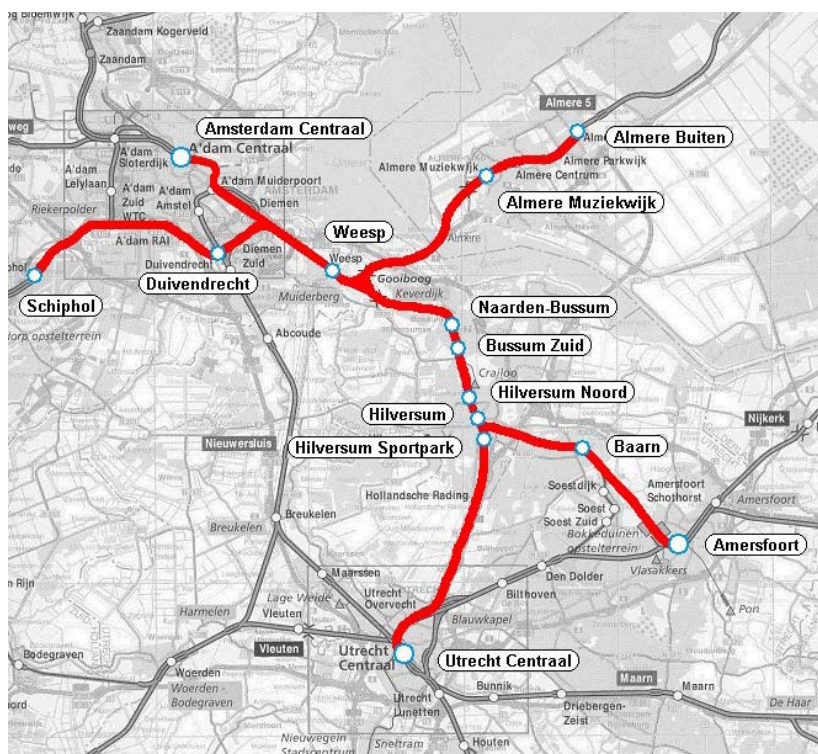


Optimale capaciteitsbenutting

*Praktische kwaliteitsbeoordeling door
toepassing van een analytisch model*



November 2005

H.J.J. Wieringa

Optimale capaciteitsbenutting

*Praktische kwaliteitsbeoordeling door
toepassing van een analytisch model*

Afstudeerverslag H.J.J. Wieringa
E-mail: arjan.wieringa@dhv.nl

Onderwijsinstellingen:



Technische Universiteit Delft



Rheinisch-Westfälische
Technische Hochschule Aachen

Onder begeleiding van:



DHV Advies- en ingenieursbureau

Status: definitief
Laatste wijziging: 28 november 2005

Voorwoord

Dit rapport is een afstudeerscriptie, geschreven ter afronding van de studie Civiele Techniek aan de Technische Universiteit Delft. Onder begeleiding van Advies- en ingenieursbureau DHV is onderzoek gedaan naar de capaciteitsbenutting van de Gooilijn. Hierbij is gebruik gemaakt van het programma TNV-Prepare, ontwikkeld aan de TU Delft en het pakket ANKE, ontwikkeld aan de RWTH Aachen. De gebruikte data en technische gegevens zijn beschikbaar gesteld door DHV en ProRail.

De werkzaamheden zijn deels uitgevoerd bij de sectie Transport & Planning op de Technische Universiteit te Delft en deels bij DHV Ruimte en Mobiliteit in Amersfoort. Verder zijn er bezoeken gebracht aan de RWTH Aachen, ProRail en de Treindienstleiding post Amersfoort. Mijn dank gaat uit naar alle partijen voor het verlenen van medewerking, in het bijzonder de voorzitter en leden van mijn afstudeercommissie. De commissie is zeer behulpzaam geweest in het geven van kritisch commentaar en in het beantwoorden van vragen:

Afstudeercommissie

Prof.Dr.-Ing. I.A. Hansen (voorzitter, TU Delft)

ir. P.B.L. Wiggenraad (TU Delft)

Dr.-Ing. U. Hermann (DHV)

D. Middelkoop (ProRail)

Dr.ir. A. Zoeteman (ProRail / TU Delft)

Verder gaat speciale dank uit naar Dr. R.M.P. Goverde voor zijn tijd en kunde bij het doorgronden van de modules van het programma TNV-Prepare. Ook speciale dank gaat uit naar Dipl.-Ing. N. Nießen van het Verkehrswissenschaftliches Institut van de RWTH Aachen voor het wegwijs maken in en beantwoorden van vragen over het pakket ANKE. Ook de medewerkers van de unit Infra Engineering binnen DHV, in het bijzonder de afdeling Spoorwegen, wil ik langs deze weg bedanken voor hun behulpzaamheid in het beantwoorden van vragen en het geven van kritisch commentaar. Tot slot wil ik de medewerkers van ProRail en die van de Treindienstleiding post Amersfoort in het bijzonder hartelijk bedanken voor hun medewerking.

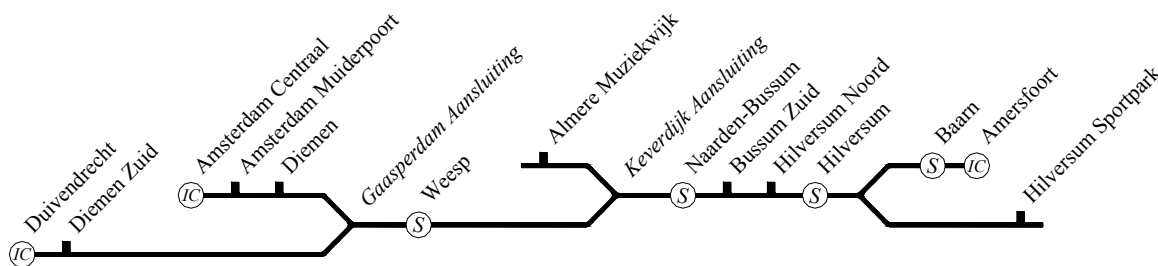
Delft, november 2005

H.J.J. Wieringa

Samenvatting

De aanleiding voor dit onderzoek is een verwachte groei van het vervoer per spoor met 50% in de komende twee decennia. Met de huidige intensieve benutting van het Nederlandse spoorwegnet, roept dit de vraag op of deze situatie wel efficiënt is en of de bestaande capaciteit de verwachte vervoersgroei op kan vangen. Het doel van dit onderzoek is daarom het verkrijgen van inzicht in de capaciteitsbenutting en de mogelijkheden tot verbetering. Als case is hiervoor de Gooilijn gekozen omdat hier relatief veel vertragingen voorkomen.

De onderzoeksvraag die in dit rapport wordt beantwoord luidt als volgt. In hoeverre wordt de capaciteit van de Gooilijn (2004) benut, waar treden conflicten op en wat zijn de wachttijden? En in welke oplossingsrichtingen kan tot een verbetering worden gekomen? Door middel van een statistische analyse van de gerealiseerde treinenloop met het programma TNV-Prepare en een analytische berekening van de capaciteitsbenutting met het programma ANKE, is het benodigde inzicht verkregen om tot het antwoord te komen op de onderzoeksvraag. Het uiteindelijke resultaat is een voorstel tot verbetering van de capaciteitsbenutting op de Gooilijn.



Figuur i Overzicht van de Gooilijn (Amsterdam Centraal - Amersfoort) inclusief de aansluitingen

Het onderzoeksgebied betreft de Gooilijn van Amsterdam Centraal naar Amersfoort inclusief de aansluitingen in de richtingen Schiphol, Almere en Utrecht. De hoogste treinintensiteit wordt gehaald op het dubbelsporige baanvak tussen Keverdijk Aansluiting en emplacement Hilversum. Op dit deel, aangeduid met kerntraject, is het onderzoek verder toegespitst. In de spits rijden hier elk uur 10 passagierstreinen in beide richtingen, een aantal goederentreinen en enkele internationale treinen. In de statistische analyse is de dienstuitvoering van maart 2004 onder de loep genomen.

De huidige Nederlandse dienstuitvoering wordt geregistreerd in logbestanden door middel van het treinnummer volgsysteem (TNV). Dit systeem registreert seinstanden en bezettings- en ontruimingstijden van spoorsecties. Met het aan de TU Delft ontwikkelde programma TNV-Prepare kunnen deze logbestanden verder verwerkt worden zodat per trein de rijwegen plus de doorkomsttijden kunnen worden bepaald.

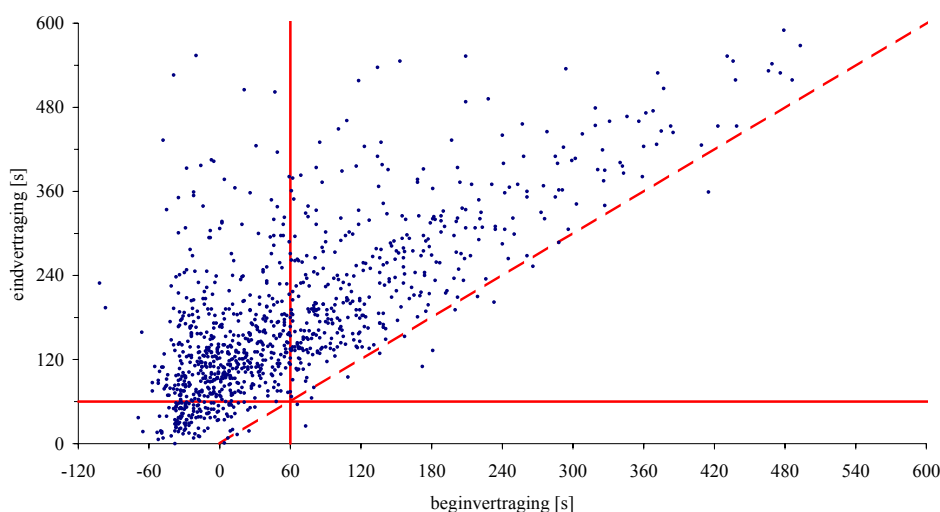
1-MAR-200410:26:376NDB\$72 S
 1-MAR-200410:26:375NDB\$55BT B
 1-MAR-200410:26:3714928 NDB 934.0 NDB 921S.0
 1-MAR-200410:26:387NDB\$39 L
 1-MAR-200410:26:385AMF\$97T V
 1-MAR-200410:26:416NDB\$50 G

Datum	TreinNr	Drg	Drg	A42T	A42T	A42T	901S.0
		Aankomst	Vertrek	VRIJ	BEZET	VRIJ	
2004-3-2	4921	07:32	07:32	07:23:03	07:30:54	07:32:53	07:30:54
2004-3-2	4923	08:02	08:02	07:53:02	08:00:15	08:02:40	08:00:15
2004-3-2	4925	08:32	08:32	08:22:57	08:30:05	08:32:55	08:30:05
2004-3-2	4927	09:02	09:02	08:55:39	09:02:00	09:03:55	09:02:00
2004-3-2	4929	09:32	09:32	09:24:40	09:30:54	09:33:03	09:30:54
2004-3-2	4931	10:02	10:02	09:54:57	10:00:36	10:02:35	10:00:36

Figuur ii Van een logbestand naar een tabel met doorkomsttijden per trein in TNV-Prepare

Aan de hand van de doorkomsttijden zijn de vertragingen per trein bepaald op de grenzen van het kerntraject. In de richting Amersfoort hebben de treinen een gemiddelde beginvertraging van 50 s en neemt de vertraging per trein gemiddeld met 76 s toe over het kerntraject. Van deze treinen heeft 27,7% een beginvertraging van 60 s of meer. In de richting Amsterdam hebben de treinen een gemiddelde beginvertraging van 87 s en neemt de vertraging per trein gemiddeld met 48 s toe over het kerntraject. Van deze treinen heeft 51,1% een beginvertraging van 60 s of meer.

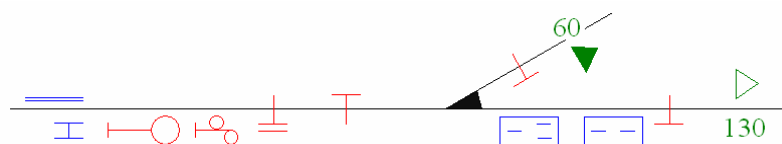
Belangrijkste conclusie uit de analyse met TNV-Prepare is dat tussen beide richtingen een verschil is in de vertragingsoptimalisatie. Mede uit de vertragingverdelingen van de afzonderlijke treinseries en een regressieanalyse blijkt dat er ook per richting duidelijke verschillen zijn tussen de verschillende treinseries onderling.



Figuur iii Vertragingverdeling voor een treinserie als resultaat van de analyse met TNV-Prepare

Het aan de RWTH Aachen ontwikkelde model is bekend als het empirische kansmodel van Schwanhäußer en is gebaseerd op de wachtrijtheorie. Met het model is het mogelijk een uitdrukking te verkrijgen van het verwachte verlies in de verplaatsingstijd als gevolg van oponthoud (wachten), de zogeheten wachttijd. Het aandeel van de wachttijd in de totale voor de dienstuitvoering beschikbare tijd, wordt de lengte van de wachtrij genoemd. Deze wachtrijlengte wordt gedeeld door de (op het Duitse spoorwegnet toegespitste) aanvaardbare lengte van de wachtrij. Zo ontstaat de kwaliteitsindex q_B . Deze geeft per rijwegknoop een indicatie belasting en de kwaliteit van de dienstuitvoering.

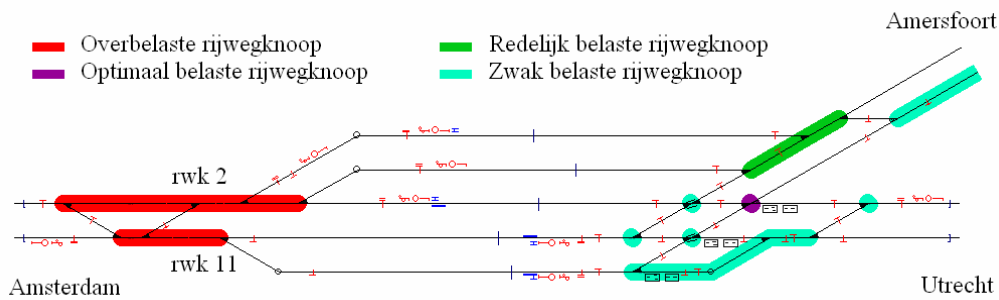
Geïntegreerd in het computerprogramma ANKE kan het model ook in de praktijk worden toegepast. Het programma geeft gebaseerd op de wachttijden per rijwegknoop een kwaliteitsbeoordeling aan de dienstuitvoering, gegeven de infrastructuur (SPURPLAN), de dienstregeling en een initiële verstoring. Voor de modellering zijn de infrastructuur en de dienstregeling van maart 2004 ingevoerd. De initiële verstoring komt voort uit de analyse met TNV-Prepare. De rijwegknopen worden zelf door het programma aangemaakt en kunnen maar door één trein tegelijkertijd worden bereden.



Figuur iv Spoorlayout in SPURPLAN en ANKE

Met behulp van ANKE zijn eerst de rijtijden geanalyseerd. Voortvloeiend uit de berekende bloktijden zijn ook de opvolgtijden, buffertijden en baanvakbelastingen geanalyseerd. Belangrijkste conclusies zijn dat voor de intercity's richting Amersfoort de geplande rijtijd korter is dan de rijtijd in ANKE. Voor de sneltrein en de stoptrein richting Amsterdam zijn de rijtijden bij benadering gelijk. De vertragingen met name voor deze treinseries worden veroorzaakt door tekort aan buffertijd en rijtijdmargin. Verder is de baanvakbelasting in de richting Amsterdam met 77,3% duidelijk hoger dan in de richting Amersfoort met 64,6%

De capaciteitsberekening in ANKE laat zien dat alle 9 rijwegknopen op het kerntraject overbelast zijn. Overbelast betekent hier dat de lengte van de wachtrij meer dan 1,5 keer de aanvaardbare lengte is, oftewel $q_B > 1,5$. De rijwegknoop op de kruising van het treinverkeer van Utrecht en naar Amersfoort aan de oostkant van emplacement Hilversum is tegen de verwachting in optimaal belast. Uitschieters in negatieve zin zijn de rijwegknopen 2 en 11 aan de westkant van Hilversum. Het onderzoek is verder toegespitst op het achterhalen van de oorzaak van de overbelasting en de mogelijke verbeteringen met specifieke aandacht voor de rijwegknopen (RWK) 2 en 11.



Figuur v Rijwegknoopen op emplacement Hilversum; de belasting is aangegeven

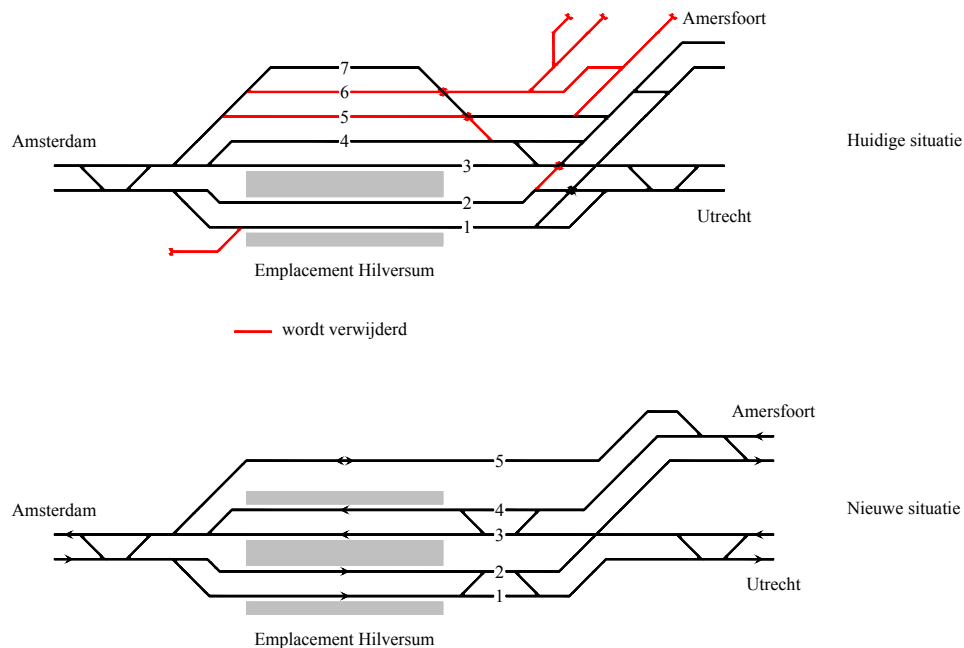
Om te achterhalen waardoor de wachttijden op de rijwegknoopen op het kerntraject zijn ontstaan, zijn de treinprestaties op emplacement Hilversum op blokniveau geanalyseerd. De gerealiseerde rijtijden, snelheden en bloktijden zijn hierbij vergeleken met de uitkomsten uit ANKE. Belangrijkste conclusie hieruit is dat de rijtijden deels aan de lange kant zijn waardoor ook de bloktijden en opvolgtijden langer zijn dan gewenst. Oorzaak hiervan zijn lange blokken gecombineerd met lage snelheden en lange halteertijden.

Om een betere capaciteitsbenutting te realiseren, zijn op basis van de analyse van de treinprestaties vier mogelijkheden tot verbetering ontwikkeld en uitgewerkt met als doel het verkorten van de minimale opvolgtijd over het kerntraject.

- **Aanpassen van de perronindeling.** In de richting Amsterdam krijgt station Hilversum een extra perron zodat niet alle treinen meer hoeven te halteren langs één perron.
- **Optimaliseren van de snelheid.** Door het aanpassen van de boogstralen, de verkantingen en de wissels en kruisingen op emplacement Hilversum, kunnen de doorgaande treinen met 80 in plaats van 40 km/h rijden.
- **Optimaliseren van de bloklengtes.** Door het aanpassen van de bloklengtes aan de snelheden en remcurves van de treinen is de minimale opvolgtijd over het kerntraject verkort.
- **Afstemming van de halteertijden.** Alle halteertijden op het kerntraject worden teruggebracht naar een minimum van 30 seconden.

Deze mogelijkheden tot verbetering zijn afzonderlijk en in verschillende combinaties getoetst met ANKE. Indien het budget beperkt is, is het optimaliseren van de bloklengtes de beste keuze. De rijwegknoopen in de richting Amsterdam worden nu optimaal belast. De rijwegknoopen in de richting Amersfoort zijn ook verbeterd, maar nog steeds overbelast. De optimale capaciteitsbenutting wordt gerealiseerd bij een combinatie van alle mogelijkheden tot verbetering. In dit geval zijn alle rijwegknoopen op het kerntraject goed tot optimaal belast.

Het voorstel tot verbetering van de capaciteitsbenutting op de Gooilijn bevat alle afzonderlijke mogelijkheden tot verbetering. De overbodige sporen en wissels worden verwijderd wat tevens scheelt in het onderhoud en het aantal storingen. Lang spoor 4 kan nu ook gehalteerd worden en dat zorgt samen met aanpassingen aan de spoorlay-out voor een robuuster netwerk. De baanvakbelastingen zijn in deze situatie 55,8% in de richting Amersfoort en 56,3% in de richting Amsterdam.



Figuur vi Huidige en nieuwe situatie op emplacement Hilversum

Conclusie is dat met behulp van de programma's TNV-Prepare en ANKE samen, op een doelgerichte manier inzicht wordt verkregen in de capaciteitsbenutting van een (deel van een) traject en de eventuele mogelijkheden tot verbetering. De statistische analyse van de gerealiseerde treinenloop in combinatie met de analytische berekening van de capaciteitsbenutting, maakt het mogelijk een gedetailleerd overzicht te geven van de knelpunten en de oorzaken daarvan. De mogelijkheden tot verbetering kunnen daarna kwalitatief goed met elkaar worden vergeleken om tot een voorstel te komen. Het doel van het onderzoek is hiermee bereikt.

In een mogelijk vervolgonderzoek is het aan te bevelen de herkomst en functie van de parameters in het model te bepalen en aan te passen aan de Nederlandse situatie. De uitkomsten van de capaciteitsberekeningen in ANKE kunnen nu slechts relatief geïnterpreteerd worden. Daarvoor moet echter wel een maatstaf voor vertragingen en wachttijden op het Nederlandse spoorwegnet worden opgesteld. Daarnaast verdient het de aanbeveling om de invloed van tractie-energie te onderzoeken.

Inhoud

Voorwoord	i
Samenvatting.....	iii
Lijst van Tabellen en Figuren.....	xi

1 Inleiding

1.1 Aanleiding van het onderzoek	1
1.2 Richting van het onderzoek	2
1.3 Randvoorwaarden en uitgangspunten.....	3
1.4 Werkwijze tijdens het onderzoek	3

2 Analyse van de situatie d.d. maart 2004

2.1 Definitie van het onderzoeksgebied	5
2.2 Inventarisatie van de dienstregeling	6
2.3 Analyse van de dienstregeling.....	8

3 Analyse van de dienstuitvoering met TNV-Prepare

3.1 Beveiliging van de treindienst	13
3.2 Treinnummer volgsysteem (TNV)	15
3.3 Het programma TNV-Prepare	16
3.4 Analyse van de TNV-data	18
3.5 Conclusie	26

4 Analyse van de capaciteitsbenutting met ANKE

4.1 Opbouw van de verplaatsingstijd	27
4.2 Bloktijden bij vaste bloksignalering	28
4.3 Modelleren van knooppunten op het spoornetwerk	31
4.4 Het model van de RWTH Aachen	32
4.5 Modelleren van de Gooilijn in SPURPLAN en ANKE	35
4.6 Analyse van de rijtijden in ANKE.....	40
4.7 Berekening van de bloktijden	42
4.8 Berekening van de capaciteitsbenutting	49
4.9 Conclusie	51

5 Voorstel tot verbetering van de capaciteitsbenutting

5.1	Analyse van de treinprestaties op emplacement Hilversum	53
5.2	Verbeteringsmogelijkheden voor de huidige situatie	63
5.3	Toetsing van de verbeteringsmogelijkheden met ANKE	70
5.4	Voorstel tot verbetering van de huidige situatie	75

6 Conclusies en Aanbevelingen

6.1	Conclusies	79
6.2	Aanbevelingen.....	80

Bronvermelding

Index

Bijlage I	Overzichtskaart onderzoeksgebied
Bijlage II	Overzicht van de treindienst op de Gooilijn
Bijlage III	Exploitatie en beheer van spoorinfrastructuur
Bijlage IV	Basisuurpatroon Amsterdam Centraal - Amersfoort
Bijlage V	Vertragingsverdelingen
Bijlage VI	Materieeloverzicht
Bijlage VII	Materieelkarakteristieken
Bijlage VIII	Bloktrapdiagrammen op het kerntraject
Bijlage IX	Afstand-snelheidsdiagrammen
Bijlage X	Bloktrapdiagrammen in de nieuwe situatie
Bijlage XI	Tekeningen (1:1000) huidige en nieuwe situatie

Lijst van Tabellen en Figuren

Tabel 2-1	Traject en frequentie van de treindiensten op de Gooilijn tijdens de spits
Tabel 2-2	Mogelijk conflicterende treincombinaties op het kerntraject in de richting Amersfoort
Tabel 2-3	Mogelijk conflicterende treincombinaties op het kerntraject in de richting Amsterdam
Tabel 3-1	Gemiddelde vertragingen [s] per treinserie op de grenzen van het kerntraject
Tabel 3-2	Gemiddelde vertragingen [s] per treinserie indien de beginvertraging = 60s
Tabel 3-3	Regressie-coëfficiënten in $Y = \alpha \cdot X + \beta$ met X als beginvertraging en Y als eindvertraging
Tabel 4-1	Indicatie van de belasting en de kwaliteit afhankelijk van de index q_B volgens [Schwanhäuser, 1994]
Tabel 4-2	Eigenschappen van het gebruikte materieel per treinserie in ANKE
Tabel 4-3	Gemodelleerde goederentreindiensten op de Gooilijn
Tabel 4-4	Gemiddelde beginvertraging (t_{Vm}) met bijbehorende kans (p_{Ve}) aan de randen van het onderzoeksgebied en het kerntraject
Tabel 4-5	Geplande rijtijden, rijtijden in ANKE en planmatige wachttijden (als percentage van de rijtijden in ANKE) in het onderzoeksgebied
Tabel 4-6	Geplande rijtijden, rijtijden in ANKE en planmatige wachttijden (als percentage van de rijtijd in ANKE) op het kerntraject
Tabel 4-7	Gerealiseerde gemiddelde rijtijden, toename van de vertragingen en de eindvertragingen in beide richtingen op het kerntraject
Tabel 4-8	Bloktijden van de series 5700 en 700 / 20700 op het kerntraject richting Amersfoort
Tabel 4-9	Baanvakbelastingen op het kerntraject
Tabel 4-10	Buffertijden [s] bij opvolggevallen in de richting Amersfoort
Tabel 4-11	Buffertijden [s] bij opvolggevallen in de richting Amsterdam
Tabel 4-12	Vertragingen en buffertijden bij opvolggevallen in de richting Amersfoort
Tabel 4-13	Vertragingen en buffertijden bij opvolggevallen in de richting Amsterdam
Tabel 4-14	Zwaarst belaste rijwegknopen (RWK) op het kerntraject bij de capaciteitsberekening
Tabel 5-1	Wachttijden per treinserie per dag in minuten en in procent ten opzichte van het totaal en de wachttijd per trein op de zwaarst belaste rijwegknopen 2 en 11
Tabel 5-2	Gerealiseerde gemiddelde en minimale rijtijd en de rijtijd in ANKE over blok 1, 2 en 3 in de richting Amersfoort
Tabel 5-3	Gerealiseerde gemiddelde en minimale rijtijd en de rijtijd in ANKE over blok 1, 2 en 3 in de richting Amsterdam
Tabel 5-4	Huidige bloklengtes en gewenste bloklengtes bij een bloktijd van 80 - 100 s en de gemiddelde snelheid over de blokken uit ANKE (in beide richtingen)

Tabel 5-5	Geplande en minimale opvolgtijden in de dienstregeling en gerealiseerde opvolgtijden in het maatgevende blok bij verschillende opvolgevalen
Tabel 5-6	Problemen die de oorzaak zijn van wachttijden op de rijwegknopen 2 en 11 en de maatregelen die mogelijk tot verbetering leiden
Tabel 5-7	Zwaarst belaste rijwegknopen (RWK) op het kerntraject bij de capaciteitsberekening met de huidige situatie, de aangepaste perronindeling, geoptimaliseerde snelheden (infra), geoptimaliseerde bloklengtes en afgestemde halte- en vertrektijden (dienst)
Tabel 5-8	Baanvakbelastingen op het kerntraject bij het voorstel tot verbetering
Figuur i	Overzicht van de Gooilijn (Amsterdam Centraal - Amersfoort) inclusief de aansluitingen
Figuur ii	Van een logbestand naar een tabel met doorkomsttijden per trein in TNV-Prepare
Figuur iii	Vertragsverdeling voor een treinserie als resultaat van de analyse met TNV-Prepare
Figuur iv	Spoorlayout in SPURPLAN en ANKE
Figuur v	Rijwegknopen op emplacement Hilversum; de belasting is aangegeven
Figuur vi	Huidige en nieuwe situatie op emplacement Hilversum
Figuur 1-1	Kosten per treinkilometer als functie van de benutting bij 70% meersporigheid [Nyfer, 2002]
Figuur 1-2	Hoofdwerkzaamheden gedurende het onderzoek
Figuur 2-1	Schematische weergave van de spoorlijnen in het onderzoeksgebied
Figuur 2-2	Schematische weergave van de treindiensten op de Gooilijn inclusief aansluitingen
Figuur 2-3	Spoorlay-out Gooiboog (Keverdijk Aansluiting)
Figuur 2-4	Spoorlay-out station Naarden-Bussum
Figuur 2-5	Spoorlay-out stations Bussum Zuid en Hilversum Noord plus Crailoo
Figuur 2-6	Spoorlay-out station Hilversum
Figuur 3-1	Voorbeeldsituatie waarbij beveiliging van de treindienst noodzakelijk is; de remafstand bij 120 km/h is groter dan de zichtafstand
Figuur 3-2	Voorbeeld van vaste bloksignalering op het hoofdnet met het voorsein geïntegreerd in het hoofdsein
Figuur 3-3	Voorbeeld van mogelijke vensterverplaatsingen op een stukje netwerk met bijbehorende secties, seinen en ES-lassen
Figuur 3-4	Voorbeeld van een stukje logbestand in TNV-Prepare
Figuur 3-5	Voorbeeld van een stukje tabel in TNV-View
Figuur 3-6	Vertragsverdeling van alle serie 5700 treinen richting Amsterdam
Figuur 3-7	Vertragsverdeling van alle serie 21600 treinen richting Amsterdam
Figuur 3-8	Histogram van de toename van de vertraging [s] van serie 5700 richting Amsterdam
Figuur 3-9	Histogram van de toename van de vertraging [s] van serie 21600 richting Amsterdam
Figuur 3-10	Regressielijn $Y = 0,92 \cdot X + 125$ voor serie 5700 richting Amsterdam
Figuur 3-11	Regressielijn $Y = 1,05 \cdot X - 18$ voor serie 21600 richting Amsterdam

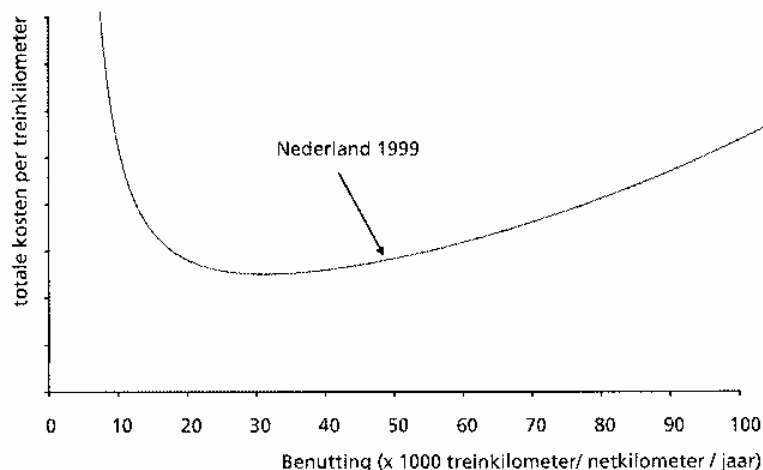
- Figuur 4-1** Opbouw van de gerealiseerde verplaatsingstijd naar [Hertel,1994; de Kort, 1996]
- Figuur 4-2** Bloktijd in een tijd-afstanddiagram bij vaste bloksignalering
- Figuur 4-3** Bloktrapdiagram met minimale opvolgtijd en buffertijd bij vaste bloksignalering
- Figuur 4-4** Elementaire knooppunten in een spoornetwerk; een deel van de vrije baan (a), een vertakking (b), een samenvoeging (c) en een kruising (d)
- Figuur 4-5** Complexe knoop met 4 RWK's
- Figuur 4-6** Spoorlay-out in de module SPURPLAN
- Figuur 4-7** Vereenvoudiging infrastructuur op Amsterdam Centraal; de onderbroken lijnen kunnen worden weggelaten
- Figuur 4-8** Blokindeling op het kerntraject in de richting Amersfoort
- Figuur 4-9** Bloktrapdiagram van de series 5700, 700 en 20700 inclusief opvolgtijden en buffertijden op het kerntraject in de richting Amersfoort
- Figuur 4-10** Bloktrapdiagram van de series 5700, 700 en 20700 inclusief minimale opvolgtijden op het kerntraject in de richting Amersfoort
- Figuur 4-11** Grafische representatie van de belastings- en kwaliteitsindicatie van de rijwegknopen (RWK's) op emplacement Hilversum
- Figuur 4-12** Locatie van de zwaarst belaste rijwegknopen (RWK) op de Gooilijn
-
- Figuur 5-1** Locatie van de rijwegknopen 2 en 11 op emplacement Hilversum
- Figuur 5-2** Schematische weergave van de blokindeling in de richting Amersfoort
- Figuur 5-3** Schematische weergave van de blokindeling in de richting Amsterdam
- Figuur 5-4** Maximumsnelheden over de blokken in de richting Amersfoort
- Figuur 5-5** Maximumsnelheden over de blokken in de richting Amsterdam
- Figuur 5-6** Verdeling van de gemiddelde snelheden van serie 5800 over blok 3 na station Hilversum in de richting Amsterdam
- Figuur 5-7** Afstand-snelheiddiagrammen van de series 5700 en 5800 op het kerntraject in de richting Amsterdam
- Figuur 5-8** Huidige situatie op emplacement Hilversum en de nieuwe situatie waar een derde perron op de plaats komt van de huidige sporen 5 en 6
- Figuur 5-9** Huidige situatie op emplacement Hilversum en de nieuwe situatie waar de sporen 5 en 6 plus de niet gebruikte sporen zijn verwijderd en waar tevens de wissels zijn aangepast
- Figuur 5-10** Huidige en nieuwe bloklengtes rond station Hilversum in de richting Amersfoort
- Figuur 5-11** Huidige en nieuwe bloklengtes rond station Hilversum in de richting Amsterdam
- Figuur 5-12** Voorbeeldsituatie waarbij de snelheid van de trein eerst verlaagd wordt van 130 naar 80 km/h om vervolgens op tijd voor het rode sein tot stilstand te kunnen komen
- Figuur 5-13** Kwaliteit (index qB) van de rijwegknopen van de afzonderlijke mogelijkheden tot verbetering
- Figuur 5-14** Kwaliteit (index qB) van de rijwegknopen van combinaties van mogelijkheden tot verbetering

1 Inleiding

1.1 Aanleiding van het onderzoek

Het Nederlandse spoorwegnet is één van de meest intensief benutte netwerken in de wereld.¹ Jaarlijks worden bijna 50.000 treinkilometers gereden per netkilometer. Deze prestatie komt bijna volledig voor rekening van het personenvervoer. Bevolkingsdichtheid en welvaart kunnen de intensieve benutting deels verklaren, maar de verklaring ligt eerder in de beperkte omvang van het netwerk. Per inwoner heeft Nederland een van de kleinste netten van de OESO.² Op zichzelf is deze hoge benutting een mooie prestatie. Inzichten in de economie en empirische wetenschap roepen echter de vraag op of deze situatie wel efficiënt is. Met een verwachte groei van het vervoer per spoor van 50% in de komende twee decennia is het bovendien de vraag in hoeverre en tegen welke prijs de benutting nog kan toenemen.

