model

De eerder besproken TSB van Delft heeft voor veel punctualiteitsverlies gezorgd op de HRN knooppunten Den Haag Holland Spoor en Rotterdam Centraal. We zullen gaan testen of het model deze punctualiteitsverliezen goed benaderd.

We hebben gekozen voor de even en van buitenland richting en het HRN knooppunt Den Haag Holland Spoor. In tabel 7.1 zijn de treinseries die langs de TSB komen en mee tellen voor de punctualiteitscijfers weergegeven. Per treinserie is aangegeven voor welke richting de TSB geldt, en hoe groot het voorspelde rijtijdverlies was. Het rijtijdverlies per treinserie is geschat met het voorspellingsmodel, voor de periode dat de TSB 40 km/uur was. We weten dat deze waarden goed overeenkomen met de gerealiseerde rijtijdverliezen voor de TSB.

Treinserie	Voorspeld rijtijdverlies	Richting
1400	60	E
1900	60	E
2100	80	E
2200	60	E
5000	63	E
5100	63	E
9200	80	VB

Tabel 7.1: voorspeld rijtijdverlies en richting per treinserie

De TSB (40 km/uur) vond plaats tussen 18 november 2011 en 6 december 2011. We hebben als vergelijkbare periode 1 oktober t/m 15 oktober 2011 gekozen. In tabel 7.2 zijn de uitkomsten van het model gegeven. Per dag zijn het totaal aantal activiteiten voor het knooppunt Den Haag Holland Spoor van beide richtingen voor deze periode weergegeven. Er is berekend hoeveel activiteiten binnen de

norm van 3 minuten aan zijn gekomen op dit knooppunt. Vervolgens is de punctualiteit berekend (punctualiteit zonder TSB). Het aantal activiteiten binnen de 3 minuten norm met TSB is bepaald door middel van het voorspelde rijtijdverlies. Vervolgens is ook berekend wat de punctualiteit zal zijn als dit rijtijdverlies op het eerdere traject is verkregen (punctualiteit met TSB). In de laatste kolom van de tabel is weergegeven wat het verschil tussen de punctualiteit zonder en met TSB is.

	Totaal aantal activiteiten	Aantal activiteiten binnen 3 minuten norm zonder TSB	Aantal activiteiten binnen 3 minuten norm met TSB	Punctualiteit zonder TSB	Punctualiteit met TSB	Punctualiteitsverlies door TSB
01OCT2011	313	291	283	92,97%	90,42%	2,56%
02OCT2011	313	283	265	90,42%	84,66%	5,75%
03OCT2011	396	345	328	87,12%	82,83%	4,29%
04OCT2011	395	352	327	89,11%	82,78%	6,33%
05OCT2011	396	338	314	85,35%	79,29%	6,06%
06OCT2011	391	328	304	83,89%	77,75%	6,14%
07OCT2011	395	324	301	82,03%	76,20%	5,82%
08OCT2011	249	225	214	90,36%	85,94%	4,42%
09OCT2011	229	198	189	86,46%	82,53%	3,93%
10OCT2011	386	315	301	81,61%	77,98%	3,63%
11OCT2011	391	322	299	82,35%	76,47%	5,88%
12OCT2011	330	275	262	83,33%	79,39%	3,94%
13OCT2011	396	372	358	93,94%	90,40%	3,54%
14OCT2011	389	351	337	90,23%	86,63%	3,60%
15OCT2011	253	239	236	94,47%	93,28%	1,19%

Tabel 7.2: uitkomsten van het model

De gemiddelde voorspelde punctualiteit met een TSB voor Den Haag Holland Spoor is 83,1%. In de periode dat de TSB daadwerkelijk van kracht was, was de gemiddelde punctualiteit op Den Haag Holland Spoor 72,4%. Dit is een stuk lager dan het model voorspeld heeft. Dit heeft te maken met het feit dat in dezelfde periode op het traject voor de TSB van Delft nog een TSB heeft plaatsgevonden. Het rijtijdverlies dat door deze TSB is ontstaan hebben we niet meegenomen in de berekeningen. Hierdoor is de voorspelde punctualiteit hoger uitgevallen dan gerealiseerd is.



## 8 Conclusie / aanbevelingen

In dit hoofdstuk zullen de conclusies van dit onderzoek gegeven worden. Ook zullen aanbevelingen voor verder onderzoek gedaan worden.

### 8.1 Conclusies

Uit de case studies kwam naar voren dat voor vrijwel alle TSB's spreiding van de rijtijd een stuk groter werd. Naarmate de TSB snelheid hoger werd, nam de spreiding ook af. Deze spreiding kan ervoor zorgen dat veel treinen niet op tijd aankomen op volgende dienstregelpunten. Dit is niet wenselijk.