De voornaamste conclusie uit een verrichte studie [NYFER, 2002] is dat de gemiddelde kosten per treinkilometer aanvankelijk afnemen, maar na een bepaald niveau van benutting weer toenemen. Voor het Nederlandse netwerk zijn de kosten minimaal bij een optimale benutting tussen de 25.000 en 40.000 treinkilometers per netkilometer per jaar, zie Figuur 1-1. De gerealiseerde 50.000 km betekent een stijging van de operationele kosten met $\pm 10\%$ ten opzichte van het optimum.



Figuur 1-1 Kosten per treinkilometer als functie van de benutting bij 70% meersporigheid [Nyfer, 2002]

¹ Grenzen aan benutting, NYFER, mei 2002

² Organisatie voor Economische Samenwerking en Ontwikkeling

1.2 Richting van het onderzoek

Drie mogelijke scenario's om de verwachte vervoersgroei op te vangen zijn: benutten, bouwen en alternatieve technieken en vervoersconcepten. Dit rapport spitst zich toe op het optimaal benutten van de capaciteit en daarbij tevens het minimaliseren van de congestie-effecten. Binnen het optimaliseren van de verkeersafwikkeling kan later altijd nog gedacht worden aan uitbreiding van de bestaande infrastructuur. Dit gaat echter wel gepaard met aanzienlijke investeringskosten.

Bepalend voor de grootte van de netwerkcapaciteit is met name de verkeersprestatie op (grote) spoorwegknooppunten waar treinen uit verschillende richtingen samenkomen en daardoor wederzijdse beperkingen opleggen aan de aankomsttijden en de minimale opvolgtijden. Aan de RWTH Aachen is een analytisch model ontwikkeld dat de kwaliteit van de exploitatie bepaalt, gegeven de infrastructuur, de dienstregeling en een initiële verstoring. Dit model is geïntegreerd in het computerprogramma ANKE, zodat het ook in de praktijk kan worden toegepast. Met het programma is het mogelijk een uitdrukking te verkrijgen van het verwachte verlies in de verplaatsingstijd als gevolg van oponthoud (wachten), de zogeheten wachttijd. Deze wachttijd wordt berekend op basis van de kanstheoretische benaderingsvergelijking van [Schwanhäußer, 1974].

Het treinnummer volgsysteem (TNV) van het Nederlandse spoornetwerk registreert seinstanden en bezettings- en ontruimingstijden van spoorsecties. Met behulp van het aan de TU Delft ontwikkelde programma TNV-Prepare kan hiermee de gerealiseerde treindienst geanalyseerd worden en kunnen zodoende de werkelijke rijtijden en bezettingstijden worden bepaald. Na het invoeren van de spreiding in de treinenloop in ANKE kan dan de capaciteit worden berekend. Samen met de resultaten van een analyse in TNV-Prepare, biedt dit inzicht in de mogelijkheden tot optimalisatie van de capaciteitsbenutting.

In eerder onderzoek [de Keizer, 2003] is de capaciteitsbenutting op spoorwegemplacement Rotterdam Centraal onderzocht. Nu is gekozen voor een traject met een aantal emplacementen, de Gooilijn. Op de Gooilijn komen relatief veel vertragingen voor³ en dat maakt deze lijn geschikt voor nader onderzoek. Van maart 2004 zal de gerealiseerde treinenloop geanalyseerd worden. Deze maand is gekozen omdat er geen werkzaamheden aan het spoor zijn uitgevoerd. Daarnaast zijn er ook geen feestdagen zodat deze maand een goede afspiegeling geeft van de treinenloop onder normale condities.

³ Rover, Vereniging Reizigers Openbaar Vervoer, www.rovernet.nl

Samengevat is het doel inzicht te verkrijgen in de capaciteitsbenutting op de Gooilijn en de mogelijkheden tot verbetering. Het inzicht wordt verkregen door middel van een analytische berekening van de capaciteitsbenutting en een statistische analyse van de gerealiseerde treinenloop. Het voorgaande leidt tot de volgende formulering van de onderzoeksvraag.

Onderzoeksvraag

In hoeverre wordt de capaciteit van de Gooilijn (2004) benut, waar treden conflicten op en wat zijn de wachttijden? En in welke oplossingsrichtingen kan tot een verbetering worden gekomen?

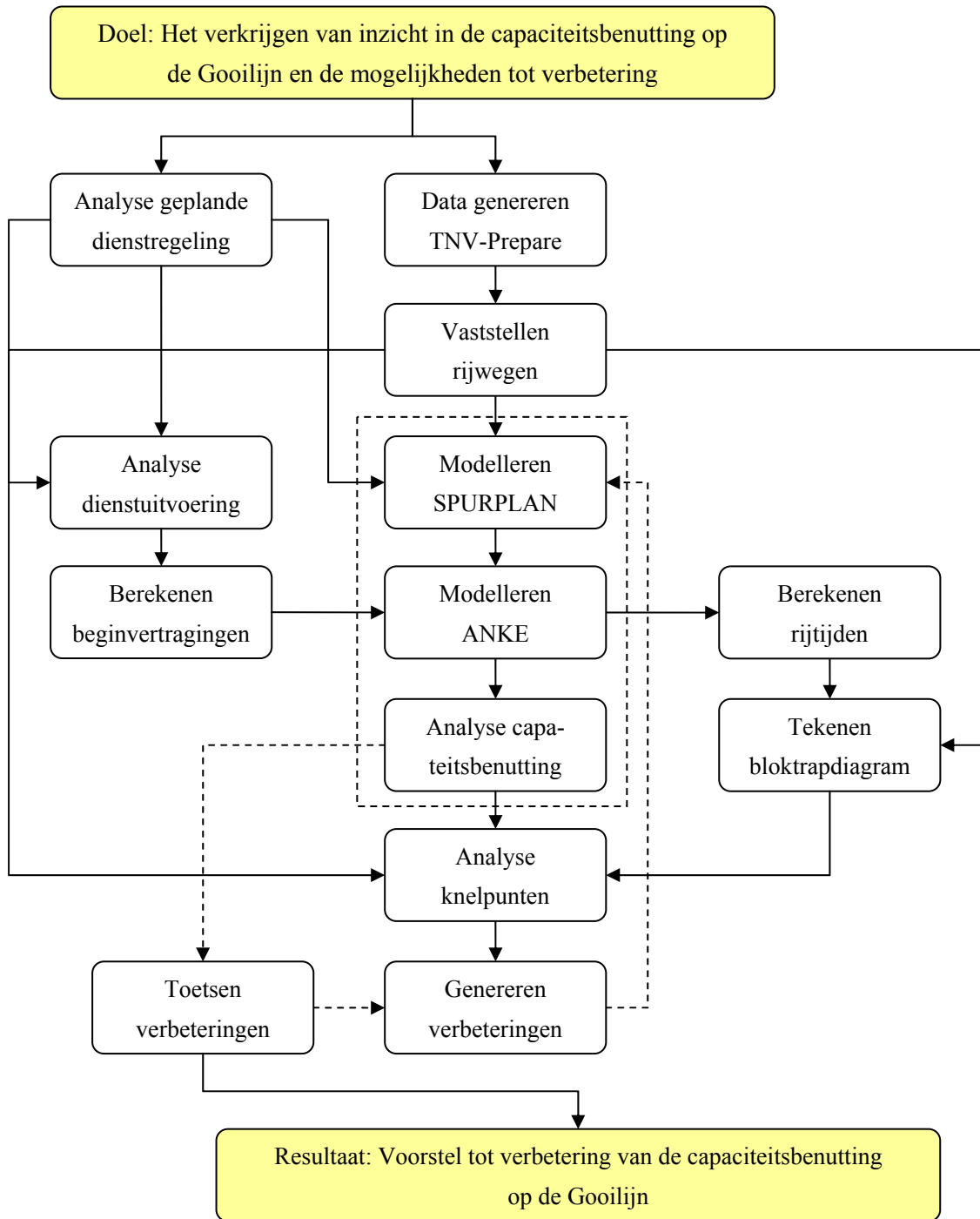
1.3 Randvoorwaarden en uitgangspunten

Voor een heldere definitie van het onderzoeksgebied en een eenduidige interpretatie van gegevens is onderstaand een aantal randvoorwaarden en uitgangspunten opgesteld.

- Het onderzoeksgebied is beperkt tot de Gooilijn (Amsterdam - Amersfoort) inclusief de aansluitingen op andere lijnen (naar Schiphol, Almere en Utrecht)
- Kleine raccordementen worden als niet maatgevend beschouwd en verwaarloosd
- Er wordt uitgegaan van de dienstregeling van maart 2004
- Alleen de treinen die rijden over het dubbelsporige baanvak tussen Keverdijk Aansluiting en emplacement Hilversum zullen worden meegenomen in het onderzoek
- Goederentreinen worden niet meegenomen in de statistische analyse, maar worden wel ingevoerd in de analytische berekening
- Per treinserie wordt het maatgevende type materieel gebruikt
- Per treinserie wordt alleen de maatgevende rijweg gebruikt
- De treinen kunnen onder alle omstandigheden maximaal versnellen en afremmen

1.4 Werkwijze tijdens het onderzoek

Om tot een antwoord te komen op de onderzoeksvraag zal het proces tot optimalisatie stapsgewijs worden doorlopen in de voortgang van dit rapport. In de vorm van een relatie-diagram is kort uiteengezet welke hoofdwerkzaamheden kunnen worden onderscheiden, zie Figuur 1-2. In deze volgorde zal de verslaglegging ook geschieden.



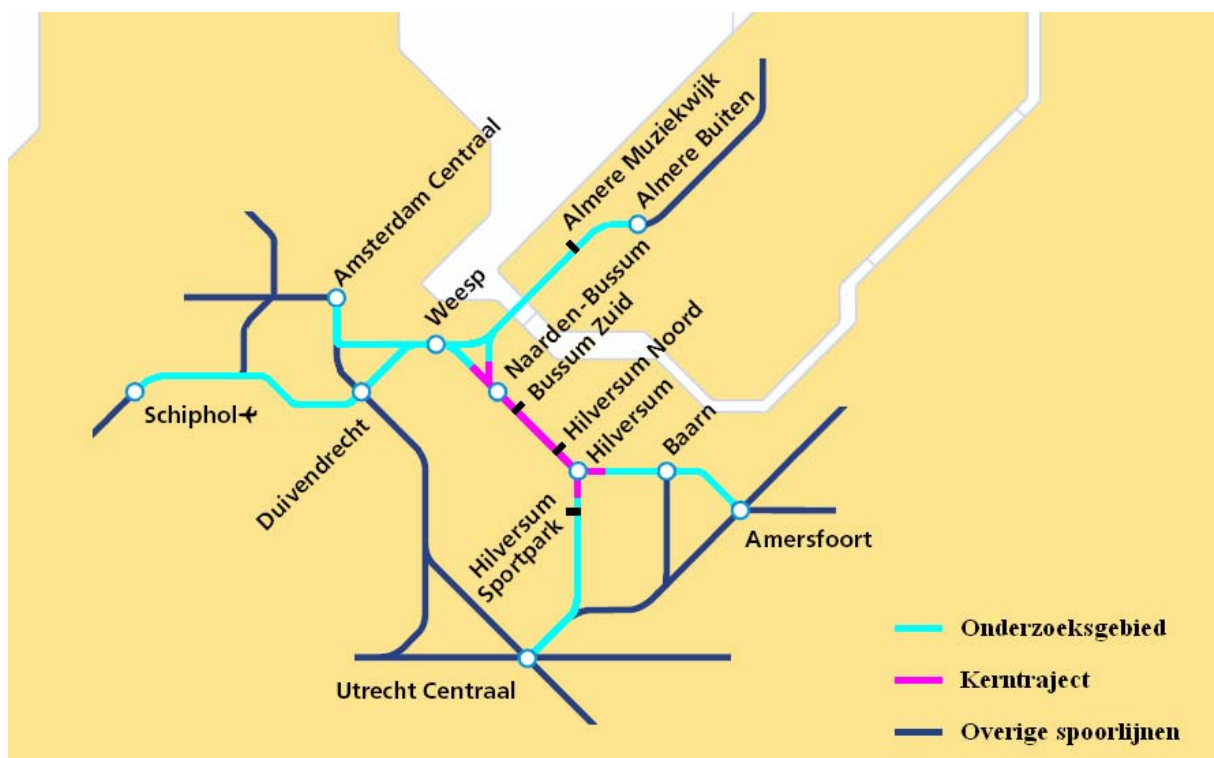
Figuur 1-2 Hoofdwerkzaamheden gedurende het onderzoek

2 Analyse van de situatie d.d. maart 2004

Het begin van het onderzoek betreft een analyse van de situatie in maart 2004. In dit hoofdstuk komen het onderzoeksgebied, de dienstregeling en een analyse van de dienstregeling aan bod. Het doel van deze analyse is te bepalen wat mogelijk zou kunnen leiden tot vertraging van de treinen. Door dit als eerste te doen, wordt de denkwijze (nog) niet beïnvloed door gerealiseerde vertragingen.

2.1 Definitie van het onderzoeksgebied

De Gooilijn loopt van Amsterdam Centraal naar Amersfoort. Ten westen van Weesp bevindt zich de aftakking in de richting Schiphol en ten oosten de aftakking naar Almere, de Flevolijn genaamd. Sinds 14 december 2003 is de Gooiboog tussen de Flevolijn en de Gooilijn in gebruik. Deze spoorverbinding geeft Almere aansluiting in de richting van Hilversum. Ten oosten van Hilversum vertakt het spoor zich in de richtingen Utrecht Centraal en Amersfoort. Figuur 2-1 is een schematische weergave van de spoorlijnen. In Bijlage I is een overzichtskarta van het onderzoeksgebied opgenomen.



Figuur 2-1 Schematische weergave van de spoorlijnen in het onderzoeksgebied

De punctualiteit op de Gooilijn is van een zeer laag niveau.⁴ Dit was al het geval voor het in gebruik nemen van de Gooiboog en door de zwaardere bezetting zal dit waarschijnlijk niet verbeteren. Nader onderzoek doet vermoeden dat de vertragingen vooral ontstaan op het traject Weesp - Hilversum. Hier is slechts 1 spoor in beide richtingen beschikbaar voor het treinverkeer. Het onderzoek zal verder worden toegespitst op dit gedeelte van het traject. Het gebied waar de capaciteit wordt onderzocht loopt dan van de aansluiting van de Gooiboog op de Gooilijn (Keverdijk Aansluiting) tot en met de splitsing in de richtingen Utrecht en Amersfoort na het emplacement van station Hilversum. In het vervolg van dit rapport zal dit deel worden aangegeven met kerntraject (zie ook Figuur 2-1).

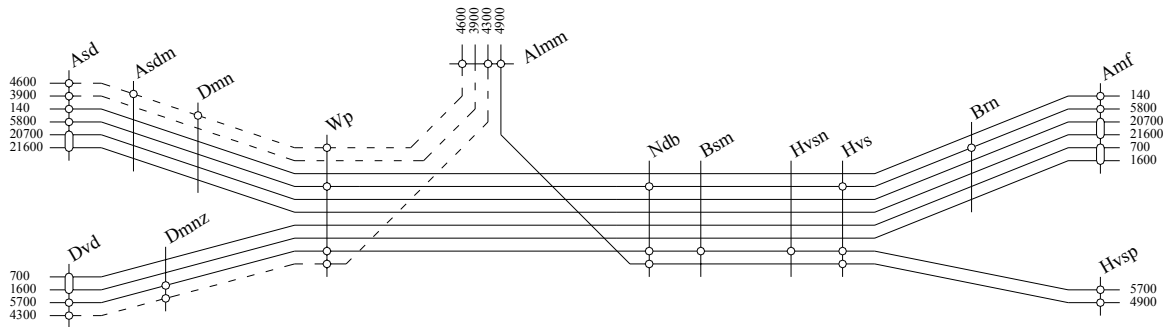
2.2 Inventarisatie van de dienstregeling

De NS biedt diverse treindiensten aan over dit traject, van internationaal tot regionaal. De dienstregeling is gedurende de dag echter niet elk uur hetzelfde. Daarom wordt onderscheid gemaakt tussen drie perioden; de spits, overdag en 's avonds en in het weekend. Voor de analyse is het vooral interessant om naar de spitsperiode te kijken, gemiddeld komen dan de meeste vertragingen voor. De treinintensiteit op de trajecten is dan ook het hoogst. Daarom wordt in het vervolg van dit hoofdstuk extra aandacht besteed aan de ochtendspits (van 06.00 tot 10.00) en de avondspits (van 16.00 tot 19.00). Voor het uitzoeken van de dienstregeling is gebruik gemaakt van het spoorboekje geldig van 14 december 2003 t/m 11 december 2004.

In de spits rijden tussen de stations Naarden-Bussum en Hilversum 10 treinen per uur in beide richtingen. Vanuit de richting Weesp komen 4 intercity's, 2 sneltreinen en 2 stoptreinen samen met 2 stoptreinen uit Almere voor station Naarden-Bussum. Na station Hilversum splitsen ze zich weer en gaan de 4 stoptreinen richting Utrecht en de 2 sneltreinen en 4 intercity's richting Amersfoort. Verder rijden er nog 4 internationale treinen (van en naar Berlijn) per dag in beide richtingen tussen Amsterdam Centraal en Amersfoort. Opmerkelijk is dat buiten de spits, op een enkele uitzondering aan het begin of het einde van de dag na, alleen de stoptrein van Utrecht Centraal naar Almere (4900) minder frequent rijdt.

In Figuur 2-2 zijn de lijnen schematisch weergegeven. Een bolletje geeft aan dat de treinserie op het betreffende station halteert. De intercitykoppels 700/20700 en 1600/21600 worden te Amersfoort gekoppeld en rijden verder als één trein. In omgekeerde richting worden de treinen gesplitst in Amersfoort. De ovale rondjes geven aan dat deze treinseries samen een halfuursdienst leveren. Voor de stationsnamen zijn de geografische verkortingen gebruikt; deze zijn samen met een overzicht van de Gooilijn opgenomen in Bijlage II. Tijdens het lezen kan deze pagina worden uitgeklapt.

⁴ Rover, Vereniging Reizigers Openbaar Vervoer, www.rovernet.nl



Figuur 2-2 Schematische weergave van de treindiensten op de Gooilijn inclusief aansluitingen

In Tabel 2-1 zijn de treindiensten tijdens de spits opgenomen.

Type	Serie	Traject	Frequentie
Internationaal	140	Amsterdam Centraal - Hengelo - Berlin	4x per dag
Intercity	700	Schiphol - Amersfoort - Zwolle - Groningen	1x per uur
Intercity	1600	Schiphol - Amersfoort - Deventer - Enschede	1x per uur
Intercity	20700	Amsterdam Centraal - Amersfoort - Zwolle - Groningen	1x per uur
Intercity	21600	Amsterdam Centraal - Amersfoort - Deventer - Enschede	1x per uur
Sneltrein	5800	Amersfoort Schothorst - Amsterdam Centraal - Alkmaar	2x per uur
Stoptrein	4900	Utrecht Centraal - Hilversum - Almere	2x per uur
Stoptrein	5700	Leiden - Schiphol - Hilversum - Utrecht Centraal	2x per uur

Tabel 2-1 Traject en frequentie van de treindiensten op de Gooilijn tijdens de spits

De Gooilijn is ook een route voor het goederenvervoer. Er rijdt een aantal goederentreinen, deels volgens een vast patroon, vanuit de regio Rijnmond en Amsterdam in de richting van Groningen en Twente en vice versa. Deze maken gebruik van twee gereserveerde treinpaden per uur in de dienstregeling tussen de passagierstreinen in. Daarnaast bevindt zich tussen de stations Bussum Zuid en Hilversum Noord de bovenbouwwerkplaats Crailoo met twee aansluitingen. Hier is vindt ook interactie van goederentreinen plaats tussen de hoofdrijbaan en het emplacement.

Om een beeld van de praktijk te krijgen, is een bezoek gebracht aan de treindienstleiding in Amersfoort en is meegereden in de cabine van trein 1625 tijdens de dienstuitvoering. Een gecombineerd verslag van deze bezoeken is opgenomen in Bijlage III.

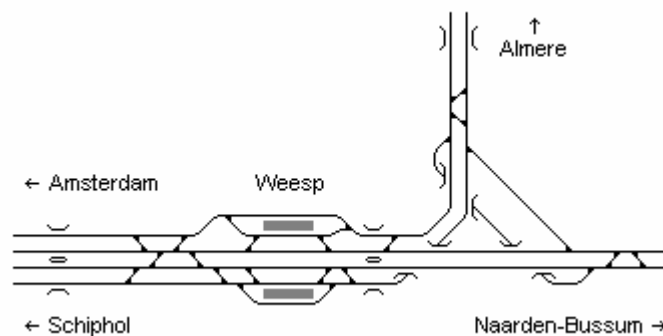
2.3 Analyse van de dienstregeling

Voor de analyse van de dienstregeling zijn alle treinen uit het spoorboekje gefilterd die rijden tussen Naarden-Bussum en Hilversum. De vertrek- en aankomsttijden zijn samen met de onderlinge afstanden verwerkt tot tijd-wegdiagrammen. Ook is gebruik gemaakt van de zogenaamde basisuurpatronen (bup). Hierin zijn alle treinen op een bepaald traject al weergegeven in een tijd-wegdiagram en het aantal beschikbare sporen. In Bijlage IV is het basisuurpatroon opgenomen van het traject Amsterdam Centraal - Amersfoort tijdens de ochtendspits.

Met behulp van de tijd-wegdiagrammen kan een inzicht worden verkregen in wat mogelijk tot (volg)vertraging kan leiden. De opvolgtijden tussen de treinen geven aan in hoeverre een eventuele vertraagde trein bedreigend is voor andere treinen. Specifieke aandachtspunten zijn de Gooiboog (Keverdijk Aansluiting), de stations en de vertakking op het emplacement van Hilversum.

Er dient wel opgemerkt te worden dat er gekeken is naar de geplande aankomst- en vertrektijden volgens de dienstregeling. Verder zijn de treinpaden sterk vereenvoudigd. De aanzetversnellingen en remvertragingen zijn niet weergegeven in de diagrammen. Samen geeft dit dus een ander beeld dan tijdens de dienstuitvoering gerealiseerd zal worden.

Aansluiting van de Gooiboog



Figuur 2-3 Spoorlay-out Gooiboog (Keverdijk Aansluiting)

De sporen vanuit Almere, Naarden-Bussum en Weesp vormen een driehoek bij de aansluiting van de Gooiboog. Het stuk van de driehoek naar Weesp is viersporig, de rest dubbelsporig, zie ook Figuur 2-3. In de richting Amersfoort voegt de stoptrein (4900) vanuit Almere elk half uur in achter de intercity (700/1600) met een geplande opvolgtijd van 2 minuten. Tussentijds moet het wissel nog

omgelegd worden. In de richting Amsterdam rijdt stoptrein 4900 voorop gevolgd door de intercity. Hier is de opvolgtijd 3 minuten.

Station Naarden-Bussum

Op het station Naarden-Bussum (Figuur 2-4) zijn mogelijkheden tot inhalen. Afhankelijk van de prioriteit kan een vertraagde trein hier dus ingehaald worden door de opvolgende trein. Dit is echter niet gepland in de dienstregeling. De treinen volgen elkaar op met een opvolgtijd van 3 tot 7 minuten. In de richting Amersfoort halteren alle treinen op spoor 3, in de andere richting stopt serie 5700 op spoor 1 en 4900 en 5800 op spoor 2. De intercity's passeren het station via spoor 1. Dan moet het wissel omgelegd zijn nadat de stoptrein 4900 het station via spoor 2 heeft uitgereden. De opvolgtijd is hier 3 minuten. Verder heeft de internationale trein richting Amersfoort een opvolgtijd van 3 minuten op de sneltrein. Maar deze opvolgtijd geldt voor het hele kerntraject.



Figuur 2-4 Spoorlay-out station Naarden-Bussum

Stations Bussum Zuid en Hilversum Noord

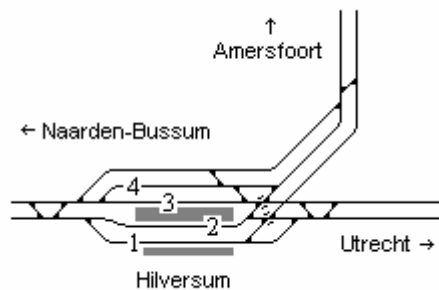
Mogelijkheden tot inhalen zijn er niet voor de treinen op Bussum Zuid en Hilversum Noord. Wel kunnen tussen deze twee stations goederentreinen van de hoofdrijbaan in- en uitvoegen naar het emplacement van de Crailoo, zie Figuur 2-5. Het kan dus voorkomen dat een goederentrein het spoor in de richting Amsterdam kruist. Serie 5700 is verder de enige trein die stopt op deze twee stations. Ter plaatse van Hilversum Noord heeft de intercity een opvolgtijd van 3 minuten op de stoptrein in de richting Amersfoort. In omgekeerde richting rijdt de intercity achter de stoptrein 4900 met een opvolgtijd van 4 minuten.



Figuur 2-5 Spoorlay-out stations Bussum Zuid en Hilversum Noord plus Crailoo

Station Hilversum

Op station Hilversum (Figuur 2-6) hebben de treinen weer mogelijkheden tot inhalen. In de richting Amsterdam heeft de stoptrein 5700 een opvolgtijd van 3 minuten op de intercity. De stoptrein komt echter uit Utrecht en zal halteren op spoor 3. De intercity passeert het station op spoor 4. In dezelfde richting heeft serie 4900 een opvolgtijd van 3 minuten op serie 5800. Deze twee maken wel gebruik van hetzelfde perronspoor. In de richting Amersfoort heeft de intercity 2 minuten opvolgtijd op stoptrein 5700. De stoptrein halteert echter op spoor 1 terwijl de intercity passeert op spoor 2. De sneltrein heeft een opvolgtijd van 3 minuten op stoptrein 4900. Ook hier halteert de stoptrein op spoor 1 en zal de sneltrein halteren op spoor 2.



Figuur 2-6 Spoorlay-out station Hilversum

Een ander punt van aandacht is de kruising van het treinverkeer uit Utrecht met het treinverkeer naar Amersfoort. Deze maken allemaal gebruik van dezelfde kruising. De stoptrein 5700 uit Utrecht heeft een opvolgtijd van 6 minuten op de sneltrein naar Amersfoort en deze trein heeft weer een opvolgtijd van 5 minuten op de stoptrein 4900 uit Utrecht. Deze stoptrein heeft tot slot een opvolgtijd van 6 minuten op de intercity naar Amersfoort.

Verwachte conflicten tijdens de uitvoering

Opvolgtijden zijn afhankelijk van de afstand tussen twee hoofdseinen (bloklengte), de snelheid en de lengte van de trein. Of een opvolgtijd van 3 minuten veel of weinig is, hangt af van genoemde factoren. In dit rapport zal later nog in detail worden ingegaan op het begrip opvolgtijd. Nu is er een benadering van de opvolgtijd gebruikt om uitspraken te kunnen doen over de beschreven situaties. De minimale opvolgafstand is bij onbelemmerde doorgang opgebouwd uit de zichtafstand (350 m), twee keer de gemiddelde bloklengte (op het kerntraject $2 \times 1200 = 2400$ m) en de treinlengte (150 m). In dit geval dus 2900 m. De minimale opvolgtijd bij 130 km/h is dan 1,3 minuut. Voor 80, 60 en 40 km/h is dat respectievelijk 2,2 - 2,9 en 4,4 minuut. De minimale opvolgtijd is dus grotendeels afhankelijk van de bloklengtes en de snelheid van de treinen.

Vergelijken we nu de benaderde opvolgtijden van de treinen die mogelijk conflicterend zijn met de geplande opvolgtijden volgens het basisuurpatroon, dan valt op dat er in Hilversum en bij de Gooiboog minder dan een minuut marge is tussen de geplande en benaderde opvolgtijd. In Tabel 2-2 zijn de mogelijke conflicten in de richting Amersfoort weergegeven.

Serie / type	Opvolger	Locatie	Snelheid	Opvolgtijd	
				Gepland	Minimaal
700 / 1600 ST	4900 ST	Gooiboog	130 km/h	2 min	1,3 min
5700 IC	700 / 1600 IC	Hilversum	60 km/h	2 min	2,9 min*
4900 S	5800 S	Hilversum	60 km/h	3 min	2,9 min*
4900 (ri. Asd) S	5800 S	Kruising	40 km/h	5 min	4,4 min*

Tabel 2-2 Mogelijk conflicterende treincombinaties op het kerntraject in de richting Amersfoort

De mogelijke conflicten in de richting Amsterdam zijn weergegeven in Tabel 2-3.

Serie / type	Opvolger	Locatie	Snelheid	Opvolgtijd	
				Gepland	Minimaal
4900 IC	20700 / 21600 IC	Gooiboog	80 km/h	3 min	2,2 min*
700 / 1600 ST	5700 ST	Hilversum	60 km/h	3 min	2,9 min
5800 ST	4900 ST	Hilversum	40 km/h	3 min	4,4 min

Tabel 2-3 Mogelijk conflicterende treincombinaties op het kerntraject in de richting Amsterdam

De waarden aangeduid met een * zijn in werkelijkheid minder groot. De rijweg voor de opvolgende trein wordt hier eerder vrijgegeven doordat de voorgaande trein de rijweg verlaat via een kruising of wissel. Ook de 4,4 minuut van 4900 na 5800 in de richting Amsterdam is geflatteerd omdat deze twee treinen na elkaar op hetzelfde spoor halteren. Omdat de minimale opvolgtijden benaderd zijn, kan niet gezegd worden hoe groot de kans is op vertraging in de verschillende gevallen. Daarvoor zal later in dit rapport gedetailleerder onderzoek gedaan worden met exacte bloklengtes, treinlengtes en treinsnelheden. Over het algemeen zijn er wel een aantal combinaties met vrij weinig marge.

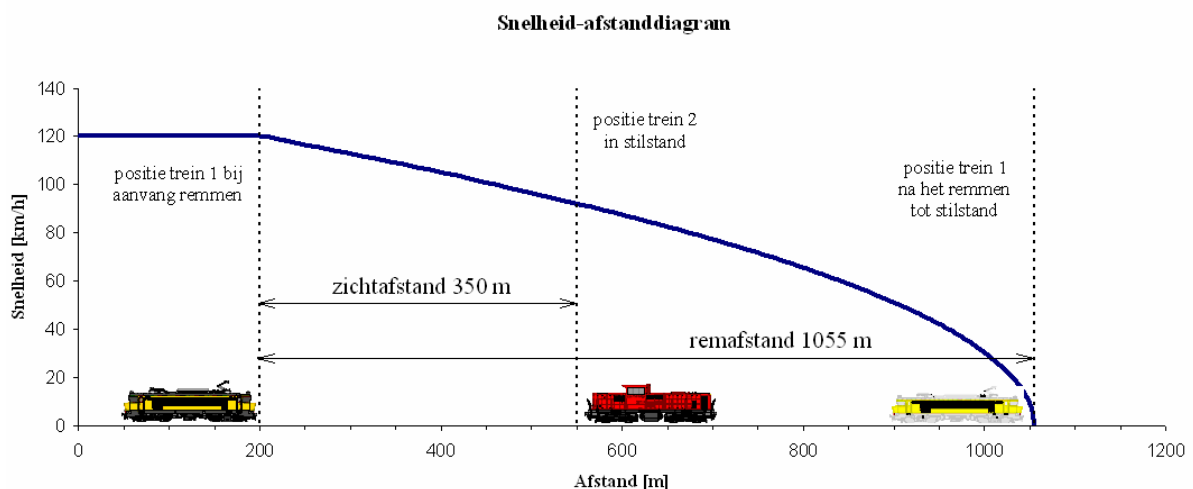
Door de lage passeersnelheden (40 of 60 km/h, afhankelijk van het spoor) op station Hilversum en de verschillen in snelheid tussen de conflicterende treinen is de verwachting dat de aansluiting van de Gooiboog en met name het emplacement Hilversum voor een groot deel oorzaak zijn van de vertragingen. Ook lijken de stoptreinen 5700 in de richting Amersfoort en 4900 in de richting Amsterdam enigszins krap ingelegd in de dienstregeling wat mogelijk ook hinder oplevert voor de daarop volgende intercity's.

3 Analyse van de dienstuitvoering met TNV-Prepare

De huidige Nederlandse dienstuitvoering wordt geregistreerd in logbestanden door middel van het treinnummer volgsysteem (TNV). Deze logdata kunnen verder verwerkt worden met het programma TNV-Prepare.⁵ Het is dan mogelijk om per trein de rijweg plus de doorkomsttijden te bepalen. Omdat de meldingen van TNV voortkomen uit elementen van het beveiligingssysteem van het Nederlandse spoornetwerk zal eerst uitgelegd worden hoe de beveiliging in elkaar zit. Daarna wordt toegelicht wat TNV inhoudt en hoe het programma werkt. Kern van het hoofdstuk is de analyse van de TNV-gegevens van de dienstuitvoering in maart 2004.

3.1 Beveiliging van de treindienst

De belangrijkste reden voor het beveiligen van de treindienst is dat treinen bij regulier voorkomende hogere snelheden niet op zicht kunnen rijden. Met andere woorden, de remweg kan langer zijn dan de zichtafstand. De machinist kan dan niet zien of het stuk spoor dat hij nodig heeft om tot stilstand te komen vrij is van obstakels. Daarnaast kunnen treinen alleen van spoor veranderen met behulp van wissels. Het is dus noodzakelijk een beveiliging aan te brengen zodat treinen niet tegen elkaar kunnen botsen. In Figuur 3-1 is een voorbeeldsituatie weergegeven waarbij het beveiligen van de treindienst noodzakelijk is. De remweg is hier langer dan de zichtafstand.



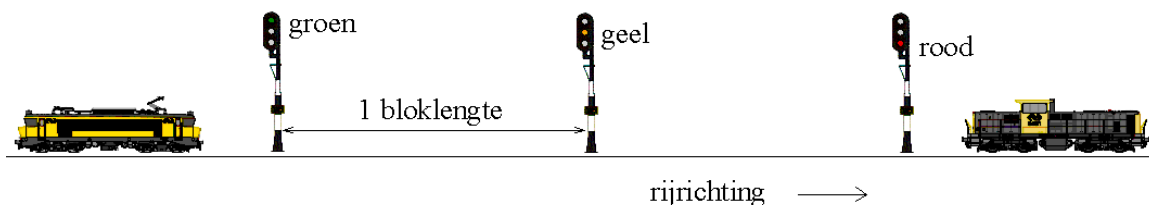
Figuur 3-1 Voorbeeldsituatie waarbij beveiliging van de treindienst noodzakelijk is; de remafstand bij 120 km/h is groter dan de zichtafstand

⁵ TNV-Prepare, ©1999-2003 Sectie Verkeerskunde, Technische Universiteit Delft

Cruciaal is dat de trein informatie krijgt over de status van de voorliggende baan. Op de Gooilijn wordt dit bereikt door middel van automatische blokbeveiliging en op een hoger niveau automatische treinbeïnvloeding (ATB). Automatische blokbeveiliging waarborgt een veilige afstand tussen de treinen doordat het baanvak tussen twee blokseinen altijd leeg moet zijn voordat er een trein binnen mag rijden. Indien de trein de ter plaatse toegelaten snelheid overschrijdt, dus ook als de trein een rood sein passeert, grijpt de ATB in door de trein automatisch af te remmen tot stilstand. Bij de NS werkt de ATB echter alleen bij snelheden hoger dan 40 km/h.

Bloksignalering op het hoofdnet

Een blok is een gedeelte van een baanvak (meestal $\approx 1000 - 2000$ m) beveiligd door een hoofdsein en een voorsein. Het voorsein geeft hierbij aan wat de momentane status van het hoofdsein is. De afstand tussen het voorsein en het hoofdsein is dusdanig groot dat een trein genoeg remafstand heeft om tot stilstand te komen voor het hoofdsein indien dat rood toont. In Nederland zijn de blok lengtes op het hoofdnet dusdanig klein dat het voorsein geïntegreerd is in het hoofdsein van het voorgaande blok. Deze seinen kunnen aangeven of de trein voor het sein moet stoppen (rood), bij het volgende sein rood moet verwachten (geel) of met de ter plaatse geldende snelheid mag doorrijden (groen). Daarnaast kan een cijferbak onder het lichtsein aangeven of ter plaatse een andere (lagere) snelheid dan de baanvaksnelheid wordt opgelegd. In Figuur 3-2 is een voorbeeld gegeven van bloksignalering.



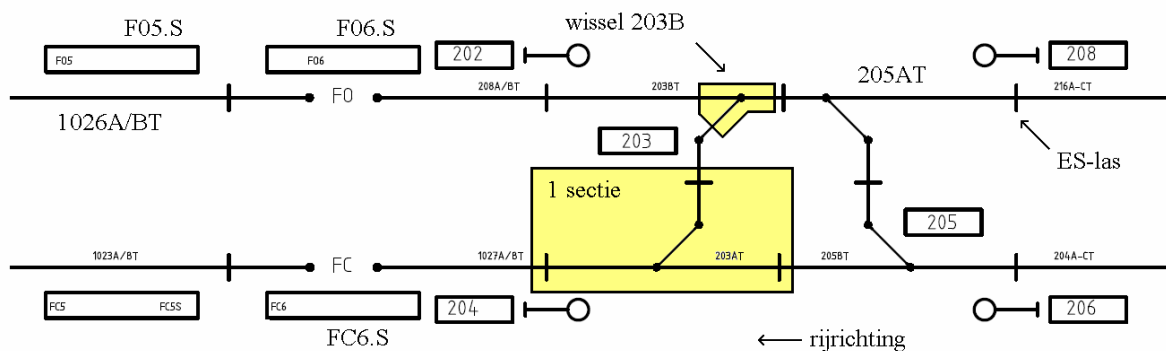
Figuur 3-2 Voorbeeld van vaste bloksignalering op het hoofdnet met het voorsein geïntegreerd in het hoofdsein

Seinen kunnen handmatig bediend worden vanuit de controleposten, maar worden in eerste instantie door de treinen zelf aangestuurd. Daartoe is het spoor opgedeeld in secties. Een sectie is een recht stuk spoor en kan eventueel één of meer wissels, engelse wissels en kruisingen bevatten. De secties zijn begrensd door elektrische scheidingslassen (ES-lassen). Bij binnenkomst in de sectie wordt de trein gedetecteerd, meestal door elektrische circuits (spoorstroomlopen), maar ook assentellers en inductiespoelen komen voor. Seinen zijn gekoppeld aan secties en bij bezetmelding of vrijgave van een bepaalde sectie volgt automatisch een verandering van het seinbeeld.

3.2 Treinnummer volgsysteem (TNV)

Het treinnummer volgsysteem (TNV) wordt gebruikt om treinen te kunnen lokaliseren op het spoorwegnet. Daartoe is het netwerk opgedeeld in zogenaamde TNV-vensters. Deze vensters bestaan doorgaans uit een aantal secties en worden ook door deze secties aangestuurd. De vensters geven aan of en door welke trein het betreffende venster wordt bezet plus het bijbehorende tijdstip. De grenzen van een venster worden vaak gevormd door seinen afhankelijk van de rijrichting. Het kan dus zijn dat een venster in de heenrichting andere grenzen heeft dan in de terugrichting. Ook zijn er binnen de vensters vaak nog verschillende rijwegen mogelijk. Het is zodoende niet altijd exact te achterhalen hoe een trein zich voortbeweegt over het traject of emplacement.

In het voorbeeld in Figuur 3-3 komt de trein in venster F06.S binnen na passage van de ES-las behorend bij sein 208 oftewel het binnenrijden van sectie 205AT. Na het binnenrijden van sectie 1026A/BT zal sectie F05.S bezet raken en er volgt een melding van een vensterverplaatsing door de betreffende trein. Indien wissel 203B in de afbuigende richting ligt (linksleidend), zal niet venster F06.S maar FC6.S bezet raken.



Figuur 3-3 Voorbeeld van mogelijke vensterverplaatsingen op een stukje netwerk met bijbehorende secties, seinen en ES-lassen

De bezetmeldingen en vrijgavemeldingen worden voor elke sectie afzonderlijk geregistreerd door het systeem. In tegenstelling tot de vensters worden bij de secties geen treinnummers doorgegeven. Bij wissels en seinen wordt niet gesproken over bezetmeldingen en vrijgavemeldingen. In geval van wissels bestaat de melding uit links of rechts en voor seinen uit ga en stop. Ook hier wordt geen treinnummer doorgegeven. Om de beschikbare informatie nu te vertalen naar verwerkbaar data is het dataverwerkingssysteem TNV-Prepare ontwikkeld. In de volgende paragraaf zal de werking van de verschillende modules van het programma worden toegelicht.

3.3 Het programma TNV-Prepare

Alle elementmeldingen samen worden gearchiveerd als logbestanden. In Figuur 3-4 is een voorbeeld gegeven van een stukje logbestand. De eerste regel geeft bijvoorbeeld aan dat sein 72 in rayon NDB (Naarden-Bussum) op 1 maart 2004 om 10:26:37 op rood gegaan is. De derde regel geeft in dezelfde seconde de verplaatsing van trein 4928 van venster NDB 934.0 naar venster NDB 921S.0 weer. De tweede en vierde regel betreffen een bezetmelding van sectie 55BT en het naar links omleggen van wissel 39 in rayon NDB.

```

1-MAR-200410:26:376NDB$72          S
1-MAR-200410:26:375NDB$55BT        B
1-MAR-200410:26:3714928            NDB 934.0 NDB 921S.0
1-MAR-200410:26:387NDB$39          L
1-MAR-200410:26:385AMF$97T         V
1-MAR-200410:26:416NDB$50          G

```

Figuur 3-4 Voorbeeld van een stukje logbestand in TNV-Prepare

De logdata worden ingelezen in het programma TNV-Prepare. Vervolgens wordt aangegeven welke treinserie in welk rayon geanalyseerd zal worden door een stukje van de data, van beginvenster tot eindvenster, vast te leggen. Dan wordt de bijbehorende infrastructuur (vensters en secties) ingevoerd. Eventueel kunnen ook de wissels en de seinen worden toegevoegd. De benodigde informatie over de elementen is te vinden op de OKT-bladen, Overzicht Knopen en Takken. Dan wordt de dienstregeling gedefinieerd door de geplande aankomst en vertrektijden, het interval en de perronsectie in te voeren. Ook de meest gebruikelijke rijweg (aaneengesloten secties binnen de vensters) wordt toegevoegd.

Nu is de invoer compleet en kunnen met TNV-Report tabellen gegenereerd worden voor de betreffende treinserie. Hiervoor hoeft alleen de treinserie en de periode ingevoerd te worden. Het programma koppelt dan de informatie uit de elementmeldingen aan de handmatig ingevoerde infrastructuur en rijwegen en bepaalt vervolgens de doorkomsttijden van de treinen in de verschillende secties en vensters. De resultaten worden weergegeven in tabelvorm en zijn te bekijken in TNV-View. Daar kunnen de data ook geëxporteerd worden naar bijvoorbeeld Excel voor verdere verwerking. In Figuur 3-5 is een voorbeeld van een stukje TNV-tabel weergegeven.

Datum	TreinNr	Drg	Drg	A42T	A42T	A42T	9015.0
		Aankomst	Vertrek	VRIJ	BEZET	VRIJ	
2004-3-2	4921	07:32	07:32	07:23:03	07:30:54	07:32:53	07:30:54
2004-3-2	4923	08:02	08:02	07:53:02	08:00:15	08:02:40	08:00:15
2004-3-2	4925	08:32	08:32	08:22:57	08:30:05	08:32:55	08:30:05
2004-3-2	4927	09:02	09:02	08:55:39	09:02:00	09:03:55	09:02:00
2004-3-2	4929	09:32	09:32	09:24:40	09:30:54	09:33:03	09:30:54
2004-3-2	4931	10:02	10:02	09:54:57	10:00:36	10:02:35	10:00:36

Figuur 3-5 Voorbeeld van een stukje tabel in TNV-View

Het programma wordt eerst gebruikt om de meest gebruikte rijweg te bepalen. Sommige treinen gebruiken tijdens de spits een andere rijweg, bijvoorbeeld omdat ze langs een ander perron halteren. Ook worden andere rijwegen gebruikt bij grote vertragingen. Per treinserie is de meest gebruikte rijweg daarna aangenomen als standaard rijweg.

3.4 Analyse van de TNV-data

Na het bepalen van de meest gebruikte rijweg zijn de tabellen gegenereerd met TNV-Report en daarna geëxporteerd naar Excel. Door storingen aan de infrastructuurelementen (secties), kunnen benodigde doorkomsttijden ontbreken. Ook kunnen meldingen van elementen aan de verkeerde trein gekoppeld worden. Treinen waarvan zodoende gegevens ontbreken of fout zijn, zijn verwijderd uit de tabel. Zo zijn deze tabellen verder opgeschoond tot louter bruikbare gegevens. De internationale trein serie 140 wordt als niet maatgevend beschouwd en zal niet worden meegenomen in de analyse. Uiteindelijk is 94,3% (9444 treinen) geschikt bevonden voor de verdere verwerking.

Vertragingen op de grenzen van het kerntraject

Om inzicht te krijgen in de vertragingen op de Gooilijn, zijn twee grenzen gedefinieerd waarvan de doorkomsttijden zijn berekend. Deze grenzen zijn gekozen aan de hand van het basisuurpatroon om zo een goed afleesbaar dienstregelpunt te pakken. Ten westen van het kerntraject is dit de passage van de wissels bij Keverdijk Aansluiting (aftakking Gooiboog). De wissels direct na emplacement Hilversum in de richtingen Utrecht en Amersfoort zijn de passagepunten aan de oostkant. Per trein(serie) is gekeken naar de vertraging bij binnenkomst en bij het verlaten van het kerntraject. Dit heeft geresulteerd in Tabel 3-1.

Serie	Beginvertraging [s]				Eindvertraging [s]				Toename vertraging [s]			
	ri. Amf	st.dev.	ri. Asd	st.dev.	ri. Amf	st.dev.	ri. Asd	st.dev.	ri. Amf	st.dev.	ri. Asd	st.dev.
700	0	141	111	107	123	175	119	138	123	105	7	71
1600	0	116	114	111	112	149	106	138	112	100	0	63
20700	70	132	84	103	150	157	113	124	81	89	29	87
21600	78	169	85	90	158	190	72	114	80	96	0	63
4900	52	88	141	124	94	114	157	148	42	85	16	81
5700	59	87	66	115	122	122	187	135	62	68	120	83
5800	75	104	56	92	129	135	132	116	54	84	76	76

Tabel 3-1 Gemiddelde vertragingen [s] per treinserie op de grenzen van het kerntraject

Opvallend in de tabel is dat de intercity's en stoptrein 4900 richting Amersfoort veel meer vertraging oplopen dan richting Amsterdam. De stoptrein 5700 loopt juist meer vertraging op richting Amsterdam. Uitschieters zijn 700 en 1600 richting Amersfoort en 5700 richting Amsterdam. Ook opvallend is dat de beginvertraging voor treinen richting Amsterdam hoger is dan richting Amersfoort.

In enkele gevallen neemt de vertraging af. Dit is mogelijk door de zogenaamde rijtijdmargin. Deze marge wordt toegevoegd aan de minimale rijtijd en maakt het voor treinen mogelijk om vertraging in te lopen. Indien de rijtijdmargin onvoldoende is, is de kans dat een vertraagde trein nog meer vertraging oploopt alleen maar groter. Het kan bijvoorbeeld zijn dat een andere trein wordt voorgelaten of dat de trein niet zijn eigen rijweg kan volgen. In die zin moet je bij de toename van de vertraging ook de beginvertraging en rijtijdmargin in ogenschouw nemen. In Hoofdstuk 4 worden de rijtijdmarginen berekend met behulp van ANKE en worden deze vergeleken met de vertragingen in Tabel 3-1.

Het is dus aannemelijk dat er een verschil is in de vertragingsofbouw van vertraagde treinen en treinen die op tijd zijn. In dit geval worden treinen met een vertraging kleiner dan 60 s op de grenzen van het kerntraject aangemerkt als op tijd. In Tabel 3-2 zijn de gemiddelde vertragingen weergegeven van de treinen met een vertraging van 60 s of meer. In de richting Amersfoort zijn dit 1299 en richting Amsterdam 2424; in totaal zijn dit 3723 (37,2%) vertraagde treinen.

Serie	Beginvertraging [s]				Eindvertraging [s]				Toename vertraging [s]			
	ri. Amf	st.dev.	ri. Asd	st.dev.	ri. Amf	st.dev.	ri. Asd	st.dev.	ri. Amf	st.dev.	ri. Asd	st.dev.
700	269	272	145	115	382	318	153	149	113	133	9	73
1600	217	226	147	121	306	275	142	149	89	115	0	65
20700	180	166	158	124	252	200	168	146	72	100	10	83
21600	198	229	135	102	265	251	124	124	67	93	0	62
4900	148	96	170	126	175	134	180	156	27	97	10	84
5700	156	118	170	122	228	166	280	145	72	85	110	86
5800	172	140	137	103	238	168	217	132	66	103	79	87

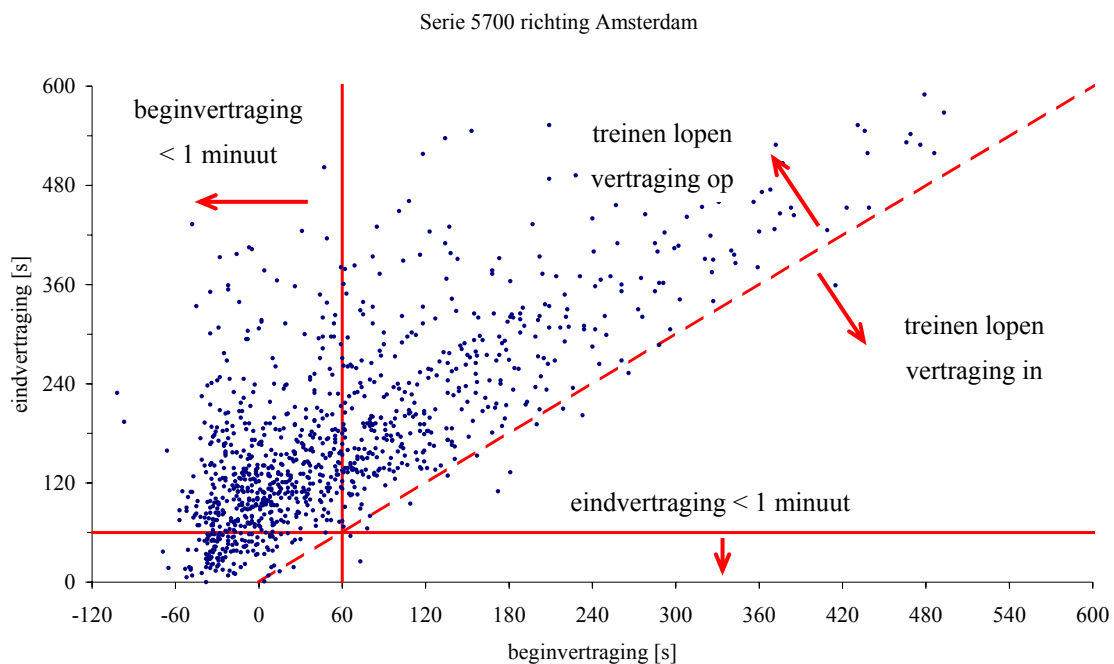
Tabel 3-2 Gemiddelde vertragingen [s] per treinserie indien de beginvertraging ≥ 60 s

Dat de gemiddelde begin- en eindvertraging en bijbehorende standaardafwijking groter zijn dan in Tabel 3-1 behoeft geen verdere uitleg. Interessanter is het verschil in de toename van de vertragingen. De vertragingstoename over het kerntraject is voor treinen met een hogere beginvertraging over het algemeen kleiner. Dit betekent dat deze treinen het traject gemiddeld sneller afleggen dan de treinen zonder beginvertraging. Er wordt dus vertraging ingelopen, maar in absolute zin blijft dit beperkt tot maximaal 23 s. Vertraagde treinseries die vertraging inlopen in de richting Amersfoort zijn de intercity's en stoptrein 4900. In de richting Amsterdam zijn dit intercity 20700 en de stoptreinen. Alleen de vertraagde sneltrein en stoptrein 5700 richting Amersfoort lopen meer vertraging op. De overige treinseries blijven min of meer gelijk.

De berekende vertragingen zijn gemiddelden over de hele dag. Kijken we nu naar de ochtend- en avondspits, dan zien we slechts een kleine verandering. In de spits is de toename van de vertraging per treinserie gemiddeld 13 seconden groter dan buiten de spits. Dit geldt voor beide richtingen over het kerntraject. Dat dit verschil relatief weinig is, is te verklaren doordat de intensiteit van treinen buiten de spits even groot is als tijdens de spits. Dat de gemiddelde vertraging toch toeneemt kan verklaard worden doordat er in de spits meer reizigers in- en uitstappen en zo de halteertijd beïnvloeden.

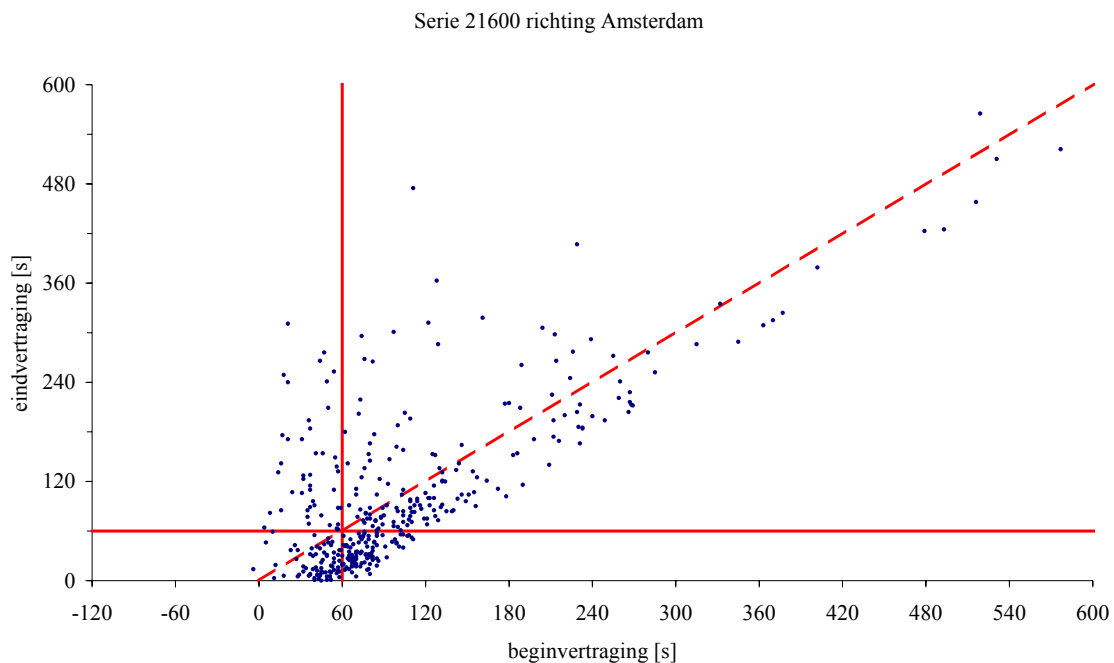
Verdeling van de begin- en eindvertragingen

In Figuur 3-6 is de vertragingverdeling weergegeven van serie 5700 richting Amsterdam. Elke stip stelt een trein voor met een bepaalde beginvertraging (x-as) en eindvertraging (y-as). Op deze manier is inzichtelijk gemaakt hoe deze serie presteert. Treinen onder de diagonale lijn hebben per definitie een lagere eindvertraging dan de beginvertraging, ofwel ze maken tijdverlies goed. In de figuur is te zien dat het er zeer weinig zijn, bijna alle treinen krijgen dus extra vertraging tijdens het passeren van het kerntraject. Slechts een klein deel (onder de horizontale lijn) komt het traject uit met een vertraging tot maximaal 1 minuut terwijl toch meer dan de helft van alle treinen er met maximaal 1 minuut in ging (links van de verticale lijn).



Figuur 3-6 Vertragingverdeling van alle serie 5700 treinen richting Amsterdam

Ter vergelijking is de vertragingverdeling van serie 21600 richting Amsterdam weergegeven in Figuur 3-7. Opgemerkt dient te worden dat deze serie een frequentie heeft van 1x per uur in plaats van 2x per uur. Daardoor zijn er gegevens van minder dan de helft van het aantal treinen van serie 5700. Goed te zien is dat de meeste treinen nu tijdverlies goed maken terwijl juist hier het grootste gedeelte begint met een vertraging groter dan 1 minuut. Ook opvallend is de spreiding van de data. De treinen van serie 21600 liggen dicht bij elkaar en daarnaast ligt het zwaartepunt (gemiddelde begin- en eindvertraging) ook nog eens dicht bij de oorsprong (0,0).

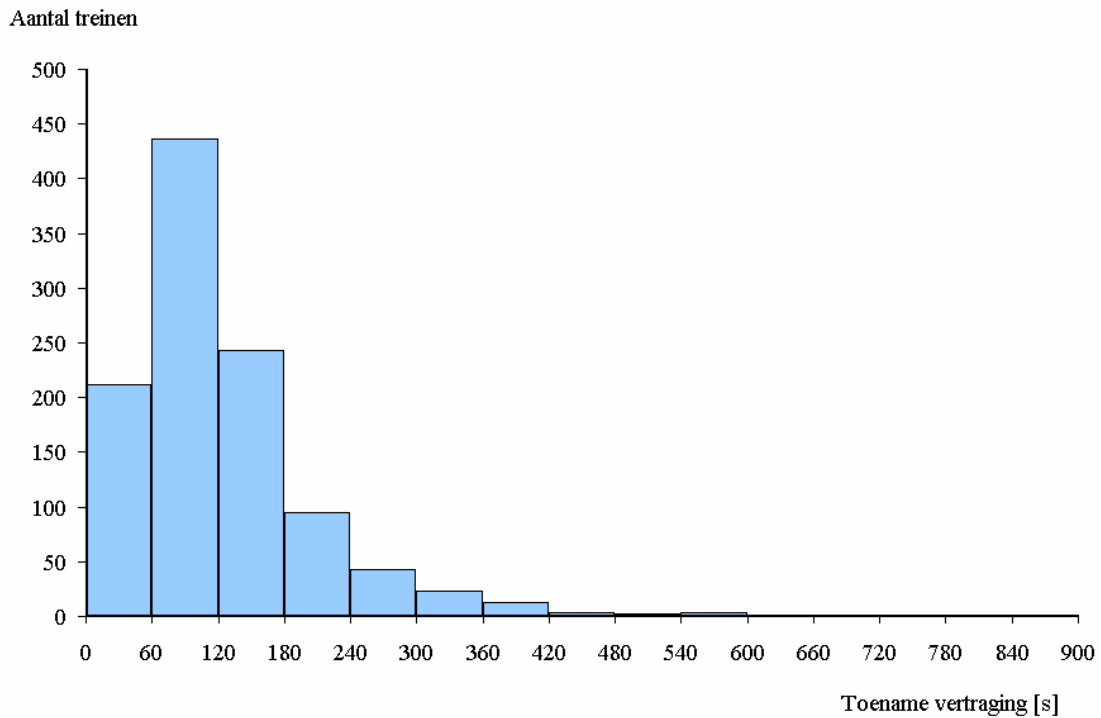


Figuur 3-7 *Vertragingverdeling van alle serie 21600 treinen richting Amsterdam*

In Bijlage V zijn van alle treinseries in beide richtingen de vertragingverdelingen opgenomen. Aangegeven zijn de gemiddelde beginvertraging en eindvertraging plus de bijbehorende standaardafwijkingen en de percentages van het totaal aantal treinen dat bij het beginpunt en het eindpunt een vertraging heeft van minder dan 1 minuut.

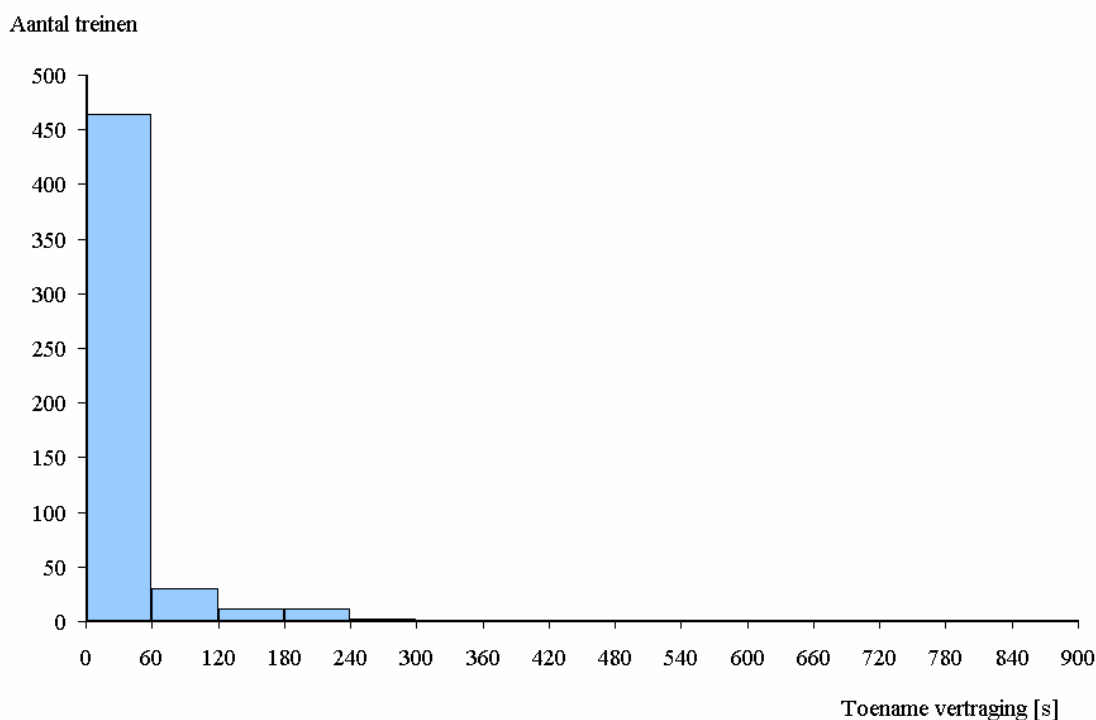
De standaardafwijking geeft een indicatie voor de spreiding van de dataset. Des te groter de standaardafwijking, des te groter is de spreiding van de data. De standaardafwijking kan alleen vergeleken worden bij ongeveer even grote datasets. Wanneer een dataset gekopieerd wordt (het dubbele aantal gegevens), neemt de standaardafwijking namelijk toe. Uit de standaardafwijkingen kan worden afgelezen dat de stoptreinen (4900 en 5700) in de richting Amersfoort constanter zijn (lagere waarde) en de overige treinen in de richting Amsterdam. Verder neemt de afwijking toe tijdens het passeren van het kerntraject wat aangeeft dat de normale treinenloop wordt beïnvloed.

In Figuur 3-8 is een histogram van de vertragingstoename van serie 5700 richting Amsterdam weergegeven. Deze treinserie heeft gemiddeld de grootste vertraging bij het verlaten van het kerntraject. De gemiddelde toename van de vertraging is 120 s met een standaardafwijking van 83 s. Opvallend is dat treinen met een vertragingstoename tussen de 60 s en 120 s het meest voorkomen.



Figuur 3-8 Histogram van de toename van de vertraging [s] van serie 5700 richting Amsterdam

In Figuur 3-9 is wederom serie 21600 richting Amsterdam gebruikt ter vergelijking. De gemiddelde toename van de vertraging is hier gelijk aan 0 s. De vertraagde treinen worden gecompenseerd door treinen die te vroeg zijn. De standaardafwijking is 63 s. Het histogram laat duidelijk zien dat het grootste deel van de treinen (89,1%) het onderzoeksgebied verlaat met een vertragingstoename kleiner dan 60 s. Bij serie 5700 is dit slechts 19,7%. Het is duidelijk dat de dienst van serie 5700 veel meer wordt gehinderd over het kerntraject dan de dienst van serie 21600. Er kunnen echter nog geen conclusie getrokken worden of deze hinder wordt veroorzaakt door andere (vertraagde) treinen of door een krappe dienstregeling.



Figuur 3-9 Histogram van de toename van de vertraging [s] van serie 21600 richting Amsterdam

In Paragraaf 2.2 is al aangegeven dat de intercity's in principe dezelfde route rijden over het kerntraject, maar een andere herkomst en bestemming hebben. Naar herkomst gerangschikt kan in de richting Amersfoort serie 700 met 1600 en serie 20700 met 21600 worden vergeleken. Er zijn hier geen grote verschillen waar te nemen behalve dat serie 1600 en 20700 iets constanter zijn.

In de richting Amsterdam kan serie 700 met 20700 en serie 1600 met 21600 worden vergeleken. Opvallend is dat de series 700 en 1600 een grotere gemiddelde beginvertraging hebben. Een mogelijke verklaring hiervoor is dat de minimale opvolgtijd tussen Amersfoort en Hilversum langer is dan de geplande opvolgtijd op dat traject aangezien het verschil voor beide koppels nagenoeg gelijk is. Aan het einde van het kerntraject valt op dat de gemiddelde eindvertraging voor serie 20700 bij benadering gelijk is aan serie 700. In tegenstelling tot serie 21600 is de vertraging van 20700 dus wel toegenomen. Ook is serie 20700 minder constant. Een oorzaak hiervoor is niet aan te wijzen. Voor het aantal treinen met een vertraging kleiner dan 60 s geldt hetzelfde als voor de gemiddelde vertragingen.

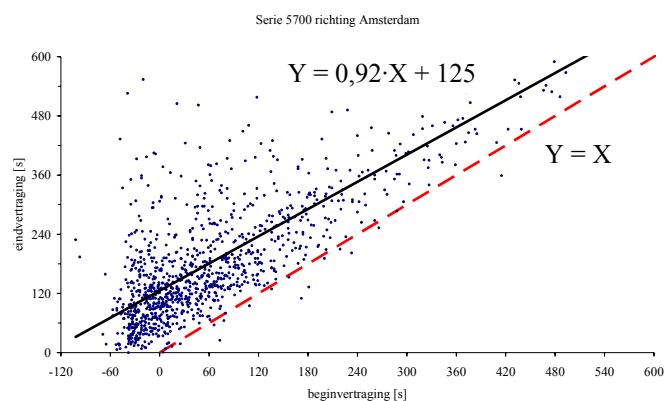
Regressie-analyse

De vorm van de puntenwolken van de vertragingverdelingen van de verschillende treinseries geven de verwachting dat er een lineair verband bestaat tussen de begin- en eindvertraging. Om te bepalen of er een zekere samenhang is, wordt een lineaire regressie uitgevoerd voor alle treinseries in beide richtingen. Uitkomst van de lineaire regressie-analyse is een formule van de vorm $Y = \alpha \cdot X + \beta$ met X als beginvertraging [s] en Y als eindvertraging [s]. De coëfficiënten α en β in deze formule zijn weergegeven in Tabel 3-3.