Het voorspellingsmodel voor het rijtijdverlies is ontwikkeld door middel van meervoudige lineaire regressie. De onafhankelijke variabelen in het model verklaren 95,76% van de waarnemingen.

De test met de nieuwe TSB laat zien dat het model ook voor een nieuwe TSB die niet in het model is opgenomen een aardige voorspelling doet. Er moet rekening mee gehouden worden dat het model een minimaal rijtijdverlies voorspeld. Zoals bij de TSB van Schiphol te zien was, is dat wanneer niet alleen een TSB plaatsvindt op het traject, maar ook nog andere onregelmatigheden, het rijtijdverlies lager wordt ingeschat. Het model kan geen rekening houden met andere verstoringen op het spoor.

Voor het punctualiteitsverlies model is het zeer belangrijk om een representatieve periode te kiezen. Deze periode mag niet te veel onregelmatigheden/verstoringen in de treindienst bevatten. Wanneer dit wel het geval is, zal een vertekend beeld van het voorspelde punctualiteitsverlies ontstaan.

Er zijn een aantal aannames gemaakt bij het maken van dit model. Er wordt vanuit gegaan dat na het halteren op het eerstvolgende HRN knooppunt het rijtijdverlies is goedge maakt en niet verder zal uitstralen op de volgende HRN knooppunten op het traject van de desbetreffende treinseries. Voor de meeste TSB's zal dit een goede aanname zijn. Wanneer een 'heftige' TSB plaatsvindt, met een groot verwacht rijtijdverlies kan het zijn dat het effect wel degelijk doorwerkt op volgende knooppunten waar de punctualiteit gemeten wordt.

Een andere aanname is dat het rijtijdverlies door de TSB niet kan worden goedge maakt voor het eerstvolgende HRN knooppunt. We hebben in de case studies gezien dat dit over het algemeen het geval was.

### 8.2 Aanbevelingen

Het rijtijdverlies model is op een aantal TSB's gebaseerd. Om het model nog betrouwbaarder te maken, is het verstandig om meer cases van nieuwe TSB's toe te voegen. Dit zal leiden tot een verbetering van het model.

Ook zou het voor vervolg onderzoek goed zijn om de opvolgtijden tussen treinen mee te nemen in het model. Wanneer de opvolgtijden kort op elkaar zitten, kunnen de treinen elkaar in de weg gaan zitten. Dit kan leiden tot langere rijtijden.

Om het effect op de punctualiteit te berekenen wordt met het huidige model alleen gekeken naar het eerstvolgende HRN knooppunt na de TSB. Er zal onderzocht kunnen worden wat het effect is op een volgend HRN knooppunt. Op deze manier zal een betere voorspelling gedaan kunnen worden van de impact van een TSB.

## Referenties

Gunst, M. de, Vaart van der A.W. (2005). *Statistische Data Analyse*. Colledictaat Vrije Universiteit, Amsterdam.

Reijnen, R., Schriever, B., de Vries, B. (2005). *Kwantificeren punctualiteit (1<sup>e</sup> fase)*. CQM bv, Eindhoven, december 2005.

Schriever, B., van Doremalen, J. (2006). *Analyse startpunctualiteit en impact op de KPI aankomstpunctualiteit (Fase 2a)*. CQM bv, Eindhoven, april 2006.

Tukey, J.W., (1977). *Exploratory data analysis*. Addison-Wesley.

Vaart, A. van der (2003); *Algemene Statistiek*; Colledictaat Vrije Universiteit, Amsterdam

Vocht, A. de, *Basishandboek SPSS 6.1 voor Windows*, derde druk, 1998, Bijleveld Press, Utrecht

### *Overig:*

NSR, 2009: *NS Reizigers op weg naar 2015, Strategie en Businessplandoelstellingen 2010-2014*.

NS, 2011: *Vervoerplan NS 2011*. Directie Nederlandse Spoorwegen.

SAS business analytics software: <http://www.sas.com>.



## Bijlagen

### Bijlage A: Lijst van HRN knooppunten

Arnhem  
Almere Centrum  
Amersfoort  
Almelo  
Alkmaar  
Apeldoorn  
Amsterdam Centraal  
Amsterdam Zuid  
Breda  
Dordrecht  
Deventer  
Eindhoven  
Gouda  
Groningen  
Den Haag Holland Spoor  
Den Haag Centraal  
Hengelo  
Haarlem  
Hoorn  
Heerlen  
Den Bosch  
Leiden  
Leeuwarden  
Maastricht  
Nijmegen  
Roermond  
Roosendaal  
Rotterdam Centraal  
Sittard  
Tilburg  
Utrecht  
Venlo  
Vlissingen  
Zwolle  
Zutphen