Serie	richting Amersfoort			richting Amsterdam		
	alfa [-]	alfa-1 [-]	beta [s]	alfa [-]	alfa-1 [-]	beta [s]
700	0,99	-0,01	124	1,11	0,11	-5
1600	0,95	-0,05	126	1,11	0,11	-21
20700	0,98	-0,02	82	0,87	-0,13	39
21600	0,97	-0,03	82	1,05	0,05	-18
4900	0,87	-0,13	49	0,99	-0,01	17
5700	1,18	0,18	52	0,92	-0,08	125
5800	1,01	0,01	53	0,96	-0,04	78

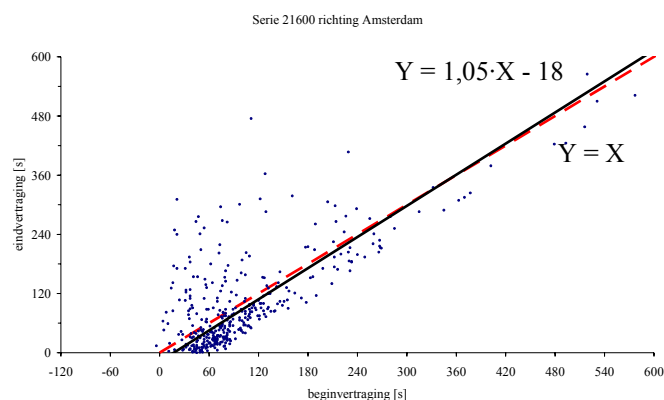
Tabel 3-3 Regressie-coëfficiënten in $Y = \alpha \cdot X + \beta$ met X als beginvertraging en Y als eindvertraging

Voor serie 5700 richting Amsterdam wordt de formule $Y = 0,92 \cdot X + 125$. Deze regressielijn is in Figuur 3-10 door de puntenwolk getrokken. Ook de lijn $Y = X$ (beginvertraging = eindvertraging) is opgenomen in de figuur.



Figuur 3-10 Regressielijn $Y = 0,92 \cdot X + 125$ voor serie 5700 richting Amsterdam

De formule voor de serie 21600 richting Amsterdam wordt $Y = 1,05 \cdot X - 18$. In Figuur 3-11 is deze regressielijn weergegeven.



Figuur 3-11 Regressielijn $Y = 1,05 \cdot X - 18$ voor serie 21600 richting Amsterdam

Indien de treinen ongehinderd door kunnen rijden op het kerntraject is de eindvertraging kleiner of gelijk aan de beginvertraging, oftewel $Y \leq X$. In de figuren is goed te zien dat de regressielijn voor serie 21600 veel dichter bij de lijn $Y = X$ ligt en gedeeltelijk zelfs eronder. De verwachtingswaarde voor de eindvertraging van serie 5700 is dus ook groter dan voor serie 21600 bij gelijke beginvertraging. Serie 21600 ondervindt dus minder hinder over het kerntraject dan serie 5700.

De toename van de vertraging is gelijk aan de eindvertraging min de beginvertraging. In formulevorm: $Y - X = (\alpha - 1) \cdot X + \beta$. Om te kijken in welke mate de toename van de vertraging afhankelijk is van de beginvertraging wordt de invloed van het afhankelijke deel $(\alpha - 1) \cdot X$ vergeleken met het onafhankelijke deel β . Bij de vergelijking valt op dat voor de intercity's en de sneltrein in de richting Amersfoort en de sneltrein en stoptreinen in de richting Amsterdam, β dominant is over $(\alpha - 1) \cdot X$. Dit wil zeggen dat de vertragingstoename slechts in kleine mate afhankelijk is van de beginvertraging. Voor de stoptreinen richting Amersfoort en de intercity's richting Amsterdam neemt naarmate de beginvertraging groter is, de dominantie van $(\alpha - 1) \cdot X$ over β toe. Dit wil zeggen dat de vertragingstoename steeds sterker afhankelijk wordt van de beginvertraging naarmate deze beginvertraging groter wordt.

In vergelijking met de vertragingen uit Tabel 3-1 is af te lezen dat de toename van de vertraging en de eindvertraging over het algemeen groter zijn naarmate de afhankelijkheid van de beginvertraging kleiner is. De uitkomsten van de regressie-analyse geven tevens een indicatie voor de beschikbare rijtijdmargin. Naarmate de vertragingstoename weinig afhankelijk is van de beginvertraging (β is dominant over $(\alpha - 1) \cdot X$), is er minder rijtijdmargin opgenomen in de dienstregeling.

3.5 Conclusie

Belangrijkste conclusie is dat er een verschil is in de vertragingsoptimalisatie tussen beide richtingen. In het algemeen zijn de gemiddelde beginvertragingen van de treinseries richting Amsterdam groter dan richting Amersfoort. Ook is er een verschil in beginvertraging tussen de intercity's van en naar Schiphol en Amsterdam. De treinen uit Schiphol en naar Amsterdam hebben gemiddeld minder beginvertraging. Verder neemt bij de intercity's richting Amersfoort de vertraging veel meer toe dan richting Amsterdam en voor stoptrein 5700 geldt juist het omgekeerde. De eindvertraging voor de intercity's uit Amsterdam is groter dan naar Amsterdam en voor de stoptreinen uit Utrecht groter dan naar Utrecht. Tot slot is de gemiddelde spreiding in de vertragingsoptimalisatie richting Amersfoort groter dan richting Amsterdam.

Er zijn echter nog geen conclusies te trekken over de daadwerkelijke oorzaak van de vertragingen. Daarvoor is verder onderzoek noodzakelijk op het gebied van rijtijden, opvolgtijden en buffertijden. Met de opvolgtijden en buffertijden zal bepaald worden hoeveel vertraging een trein op mag lopen voordat deze vertraging wordt doorgegeven aan de opvolgende trein. Aan de hand van de technisch minimale rijtijden wordt dan bekeken of een trein in staat is de dienstregeling te halen of dat deze trein te krap is ingelegd (weinig rijtijdmargin). In Hoofdstuk 4 zal dit verder uitgewerkt worden. Er kan wel iets gezegd worden over de verwachte hoeveelheid toegepaste rijtijdmargin. De verwachting is dat voor de intercity's richting Amsterdam en de stoptrein 5700 richting Amersfoort meer rijtijdmargin is opgenomen in de dienstregeling.

Naar aanleiding van de analyse is bepaald welke treinseries specifieke aandacht krijgen in het vervolg van het onderzoek. In de richting Amersfoort is dit de combinatie 5700 – 700/1600 – 20700/21600. Het lijkt erop dat de stoptrein vertraging doorgeeft aan de opvolgende intercity's. De stoptreinen en sneltrein in de richting Amsterdam zullen ook verder onderzocht worden. Deze treinseries hebben een grotere eindvertraging en lopen veel meer vertraging op over het kerntraject dan de intercity's. De kruisende beweging tussen de treinen uit Utrecht en naar Amersfoort ten oosten van emplacement Hilversum wordt ook verder onderzocht.

4 Analyse van de capaciteitsbenutting met ANKE

Door grote aanpassingen aan en uitbreidingen van de railinfrastructuur en de daarmee samenhangende complexiteit, is behoefte ontstaan naar geavanceerde technieken, anders dan simulaties, om de verkeersafwikkeling op het spoornetwerk te analyseren. Het doel daarbij is onder andere het optimaal benutten van de capaciteit van het netwerk. Bepalend voor de grootte van de capaciteit is met name de verkeersprestatie op (grote) spoorwegknooppunten waar treinen elkaar wederzijdse beperkingen opleggen ten aanzien van de minimale opvolgtijden.

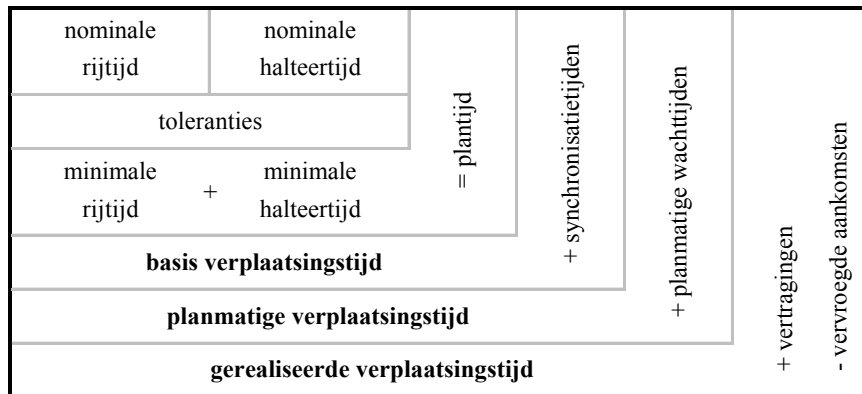
Modellen gebaseerd op de wachttijdtheorie kunnen aan de hand van vooraf gespecificeerde frequenties van treinseries en corresponderende minimale opvolgtijden expliciete uitdrukkingen geven van het verwachte verlies in de verplaatsingstijd als gevolg van oponthoud (wachten), de zogeheten wachttijd. In dit hoofdstuk zal worden toegelicht wat wordt verstaan onder wachttijden, opvolgtijden en knooppunten. In het kort zal het gebruikte model van de RWTH Aachen worden besproken. Kern van het hoofdstuk is de analyse van de rijtijden en bloktijden en de capaciteitsberekening met ANKE.

4.1 Opbouw van de verplaatsingstijd

Als gevolg van verstoringen van en afhankelijkheden tussen verkeersstromen op het spoornetwerk ontstaat oponthoud. Dit oponthoud wordt wachttijd genoemd en is een verlies in de verplaatsingstijd. De gerealiseerde verplaatsingstijd is opgebouwd uit een aantal componenten.

- Voor het afleggen van een bepaald traject kan de zuivere rijtijd en de halteertijd worden berekend op basis van trein- en infrastruktureigenschappen. Door een toeslag van meestal 7% ontstaan de nominale rijtijd en nominale halteertijd.
- Door het toevoegen van toleranties (veiligheidsmarges en een deel van de buffertijden) aan de nominale rij- en halteertijd ontstaan de minimale rij- en halteertijd, samen de plantijd.
- De basis verplaatsingstijd wordt verkregen door aan de plantijd synchronisatietijden voor overstappen en aansluitingen toe te voegen.
- Planmatige wachttijden als gevolg van oponthoud door bezetting van een baanvak (bijvoorbeeld samenvoegingen, inhalen, kruisen en (ont)koppelen) worden opgeteld bij de basis verplaatsingstijd waaruit de planmatige verplaatsingstijd volgt.
- De uiteindelijk gerealiseerde verplaatsingstijd wordt nog beïnvloed door vertragingen en vervroegde aankomsten tijdens de dienstuitvoering.

Deze opbouw van de gerealiseerde verplaatsingstijd wordt verduidelijkt aan de hand van Figuur 4-1.



Figuur 4-1 Opbouw van de gerealiseerde verplaatsingstijd naar [Hertel,1994; de Kort, 1996]

Uit de opbouw blijkt dat er dus zowel wachttijden op het planmatige niveau kunnen voorkomen als op het uitvoeringsniveau. Op het planmatige niveau kan onderscheid gemaakt worden tussen wachttijden voor treinen bij gegeven dienstregelingstructuren en wachttijden voor reizigers door synchronisatie. Op uitvoeringsniveau zijn er wachttijden in de vorm van (volg)vertragingen van de treinen en wachttijden die optreden bij overstappen tijdens de dienstuitvoering. In het vervolg van dit rapport wordt alleen aandacht besteed aan de wachttijden met betrekking op treinen.

4.2 Bloktijden bij vaste bloksignalering

Voordat de minimale opvolgtijd wordt uitgelegd, zal eerst verder ingegaan worden op het beveiligingssysteem. De minimale opvolgtijd (en de daarvan afgeleide capaciteit) is in hoge mate afhankelijk van de beveiliging. In Paragraaf 3.1 is al kort de werking van de bloksignalering op de Gooilijn toegelicht. Eerst zal het principe van de bloktijd verder worden uitgewerkt en daarna komen opvolgtijden en buffertijden aan bod.

Opbouw van de bloktijd

De bloktijd is de tijdsduur dat een bepaald blok gereserveerd is voor een trein en bestaat uit de tijd dat een trein het blok daadwerkelijk bezet plus een virtueel deel. Dit is tevens de tijd die nodig is om er voor te zorgen dat twee, elkaar opvolgende, treinen niet in hetzelfde blok kunnen terechtkomen bij ongehinderde doorgang. De lengte van de bloktijd wordt bepaald door de lengte en snelheid van de trein en de posities van de seinen en scheidingslassen.

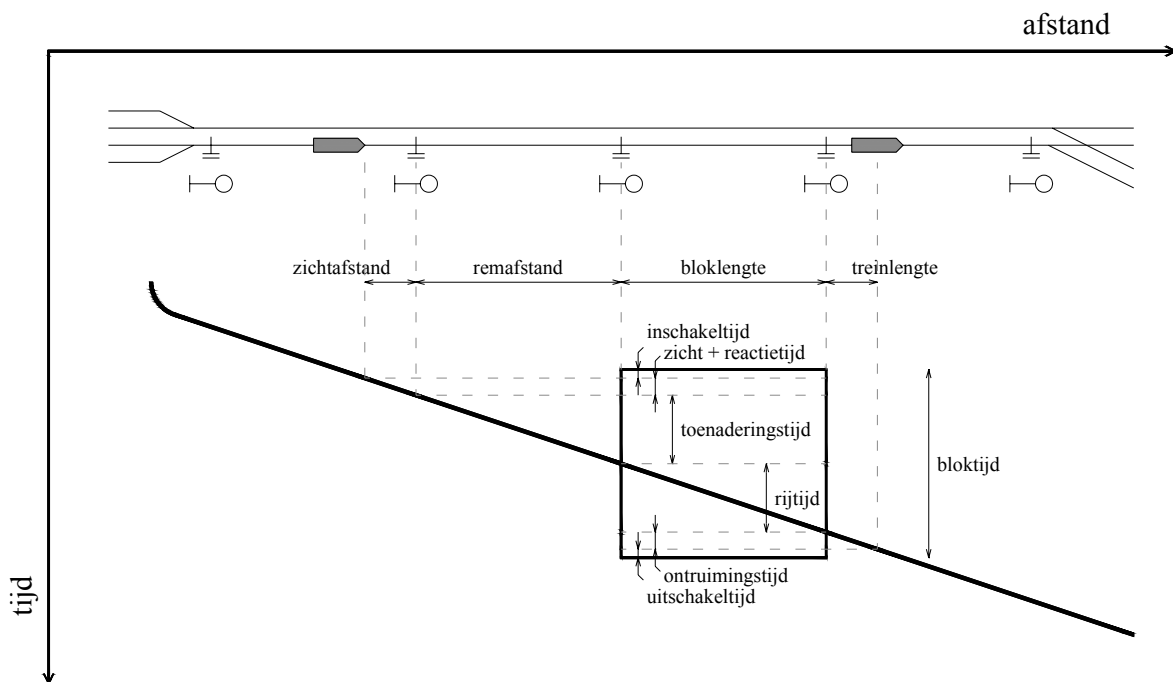
De bloktijd is opgebouwd uit een aantal vaste componenten, in formulevorm:

$$t_{\text{blok}} = t_i + t_z + t_r + t_n + t_{rb} + t_o + t_u$$

- met:
- t_i - inschakeltijd (tijd voor het omschakelen van seinen en wissels, ≈ 1 s)
 - t_z - zichttijd
 - t_r - reactietijd (benodigde tijd voor een machinist om op een seinbeeld te reageren)
 - t_n - toenaderingstijd (tijd die de trein nodig heeft om de afstand van het voorsein tot het hoofdsein (lengte voorgaande blok) af te leggen)
 - t_{rb} - rijtijd over het blok
 - t_o - ontruimingstijd (tijd tussen de passage van de voor- en achterkant van de trein aan het einde van het blok)
 - t_u - uitschakeltijd (tijd voor het omschakelen van seinen en wissels, ≈ 1 s)

Alle genoemde tijden worden ingevoerd in seconden [s].

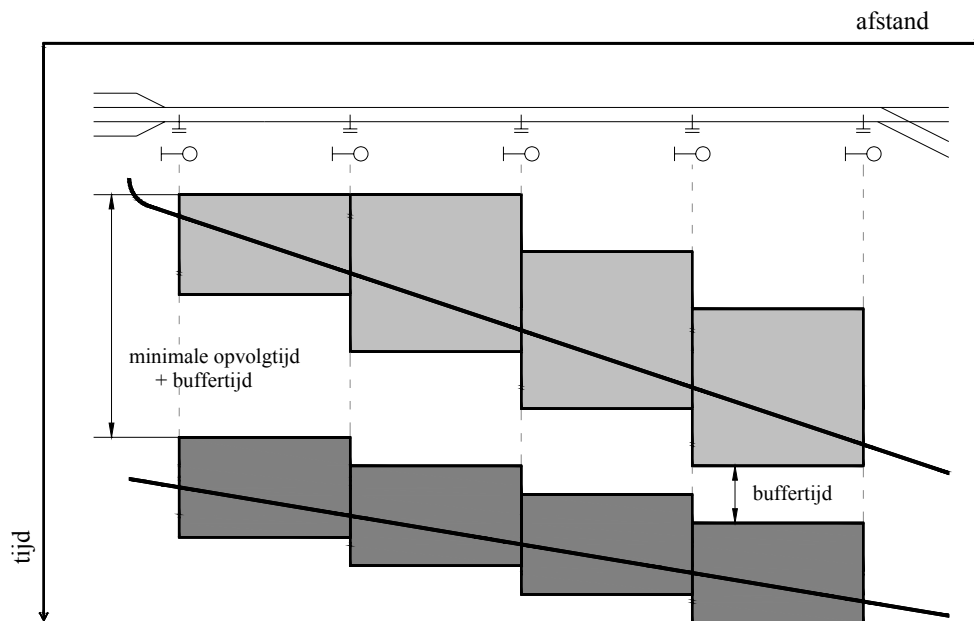
De bloktijd kan ook worden afgeleid uit het tijd-afstanddiagram in Figuur 4-2.



Figuur 4-2 Bloktijd in een tijd-afstanddiagram bij vaste bloksignalering

Buffertijden en (minimale) opvolgtijden

Als alle bloktijden op een baanvak getekend worden in een tijd-afstanddiagram ontstaat er een trap van bloktijden, het bloktrapdiagram (zie het voorbeeld in Figuur 4-3). Uit het figuur kunnen de opvolgtijd en de buffertijd worden afgeleid. Een opvolgende trein kan alleen ongehinderd over hetzelfde baanvak rijden wanneer de bloktrappen niet overlappen. Als de bloktrappen nu tegen elkaar worden geschoven zodat zij elkaar net raken kan de minimale opvolgtijd worden afgeleid.



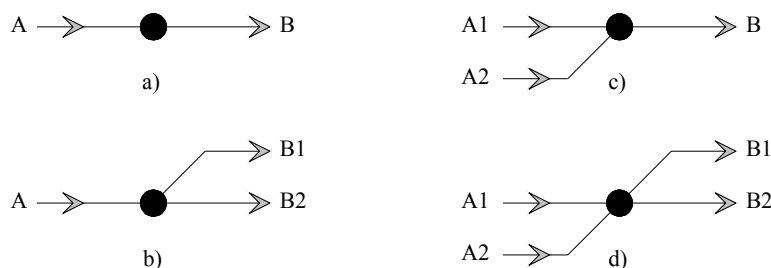
Figuur 4-3 Bloktrapdiagram met minimale opvolgtijd en buffertijd bij vaste bloksignalering

Een trein kan tijdens de dienstuitvoering vertraging oplopen met het gevolg dat de bloktrap zal verschuiven in de tijd. Aangezien overlappen van twee bloktrappen fysiek niet mogelijk is, zal de bloktrap van de opvolger ook worden verschoven. Om dit te voorkomen wordt een zogenaamde buffertijd toegevoegd aan de minimale opvolgtijd waardoor kleine spreidingen in de aankomsttijd niet direct doorwerken op opvolgende treinen. Ter voorkoming van vertragingen tijdens de dienstuitvoering is dus een grote buffertijd gewenst. Voor een optimale benutting van de baanvakcapaciteit wordt echter zo min mogelijk buffertijd geprefereerd doordat deze buffertijden in feite planmatige wachttijden zijn. Bij het maken van een dienstregeling is het dus de vraag bij welke hoeveelheid buffertijd de capaciteit optimaal wordt benut terwijl de planmatige wachttijden een vastgestelde grens (kwaliteit van de dienstregeling) niet overschrijden.

Als een trein op uitvoeringsniveau een grotere vertraging heeft dan de buffertijd tussen deze trein en de opvolgende trein, ontstaat er een zogenaamde volgvertraging voor de opvolgende trein. Ook als een trein een aansluiting moet garanderen op een vertraagde trein kan deze beginvertraging doorwerken op de wachtende trein. Beginvertragingen worden ook wel primaire vertragingen genoemd en de volgvertragingen secundaire vertragingen. De mate waarin de volgvertragingen ontstaan ofwel het totaal aan wachttijd op uitvoeringsniveau, geeft per tijdseenheid een indicatie van de kwaliteit van de dienstuitvoering.

4.3 Modelling van knooppunten op het spoornetwerk

Bij het modelleren van wachtprocessen op het spoornetwerk wordt gebruik gemaakt van knopen en verbindingen. Elke knoop stelt een infrastrukturelement voor waarbij de verbinding aangeeft met welke andere knopen deze knoop is verbonden. Een recht stuk spoor in een baanvak is ook een element en wordt dus ook gemodelleerd als een knoop. Knooppunten in een spoornetwerk kunnen worden beschouwd als combinaties van zogeheten elementaire knooppunten. In het algemeen kunnen vier typen elementaire knooppunten worden onderscheiden. Deze zijn afgebeeld in Figuur 4-4.

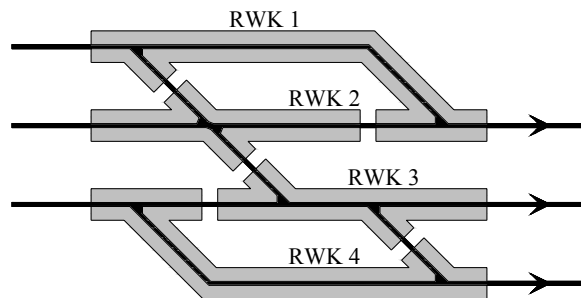


Figuur 4-4 Elementaire knooppunten in een spoornetwerk; een deel van de vrije baan (a), een vertakking (b), een samenvoeging (c) en een kruising (d)

Een trein arriveert op een knooppunt via een aanvoerkanaal (A). De opstelplaats waar treinen eventueel moeten wachten tot het knooppunt gepasseerd mag worden heet ook wel de wachtrij. De trein verlaat het knooppunt weer via een afvoerkanaal (B). Het aantal afvoerkanaal dat tegelijkertijd kan worden gebruikt bepaald het aantal bedieningspunten. Omdat slechts één trein tegelijk een infrastrukturelement mag passeren, komen in de praktijk alleen enkelvoudige bedieningspunten voor (zie a en c in Figuur 4-4).

Elementaire knooppunten kunnen samengesteld worden tot complexe knooppunten. Een spooreplacement kan dan als één knoop beschouwd worden. Door de afhankelijkheden tussen de wachtrijen op de elementaire knooppunten is een integrale modellering van de wachtprocessen veelal onmogelijk. In de praktijk wordt onder andere gemodelleerd op basis van een wachtrijtheoretische methode met behulp van zogenaamde rijwegknopen, in het vervolg afgekort tot RWK. In het Duits is de term TFK gebruikelijk (Teilfahrstraßenknoten [Schwanhäußer, 1974; Wakob, 1985]).

RWK's zijn die gedeelten van een emplacement of complex knooppunt die tegelijkertijd maar voor één trein worden vrijgegeven en kunnen worden beschouwd als elementaire knooppunten. Rijwegen door het complex worden derhalve gevormd door een rij aaneengeschakelde RWK's. Rijwegen met gemeenschappelijke RWK's kunnen niet tegelijkertijd worden gebruikt omdat elke RWK maar door één trein tegelijk bereden kan worden. Op conflicterende rijwegen kunnen dus wachttijden ontstaan. In Figuur 4-5 is een voorbeeld gegeven van een complexe knoop.



Figuur 4-5 Complexe knoop met 4 RWK's

4.4 Het model van de RWTH Aachen

In deze paragraaf zal het aan de RWTH Aachen ontwikkelde model beknopt worden toegelicht. Het model geeft een kwaliteitsbeoordeling aan zowel de dienstregeling als aan de dienstuitvoering. De bepaling van de kwaliteit van de dienstuitvoering (index q_B) is gebaseerd op het empirische kansmodel van [Schwanhäußer, 1974]. In dit kansmodel wordt het aandeel van de totale wachttijd, ontstaan door volgvertragingen (secundair), bepaald in de totale voor de dienstuitvoering beschikbare tijd. Dit aandeel van de wachttijd wordt de lengte van de wachtrij genoemd en is dimensieloos.

De kwaliteit van de dienstregeling (index q_F) wordt bepaald door de lengte van de wachtrij, veroorzaakt door beginvertragingen (primair), te delen door de toelaatbare wachtrijlengte. De berekening van q_F zal niet verder toegelicht worden.

Lengte van de wachtrij op een rijwegknoop

De lengte van de wachtrij kan als maat gebruikt worden om uitspraken te kunnen doen over de kwaliteit van de dienstuitvoering. De gemiddelde lengte van de wachtrij door alle optredende opvolggevallen op elke rijwegknoop (RWK) in het netwerk volgt uit onderstaande kanstheoretische benaderingsvergelijking [Schwanhäüßer, 1974]:

$$L_{WB} = \frac{tV_m^2 \cdot \left(pV_e - \frac{pV_e^2}{2} \right)}{\frac{tP_m}{tV_m} + 1 - e^{-\frac{tZ_m}{tV_m}}} \cdot (SG + SV + SL)$$

Deze bevat de term SG voor opvolggevallen van treinen met dezelfde prioriteit,

$$SG = pG \cdot \left(1 - e^{-\frac{tZ_g}{tV_m}} \right)^2$$

een term SV voor opvolggevallen van treinen met verschillende prioriteit

$$SV = (1 - pG) \cdot \frac{tZ_v}{tV_m} \cdot \left(1 - e^{-\frac{2 \cdot tZ_v}{tV_m}} \right)$$

en een term SL voor de invloed van langere wachtrijen.

$$SL = \frac{tZ_m}{tP_m} \cdot \left(1 - e^{-\frac{tZ_m}{tV_m}} \right)^2$$

Hierin betekenen:

- tP_m gemiddelde buffertijd [min], de rekenkundig gemiddelde tijd die de voorgaande trein i vertraagd mag zijn, zonder dat de volgens dienstregeling opvolgende trein j wordt gehinderd.
- tZ_m gemiddelde opvolgtijd [min], het rekenkundig gemiddelde van alle mogelijke opvolggevallen.
- tZ_g gemiddelde opvolgtijd [min], het rekenkundig gemiddelde van alle opvolggevallen van treinen met dezelfde prioriteit.
- tZ_v gemiddelde opvolgtijd [min], het rekenkundig gemiddelde van alle opvolggevallen van treinen met verschillende prioriteit.
- tV_m gemiddelde beginvertraging per vertraginggeval over alle treinen [min].
- pV_e kans op het optreden van een beginvertraging [-].
- pG kans op het elkaar opvolgen van twee treinen met dezelfde prioriteit [-].

Goed zichtbaar in de formules is dat een grote buffertijd tP_m zorgt voor een korte wachtrij L_{WB}.

Kwaliteitsindex van de dienstuitvoering qB

Alleen met de lengte van de wachtrij kan nog geen uitspraak worden gedaan over de kwaliteit van de dienstuitvoering. Daartoe zal de aanvaardbare lengte van de wachtrij ($L_{WB,accept}$) worden berekend. Deze negatief exponentiële uitdrukking is eveneens empirisch vastgesteld [Schwanhäußer, 1994]:

$$L_{WB,accept} = \alpha \cdot e^{-\beta \cdot p_r}$$

Hierin betekenen:

- $L_{WB,accept}$ gemiddelde lengte van de wachtrij bij een aanvaardbare kwaliteit van de dienstuitvoering [-]
- p_r kans op een reizigerstrein op het totaal aantal treinen [-]
- α en β empirisch te bepalen parameters [-]

De afhankelijkheid van de kans op een reizigerstrein laat zien dat de geaccepteerde lengte van de wachtrij afneemt naarmate het aandeel van de reizigerstreinen groter is. De empirisch te bepalen parameters zijn bepaald met behulp van data van de Deutsche Bahn. In landen met andere eisen aan het spoor netwerk en de exploitatie kunnen de parameters dus verschillen.

Nu de lengte van de wachtrij tijdens de dienstuitvoering en de toelaatbare lengte van de wachtrij bepaald zijn, kan de kwaliteitsindex qB worden berekend door deze waarden op elkaar te delen [Schwanhäußer, 1994]:

$$qB = \frac{L_{WB}}{L_{WB,accept}}$$

Voor een drietal waarden is vervolgens de bijbehorende kwaliteitsindicatie weergegeven in Tabel 4-1.

Index qB	0 - 0,5	0,5 - 1,0	1,0 - 1,5	> 1,5
belasting	zwak	redelijk	optimaal	overbelast
kwaliteit	zeer goed	goed	aanvaardbaar	onaanvaardbaar

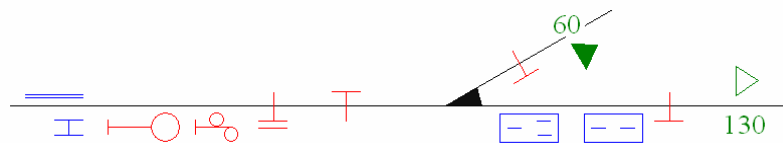
Tabel 4-1 Indicatie van de belasting en de kwaliteit afhankelijk van de index qB volgens [Schwanhäußer, 1994]

4.5 Modelling van de Gooilijn in SPURPLAN en ANKE

Met behulp van het model beschreven in Paragraaf 4.4, is aan de RWTH Aachen het computerpakket ANKE (Analytische Ermittlung der Kapazität des Eisenbahnnetzes) ontwikkeld. Het programma bestaat uit de module SPURPLAN voor de invoer van de infrastructuur en de module ANKE voor het invoeren van de treinenloop en de uiteindelijke berekening van de capaciteitsbenutting. Beide modules zullen in het hierna volgende worden toegelicht.

SPURPLAN

De infrastructuur wordt op basis van afstanden in SPURPLAN ingevoerd met behulp van OBE-bladen, Overzicht Baan en Emplacementen. Op deze bladen is de kilometrage aangegeven van o.a. (engelse) wissels, kruisingen, seinen, scheidingsglassen en overige informatie zoals type wissels en kruisingen en baanvaksnelheden. Ook de halteplaatsen met bijbehorende lengte kunnen worden overgenomen. Het ingevoerde netwerk kan op een raster worden uitgelijnd, waardoor de lay-out een schematisch karakter krijgt. Voor berekeningen worden de afstanden gebruikt zoals die zijn ingevoerd. In Figuur 4-6 is een voorbeeld weergegeven van de spoorlay-out in SPURPLAN.

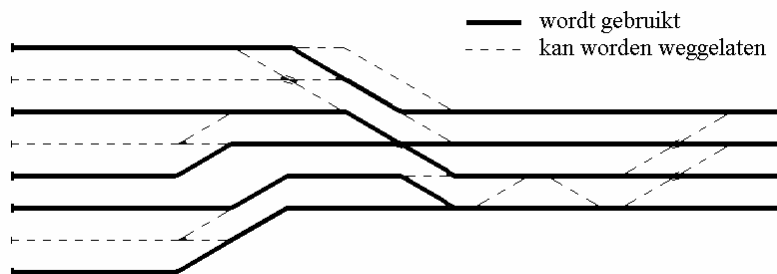


Figuur 4-6 Spoorlay-out in de module SPURPLAN

Het tweede gedeelte van de invoer betreft de rijwegen van de treinen. De rijwegen zijn een aaneenschakeling van wissels en kruisingen samen met rechte stukken spoor. Per deelgebied (Betriebsstelle) worden de verschillende mogelijke rijwegen ingevoerd. Als later in ANKE de dienstregeling wordt ingevoerd, kunnen deze (deel)rijwegen worden toegewezen aan bepaalde treinseries.

Ten opzichte van de werkelijke situatie in maart 2004 zijn een aantal aanpassingen aan het netwerk gemaakt. Elektrische scheidingslassen kunnen in het programma niet op dezelfde meter als het hoofdsein worden gepositioneerd. In de praktijk komt dit soms wel voor. Voorsein en hoofdsein worden juist wel met dezelfde kilometrage ingevoerd. Dit komt omdat op de Gooilijn het voorsein geïntegreerd is in het hoofdsein van het voorgaande blok (zie Paragraaf 3.1).

Verder zijn overbodige stukken spoor met bijbehorende armaturen weggelaten. Buiten het kerntraject bijvoorbeeld, zijn alleen de sporen ingevoerd die gebruikt worden bij een normale dienstuitvoering, zie het voorbeeld in Figuur 4-7. Daardoor zijn ook een aantal dubbele snelheidsaanduidingen vervallen. Ook overloopwissels en niet gebruikte perron- en emplacementsporen zijn verwijderd uit het netwerk. Bij bovenbouwwerkplaats Crailoo is juist een fictief stukje spoor aangebracht om de goederentreinen goed te kunnen afwerken.



Figuur 4-7 Vereenvoudiging infrastructuur op Amsterdam Centraal; de onderbroken lijnen kunnen worden weggelaten

ANKE

Nadat de invoer in SPURPLAN is afgerond, kan het netwerk worden ingelezen in ANKE. Per treinserie zijn vervolgens een aantal gegevens benodigd:

- Identificatie van de treinserie (serienummer, type dienst, traject)
- Type materieel (maximumsnelheid, lengte en massa kunnen nog aangepast worden)
- Dienstregeling (frequentie en rijweg in onverstoorde toestand inclusief halteertijden)
- Vertraging (de gemiddelde beginvertraging bij binnenkomst in het onderzoeksgebied tV_m en de kans op deze beginvertraging pV_e)
- Rangorde (een kengetal geeft de hiërarchie aan tussen de verschillende treindiensten)

In het algemeen moet nog de te analyseren tijdsperiode ingevoerd worden (in dit geval de ochtendspits van 6.00 tot 10.00 uur) en de dispositieconstante m_f voor de striktheid bij het hanteren van voorrangregels op basis van de rangorde.

Omdat het programma is toegespitst op de Deutsche Bahn, zijn er geen Nederlandse treinen in de database met treingegevens binnen ANKE opgenomen. Daarom zijn de technische eigenschappen van het gebruikte materieel op de Gooilijn toegevoegd aan de database. Het gebruikte materieel is vereenvoudigd tot 1 type materieel per treinserie. In Tabel 4-2 is het gebruikte materieel weergegeven. In Bijlage VI is tevens een materieeloverzicht opgenomen. Voor de passagierstreinen is de meest gebruikelijke configuratie genomen. Voor goederentreinen is een locomotief 1800 + 20 wagons van 20 meter en 50 ton aangenomen met een maximum snelheid van 80 km/h. Voor de maximum snelheid waarmee de internationale trein wordt ingelegd, is 100 km/h aangenomen.

Serie/Type	Samenstelling	Max. snelheid	Lengte	Massa
140 INT	Loc 1800 + 6 ICR	100 km/h	176 m	329 ton
700 IC	2x ICM3	160 km/h	162 m	288 ton
20700 IC	2x ICM3	160 km/h	162 m	288 ton
1600 IC	2x ICM3	160 km/h	162 m	288 ton
21600 IC	2x ICM3	160 km/h	162 m	288 ton
4900 ST	2x PlanV	140 km/h	104 m	176 ton
5700 ST	3x PlanV	140 km/h	156 m	264 ton
5800 S	Loc 1800 + 6 DDM	140 km/h	176 m	359 ton
Cargo G	Loc 1800 + 20 wagons	80 km/h	418 m	1083 ton

Tabel 4-2 Eigenschappen van het gebruikte materieel per treinserie in ANKE

Voor de verschillende treinsamenstellingen zijn karakteristieken uitgerekend met betrekking tot vermogen, trekkracht, lengte en massa. Deze gegevens zijn verwerkt in de databases van ANKE zodat in het programma zelf nu ook uit deze treinen kan worden gekozen. In Bijlage VII zijn deze karakteristieken weergegeven plus een korte uitleg over de berekening daarvan.

De dienstregeling voor passagierstreinen wordt exact overgenomen van het basisuurpatroon. Om een soort van dienstregeling voor goederentreinen te bepalen, is het aantal goederentreinen dat voorkomt geanalyseerd plus de herkomst en bestemming. Daarbij is met behulp van de TNV-logbestanden op verschillende locaties gekeken naar de treinnummers van de passerende treinen. Op deze manier zijn zes goederentreindiensten opgenomen in de totale dienstregeling. In Tabel 4-3 zijn de goederentreinen inclusief herkomst, bestemming en vertrektijd opgenomen. De vertrektijden zijn gepland volgens de gereserveerde treinpaden op het basisuurpatroon. Alle goederentreinseries hebben een frequentie van 1x per uur. Indien de internationale trein rijdt, vervalt afhankelijk van de richting de goederentrein Amersfoort - Amsterdam of Duivendrecht - Amersfoort.

Serie/Type	Herkomst	- Bestemming	Vertrektijd
11 G	Crailoo	- Amersfoort	07
12 G	Amersfoort	- Amsterdam	11
13 G	Duivendrecht	- Crailoo	48
14 G	Crailoo	- Duivendrecht	54
15 G	Duivendrecht	- Amersfoort	18
16 G	Amersfoort	- Crailoo	34

Tabel 4-3 Gemodelleerde goederentreindiensten op de Gooilijn

De gemiddelde beginvertraging bij binnenkomst in het onderzoeksgebied tV_m en de kans op deze beginvertraging pV_e zijn voor alle passagierstreinseries bepaald met behulp van TNV-Prepare. Op elk punt waar een bepaalde treinserie het onderzoeksgebied binnenkomt, is de vertrektijd vergeleken met de dienstregeling. Daaruit is de gemiddelde beginvertraging berekend. Het aantal treinen dat te laat is (in dit geval 60 s of meer) gedeeld door het totaal aantal treinen bepaalt de kans op deze beginvertraging. In Tabel 4-4 zijn alle gemiddelde beginvertragingen met bijbehorende kansen per treinserie en richting weergegeven. Ter vergelijking zijn het aantal vertraagde treinen met bijbehorende gemiddelde vertraging aan het begin van het kerntraject ook opgenomen in de tabel.

Serie	richting Amersfoort		kerntraject		richting Amsterdam		kerntraject	
	pV_e [-]	tV_m [min]	pV_e [-]	tV_m [min]	pV_e [-]	tV_m [min]	pV_e [-]	tV_m [min]
140 *	0,63	3,22	-	-	0,64	3,30	-	-
700	0,20	2,92	0,12	4,48	0,17	3,28	0,68	2,42
1600	0,16	2,78	0,11	3,62	0,16	3,07	0,69	2,45
20700	0,50	2,23	0,36	3,00	0,21	2,98	0,42	2,63
21600	0,49	2,43	0,37	3,30	0,25	2,52	0,51	2,25
4900	0,39	2,37	0,32	2,47	0,87	2,93	0,78	2,83
5700	0,22	2,95	0,28	2,60	0,57	2,92	0,39	2,83
5800	0,34	2,80	0,32	2,87	0,27	2,12	0,36	2,28

Tabel 4-4 Gemiddelde beginvertraging (tV_m) met bijbehorende kans (pV_e) aan de randen van het onderzoeksgebied en het kerntraject

*) In de analyse in Paragraaf 3.4 is serie 140 niet meegenomen. Daarom ontbreken in de tabel de pV_e en tV_m voor het kerntraject. Omdat de internationale trein wel van belang is voor de berekening van de capaciteitsbenutting, wordt deze serie wel gemodelleerd in ANKE.

In de richting Amersfoort is te zien dat het aantal vertraagde treinen afneemt richting het kerntraject aan de kleiner wordende pV_e . De gemiddelde vertraging tV_m neemt echter wel toe. Een mogelijke verklaring is dat de treinen met een kleine vertrekvertraging dit goedmaken in de aanloop tot het kerntraject. Bij treinen met een relatief grote vertrekvertraging loopt deze vertraging verder op. Stoptrein 5700 is hierop een uitzondering. Hier wordt het aantal vertraagde treinen juist groter en de gemiddelde vertraging kleiner.

In de richting Amsterdam neemt het aantal vertraagde treinen juist toe en de gemiddelde vertraging neemt af. Uitzonderingen zijn de stoptreinen 4900 en 5700 waarbij het aantal vertraagde treinen afneemt en sneltrein 5800 waarbij de gemiddelde vertraging toeneemt. Het lijkt er dus op dat de treinseries die vertrekken uit Amersfoort onderweg naar Hilversum hinder ondervinden. Dit is tevens een mogelijke verklaring voor de grote beginvertraging op het kerntraject van deze treinen.

Een onzekere factor in de invoer is de dispositieconstante m_f in de formule voor de voorrangsregeling. De voorrangsregeling wordt uitgedrukt door de dispositiefactor $c_d = 100 \cdot (\text{rang}_i - \text{rang}_j) / m_f$, met $-100\% < c_d < +100\%$. Deze factor geeft aan hoe groot de vertraging van trein i in procenten ten opzichte van de minimale opvolgtijd van trein j op trein i mag zijn waarbij trein i voorrang krijgt en trein j moet wachten. Het probleem is dat er op het Nederlandse spoornetwerk per station of aansluiting verschillende voorrangregels gehanteerd worden, terwijl er in het model per opvolggeval tussen twee treinseries slechts één regel kan worden toegepast.

In de Nederlandse situatie bestaat er weinig hiërarchie in de verschillende treindiensten. Dit kan in het model bereikt worden door weinig rangen te combineren met een hoge m_f -waarde. In dit onderzoek worden vier verschillende rangen onderscheiden. Hoogste prioriteit wordt toegekend aan de intercity's (1) en dan sneltreinen (2), stoptreinen (3) en goederentreinen (4). Voor de dispositieconstante wordt de waarde $m_f = 8,0$ gebruikt. Over het algemeen benadert deze waarde in combinatie met 4 rangen de Nederlandse situatie redelijk. Slechts bij kleine waarden van de dispositieconstante ($m_f < 4$) treden aanzienlijke verschillen op in de kwaliteitsuitdrukking. Dit kwam ook naar voren uit een gevoeligheidsanalyse in eerder onderzoek van [de Keizer, 2003].

4.6 Analyse van de rijtijden in ANKE

De door ANKE uitgerekende rijtijden zijn minimale rij- en halteertijden. Deze bestaan uit de technisch minimale rij- en halteertijden inclusief een regeltoeslag. De technisch minimale rijtijd is de rijtijd die op basis van de treinkarakteristieken mogelijk is. Omdat in de praktijk de rijtijd onderhevig is aan de staat van het materieel en de infrastructuur, weersomstandigheden, gedrag van de machinist en de mate van verstoring, wordt bij de NS een regeltoeslag van 7% gehanteerd. De toegepaste regeltoeslag in ANKE ligt vast op 3% en wordt bepaald aan de hand van richtlijn 402 van de Deutsche Bahn.

De rijtijden in ANKE worden vergeleken met de geplande rijtijden volgens de dienstregeling en de basisuurpatronen (planmatige verplaatsingstijd). Omdat de rijtijden in ANKE al synchronisatietijden bevatten in de halteertijden zijn dit de basis verplaatsingstijden. Het verschil tussen de planmatige en basis verplaatsingstijd is de planmatige wachttijd. In Tabel 4-5 zijn de geplande rijtijden, de rijtijden in ANKE en de planmatige wachttijden weergegeven. Achter de planmatige wachttijd is het percentage van deze wachttijd ten opzichte van de rijtijd in ANKE toegevoegd.

Serie	Geplande rijtijd [min]		Rijtijd ANKE [min]		Planmatige wachttijd [min]			
	ri. Amf	ri. Asd	ri. Amf	ri. Asd	ri. Amf		ri. Asd	
140	40	38	32,38	32,82	7,62	24%	5,18	16%
700	27	27	24,37	24,03	2,63	11%	2,97	12%
1600	27	27	24,37	24,03	2,63	11%	2,97	12%
20700	30	30	28,12	27,85	1,88	7%	2,15	8%
21600	30	30	28,12	27,93	1,88	7%	2,07	7%
4900	22,83 *	21,83 *	19,94	19,84	2,89	14%	1,99	10%
5700	29,5	29	26,95	25,96	2,55	9%	3,04	12%
5800	41	40	36,26	36,31	4,74	13%	3,69	10%

Tabel 4-5 Geplande rijtijden, rijtijden in ANKE en planmatige wachttijden (als percentage van de rijtijden in ANKE) in het onderzoeksgebied

*) De rijtijden in ANKE voor de serie 4900 in beide richtingen zijn exclusief de 2 minuten geplande wachttijd in de Gooiboog. Dit komt omdat de treinen niet bij een halte wachten en de 2 minuten wachttijd dus niet te modelleren zijn. Dit is opgelost door de treinen uit Almere 2,67 minuut later te laten vertrekken en de treinen naar Almere 2,67 minuut eerder te laten aankomen. Deze 2,67 minuut is de tijd die de trein extra nodig heeft om 2 minuten te kunnen halteren bij een baanvaknelheid van 80 km/h ten opzichte van doorrijden met 80 km/h.

Duidelijk zichtbaar is dat aan de basis verplaatsingstijd van de internationale trein (serie 140), ondanks de lagere inlegsnelheid, een grote hoeveelheid planmatige wachttijd wordt toegevoegd. De intercity's 20700 en 21600 met eindbestemming Amsterdam hebben in verhouding tot de andere intercity's 38% minder toegevoegde wachttijd. Over het algemeen wordt nergens de geplande rijtijd overschreden door de berekende rijtijd in ANKE.

In vergelijking met de resultaten uit Tabel 3.1 valt op dat bij de intercity's richting Amersfoort de vertragingstoename groter is en de planmatige wachttijd korter dan richting Amsterdam. Voor de sneltrein geldt hetzelfde, maar dan in omgekeerde richting. Voor de stoptreinen gaat deze vergelijking niet op. Bij deze treinen is de vertragingstoename juist groter in de richting met de meeste planmatige wachttijd (4900 richting Amersfoort en 5700 richting Amsterdam). Er kan dus niet direct geconcludeerd worden dat de vertragingstoename afhankelijk is van de hoeveelheid planmatige wachttijd. Ook de verhoudingen tussen de vertragingstoenames en de planmatige wachttijden onderling geven geen aanwijzingen op directe verbanden tussen deze twee grootheden.

In Tabel 4-6 zijn de geplande rijtijden, de rijtijden in ANKE en de planmatige wachttijden over het kerntraject in seconden weergegeven. Achter de planmatige wachttijd is wederom het percentage van deze wachttijd ten opzichte van de rijtijd in ANKE toegevoegd.

Serie	Geplande rijtijd [s]		Rijtijd ANKE [s]		Planmatige wachttijd [s]			
	ri. Amf	ri. Asd	ri. Amf	ri. Asd	ri. Amf		ri. Asd	
140	660	600	494	495	166	34%	105	21%
700	420	480	432	432	-12	-3%	48	11%
1600	420	480	432	432	-12	-3%	48	11%
20700	420	480	432	432	-12	-3%	48	11%
21600	420	480	432	432	-12	-3%	48	11%
4900	720	660	630	661	90	14%	-1	0%
5700	840	750	776	750	64	8%	0	0%
5800	660	600	583	587	77	13%	13	2%

Tabel 4-6 Geplande rijtijden, rijtijden in ANKE en planmatige wachttijden (als percentage van de rijtijd in ANKE) op het kerntraject

Opvallend is dat de rijtijden in ANKE langer zijn dan de geplande rijtijden voor de intercity's in de richting Amersfoort. Dit resulteert in een negatieve geplande wachttijd. Ook voor de sneltrein en de stoptreinen in de richting Amsterdam is weinig tot geen planmatige wachttijd aanwezig.

De gerealiseerde gemiddelde rijtijden, de toename van de vertraging en de eindvertraging over het kerntraject zijn opgenomen in Tabel 4-7.

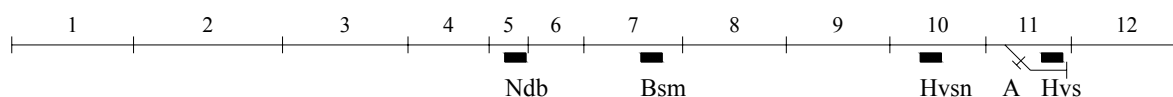
Serie	Gemiddelde rijtijd [s]		Toename vertraging [s]		Eindvertraging [s]	
	ri. Amf	ri. Asd	ri. Amf	ri. Asd	ri. Amf	ri. Asd
700	544	487	123	7	123	119
1600	547	472	112	0	112	106
20700	501	509	81	29	150	113
21600	500	466	80	0	158	72
4900	762	676	42	16	94	157
5700	902	870	62	120	122	187
5800	714	676	54	76	129	132

Tabel 4-7 Gerealiseerde gemiddelde rijtijden, toename van de vertragingen en de eindvertragingen in beide richtingen op het kerntraject

Over het algemeen zijn de gerealiseerde rijtijden behoorlijk langer dan de door ANKE berekende rijtijden. Zelfs als de regeltoeslag in ANKE zou worden opgeschroefd naar 7%, zou dit nog steeds het geval zijn. Het is dus duidelijk dat de treinen de rijtijd in ANKE (basis verplaatsingstijd) niet halen. Ook de geplande rijtijd volgens de dienstregeling (planmatige verplaatsingstijd) wordt in de meeste gevallen niet gehaald. Door een tekort aan planmatige wachttijd is er dus te weinig buffertijd aanwezig om (kleine) vertragingen te compenseren. Dit is een mogelijke verklaring voor de toename van de vertraging over het kerntraject en tevens hoge eindvertraging voor de intercity's richting Amersfoort en de sneltrein en stoptreinen richting Amsterdam.

4.7 Berekening van de bloktijden

Bij het berekenen van de rijtijden in ANKE worden de passeermomenten van alle seinen, wissels, scheidingslassen, snelheidsaanduidingen en haltes geregistreerd. In geval van een scheidingslas wordt zowel het passeren van de voorkant van de trein als de achterkant opgeslagen. Met behulp van deze gegevens kunnen de bloktijden bepaald worden voor het kerntraject. Door vervolgens de bloktrapdiagrammen te tekenen, kunnen de minimale opvolgtijden en buffertijden bepaald worden. In Figuur 4-8 is de blokindeling op het kerntraject richting Amersfoort weergegeven.



Figuur 4-8 Blokindeling op het kerntraject in de richting Amersfoort

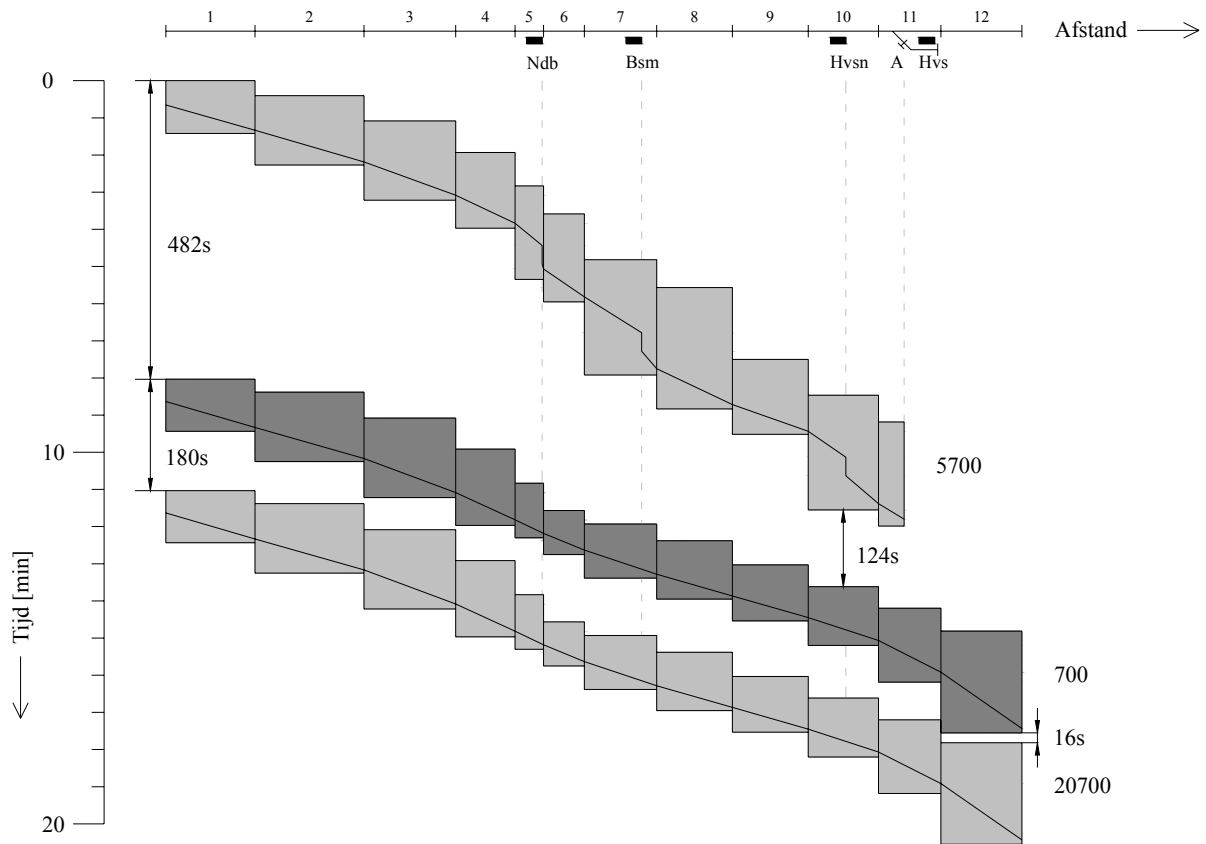
Voor het berekenen van de bloktijd moet een aantal aannamen gedaan worden:

- Inschakeltijd = 1 s
- Zichttijd = 12 s
- Reactietijd = 2 s
- Uitschakeltijd = 1 s

De toenaderingstijd, rijtijd over het blok en de ontruimingstijd worden tezamen berekend door de passage van de voorkant van de trein bij binnenkomst van het voorgaande blok af te trekken van de passage van de achterkant van de trein bij het verlaten van het opvolgende blok. Op deze manier wordt de bloktijd berekend voor alle blokken op het kerntraject. Voor de combinatie ST 5700 – IC 700/1600 – IC 20700/21600 zijn de berekende bloktijden weergegeven in Tabel 4-8 en grafisch in Figuur 4-9. Serie 1600 en 21600 zijn identiek aan 700 en 20700 en zullen voor de overzichtelijkheid niet verder worden weergegeven.

Blok	Lengte [m]	Bloktijd serie 5700			Bloktijd series 700 / 20700		
		Aanvang [s]	Einde [s]	Duur [s]	Aanvang [s]	Einde [s]	Duur [s]
1	1441	0	85	85	0	84	84
2	1763	24	136	112	21	133	112
3	1484	65	193	128	63	191	128
4	961	116	238	122	113	236	123
5	461	170	321	151	168	256	88
6	659	215	357	142	212	283	71
7	1169	289	475	186	234	321	87
8	1226	334	530	196	261	355	94
9	1225	450	571	121	300	390	90
10	1137	508	693	185	335	430	95
11	413 / 1010	551	719	168	370	489	119
12	1310	-	-	-	407	571	164

Tabel 4-8 Bloktijden van de series 5700 en 700 / 20700 op het kerntraject richting Amersfoort

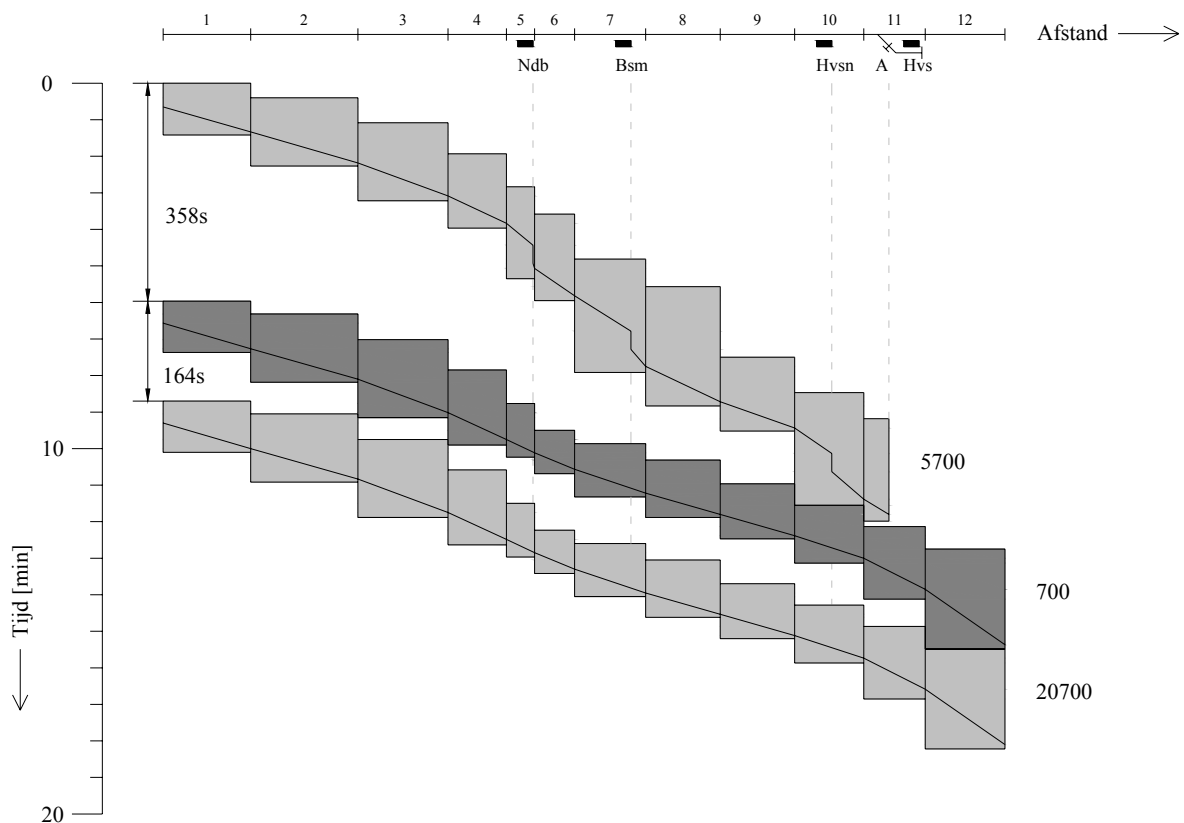


Figuur 4-9 Bloktrapdiagram van de series 5700, 700 en 20700 inclusief opvolgtijden en buffertijden op het kerntraject in de richting Amersfoort

Treinserie 5700 halteert op spoor 1 en de intercity's passeren het station via spoor 2. Spoor 1 wordt bereikt door het wissel in blok 11 in afgebogen richting te berijden. Na het passeren van de 5700 richting spoor 1 zal het wissel dus omgelegd moeten worden richting spoor 2 voor de intercity's. Nadat de achterkant van de trein las A heeft gepasseerd, wordt het wissel vrijgegeven en kan deze worden omgelegd. De opvolgende intercity heeft nu vrij baan naar spoor 2 en blok 11 wordt vrijgegeven. Dit resulteert in een verkorte blok lengte en bloktijd van blok 11 voor serie 5700.

Minimale opvolgtijden

Om de minimale opvolgtijd te kunnen bepalen (bij een ongehinderde treinenloop) worden de bloktrappen van de afzonderlijke series naar elkaar toegeschoven zodat deze elkaar net raken. Het blok waarin de trappen elkaar raken is het maatgevende blok. Ter plaatse van dit blok is nu geen buffertijd meer aanwezig en de minimale opvolgtijd volgt uit Figuur 4-10. De buffertijd in de Ausgangssituatie is gelijk aan de opvolgtijd in de Ausgangssituatie verminderd met de minimale opvolgtijd.



Figuur 4-10 Bloktrapdiagram van de series 5700, 700 en 20700 inclusief minimale opvolgtijden op het kerntraject in de richting Amersfoort

Over het kerntraject is de minimale opvolgtijd van serie 700 op serie 5700 dus 358 s en van serie 20700 op serie 700 164 s. De in de dienstregeling opgenomen buffertijden bedragen respectievelijk 124 s en 16 s. Vergelijken we nu de gemiddelde eindvertraging van serie 5700 (122 s) met de buffertijd (124 s), dan wordt deze bijna volledig gebruikt. Met een gemiddelde eindvertraging van 123 s voor serie 700 en 112 s voor serie 1600 tegenover een buffertijd van 16 s, wordt duidelijk dat deze twee series een groot aandeel hebben in de vertragingen van de opvolgers, serie 20700 en 21600.

Baanvakbelastingen

Wanneer voor één uur uit de dienstregeling alle treinen worden getekend in het bloktrapdiagram, kan de baanvakbelasting bepaald worden. De bloktrappen worden daarbij tegen elkaar geschoven zodat de treinen elkaar met minimale opvolgtijd opvolgen. De tijd die verstrijkt voordat de eerste trein in de dienstregeling voor de tweede keer kan gaan rijden gedeeld door de totale cyclustijd (in dit geval 1 uur) geeft de baanvakbelasting in procenten. De baanvakbelasting is in beide richtingen, met en zonder goederentreinen, uitgerekend voor het kerntraject. In Tabel 4-9 zijn de baanvakbelastingen weergegeven.

Baanvakbelasting	ri. Amf	ri. Asd
Met goederentreinen	64,6%	77,3%
Zonder goederentreinen	53,7%	66,4%

Tabel 4-9 Baanvakbelastingen op het kerntraject

Over het algemeen is de toelaatbare baanvakbelasting tussen de 60 en 70%. De baanvakbelasting richting Amersfoort is dus nog net acceptabel, maar het baanvak richting Amsterdam is overbelast. Volgens de door Railned gehanteerde norm van 80% is de baanvakbelasting richting Amsterdam wel nog net acceptabel. Dat de baanvakbelasting richting Amsterdam groter is dan richting Amersfoort is deels te verklaren door de lange bloktijden van het stationsblok in Hilversum en het daarop volgende blok. Wanneer bijvoorbeeld de halteertijd van serie 4900 van 2 minuten naar 0,5 minuut wordt teruggebracht, scheelt dit 5% in de baanvakbelasting. Dat er in de richting Amsterdam maar 1 perronspoor beschikbaar is in Hilversum voor de halterende treinen is ook een verklaring voor de hogere baanvakbelasting. Stel dat serie 5800 langs een ander perron zou kunnen halteren (net als richting Amersfoort) zodat serie 4900 niet hoeft te wachten tot het perron vrij is, dan gaat de baanvakbelasting ruim 10% omlaag.

In Bijlage VIII zijn de bloktrapdiagrammen van alle treindiensten in beide richtingen opgenomen. Opvallend is dat ondanks een hogere baanvakbelasting en krapper ingelegde treinen de toename van de vertragingen in de richting Amsterdam kleiner is dan richting Amersfoort. In dit geval is de baanvakbelasting niet aan te wijzen als directe oorzaak voor de toename van de vertragingen.

De baanvakbelasting geeft ook aan hoeveel rijtijdmarginen kan worden opgenomen in de dienstregeling; hoe hoger de baanvakbelasting, des te minder rijtijdmarginen kan worden opgenomen. In totaal is richting Amsterdam zodoende minder rijtijdmargin beschikbaar dan richting Amersfoort. In vergelijking met Tabel 4-6 is te zien dat in totaal in de richting Amsterdam ook minder geplande wachttijd is toegevoegd dan richting Amersfoort.

Buffertijden

Bij de analyse van de buffertijden wordt alleen gekeken naar de buffertijden tussen de passagierstreinen. De goederentreinen worden buiten beschouwing gelaten omdat de dienstregeling van deze treinen per situatie wordt aangepast aan de passagierstreindiensten. In Tabel 4-10 en 4-11 zijn de buffertijden tussen de (volgens dienstregeling) opeenvolgende treinen weergegeven. De buffertijd tussen het laatste opvolg geval in beide tabellen is zo groot omdat hier nog het gereserveerde treinpad voor de goederentreinen (en de internationale trein) tussen ligt.

Serie/Type	Opvolger	Buffertijd [s]	Maatgevend blok
5700 ST	700 IC	124	10 - Stationsblok Hilversum Noord
700 IC	20700 IC	16	12 - Blok na station Hilversum
20700 IC	4900 ST	10	2 - Blok na Keverdijk aansluiting
4900 ST	5800 S	122	5 - Stationsblok Naarden-Bussum
5800 S	5700 ST	561	5 - Stationsblok Naarden-Bussum

Tabel 4-10 Buffertijden [s] bij opvolggevallen in de richting Amersfoort

Serie/Type	Opvolger	Buffertijd [s]	Maatgevend blok
5800 S	4900 ST	-46	1 - Stationsblok Hilversum
4900 ST	20700 IC	4	11 - Lang blok in de vrije baan
20700 IC	700 IC	16	2 - Blok na station Hilversum
700 IC	5700 ST	69	3 - Stationsblok Hilversum Noord
5700 ST	5800 S	561	9 - Blok na station Naarden-Bussum

Tabel 4-11 Buffertijden [s] bij opvolggevallen in de richting Amsterdam

Over het algemeen zijn de buffertijden in de richting Amersfoort langer. In de richting Amsterdam is er zelf een negatieve buffertijd tussen serie 5800 en opvolger 4900. Fysiek is een overlap van bloktrappen niet mogelijk en dit houdt dus in dat serie 4900 hier stelselmatig hinder van ondervindt. Dit kan een verklaring zijn voor de, in verhouding tot de andere treinseries, hoge beginvertraging van serie 4900. Serie 4900 moet wachten tot het perronspoor in Hilversum is vrijgemaakt door 5800 en krijgt zo een beginvertraging mee bij binnenkomst op het kerntraject.

In Tabel 4-12 en 4-13 zijn de begin- en eindvertraging en de toename van de vertraging per treinserie naast de buffertijd gezet. Afhankelijk van de positie van het maatgevende blok kan de buffertijd worden vergeleken met de begin of eindvertraging. Deze vertragingen zijn vetgedrukt in de tabel.

Serie/Type	Opvolger	Buffertijd [s]	Vertraging [s]		
			begin	eind	toename
5700 ST	700 IC	124	59	122	62
700 IC	20700 IC	16	0	123	123
20700 IC	4900 ST	10	70	150	81
4900 ST	5800 S	122	52	94	42
5800 S	5700 ST	561	75	129	54

Tabel 4-12 Vertragingen en buffertijden bij opvolggevallen in de richting Amersfoort

Serie/Type	Opvolger	Buffertijd [s]	Vertraging [s]		
			begin	eind	toename
5800 S	4900 ST	-46	56	132	76
4900 ST	20700 IC	4	141	157	16
20700 IC	700 IC	16	84	113	29
700 IC	5700 ST	69	111	119	7
5700 ST	5800 S	561	66	187	120

Tabel 4-13 Vertragingen en buffertijden bij opvolggevallen in de richting Amsterdam

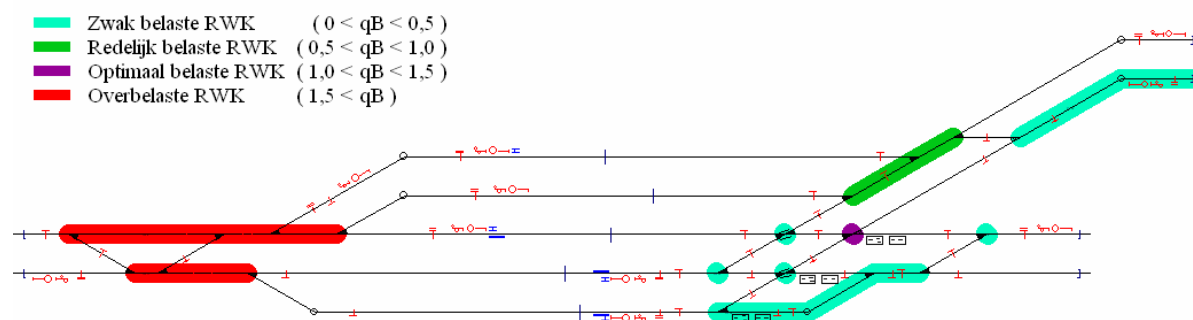
In de richting Amersfoort ontstaan er volgvertragingen voor serie 20700 en 4900 doordat de vertraging van de voorgaande trein groter is dan de aanwezige buffertijd. Ondanks dat de buffertijd tussen 5700 en 700 bij benadering gelijk is aan de vertraging van 5700, krijgt de 700 toch een flinke vertraging mee. Het gereserveerde pad voor goederentreinen ligt voor serie 5700. De goederentreinen kunnen de oorzaak zijn van de vertraging van serie 5700, maar dit kan niet uit het voorgaande worden afgeleid. De vertragingen van serie 5800 kunnen veroorzaakt worden door het halteren van serie 4900 op hetzelfde spoor in Naarden-Bussum. Maar ook hier zijn daar geen aanwijzingen voor.

In de richting Amsterdam ontstaan er volgvertragingen voor serie 4900, 20700, 700 en 5700. In deze richting rijdt de 5800 achter de goederentreinen. Net als in de richting Amersfoort geldt dat de goederentreinen de vertragingen kunnen veroorzaken, maar daar zijn ook hier geen aanwijzingen voor. Een deel van de vertragingsoopbouw is dus te verklaren doordat de vertraging van de voorgaande trein groter is dan de in de dienstregeling opgenomen buffertijd.

4.8 Berekening van de capaciteitsbenutting

Voordat de capaciteitsberekening in ANKE kan worden uitgevoerd, worden eerst een aantal andere berekeningen gemaakt met het programma. Deze berekeningen kunnen ook afzonderlijk worden weergegeven door het programma en zijn tevens noodzakelijk voor de capaciteitsberekening. Voor elke treindienst worden de snelheid en de daaruit volgende rijtijden en bloktijden berekend. De snelheden en rijtijden worden weergegeven in tabelvorm. Daarnaast kunnen de snelheden en de rij- en bloktijden ook gevisualiseerd worden door middel van het snelheid-afstanddiagram en bloktrapdiagrammen. Vervolgens worden de minimale opvolgtijden per treindienst berekend en de kans op het elkaar opvolgen van twee treindiensten.

De capaciteitsberekening kan nu worden uitgevoerd. Per rijwegknoop (RWK) wordt de totale wachttijd berekend die door conflicten tussen verschillende treindiensten op deze RWK ontstaat. Hieruit volgt de gemiddelde lengte van de wachtrij en samen met de toelaatbare lengte van de wachtrij wordt zo de kwaliteitsindex berekend. De uitgerekenen waarden per RWK worden in tabelvorm gepresenteerd, maar kunnen ook grafisch worden weergegeven. In Figuur 4-11 is de grafische representatie voor emplacement Hilversum weergegeven.



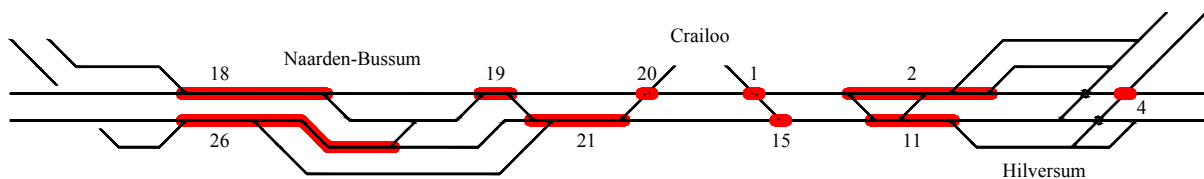
Figuur 4-11 Grafische representatie van de belastings- en kwaliteitsindicatie van de rijwegknoepen (RWK's) op emplacement Hilversum

In Tabel 4-14 zijn de uitgerekenen kwaliteitsindices plus de bijbehorende totale wachttijd in minuten en de gemiddelde lengte van de wachtrij weergegeven voor alle RWK's met een q_B groter dan 1,5. Verder zijn er nog 3 RWK's met een q_B van rond de 1 en de overige hebben een q_B kleiner dan 0,5. Alle in de tabel genoemde RWK's liggen in het kerntraject. Het aantal rijbewegingen op deze RWK's is dan ook veel groter dan buiten het kerntraject. De RWK's buiten het kerntraject worden verder buiten beschouwing gelaten omdat de kwaliteitsindices niet representatief zijn voor de werkelijke situatie. In werkelijkheid zijn er meer rijbewegingen dan gemodelleerd. Deze rijbewegingen worden gemaakt door treinen die niet over het kerntraject rijden en in dit geval dus niet relevant zijn.

RWK	Locatie	Totale wachttijd [min]	Gem. lengte wachtrij [-]	qB
2	Westzijde Hvs richting Asd	51,84	0,2160	2,448
11	Westzijde Hvs richting Amf	44,55	0,1856	2,184
15	Oostzijde Crailoo richting Amf	44,55	0,1856	2,184
21	Oostzijde Ndb richting Amf	42,94	0,1789	2,113
26	Aansl. Keverdijk richting Amf	42,94	0,1789	2,113
1	Oostzijde Crailoo richting Asd	47,07	0,1961	2,023
18	Aansl. Keverdijk richting Asd	40,98	0,1708	1,925
19	Oostzijde Ndb richting Asd	40,98	0,1708	1,925
20	Westzijde Crailoo richting Asd	39,68	0,1653	1,706
4	Kruising oostzijde Hvs	22,53	0,0939	1,099

Tabel 4-14 Zwaarst belaste rijwegknopen (RWK) op het kerntraject bij de capaciteitsberekening

Ter verduidelijking zijn in Figuur 4-12 de locaties van de rijwegknopen uit Tabel 4-14 weergegeven.



Figuur 4-12 Locatie van de zwaarst belaste rijwegknopen (RWK) op de Gooilijn

Van de in de tabel genoemde rijwegknopen ligt de waarde van qB tussen de 1,7 en 2,2. Uitzonderingen zijn RWK 2 met ruim 2,4 en RWK 4 met bijna 1,1. Volgens de in het model gehanteerde norm (zie Tabel 4-1) zijn deze rijwegknopen met een qB > 1,5 dus overbelast en is de kwaliteit onaanvaardbaar. Naar aanleiding van de analyses in Hoofdstuk 2 en 3 werd verwacht dat de kruising aan de oostkant van emplacement Hilversum (RWK 4) een mogelijke oorzaak van de vertragingen zou zijn. De uitgerekende qB = 1,099 geeft echter aan dat RWK 4 optimaal belast wordt.

In de richting Amsterdam neemt de qB eerst geleidelijk af (RWK 2 - 1 - 20) en stijgt daarna weer iets (RWK 20 - 19 - 18). Een verklaring hiervoor is de samenkomst van perronspoor 3 en inhaalspoor 4 op RWK 2 ten westen van station Hilversum. Na een snelheidsverlaging en halte Hilversum conflicteren de treinen uit Amersfoort en Utrecht met elkaar. De wachttijd die hierbij ontstaat wordt deels weer ingelopen richting Naarden-Bussum waarna opnieuw een conflict ontstaat door de snelheidsverlaging en het halteren van de treinen op de sporen 1 en 2.

In de richting Amersfoort (RWK 26 - 21 - 15 - 11) neemt de qB heel licht toe. De splitsing naar de perronsporen 1 en 2 en de snelheidsverlaging is slechts voor een deel een verklaring voor de wachttijden op RWK 11. Dit komt omdat de qB nauwelijks veranderd over het kerntraject. De wachttijden worden in dit geval ook veroorzaakt door een conflict voor Naarden-Bussum. Een verklaring voor dit conflict is de aansluiting met de Gooiboog en grote bloklengtes.

4.9 Conclusie

Naar aanleiding van de onderzoeksresultaten in dit hoofdstuk kunnen een aantal conclusies getrokken worden. Uit de verdeling van het aantal vertraagde treinen en de grootte van de vertraging is af te leiden dat in de aanloop naar het kerntraject richting Amersfoort ruimte is om kleine vertragingen in te lopen. Gezien de toename van het aantal vertraagde treinen kan geconcludeerd worden dat de treinen uit Amersfoort in de richting Amsterdam hinder ondervinden onderweg naar Hilversum.

Over het gehele onderzoeksgebied zijn de rijtijden in ANKE korter dan de geplande rijtijden. Op het kerntraject is echter voor de intercity's richting Amersfoort de rijtijd in ANKE langer dan de geplande rijtijd en voor de stoptreinen en sneltrein richting Amsterdam ongeveer gelijk. Voor deze treinen is de relatief grote vertragingstoename te verklaren door het tekort aan rijtijdmarginen opgenomen in de dienstregeling. Uit de analyse van de buffertijden is ook af te leiden dat vooral in de richting Amsterdam de toename van de vertragingen veroorzaakt wordt door een tekort aan buffertijd. Dit komt ook naar voren uit de hogere baanvakbelasting in de richting Amsterdam ten opzichte van richting Amersfoort. Deze hoge belasting wordt met name veroorzaakt door de lange bloktijden op emplacement Hilversum.

Uit de bloktrapdiagrammen en het basisuurpatroon blijkt dat de intercity's in de richting Amsterdam een grotere rijtijdmargin hebben dan in de richting Amersfoort. Dit verklaart tevens waarom de vertragingstoename van deze intercity's minimaal is. Een eenduidige verklaring voor de toename van de vertraging van de sneltrein en stoptreinen richting Amersfoort is naar aanleiding van de analyse niet te geven. Het betreft hier waarschijnlijk een combinatie van factoren.

Uit de analyse met ANKE blijkt dat alle rijwegknopen op het kerntraject (de oostkant van emplacement Hilversum uitgezonderd) overbelast zijn met als gevolg een onaanvaardbare kwaliteit. De kruising (RWK 4) van het spoor uit Utrecht met het spoor naar Amersfoort blijkt in tegenstelling tot de verwachting geen knelpunt te zijn en heeft een optimale belasting en een aanvaardbare kwaliteit.

5 Voorstel tot verbetering van de capaciteitsbenutting

In dit hoofdstuk wordt een voorstel tot verbetering van de capaciteitsbenutting ontwikkeld met als doel het aanvaardbaar maken van de kwaliteit van de dienstuitvoering op alle rijwegknopen op het kerntraject. Daartoe worden de mogelijke oorzaken van het ontstaan van wachttijden onderzocht met specifieke aandacht voor de zwaarst belaste rijwegknopen 2 en 11. Aan de hand van de resultaten zal een aantal mogelijkheden tot verbetering worden opgesteld en daarna getoetst met het model.

5.1 Analyse van de treinprestaties op emplacement Hilversum

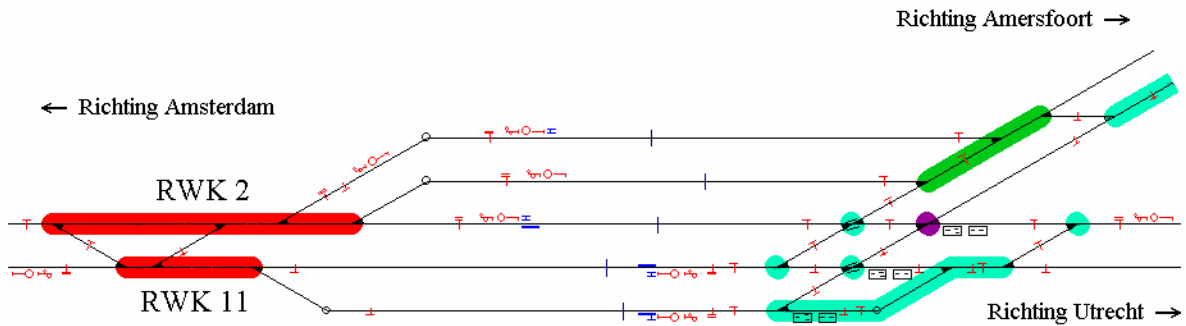
ANKE geeft naast de kwaliteit van de dienstuitvoering (index qB) en de totale wachttijd per dag ook de wachttijd per treinserie en per trein op elke rijwegknoop. Deze wachttijden zijn voor RWK 2 en 11 opgenomen in Tabel 5-1. Achter de wachttijd per treinserie is het percentage ten opzichte van het totaal aan wachttijd voor de rijwegknoop aangegeven. De locatie van de rijwegknopen 2 en 11 op emplacement Hilversum is aangegeven in Figuur 5-1.

Serie/Type	Wachttijd RWK 11 ri. Amf [min]			Wachttijd RWK 2 ri. Asd [min]		
	per serie	%	per trein	per serie	%	per trein
140 INT	1,01	2,3%	0,25	-	-	-
700 IC	4,47	10,0%	0,25	6,42	12,4%	0,36
1600 IC	4,44	10,0%	0,25	4,65	9,0%	0,26
20700 IC	3,25	7,3%	0,18	5,87	11,3%	0,33
21600 IC	3,41	7,7%	0,19	3,90	7,5%	0,22
4900 ST	7,05	15,8%	0,20	7,43	14,3%	0,21
5700 ST	11,57	26,0%	0,30	10,73	20,7%	0,27
5800 S	8,24	18,5%	0,22	11,50	22,2%	0,29
11 / 12 G	0,63	1,4%	0,03	0,69	1,3%	0,05
15 / 16 G	0,49	1,1%	0,04	0,66	1,3%	0,04
Totaal	44,55	100,0%	-	51,84	100,0%	-

Tabel 5-1 Wachttijden per treinserie per dag in minuten en in procent ten opzichte van het totaal en de wachttijd per trein op de zwaarst belaste rijwegknopen 2 en 11

Omdat serie 140 maar 4 maal per dag rijdt en niet in de geanalyseerde ochtendspits van 6.00 tot 10.00 uur, ontbrekende de wachttijden voor deze serie op RWK 2 (richting Amsterdam).

De goederentreinen 13G en 14G rijden tussen Duivendrecht en Crailoo en vice versa en passeren RWK 11 en 2 dus niet. Deze twee treinseries komen dan ook niet voor in de tabel.



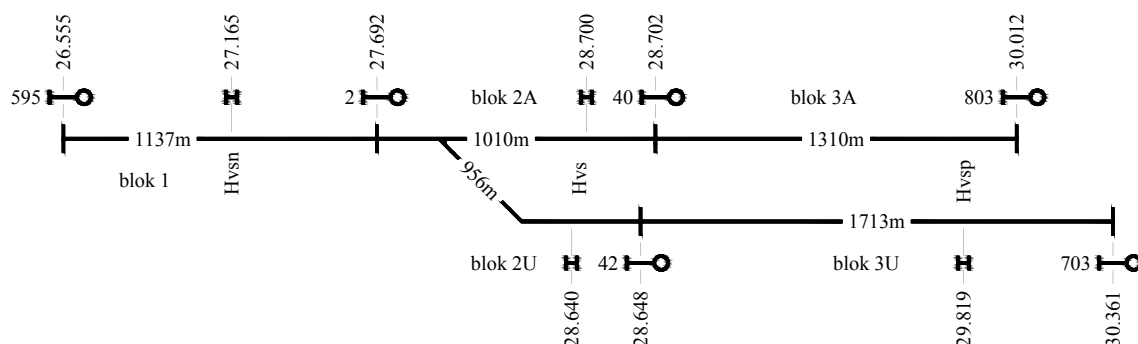
Figuur 5-1 Locatie van de rijwegknopen 2 en 11 op emplacement Hilversum

De gegevens in Tabel 5-1 geven inzicht in de prestaties van de verschillende treinseries. Het merendeel van de wachttijd wordt in beide richtingen veroorzaakt door de sneltreinen en de stoptreinen. Deze treinseries rijden echter wel met een dubbele frequentie ten opzichte van de intercity's. Verder valt bij de intercity's op dat de wachttijd voor de treinseries uit Zwolle (700 en 20700) en Schiphol (700 en 1600) duidelijk groter is dan bij de overige intercity's. Dit komt overeen met de ingevoerde initiële vertraging in het model (zie Tabel 4-4). De goederentreinen hebben in beide richtingen behoorlijk minder wachttijd dan de reizigerstreinen.

Met de tabel is echter niet af te leiden welk aandeel in de wachttijd wordt veroorzaakt door welke trein in welke situatie en of de infrastructuur een mogelijke oorzaak is van de ontstane wachttijden. Om tot oplossingsrichtingen te komen, is nader onderzoek naar de rijtijden van de verschillende treinseries op emplacement Hilversum noodzakelijk. Deze rijtijden kunnen ook bekeken worden naast de capaciteitsberekening in ANKE. Daarmee samenhangend kunnen de snelheden, minimale opvolgtijden en bloktrapdiagrammen worden geanalyseerd. Omdat de uitkomsten van het model ook representatief moeten zijn voor de situatie in maart 2004, worden deze vergeleken met de gerealiseerde rijtijden uit de TNV-data.

Rijtijd over de blokken

De rijtijden worden in beide richtingen berekend voor drie opeenvolgende blokken rond station Hilversum. Het middelste blok bevat de halte zelf. In Figuur 5-2 is een schematische tekening opgenomen van de blokindeling in de richting Amersfoort. Aangegeven zijn de haltes (H), de blokseinen, de blok lengtes en de kilometrages. Doordat er twee rijwegen worden gebruikt, zijn de blok lengtes in de richting Amersfoort (A) en Utrecht (U) verschillend. In dit geval rijden serie 4900 en 5700 via spoor 1 en hebben blok 2U en 3U een andere lengte dan blok 2A en 3A op spoor 2.



Figuur 5-2 Schematische weergave van de blokindeling in de richting Amersfoort

De gerealiseerde rijtijden over de blokken worden berekend aan de hand van de bezetmeldingen van secties uit de TNV-logbestanden. De tijdstippen van bezetmelding van de eerste bloksectie ter plaatse van het bloksein van twee opvolgende blokken worden hierbij van elkaar afgetrokken. De resulterende rijtijden over de blokken zijn weergegeven in Tabel 5-2.

Serie/Type	Rijtijden blok 1 [s]			Rijtijden blok 2A en 2U* [s]			Rijtijden blok 3A en 3U* [s]		
	gem.	min.	ANKE	gem.	min.	ANKE	gem.	min.	ANKE
700 IC	51	33	37	65	47	50	93	80	91
1600 IC	58	34	37	67	54	50	92	80	91
20700 IC	54	33	37	73	51	50	93	82	91
21600 IC	55	33	37	73	53	50	96	85	91
4900* ST	57	39	40	168	115	135	196	152	191
5700* ST	139	112	117	159	122	135	194	166	191
5800 S	51	34	37	173	122	126	95	80	103

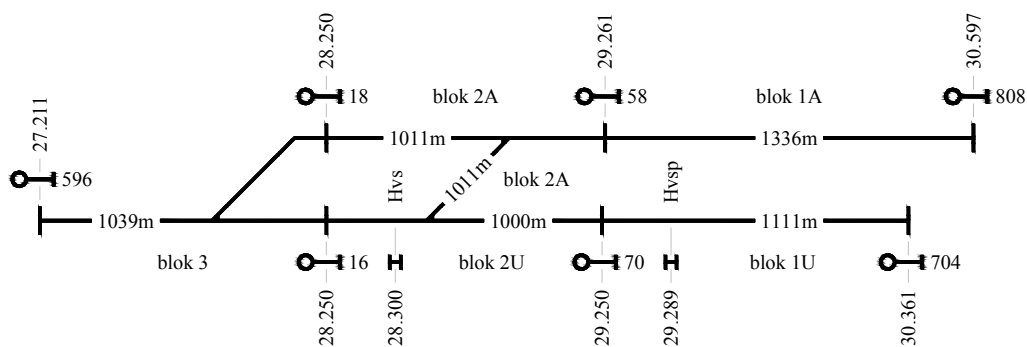
Tabel 5-2 Gerealiseerde gemiddelde en minimale rijtijd en de rijtijd in ANKE over blok 1, 2 en 3 in de richting Amersfoort

Over het algemeen zijn de gerealiseerde gemiddelde rijtijden over blok 1, 2A en 2U ruim 30% langer dan de rijtijden in ANKE. Voor blok 3A en 3U zijn de rijtijden bij benadering gelijk. Alleen opvallend is dat voor serie 5800 de gerealiseerde gemiddelde rijtijd over blok 3A korter is dan de rijtijd in ANKE. Een mogelijke verklaring hiervoor is dat machinisten uit ervaring eerder optrekken naar een hogere snelheid dan aangegeven. De minima van de gerealiseerde rijtijden over de blokken zijn over het algemeen iets korter dan de rijtijden in ANKE. De 3% rijtijdtoeslag die wordt toegepast in ANKE is hier deels een verklaring voor. Uitzonderingen zijn intercityseries 1600, 20700 en 21600 met maximaal 4 s meer rijtijd over blok 2A. Opvallend is dat serie 700 met hetzelfde materieel wel een minimale rijtijd realiseert die korter is dan de rijtijd in ANKE.

In de richting Amersfoort zijn de gerealiseerde rijtijden dus aan de lange kant voor blok 1, 2A en 2U. Voor blok 3A en 3U na passeren van station Hilversum zijn de rijtijden goed. De rijtijden van de verschillende series zijn onderling ook in verhouding. Een mogelijke verklaring hiervoor is dat de treinen al hinder van elkaar ondervinden in aanloop naar deze blokken en vervolgens met gereduceerde snelheid doorrijden. Na het passeren van Hilversum kunnen de treinen vervolgens weer ongehinderd optrekken naar de toegestane snelheid.

Ook in de richting Amsterdam worden de rijtijden in beide richtingen berekend voor drie opeenvolgende blokken rond station Hilversum. In Figuur 5-3 is een schematische tekening opgenomen van de blokindeling in de richting Amsterdam. Wederom zijn aangegeven de haltes (H), de blokseinen, de blok lengtes en de kilometrages.

In dit geval zijn er drie verschillende rijwegen met verschillende blok lengtes voor blok 1 en 2 (A en U).



Figuur 5-3 Schematische weergave van de blokindeling in de richting Amsterdam

De rijtijden over de blokken in de richting Amsterdam zijn weergegeven in Tabel 5-3.

Serie/Type	Rijttijden blok 1A en 1U* [s]			Rijttijden blok 2A en 2U* [s]			Rijttijden blok 3 [s]		
	gem.	min.	ANKE	gem.	min.	ANKE	gem.	min.	ANKE
700 IC	55	41	44	90	72	86	61	51	56
1600 IC	53	40	44	87	71	86	60	48	56
20700 IC	49	41	44	89	70	86	63	51	56
21600 IC	48	41	44	88	72	86	58	48	56
4900* ST	216	126	109	177	138	226	61	51	62
5700* ST	166	106	109	179	127	137	68	52	62
5800 S	50	38	44	194	139	169	62	47	64

Tabel 5-3 Gerealiseerde gemiddelde en minimale rijttijd en de rijttijd in ANKE over blok 1, 2 en 3 in de richting Amsterdam

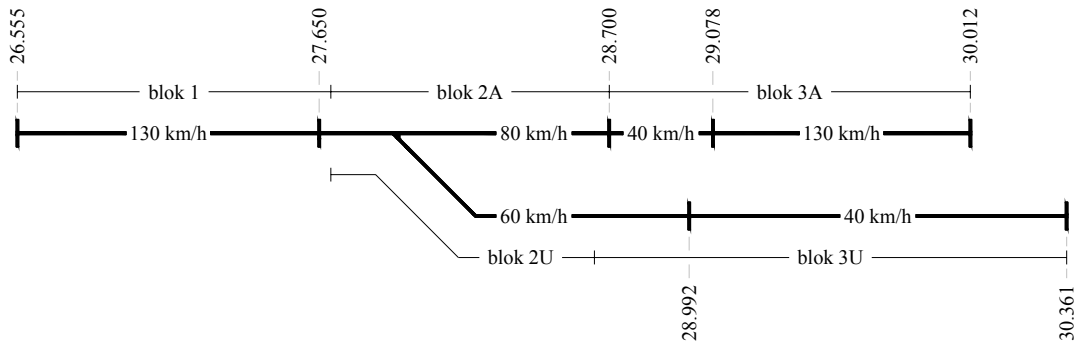
Over het algemeen zijn de gerealiseerde gemiddelde rijttijden over blok 1A en 1U ruim 40% langer dan de rijttijden in ANKE. Voor blok 2A, 2U en 3 zijn de gerealiseerde gemiddelde rijttijden over het algemeen minder dan 10% langer dan de rijttijd in ANKE. Ook in de richting Amsterdam zijn alle gerealiseerde minimale rijttijden korter dan de rijttijden in ANKE (inclusief 3% rijttijdtoeslag) op één uitzondering na. De minimale rijttijd in ANKE over blok 1U wordt door serie 4900 ruimschoots overschreden. In blok 2U is de gerealiseerde gemiddelde rijttijd van deze serie echter veel korter dan de rijttijd in ANKE. De opgelopen vertraging over blok 1U wordt hier gecompenseerd door een kortere halteertijd op station Hilversum in blok 2U.

In de richting Amsterdam zijn de gerealiseerde rijttijden dus aan de lange kant voor blok 1A en 1U. Voor blok 2A en 2U met uitzondering van serie 5700 en 5800 en blok 3 zijn de rijttijden goed en in verhouding. Een verklaring voor de lange rijttijden is het conflict dat ontstaat in Hilversum omdat alle treinen op spoor 3 halteren. Dit is ook te zien aan de verkorte halteringstijd voor serie 4900 op station Hilversum. Na het passeren van station Hilversum ontstaat er wederom een conflict bij het aansluiten van spoor 4 op spoor 3. Het halteren van alle treinen op één perronspoor is waarschijnlijk de oorzaak voor de langere rijttijden.

Snelheid over de blokken

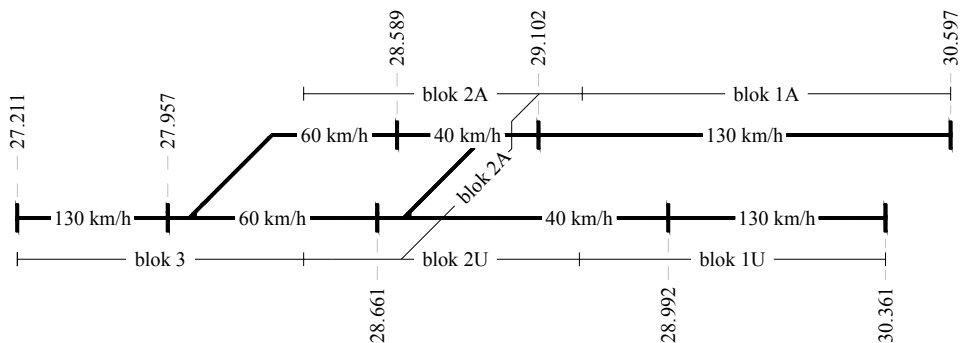
De gerealiseerde gemiddelde snelheden over de blokken worden verkregen door de bloklengtes te delen door de rijttijden. Doordat de bloklengtes constant zijn, geven de snelheden hetzelfde beeld als de rijttijden. Daarom worden de snelheden minder uitvoerig behandeld dan de rijttijden. Er wordt hier volstaan met de afbeelding van de maximumsnelheden over de blokken en de afstand-snelheidsdiagrammen voor beide richtingen.

De ter plaatse geldende maximumsnelheid wordt aangegeven door borden en door de cijferbakken onder seinen. De toegestane snelheid kan bijvoorbeeld beperkt worden door het berijden van een wissel in de afgebogen richting. De toegestane snelheid wordt dan aangegeven op de cijferbakken. Deze zijn altijd maatgevend boven de borden. In Figuur 5-4 zijn de maximumsnelheden over de blokken opgenomen in de richting Amersfoort.



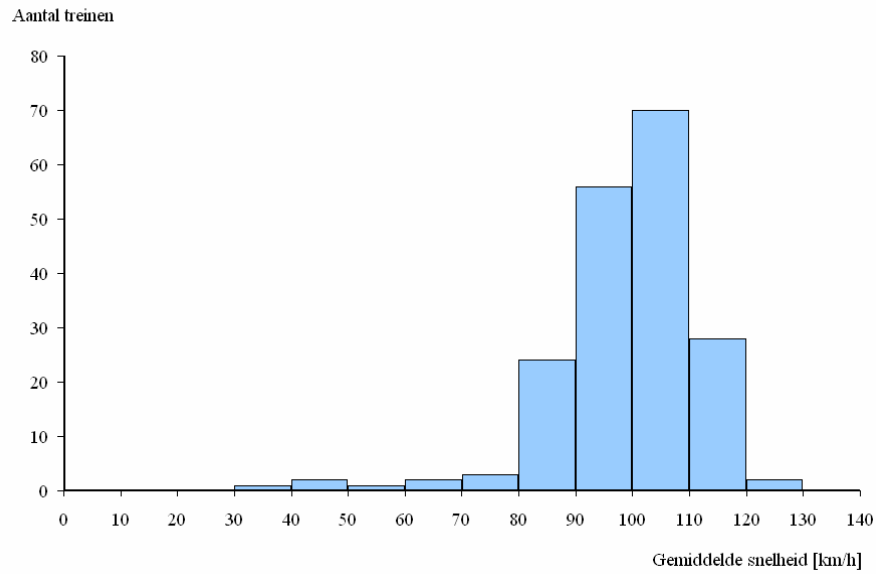
Figuur 5-4 Maximumsnelheden over de blokken in de richting Amersfoort

De maximumsnelheden over de blokken in de richting Amsterdam zijn opgenomen in Figuur 5-5.



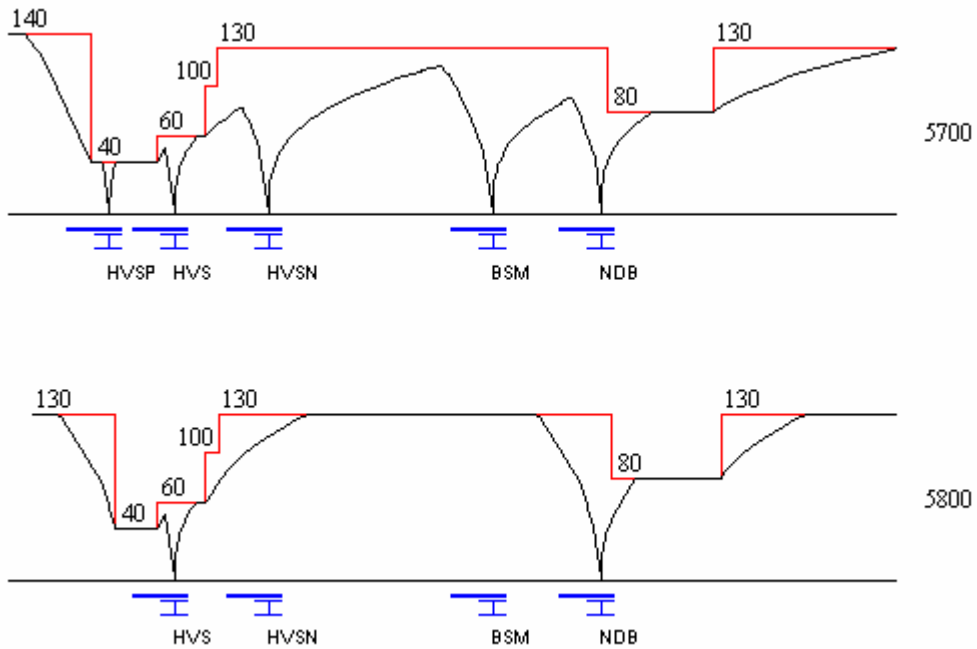
Figuur 5-5 Maximumsnelheden over de blokken in de richting Amsterdam

In Figuur 5-6 is de verdeling van de gemiddelde snelheden van serie 5800 over blok 3 in de richting Amsterdam weergegeven. Het gerealiseerde gemiddelde van alle treinen is 98,6 km/h. Het grootste deel (37%) van deze treinen heeft een gemiddelde tussen de 100 en 110 km/h. Daarnaast realiseert ruim 21% van de treinen de door ANKE gegeven gemiddelde snelheid van 108,3 km/h of hoger.



Figuur 5-6 Verdeling van de gemiddelde snelheden van serie 5800 over blok 3 na station Hilversum in de richting Amsterdam

In ANKE kunnen ook de afstand-snelheidsdiagrammen getoond worden. Hieruit kan worden afgelezen of een trein in staat is de maximale snelheid te halen en voor welke tijdsduur. In Figuur 5-7 zijn de afstand-snelheidsdiagrammen weergegeven voor serie 5700 en 5800 richting Amsterdam.



Figuur 5-7 Afstand-snelheidsdiagrammen van de series 5700 en 5800 op het kerntraject in de richting Amsterdam

In de figuur is goed het verschil in materieel te zien. Serie 5800 kan bij snelheden boven de 80 km/h duidelijk sterker accelereren dan serie 5700. Dit komt door het verschil in vermogen van de locomotief van serie 5800 en Plan V (zie ook Tabel V11-2 in Bijlage VII). Serie 5700 haalt door de stops op Hilversum Noord en Bussum Zuid de baanvaknelheid überhaupt niet. In Bijlage IX zijn voor beide richtingen de afstand-snelheidsdiagrammen van de treinseries 700, 4900, 5700 en 5800 opgenomen.

Bloktijden

In Paragraaf 4.7 zijn de bloktijden voor alle treinseries op het kerntraject uitgerekend. De hieruit resulterende bloktrapdiagrammen zijn weergegeven in Bijlage VIII. In deze diagrammen is voor beide richtingen te zien dat de bloktijden voor de blokken rond station Hilversum aan de lange kant zijn. Hierbij moet wel de halteertijd in ogenschouw genomen worden. In de richting Amersfoort is de geplande halteertijd voor serie 4900, 5700 en 5800 op station Hilversum 60 s. In de richting Amsterdam is dit respectievelijk 120, 30 en 60 s. Maar ook voor de intercity's die niet halteren op station Hilversum zijn de bloktijden aan de lange kant.

De bloktijd in een onverstoorde dienstuitvoering is afhankelijk van de gerealiseerde snelheid over het blok, de lengte van het blok plus het voorgaande blok, de lengte van de trein en de eventuele halteertijd. De inschakeltijd, zichttijd, reactietijd en uitschakeltijd zijn constant voor elk blok. Omdat de lengte van de trein ook voor elk blok constant is kan een lange bloktijd ten opzichte van andere blokken dus drie oorzaken hebben. Ten eerste kan de halteertijd aan de lange kant zijn, ten tweede kan de (gemiddelde) snelheid te laag zijn en ten derde kan de bloklengte groter dan gewenst zijn.

De halteertijd is afhankelijk van het type station (IC-, S- of ST-station) en of de trein moet wachten om aansluiting te geven op een andere trein. De maximumsnelheid in onverstoorde toestand op een bepaald stuk spoor is afhankelijk van de infrastructuur en de omgeving. Bogen met een bepaalde boogstraal en verkanting, wissels en kruisingen kunnen alle met een specifieke maximale snelheid bereden worden. Verder is de maximumsnelheid afhankelijk van omgevings- en milieueisen. Het is dus logisch dat de bloklengte aangepast dient te worden aan de snelheid in plaats van andersom.

Een ideale situatie bestaat wanneer alle bloktijden even lang zijn. Dit is echter onmogelijk te realiseren. Om iets te kunnen zeggen over de bloklengtes worden hier bij benadering bloktijden van 80 tot 100 s geaccepteerd. Samen met de gerealiseerde maximale snelheden bij ingang van de blokken uit ANKE wordt een onder- en bovengrens gedefinieerd voor de bloklengte. De grenzen worden berekend door de maximale snelheid bij ingang van het blok te vermenigvuldigen met de gewenste rijtijd over dat blok. Deze rijtijd is bij benadering gelijk aan de helft van de bloktijd min de inschakeltijd, zichttijd, reactietijd en uitschakeltijd. Voor de bloklengtes worden de blokken uit de rijwegen voor de intercity's genomen. In Tabel 5-4 zijn de huidige en gewenste bloklengtes weergegeven.

Blok lengte	Richting Amersfoort			Richting Amsterdam		
	blok 1	blok 2A	blok 3A	blok 1A	blok 2A	blok 3
gem. snelheid [km/h]	110	72	52	108	42	66
huidige lengte [m]	1137	1010	1310	1336	1011	1039
lengte bij 80 s [m]	1008	660	477	990	385	605
lengte bij 100 s [m]	1314	860	621	1290	502	788

Tabel 5-4 Huidige bloklengtes en gewenste bloklengtes bij een bloktijd van 80 - 100 s en de gemiddelde snelheid over de blokken uit ANKE (in beide richtingen)

In de tabel is af te lezen dat in de richting Amersfoort de lengte van blok 1 goed is, de lengte van blok 2A te groot is en de lengte van blok 3A veel te groot is. In de richting Amsterdam is de lengte van blok 1A en 3 te groot en van blok 2A veel te groot. Bij deze benadering moet wel gelet worden op het feit dat wanneer de bloklengte wordt aangepast, de gemiddelde gerealiseerde snelheid ook verandert en zodoende weer andere gewenste bloklengtes ontstaan.

De opvolgtijden in de dienstregeling vloeien voort uit de bloktijden in ANKE. De gerealiseerde opvolgtijden worden berekend met behulp van de TNV-data. Hierbij worden de bezetmeldingen van de elkaar opvolgende treinen in de eerste sectie van het maatgevende blok van elkaar afgetrokken. Dit is alleen gedaan voor de opvolggevallen waarin het maatgevende blok één van de drie beschouwde blokken rond station Hilversum is. De resultaten zijn weergegeven in Tabel 5-5.

Serie	Opvolger	Opvolgtijd [s]		Gerealiseerd [s]		Maatgevend blok
		gepland	minimaal	minimum	gemiddeld	
5700	700/1600	309	185	152	208	1 - Hvsn ri. Amf
700/1600	20700/21600	180	164	106	185	3A - na Hvs ri. Amf
5800	4900	201	247	224	305	2U - Hvs ri. Asd
20700/21600	700/1600	180	164	138	202	3 - na Hvs ri. Asd

Tabel 5-5 Geplande en minimale opvolgtijden in de dienstregeling en gerealiseerde opvolgtijden in het maatgevende blok bij verschillende opvolggevallen

De gerealiseerde opvolgtijden worden vergeleken met de geplande en minimale opvolgtijden. In alle gevallen is de gerealiseerde minimale opvolgtijd korter dan de minimale opvolgtijd volgens de dienstregeling. Dit houdt in dat de treinen het sein bij ingang van het maatgevende blok passeren terwijl dit geel toont; in een ongehinderde situatie zal het sein immers groen tonen. Dat de gerealiseerde minimale opvolgtijd van serie 4900 op 5800 in de richting Amsterdam langer is dan de geplande opvolgtijd volgens de dienstregeling is te verklaren doordat deze geplande opvolgtijd korter

is dan de minimale opvolgtijd. De gerealiseerde minimale opvolgtijd is wel korter dan de minimale opvolgtijd volgens de dienstregeling.

De gemiddelde gerealiseerde opvolgtijden zijn voor de intercity's nagenoeg gelijk aan de geplande opvolgtijden. De intercity's naar Amsterdam hebben hierbij een iets langere opvolgtijd. Voor serie 700/1600 achter serie 5700 in de richting Amersfoort is de gerealiseerde opvolgtijd ruim 100 s korter dan de geplande opvolgtijd. De intercity's rijden dus dichterbij de stoptrein dan gepland met iets meer dan minimale opvolgtijd wat betekent dat de intercity's zeer waarschijnlijk hinder ondervinden van de stoptrein. In de richting Amsterdam is de gerealiseerde gemiddelde opvolgtijd van serie 4900 op 5800 ruim 100 s langer dan de (te korte) geplande opvolgtijd. Dat de gerealiseerde opvolgtijd toch ook nog bijna 60 s langer is dan de minimale opvolgtijd kan verklaard worden door een langere halteertijd dan gepland voor serie 5800 waardoor serie 4900 langer moet wachten voordat het perronspoor vrijkomt.

Uit de bloktijden kan ook de belasting van een perronspoor berekend worden. In de richting Amsterdam halteren alle treinen (6x per uur) op spoor 3 en de goederentreinen passeren het station ook via dit spoor. De bezettingsgraad van spoor 3 wordt op dezelfde manier berekend als de baanvakbelasting. Alle tijd die het stationsblok gereserveerd is of fysiek bezet wordt door de verschillende treindiensten samen gedeeld door de cyclustijd van 1 uur geeft de belasting. Op deze manier is de bezettingsgraad 57,8%. De toelaatbare belasting voor perronsporen is over het algemeen 50 tot 60%. De belasting van spoor 3 is dus aan de hoge kant, maar nog acceptabel.

Conclusie

Uit de voorgaande analyse kan het volgende worden geconcludeerd. De rijtijden over de blokken rond station Hilversum zijn in beide richtingen deels aan de lange kant. Hierdoor zijn ook de bloktijden en de opvolgtijden langer dan gewenst. Een aantal in verhouding lange blokken rond het station in combinatie met lage snelheden over het emplacement zijn hiervan de oorzaak. Ook lange halteertijden zorgen voor langere bloktijden. Daarnaast zijn lange bloktijden van blok 2 in de richting Amsterdam de oorzaak van de hoge bezettingsgraad van spoor 3.

5.2 Verbeteringsmogelijkheden voor de huidige situatie

In deze paragraaf zal een aantal mogelijkheden tot verbetering worden ontwikkeld. Het uiteindelijke doel is het verkorten van de wachttijden op de rijwegknopen door een betere benutting van de bestaande capaciteit. Het kerntraject 4-sporig maken zal ongetwijfeld een kwaliteitsverbetering opleveren voor de rijwegknopen, maar dit is zeer kostbaar. Daarnaast is er op het kerntraject geen ruimte beschikbaar voor extra parallelle sporen zonder bestaande infrastructuur en bebouwing te moeten slopen. Ook wordt er vanwege de complexiteit geen nieuwe dienstregeling ontworpen. Kleine aanpassingen aan de halteertijden behoren wel tot de mogelijkheden.

Een betere capaciteitsbenutting kan gerealiseerd worden door de minimale opvolgtijden te verkorten. Te lange minimale opvolgtijden kunnen door verschillende oorzaken tot stand komen. Daarnaast kan op meer manieren de minimale opvolgtijd verkort worden. Voor een aantal mogelijke oorzaken worden op basis van de resultaten uit de vorige paragraaf mogelijkheden tot verbetering aangedragen. Deze zijn weergegeven in Tabel 5-6.

Probleem	Maatregelen
Te lage snelheden over het emplacement	Aanpassen van de boogstralen, de verkantingen en de wissels en kruisingen
Te grote bloklengtes rond het station	Bloklengtes aanpassen aan de snelheden en remcurves van de treinen
Hoge bezettingsgraad perron 3	Aanpassen van het halteplan; extra perronspoor richting Amsterdam
Ongunstige halteertijden	Beter afstemmen van de halteertijden van de treinen

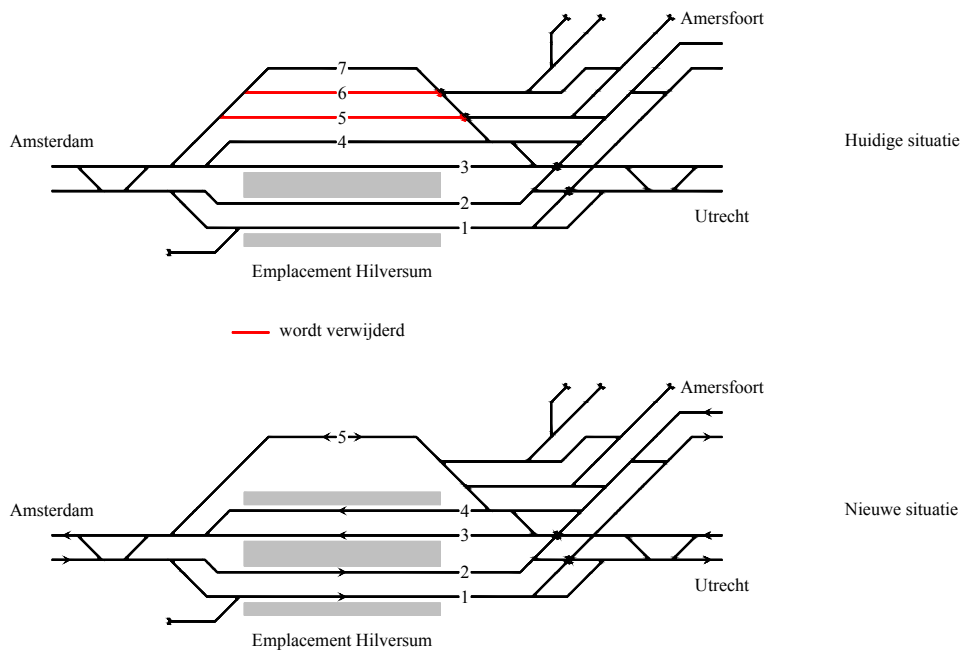
Tabel 5-6 Problemen die de oorzaak zijn van wachttijden op de rijwegknopen 2 en 11 en de maatregelen die mogelijk tot verbetering leiden

De verbeteringsmogelijkheden voor de vier genoemde problemen zullen in het hiernavolgende worden uitgewerkt. Eerst zal het nieuwe halteplan behandeld worden. Het extra perron dat dit met zich meebrengt wordt meegenomen in de nieuwe spoorlay-out die wordt ontworpen om de snelheid te optimaliseren. Vervolgens zullen de bloklengtes geoptimaliseerd worden binnen de nieuwe infrastructuur en als laatste worden de halteertijden van de treinen beter afgestemd.

Aanpassen van de perronindeling

Om de hoge belasting van spoor 3 op station Hilversum te beperken wordt een nieuw perron ontworpen. Een logische plaats hiervoor is op de plek van de huidige sporen 5 en 6 zodat de treinen dan ook op spoor 4 kunnen halteren. Om te bepalen of deze sporen verwijderd kunnen worden, zijn de treinbewegingen van maart 2004 geanalyseerd. Dit heeft uitgewezen dat de sporen 5, 6 en 7 parallel aan de perronsporen nauwelijks worden gebruikt. Eén spoor is hier ruim voldoende om de huidige treinbewegingen te laten plaatsvinden.

Het nieuwe derde perron komt dus op de plaats van de huidige sporen 5 en 6. Door een afscheiding in de vorm van een hek zal het niet mogelijk worden om in de nieuwe situatie te halteren op spoor 5. Dit spoor wordt enkel gebruikt om goederentreinen aan de kant te zetten zodat deze ingehaald kunnen worden. In Figuur 5-8 zijn de huidige en nieuwe situatie van de perronindeling op het station weergegeven. De enige verandering ten opzichte van de huidige situatie is dat serie 5800 richting Amsterdam nu op spoor 4 halteert in plaats van op spoor 3.



Figuur 5-8 Huidige situatie op emplacement Hilversum en de nieuwe situatie waar een derde perron op de plaats komt van de huidige sporen 5 en 6

Optimaliseren van de snelheid

De snelheid waarmee de treinen over het emplacement rijden, is onder andere afhankelijk van de wissels in de rijweg. Wissels kunnen afhankelijk van de hoekverhouding met een bepaalde maximale snelheid in de afgebogen richting worden bereden. Door een ander wissel toe te passen met een kleinere hoekverhouding kan de passeersnelheid worden verhoogd. In de doorgaande richting is het daarnaast beter om wissels slechts in de rechtstand te berijden. De treinen zijn nu niet meer gebonden aan de snelheidsbeperking in afgebogen richting. De snelheid kan dus worden verhoogd door wissels toe te passen met een kleine hoekverhouding en deze zoveel mogelijk in de rechtstand te berijden. Ook bogen in het spoor zijn een snelheidsbeperkende factor. De maximale snelheid waarmee treinen door een boog kunnen rijden is afhankelijk van de boogstraal en de verkanting volgens het [OVS, 2001] (Naslagwerk Ontwerpen van Spoorlijnen):

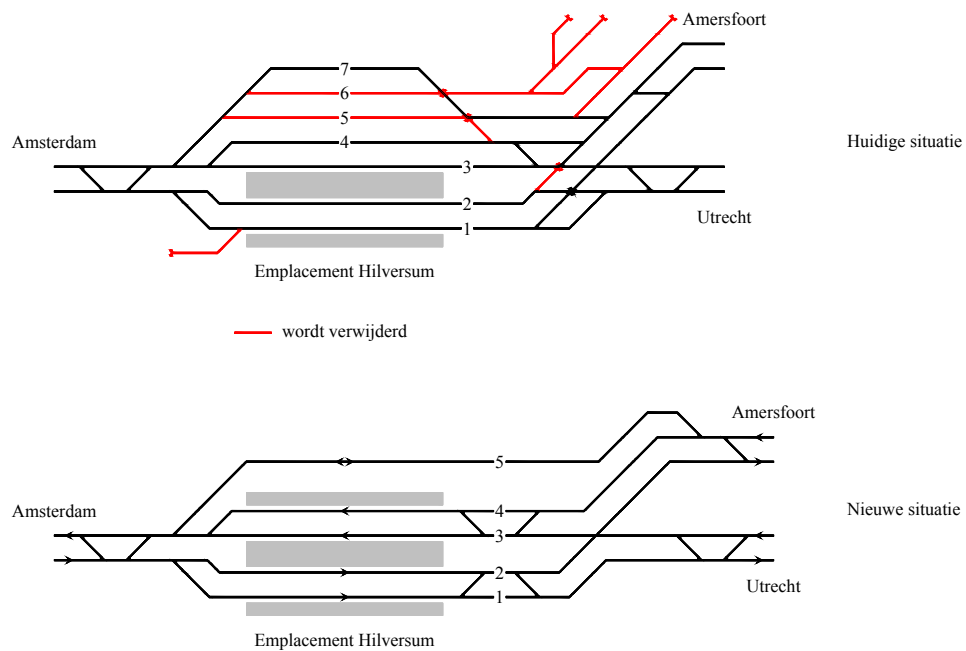
$$D_{\min, \text{norm}} = \frac{6,2 \cdot V^2}{R}$$

Hierin betekenen:

$D_{\min, \text{norm}}$	normverkanting bij het toepassen van verkanting in een boog [mm]
V	snelheid in de boog [km/h]
R	boogstraal [m]

De snelheid waarmee de boog bereden kan worden, wordt dus verhoogd door een grotere boogstraal toe te passen en een grotere verkanting. Voor een grotere boogstraal en wissels met een kleinere hoekverhouding is echter meer ruimte nodig. Daarom is geanalyseerd door welke elementen de snelheid beperkt wordt en waar mogelijk extra ruimte gecreëerd kan worden door niet gebruikte sporen te verwijderen. Afhankelijk van de beschikbare ruimte zijn daarna wissels vervangen en verplaatst en zijn de bogen opnieuw gedimensioneerd.

Alle aanpassingen aan het alignement zijn conform het [OVS, 2001] ontworpen. In het horizontaal alignement is rekening gehouden met de lengte van de overgangsbogen tussen bogen en rechtstanden en tussen bogen onderling. Het verticaal alignement is buiten beschouwing gelaten. De wissels en de kruising alsmede de minimale lengtes tussen wissels en (overgangs)bogen en tussen wissels onderling, zijn conform het [OVS, 2005] ontworpen. De nieuwe situatie is samen met de huidige situatie weergegeven in Figuur 5-9.



Figuur 5-9 Huidige situatie op emplacement Hilversum en de nieuwe situatie waar de sporen 5 en 6 plus de niet gebruikte sporen zijn verwijderd en waar tevens de wissels zijn aangepast

Voor station Hilversum kunnen treinen via een wissel spoor 1 bereiken. In de afgebogen richting naar spoor 1 kan dit 1:12 wissel met een maximale snelheid van 60 km/h worden bereden. Dit wissel wordt vervangen door een 1:15 wissel welke met maximaal 80 km/h in de afgebogen richting bereden kan worden. De treinen kunnen nu langer een hogere snelheid aanhouden waardoor het wissel eerder wordt vrijgegeven voor treinen richting spoor 2.

De krappe boog in het spoor van het station in de richting Amersfoort is ook een snelheidsbeperkende factor. In de huidige situatie betekent dat bij een boogstraal van 340 m en een verkanting van 35 mm de maximumsnelheid 40 km/h bedraagt. De ruimte op het emplacement maakt het echter mogelijk om een nieuwe boog te dimensioneren met een boogstraal van 500 m en een verkanting van 80 mm. Door vervolgens de positie van de wissels aan te passen aan de hoofdrijwegen in een nieuwe indeling van dit wisselcomplex, worden deze wissels enkel nog in hun rechtstand bereden. De maximumsnelheid neemt door deze nieuwe boog met de andere wisselindeling toe tot 80 km/h.

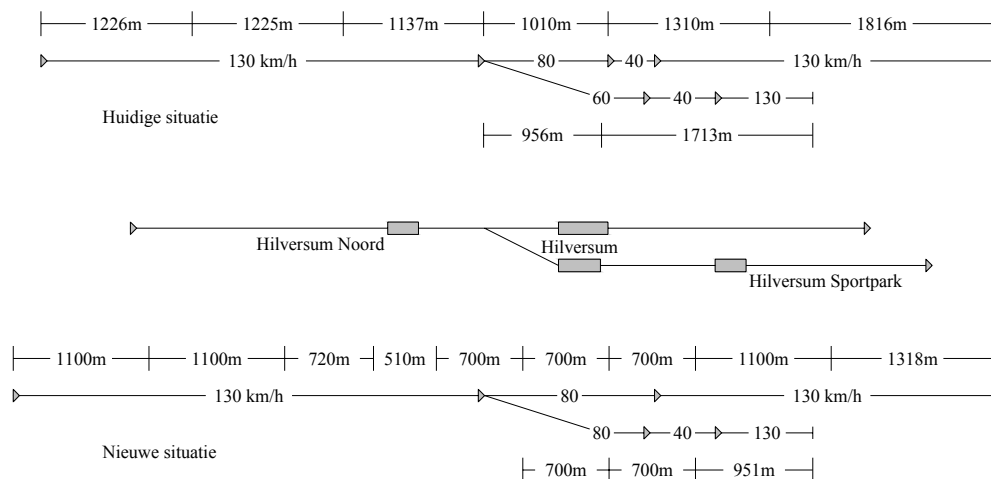
De treinen kunnen nu in beide richtingen het station met 80 km/h passeren wat rijtijdwinst en dus een kortere bloktijd oplevert ten opzichte van passeren met 40 km/h in de huidige situatie. Indien het blok maatgevend is, wordt ook de minimale opvolgtijd verkort en verbetert de kwaliteit.

Optimaliseren van de bloklengtes

Te grote bloklengtes zorgen voor lange rijtijden met als gevolg een grotere minimale opvolgtijd over deze blokken. De bloklengtes dienen daarom aangepast te worden aan de remafstand van de treinen. Deze remafstand is weer afhankelijk van de baanvaksnelheid in het betreffende blok. De baanvaksnelheid wordt aangepast aan de snelheid waarmee de treinen rijden in de nieuwe situatie. De minimale opvolgtijd over het kerntraject is echter afhankelijk van de minimale opvolgtijd op het maatgevende blok. Daarom zullen niet alleen ter plaatse van station Hilversum, maar op het hele kerntraject de bloklengtes worden geanalyseerd en waar nodig geoptimaliseerd.

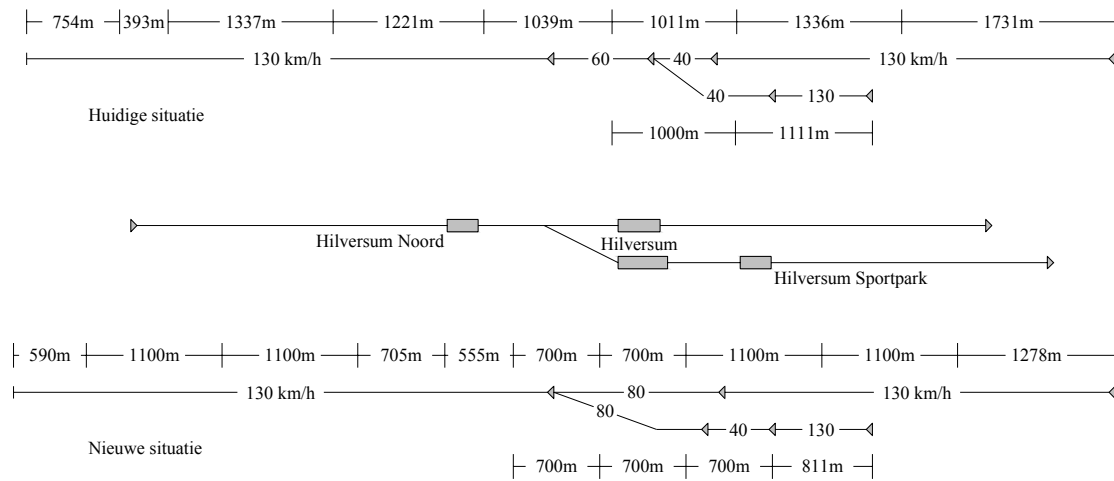
In de situatie met de nieuwe spoorlay-out kunnen alle treinen station Hilversum passeren met 80 km/h. De baanvaksnelheden in het stationsblok van Hilversum en de aangrenzende blokken worden hierop aangepast. De maatgevende remweg in ANKE bij een snelheid van 80 km/h is 353 m. Omdat dit geldt bij ideale omstandigheden wordt een minimale bloklengte van 500 m aangehouden. Bij een snelheid van 130 km/h is de remweg 931 m en wordt 1100 m als minimale bloklengte aangehouden.

In de nieuwe situatie zijn er door het verkorten van de bloklengtes 10 nieuwe blokken en dus ook 10 seinen bijgekomen. Elke van de vier hoofdrijwegen (van Hilversum naar Amersfoort en Utrecht en omgekeerd) heeft een extra blok gekregen ter plaatse van station Hilversum. Tussen Hilversum en Naarden-Bussum zijn in beide richtingen 2 nieuwe blokken gedimensioneerd en tussen Naarden-Bussum en Keverdijk Aansluiting in beide richtingen 1 nieuw blok. De huidige en nieuwe situatie rond station Hilversum in de richting Amersfoort zijn weergegeven in Figuur 5-10. Goed te zien is dat de blokken ter plaatse van de lagere baanvaksnelheden korter gemaakt zijn.



Figuur 5-10 Huidige en nieuwe bloklengtes rond station Hilversum in de richting Amersfoort

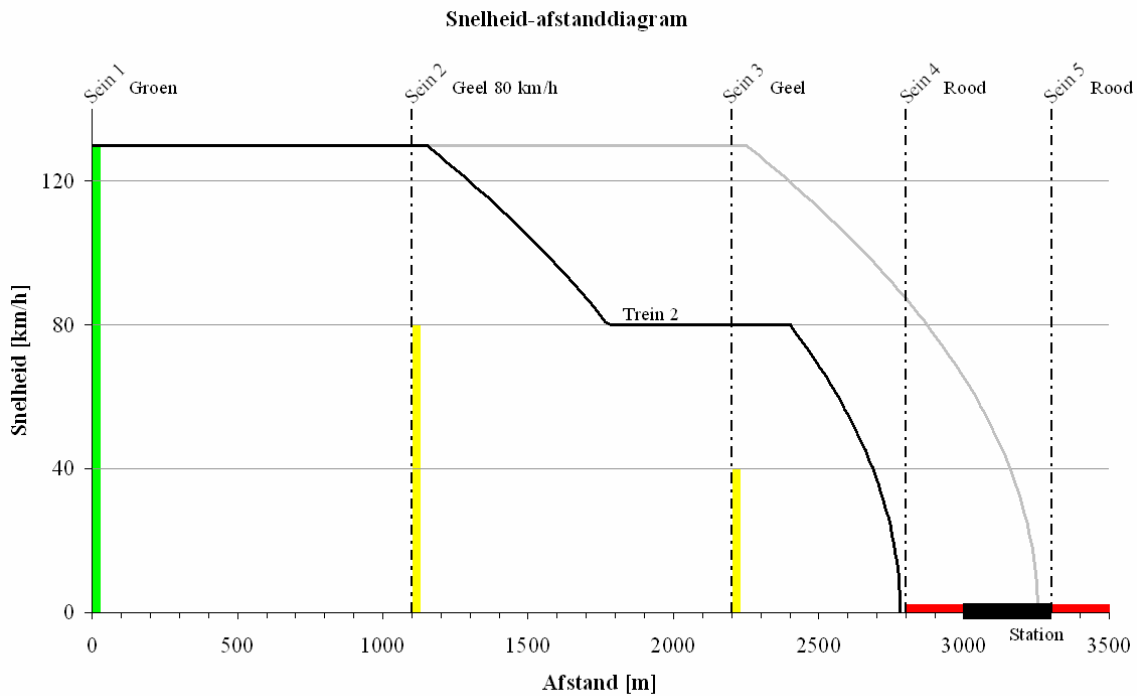
De huidige en nieuwe situatie rond station Hilversum in de richting Amsterdam zijn weergegeven in Figuur 5-11.



Figuur 5-11 Huidige en nieuwe bloklengtes rond station Hilversum in de richting Amsterdam

Ter plaatse van de stations wordt een uitzondering gemaakt op de eerder aangehouden minimale bloklengtes. De gewenste bloklengte bij een baanvaksnelheid van 130 km/h is 1100 m, maar indien treinen halteren in dit blok zullen lange bloktijden ontstaan. Door het blok waarin de treinen halteren op te knippen in twee kleine blokken, wordt de rijtijd en daarmee de minimale opvolgtijd positief beïnvloed. Dit vereist echter wel een aparte schakeling in de blokbeveiliging om ervoor te zorgen dat treinen die passeren met 130 km/h op tijd voor een rood sein tot stilstand kunnen komen. Dit wordt bereikt door de seinbeelden en snelheden aan te passen aan de situatie.

In Figuur 5-12 is een voorbeeldsituatie opgenomen waarbij de remweg van trein 2 bij 130 km/h langer is dan de lengte van blok 3. Indien het station in blok 4 bezet wordt door de halterende trein 1 en sein 4 dus rood toont, zal trein 2 eerder dan sein 3 moeten beginnen met remmen om een botsing te voorkomen. In de praktijk wordt dit opgelost door de snelheid bij sein 2 te beperken tot 80 km/h. Dit sein toont dan geel met een verlichte 8 op de cijferbak (zie ook Figuur III-5 in Bijlage III). Sein 3 toont ook geel en de trein heeft vervolgens voldoende afstand om van 80 km/h tot stilstand te komen voor sein 4 (rood). Op deze manier is de remweg van de trein ook opgedeeld in twee stukken. Ter indicatie is in de figuur ook het snelheid-afstanddiagram opgenomen van trein 2 indien deze pas bij sein 3 begint te remmen vanaf 130 km/h. Een botsing met trein 1 op het station is dan onvermijdelijk.



Figuur 5-12 Voorbeeldsituatie waarbij de snelheid van de trein eerst verlaagd wordt van 130 naar 80 km/h om vervolgens op tijd voor het rode sein tot stilstand te kunnen komen

Afstemming van de halteertijden

Kleine aanpassingen aan de dienstregeling kunnen een gunstig effect hebben. Zo kan een gewijzigde vertrektijd het aantal conflicten tussen treinseries beperken. Kleine wijzigingen in de vertrektijden hebben echter alleen effect op de kwaliteit van de dienstregeling (qF) en niet op de kwaliteit van de dienstuitvoering (qB). Pas als door het veranderen van de vertrektijden de volgorde verandert, heeft dit effect op de qB. Daarom worden de vertrektijden niet aangepast.

Een verkorting van de halteertijd en dus ook de bloktijd kan, indien het beschouwde blok maatgevend is, de minimale opvolgtijd verkorten. Het grootste deel van de halteertijden op het kerntraject is al minimaal met 30 s. De verbetering bestaat dan ook uit het naar 30 s terugbrengen van de overige halteertijden.

5.3 Toetsing van de verbeteringsmogelijkheden met ANKE

De wijzigingen die per verbetering in SPURPLAN en ANKE worden aangebracht, worden eerst in het kort toegelicht. Daarna worden de verbeteringsmogelijkheden getoetst op de kwaliteit van de dienstuitvoering. Criterium hierbij is de grens $q_B = 1,5$ tussen een aanvaardbare en onaanvaardbare kwaliteit. De berekeningen worden eerst voor de afzonderlijke verbeteringsmogelijkheden uitgevoerd en daarna voor combinaties daarvan. Aan het einde van de paragraaf wordt een overzicht getoond van alle resultaten.

Aanpassen van de perronindeling

Aan de infrastructuur in SPURPLAN wordt op spoor 4 een extra halte toegevoegd. In ANKE wordt de rijweg van serie 5800 aangepast zodat de treinen nu ook kunnen halteren op spoor 4. Alle rijtijden en minimale opvolgtijden per treindienst worden opnieuw berekend. De verandering heeft geen invloed op de rijtijd van serie 5800 richting Amsterdam; deze blijft nagenoeg gelijk met 36,32 s. Dit is ook logisch aangezien de halte op dezelfde kilometrering ligt als de halte op spoor 3. Daarnaast is de rijweg via spoor 4 even lang als via spoor 3. De opvolgtijd van serie 4900 op serie 5800 gaat echter aanzienlijk omlaag van 256 s naar 141 s. Serie 4900 hoeft nu in geval van een vertraging van serie 5800 niet meer te wachten tot het perron vrij is.

Voor de capaciteitsberekening heeft deze bijna halvering van de minimale opvolgtijd ook gevolgen. De kwaliteitsindex q_B van rijwegknoop 2 gaat omlaag van 2,448 naar 2,105. Dit is een aanzienlijke verbetering, maar de RWK blijft overbelast. Omdat serie 5800 richting Amsterdam geen wachttijd veroorzaakt op RWK 11 blijft deze q_B gelijk aan 2,184.

Optimaliseren van de snelheid

Alle wijzigingen in de infrastructuur worden ook gewijzigd in SPURPLAN. Omdat de rijwegen over emplacement nu anders zijn, moet dit ook worden aangepast in ANKE. Serie 4900 en 5700 maken nu gebruik van de sporen 1 en 3. De overige treinen maken gebruik van spoor 2 en 4. Alle berekeningen worden vervolgens weer opnieuw gestart.

De rijtijden voor de treinen die gebruik maken van emplacement Hilversum zijn allemaal korter geworden. Dit hangt direct samen met de hogere gemiddelde snelheden die nu gerealiseerd worden. De grootte van de verkorting van de rijtijd verschilt per serie en per richting. Globaal kan voor de intercity's en de internationale trein gezegd worden dat in de richting Amersfoort de rijtijd is afgenomen met 40 tot 45 s en in de richting Amsterdam met 55 tot 60 s. In de richting Amersfoort is

de rijtijdwinst voor de serie 4900, 5700 en 5800 respectievelijk 13, 8 en 26 s. In omgekeerde richting is dit 14, 13 en 42 s. Dat deze rijtijdwinst minder is dan voor de intercity's, is te verklaren door de afstand die nodig is om aan te zetten en te vertragen bij het halteren. Daardoor kunnen deze treinseries minder lang gebruik maken van de verhoogde toegestane snelheid.

Door het aanpassen van de snelheid zijn ook een aantal opvolgtijden korter geworden. In de richting Amersfoort is alleen de opvolgtijd tussen de intercity's verkort van 182 naar 142 s. Richting Amsterdam is de minimale opvolgtijd van 4900 op 5800 afgenomen van 256 naar 151 s. Voor de intercity's is dit verkort van 175 naar 146 s. De minimale opvolgtijd van serie 5700 op de intercity's is afgenomen van 209 naar 154 s. De overige opvolgtijden blijven onveranderd doordat de maatgevende blokken buiten het invloedsgebied van de snelheidsverandering liggen.

Ondanks de op het oog kleine rijtijdwinst laat de capaciteitsberekening zien dat het effect voor de kwaliteitsbeoordeling groter is. Voor rijwegknoop 2 (richting Amsterdam) daalt de qB van 2,448 naar 1,373. Dit is een overgang van zwaar overbelast met een onaanvaardbare kwaliteit naar een optimale belasting met aanvaardbare kwaliteit. Voor rijwegknoop 11 (richting Amersfoort) daalt de qB van 2,184 naar 1,825. Dit is een duidelijke verbetering, maar nog steeds overbelast met een onaanvaardbare kwaliteit.

Optimaliseren van de bloklengtes

De seinen voor de nieuwe blokken worden toegevoegd aan de infrastructuur in SPURPLAN en de overige seinen worden eventueel verschoven door de nieuwe bloklengtes. Vervolgens worden de rijtijden en minimale opvolgtijden opnieuw berekend in ANKE. Door het veranderen van de bloklengtes veranderen de rijtijden echter niet omdat de snelheden gelijk blijven. De minimale opvolgtijden kunnen wel veranderen doordat de bloktijd voor minder lange blokken korter is.

In de richting Amersfoort is met name de opvolgtijd tussen de intercity's verkort van 182 naar 148 s. De opvolgtijden van 1600/700 op 5700 respectievelijk 4900 op 21600/20700 zijn 5 en 7 s korter geworden. Richting Amsterdam is de minimale opvolgtijd van 5700 op de intercity's afgenomen van 209 naar 154 s. Voor de intercity's na 4900 is dit verkort van 166 naar 131 s en voor de intercity's zelf van 175 naar 153 s. De minimale opvolgtijd van serie 4900 op 5800 is afgenomen van 256 naar 131 s.

Door het aanpassen van de bloklengtes zijn alle opvolgtijden op één na dus korter geworden. In de meeste gevallen is deze verkorting ook groter dan bij het optimaliseren van de snelheid. Ondanks deze resultaten is de kwaliteitsbeoordeling iets minder. Voor rijwegknoop 2 (richting Amsterdam) daalt de qB van 2,448 naar 1,407. De qB van rijwegknoop 11 (richting Amersfoort) gaat van 2,184 naar 1,853. Ook bij het optimaliseren van de bloklengtes geldt dat RWK 2 nu een optimale belasting heeft met een aanvaardbare kwaliteit en dat RWK 11 nog steeds overbelast is met een onaanvaardbare kwaliteit.

Afstemming van de halteertijden

Alle halteertijden in ANKE zijn teruggebracht tot 30 s (de meeste zijn dat al). Het effect hiervan op de qB is net iets groter dan bij het aanpassen van de perronindeling. Voor RWK 2 richting Amsterdam gaat de qB omlaag van 2,448 naar 2,055 en voor RWK 11 richting Amersfoort van 2,184 naar 2,068. In beide gevallen dus een vooruitgang, maar de rijwegknopen zijn nog steeds overbelast met een onaanvaardbare kwaliteit.

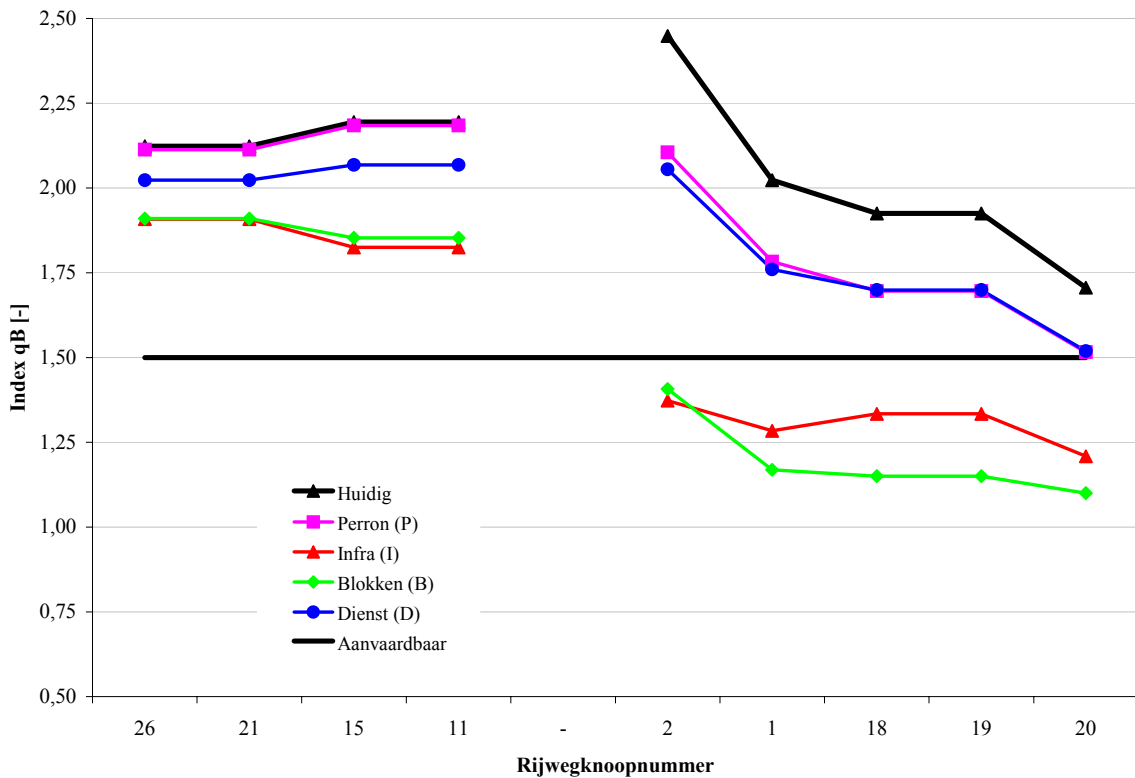
Overzicht van de verbeteringsmogelijkheden

Voor het overzicht zijn alle resultaten tezamen weergegeven in Tabel 5-7. Hierin zijn alle rijwegknopen van het kerntraject en de kruising aan de oostkant van emplacement Hilversum opgenomen. De waarden van index qB zijn niet alleen voor de verbeteringsmogelijkheden afzonderlijk weergegeven, maar ook voor combinaties daarvan. Deze combinaties zijn uitgerekend omdat de scores van de afzonderlijke verbeteringen niet zomaar opgeteld kunnen worden. Deze scores beïnvloeden elkaar namelijk ook.

RWK	Huidig (H)	Perron (P)	Infra (I)	Blokken (B)	Dienst (D)	P en I	P en B	I en B	B en D	P,I,B en D
2	2,448	2,105	1,373	1,407	2,055	1,431	1,401	1,080	1,266	1,014
11	2,184	2,184	1,825	1,853	2,068	1,825	1,853	1,454	1,694	1,358
15	2,184	2,184	1,825	1,853	2,068	1,825	1,853	1,454	1,694	1,358
21	2,113	2,113	1,908	1,910	2,023	1,908	1,910	1,529	1,753	1,417
26	2,113	2,113	1,908	1,910	2,023	1,908	1,910	1,529	1,753	1,417
1	2,023	1,783	1,284	1,169	1,760	1,330	1,165	0,994	1,077	0,936
18	1,925	1,696	1,334	1,150	1,699	1,412	1,146	1,038	1,073	1,012
19	1,925	1,696	1,334	1,150	1,699	1,412	1,146	1,038	1,073	1,012
20	1,706	1,516	1,209	1,100	1,519	1,275	1,096	0,995	1,028	0,972
4	1,099	1,099	0,847	0,966	1,040	0,847	0,966	0,772	0,877	0,708

Tabel 5-7 Zwaarst belaste rijwegknopen (RWK) op het kerntraject bij de capaciteitsberekening met de huidige situatie, de aangepaste perronindeling, geoptimaliseerde snelheden (infra), geoptimaliseerde bloklengtes en afgestemde halteer- en vertrektijden (dienst)

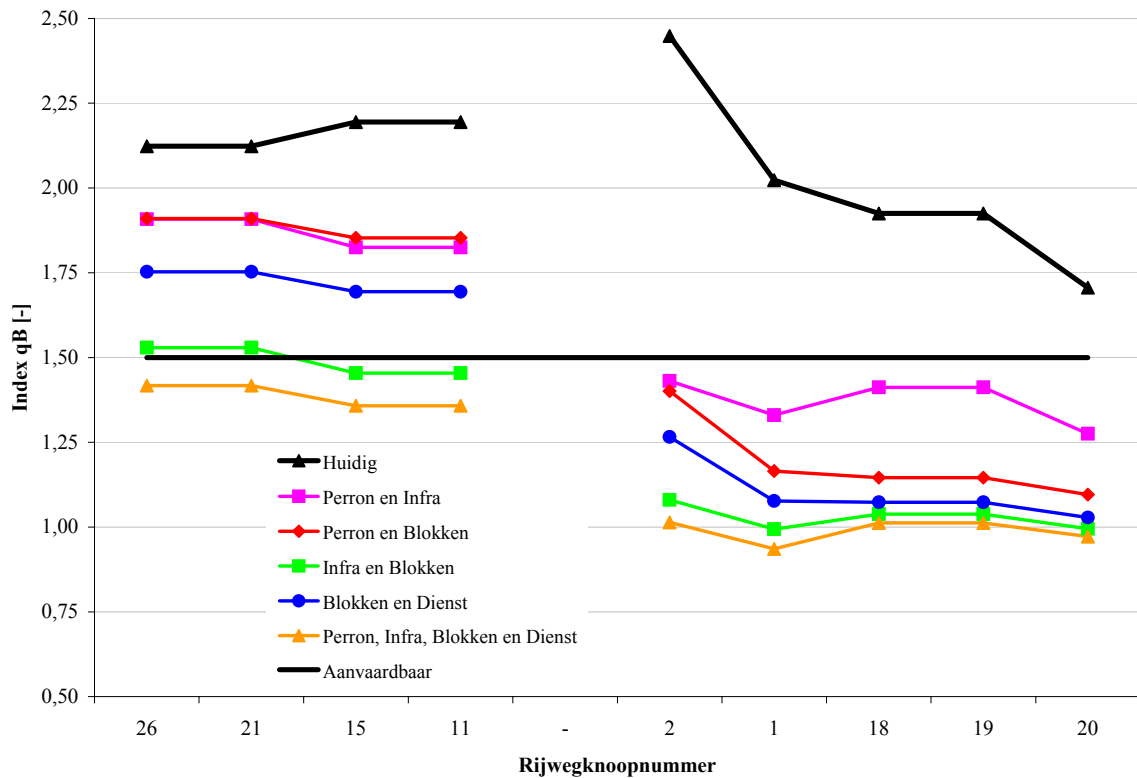
In Figuur 5-13 zijn de resultaten van de afzonderlijke mogelijkheden tot verbetering weergegeven, maar nu in de vorm van een grafiek. De lijnen zijn de verbindingen van alle qB 's op de rijwegknopen per mogelijkheid tot verbetering. De rijwegknopen zijn gesorteerd in volgorde van passeren. In de richting Amersfoort is dit 26, 21, 15 en 11 en in de richting Amsterdam 2, 1, 18, 19 en 20. In de figuur is ook de lijn $qB = 1,5$ aangegeven; boven de lijn is de kwaliteit onaanvaardbaar.



Figuur 5-13 Kwaliteit (index qB) van de rijwegknopen van de afzonderlijke mogelijkheden tot verbetering

In de figuur is te zien dat aanpassen van de perronindeling (Perron) en afstemming van de halteertijden (Dienst) bij benadering even goed scoren. Hetzelfde geldt voor optimaliseren van de snelheid (Infra) en optimaliseren van de bloklengtes (Blokken). Deze laatste twee scoren met name op de rijwegknopen richting Amsterdam een stuk beter. Hier is de kwaliteit voor alle rijwegknopen aanvaardbaar. De kwaliteit van de rijwegknopen richting Amersfoort blijft echter onaanvaardbaar.

In Figuur 5-14 zijn de resultaten van een aantal combinaties van mogelijkheden tot verbetering in grafiekvorm weergegeven. De lijnen stellen weer de verbindingen voor van alle q_B 's op de rijwegknoopen per combinatie. De rijwegknoopen zijn gesorteerd in volgorde van passeren. In de richting Amersfoort is dit 26, 21, 15 en 11 en in de richting Amsterdam 2, 1, 18, 19 en 20. Ook in dit figuur is de lijn $q_B = 1,5$ aangegeven; boven de lijn is de kwaliteit wederom onaanvaardbaar.



Figuur 5-14 Kwaliteit (index q_B) van de rijwegknoopen van combinaties van mogelijkheden tot verbetering

Het aanpassen van de perronindeling (Perron) in combinatie met optimaliseren van de snelheid (Infra) of optimaliseren van de bloklengtes (Blokken) levert voor een aantal rijwegknoopen een kleine verbetering van de kwaliteit op en voor een aantal zelfs een verslechtering ten opzichte van deze maatregelen apart. Optimaliseren van de snelheid (Infra) in combinatie met optimaliseren van de bloklengtes (Blokken) en eventueel daarbij nog aanpassen van de perronindeling (Perron) en afstemming van de halteertijden (Dienst) geeft het beste resultaat. Bij benadering is de kwaliteit voor alle rijwegknoopen nu aanvaardbaar. Voor de combinatie met alle mogelijkheden tot verbetering is de kwaliteit van de rijwegknoopen richting Amsterdam zelfs goed.

5.4 Voorstel tot verbetering van de huidige situatie

Aan de hand van de toetsingsresultaten wordt eerst een afweging gemaakt tussen de verschillende verbeteringsmogelijkheden en combinaties daarvan. Daarna wordt het voorstel tot verbetering van de capaciteitsbenutting op de Gooilijn toegelicht.

Afweging van de verbeteringsmogelijkheden

Wanneer we één mogelijkheid tot verbetering beschouwen en alleen kijken naar rijwegknoop 2 en 11, dan geeft het optimaliseren van de snelheid (Infra) de beste verbetering. Over het hele kerntraject gerekend geeft het optimaliseren van de bloklengtes (Blokken) echter de beste verbetering. Omdat voor rijwegknoop 2 en 11 de q_B maar een klein beetje stijgt ten opzichte van Infra en omdat de kosten minder zijn, is Blokken in het algemeen een betere oplossing dan Infra. De kwaliteit van de rijwegknopen in de richting Amersfoort is echter nog steeds onaanvaardbaar.

De combinatie van Blokken en Infra levert de beste kwaliteit op wanneer twee mogelijkheden tot verbetering kunnen worden uitgevoerd. Dit komt mede doordat de meerwaarde van het aanpassen van de perronindeling (Perron) ten opzichte van Blokken of Infra apart de situatie nauwelijks verbetert respectievelijk verslechtert. Blokken en Infra versterken elkaar juist wel. De combinatie van Blokken en Infra is wel de kostbaarste combinatie. Indien alle mogelijkheden gecombineerd worden ontstaat het beste resultaat. De afstemming van de halteertijden (Dienst) compenseert hier kennelijk het negatieve effect van Perron.

Een gedetailleerd kostenplaatje van de verbeteringen Perron, Infra en Blokken ontbreekt, maar wel kan worden gezegd dat Perron het minst kostbaar is en Infra het meest. Aan de verbetering Dienst zijn vanzelfsprekend niet direct kosten te verbinden. Indien het budget beperkt is zal een investering in Blokken de juiste keuze zijn. Gecombineerd met het aanpassen van de halteertijden is het optimaliseren van de bloklengtes (in dit geval seinverdichting) een duidelijke verbetering van de huidige situatie.

Is het budget toereikend, dan zal een investering in alle verbeteringsmogelijkheden de juiste zijn. Perron zorgt aan de ene kant wel voor een iets slechtere kwaliteit, maar aan de andere kant staat daar een robuuster netwerk (4 perronsporen, symmetrie) tegenover. Daarnaast is voor een optimale uitvoering van Infra de bouw van een extra perron zeer wenselijk. Bijkomend voordeel is dat het aantal wissels en sporen sterk beperkt wordt op station Hilversum wat veel kan schelen in het aantal storingsen en de onderhoudskosten.

Voorstel tot verbetering van de capaciteitsbenutting op de Gooilijn

Eerst worden de niet gebruikte sporen op emplacement Hilversum verwijderd. Dit zijn de sporen 5 en 6 parallel aan de perronsporen, het korte stukje spoor aan de westzijde van het emplacement dat uitkomt op spoor 1 en de sporen rond de los- en laadweg aan de Liebergerweg. Het betreft hier grotendeels ongeïsoleerd spoor zonder bovenleiding. In de vrijgekomen ruimte op de plaats van de sporen 5 en 6 wordt een zijperron aangelegd van 4 m breed. Aan de zijde van spoor 5 wordt een hek op het perron geplaatst zodat het duidelijk is dat alleen aan de kant van spoor 4 treinen halteren. Het perron krijgt een opgang vanaf de spoorwegovergang in de Stationsstraat en een opgang vanuit de al aanwezige tunnel onder de sporen.

Een ruimere boog met een boogstraal van 500 m en 80 mm verkanting wordt daarna in de vrijgekomen ruimte ingepast. De wissels uit het wisselcomplex ten oosten van het station worden voor een deel verwijderd en voor een deel verschoven in de richting van de perrons. De overloopwissels in de richting Utrecht worden verder verschoven tot Hilversum Sportpark. De aansluiting van het nieuwe spoor 5 wordt verschoven in de richting van Amersfoort tot het einde van de boog. Het wissel van spoor 2 naar spoor 1 wordt vervangen door een 1:15 wissel. De bovenleiding wordt door het geringere aantal wissels deels verwijderd en een aantal portalen worden verschoven door de nieuwe boog. Vervolgens worden 10 nieuwe seinen over het hele kerntraject neergezet en de bestaande seinen worden voor een deel verplaatst. Tot slot worden de halteertijden teruggebracht tot 30 s.

In de nieuwe situatie verdwijnen 6 wissels, 4 engelse wissels en een paar honderd meter spoor en bovenleiding. Nieuw zijn een perron en 10 seinen. Het nieuwe derde perron kan van beide kanten van het spoor bereikt worden. Voor de goederentreinen is er een opstelspoor van ruim 800 m ontstaan en de treinen staan ook niet meer op de overweg in de Stationsstraat. De doorgaande treinen kunnen in deze situatie in alle hoofdrichtingen het station met 80 km/h passeren. Door de aan de snelheid aangepaste bloklengtes kunnen de treinen ook met een kortere opvolgtijd rijden.

Door het verkorten van de opvolgtijden kunnen de treinen dichter achter elkaar aanrijden. Dit heeft gevolgen voor de baanvakbelasting. De tijd die verstrijkt voordat de eerste trein in de dienstregeling voor de tweede keer kan gaan rijden, is nu korter geworden. Voor beide richtingen is de baanvakbelasting op het kerntraject weergegeven in Tabel 5-8.

Baanvakbelasting	ri. Amf	ri. Asd
Met goederentreinen	55,8%	56,3%

Tabel 5-8 Baanvakbelastingen op het kerntraject bij het voorstel tot verbetering

In vergelijking met de resultaten uit Paragraaf 4.7 is te zien dat de baanvakbelastingen in beide richtingen omlaag zijn gegaan. In de richting Amersfoort met 8,8% en in de richting Amsterdam met 21%. De belastingen zijn nu beide acceptabel. Door de lagere baanvakbelastingen kan er ook meer rijtijdmargin worden opgenomen in de dienstregeling. Dit heeft als voordeel dat vertragingen minder snel doorwerken op de opvolgende treinen. Het is eventueel ook mogelijk om de treinfrequentie (in beide richtingen) te verhogen van 12 naar 14 treinen per uur. Afhankelijk van het type dienst zal de baanvakbelasting hiermee oplopen tot rond 70%.

In Bijlage X zijn de bloktrapdiagrammen van alle treindiensten in beide richtingen op het kerntraject opgenomen voor het voorstel tot verbetering. In Bijlage XI zijn in schaal 1:1000 de huidige situatie en de ontworpen nieuwe situatie op emplacement Hilversum weergegeven.

6 Conclusies en Aanbevelingen

6.1 Conclusies

De logbestanden waarin de huidige Nederlandse dienstuitvoering wordt geregistreerd, worden door het programma TNV-Prepare verwerkt tot gedetailleerde informatie over de treinbewegingen op een emplacement of baanvak. Op deze manier zijn uit de logbestanden de rijwegen en de doorkomstijden te bepalen. Samen met de informatie over de opbouw van het spoornetwerk uit de OBE- en OKT-bladen geeft dit de mogelijkheid de rijtijden en snelheden per trein(serie) te analyseren. TNV-Prepare geeft dus inzicht in de opbouw en de verdeling van de gerealiseerde vertragingen.

Op basis van deze vertragingverdelingen samen met de infrastructuur ingevoerd in SPURPLAN en de dienstregeling, wordt in ANKE een kwaliteitsbeoordeling gegeven aan de dienstuitvoering. Uit deze kwaliteitsindex alleen kunnen geen conclusies getrokken worden. Het model is gebaseerd op de situatie op het Duitse spoorwegnet. Voor een aantal door het programma gebruikte parameters is nader onderzoek gewenst om de toepasbaarheid op het Nederlandse spoorwegnet aan te tonen. Daarnaast is gebleken dat situaties die volgens het model overbelast zijn in Nederland aanvaardbaar worden geacht. Het model is echter wel geschikt om verschillende situaties kwalitatief met elkaar te vergelijken.

Met behulp van rijtijden, minimale opvolgtijden en bloktrapdiagrammen kan met ANKE inzicht worden verkregen in de effecten van maatregelen op een situatie. Zo heeft seinverdichting alleen effect indien dit voor het hele traject wordt uitgevoerd. De minimale opvolgtijd geldt dan over het gehele traject. Ten aanzien van de kwaliteitsindex van de mogelijkheden tot verbetering kan geconcludeerd worden dat seinverdichting en het optimaliseren van de snelheid afzonderlijk het grootste effect hebben. De optimale capaciteitsbenutting wordt gerealiseerd bij een combinatie van alle mogelijkheden tot verbetering.

Met behulp van de programma's TNV-Prepare en ANKE samen, kan dus op een doelgerichte manier inzicht worden verkregen in de capaciteitsbenutting van een (deel van een) traject en de eventuele mogelijkheden tot verbetering. De statistische analyse van de gerealiseerde treinenloop in combinatie met de analytische berekening van de capaciteitsbenutting, maakt het mogelijk een gedetailleerd overzicht te geven van de knelpunten en de oorzaken daarvan. De mogelijkheden tot verbetering kunnen daarna kwalitatief goed met elkaar worden vergeleken om tot een voorstel te komen. Het doel van het onderzoek is hiermee bereikt.

6.2 Aanbevelingen

Op de grenzen van het gedefinieerde kerntraject hebben de treinen, met name uit Amsterdam en Amersfoort, een beginvertraging. De oorzaak van deze vertragingen is buiten beschouwing gelaten, maar is wel interessant om nader te onderzoeken. Door oplossingen te zoeken voor de oorzaak van de beginvertragingen kan het mogelijk zijn dat er geen maatregelen op het kerntraject genomen hoeven te worden. Op deze manier kunnen eventueel ook andere treindiensten hier voordeel van ondervinden.

In het onderzoek is geen aandacht besteed aan de beperkingen ten opzichte van tractie-energie. Door een grotere vermogensbehoefte van de hedendaagse treinen (onder andere door zwaardere motoren en airconditioning) en het beperkte beschikbare vermogen uit de bovenleiding, is het mogelijk dat een trein niet maximaal kan optrekken. Dit heeft een negatieve invloed op de rijtijden en kan er voor zorgen dat de dienstregeling niet wordt gehaald. Door onderzoek te doen naar de vermogensopname kan bepaald worden of een betere vermogensvoorziening effect zal hebben op vertragingen.

In de dienstuitvoering wordt een bepaalde hiërarchie toegepast indien er conflicten tussen treinen optreden. Onbekend is bij welke mate van vertragingen een trein zijn weg mag vervolgen, moet wachten om ingehaald te worden door een andere trein of zelfs wordt opgeheven. Ook de alternatieve rijwegen in geval van een geblokkeerd (perron)spoor zijn niet bekend. Een onderzoek naar de hiërarchie in de dienstuitvoering op de verschillende stations kan inzicht bieden in de manier waarop de mate van volvertragingen beïnvloed kan worden.

De uitkomsten van de capaciteitsberekeningen in ANKE kunnen slechts relatief geïnterpreteerd worden. Een gelijke kwaliteitsindex voor een Nederlandse en een Duitse situatie betekent niet per definitie dezelfde kwaliteit van de dienstuitvoering. In een mogelijk vervolgonderzoek is het daarom wenselijk de herkomst en functie van de parameters te bepalen en aan te passen aan de Nederlandse situatie. Daarvoor moet echter wel een maatstaf voor vertragingen en wachttijden op het Nederlandse spoorwagennet worden opgesteld.

Bronvermelding

Literatuur

Broek, J.M. ten, *Inzet van het materieel van NS Reizigers: de dienstregeling 2004*, Op de Rails, nr.1 - januari 2004, 2004

Brünger, O., *Konzeption einer Rechnerunterstützung für die feinkonstruktion von Eisenbahnfahrplänen*, Veröffentlichungen des verkehrswissenschaftlichen Instituts der RWTH Aachen, Heft 51, Aachen, 1995

Esveld, C., *Modern Railway Track*, MRT-Productions, Zaltbommel, 2001

Hansen, I.A., *Transport Operation and Management*, collegedictaat TU Delft, Delft, 1999

Hansen, I.A., *Verkeer - Deel B: Ontwerp van wegen en spoorwegen*, collegedictaat TU Delft, Delft, 1998

Johanns, R.D., *Handleiding bij de modules van TNV-Prepare programmatuur*, Delft, 2001

Keizer, B. de, *Analyse van de capaciteitsbenutting op spoorwegemplacement Rotterdam Centraal*, Afstudeeronderzoek TU Delft, Delft, 2003

Kort, A.F. de, *Wachtrijmodellen voor spoorwegknooppunten*, TRAIL Onderzoekschool, Delft, 1996

Pachl, J., *Railway Operation and Control*, VTD Rail Publishing, Mountlake Terrace, 2002

Poort, J.P., *Grenzen aan benutting*, NYFER, 2002

Schwanhäüßer, W., *Die bemessung der Pufferzeiten im Fahrplangefüge der Eisenbahn*, Veröffentlichungen des verkehrswissenschaftlichen Instituts der RWTH Aachen, Heft 20, Aachen, 1974

Schwanhäüßer, W. and Vakhtel, S., *Handbuch ANKE*, Aachen, 2001

Vakhtel, S., *Rechnerunterstützte analytische Ermittlung der Kapazität von Eisenbahnnetzen*, Veröffentlichungen des verkehrswissenschaftlichen Instituts der RWTH Aachen, Heft 59, Aachen, 2002

Wakob, H., *Ableitung eines generellen Wartemodells zur Ermittlung der planmäßigen Wartezeiten im Eisenbahnbetrieb unter besonderer Berücksichtigung der Aspekte Leistungsfähigkeit und Anlagenbelastung*, Veröffentlichungen des verkehrswissenschaftlichen Instituts der RWTH Aachen, Heft 36, Aachen, 1985

Websites

Nedrail1435, www.nedrail1435.nl, 2004-2005

Rover - Vereniging Reizigers Openbaar Vervoer, www.rovernet.nl, 2004-2005

Seinenboek NS, www.henkbartels.nl, 2004-2005

SporenplanOnline, www.sporenplan.nl, 2004-2005

Kaartmateriaal en voorschriften

BBK-bladen van het onderzoeksgebied (Basis Beheerkaarten)

OBE-bladen van het onderzoeksgebied (Overzicht Baan en Emplacementen)

OKT-bladen van het onderzoeksgebied (Overzicht Knopen en Takken)

OVS00056-6.2, Ontwerpvoorschrift standaard wissels en kruisingen, maart 2005

OVS00025, Ontwerpvoorschrift alignement, december 2001

Index

adhesiekracht	VII	OBE-bladen	35
alignement	65	OKT-bladen	16
ANKE	36	onderzoeksgebied	5
ARI	III	opvolgtijd	30
ATB	14	overgangsboog	65
		OVS	65
baanvakbelasting	46, 76	rangorde	39
baanvaksnelheid	14, 57	regeltoeslag	40
basisuurpatroon	8, IV	rijtijd	27, 40, 55
bezettingsgraad	62	rijtijdmargin	19
blok	14, 67	rijweg	16
bloksignalering	14, 67	rijwegknopen (RWK)	32
bloktijd	28, 42, 60		
bloktrapdiagram	30	scheidingslassen	14
boogstraal	65	sectie	15
buffertijd	30	spits	6
		SPURPLAN	35
capaciteitsbenutting	27, 49, 53		
		tijd-afstanddiagram	29
dienstregeling	6	TNV	15
dienstuitvoering	13	TNV-Prepare	16
dispositieconstante	39	treindienstleiding	III
		treinserie	6
EBO	III	trekkracht	VII
gooiboog	5	venster	15
gooilijn	5	verkanting	65
grenssnelheid	VII	verkeersleiding	III
		verplaatsingstijd	27
halteertijd	27, 69	vertraging	18
hiërarchie	39	vertragingverdeling	20
hoofdsein	14	voorrangsregeling	39
		voorsein	14
kerntraject	6		
knooppunt	31	wachtrij	31, 32
kwaliteitsindex	34	wachttijd	27, 32
		weerstand	VII
materieel	37, VII		

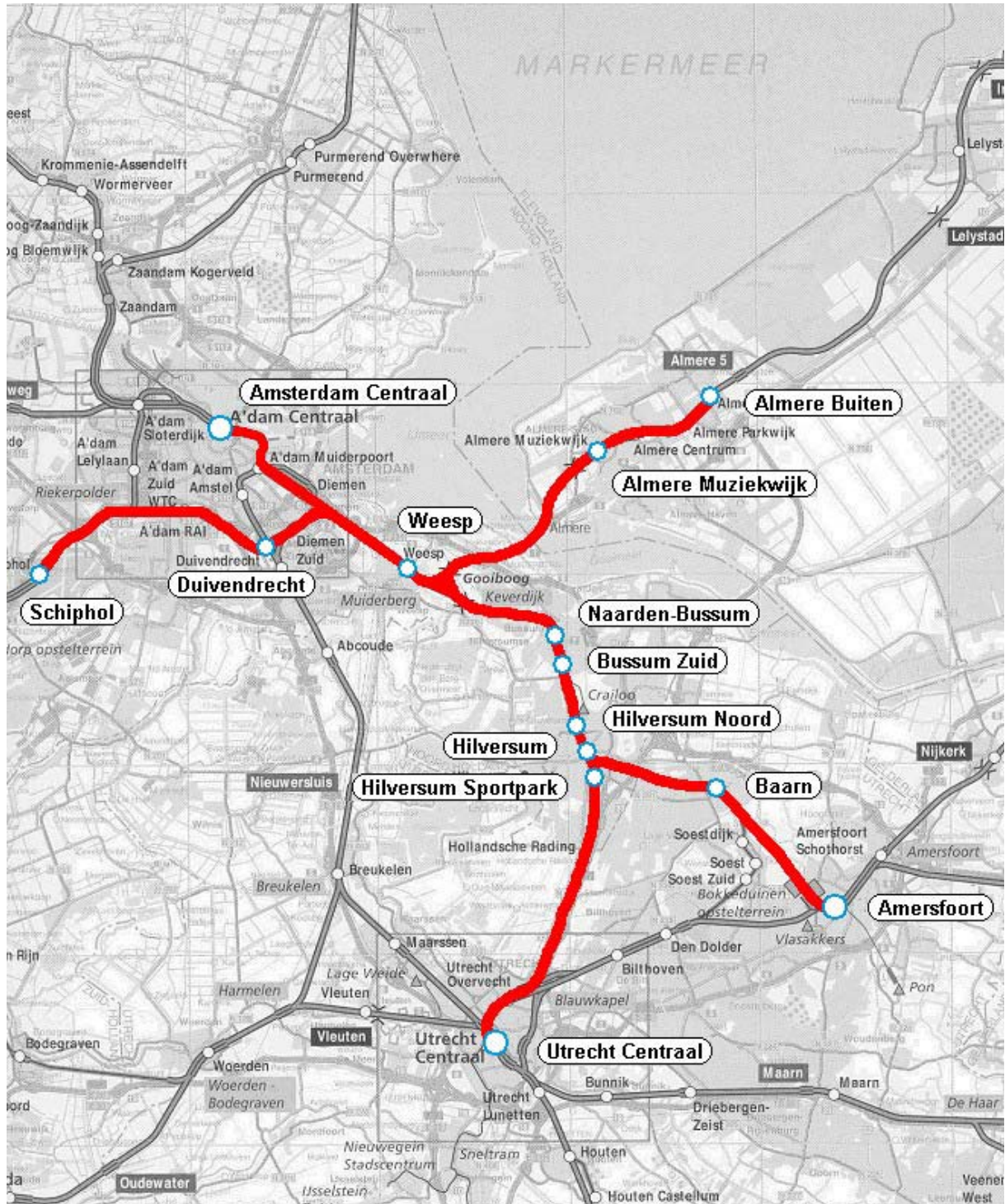
Optimale capaciteitsbenutting

Praktische kwaliteitsbeoordeling door
toepassing van een analytisch model

Bijlagen

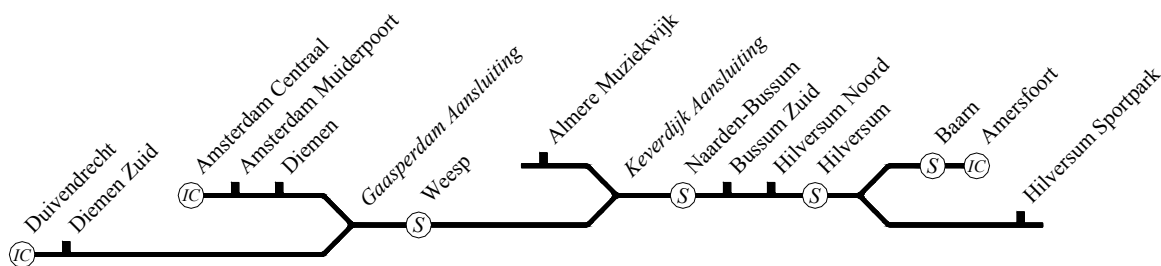
Bijlage I

Overzichtskaart onderzoeksgebied

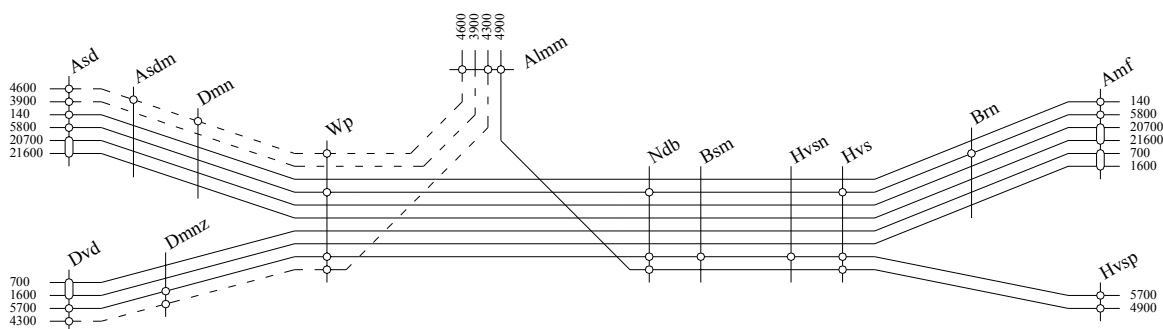


Bijlage II

Overzicht van de treindienst op de Gooilijn



Almere Muziekwijk	- Almm	Bussum Zuid	- Bsm	Hilversum	- Hvs
Amersfoort	- Amf	Diemen	- Dmn	Hilversum Noord	- Hvsn
Amsterdam Centraal	- Asd	Diemen Zuid	- Dmz	Hilversum Sportpark	- Hvsp
Amsterdam Muiderpoort	- Asdm	Duivendrecht	- Dvd	Naarden-Bussum	- Ndb
Baarn	- Brn			Weesp	- Wp



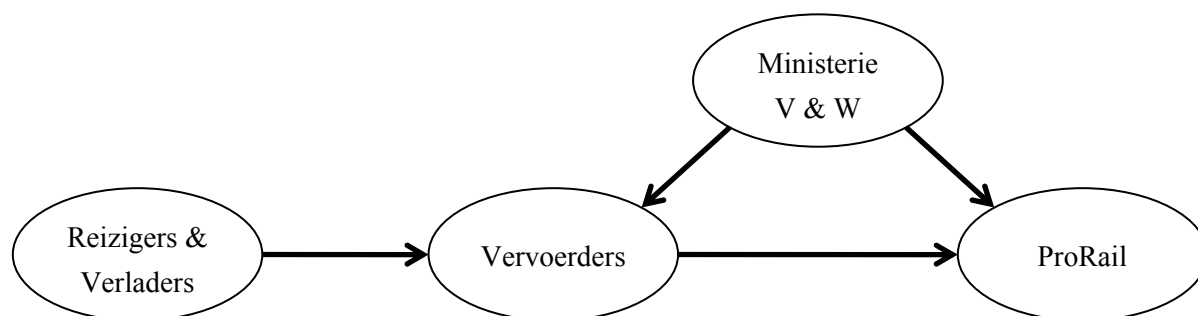
Type	Serie	Traject	Frequentie
Internationaal	140	Amsterdam Centraal - Hengelo - Berlin	4x per dag
Intercity	700	Schiphol - Amersfoort - Zwolle - Groningen	1x per uur
Intercity	1600	Schiphol - Amersfoort - Deventer - Enschede	1x per uur
Intercity	20700	Amsterdam Centraal - Amersfoort - Zwolle - Groningen	1x per uur
Intercity	21600	Amsterdam Centraal - Amersfoort - Deventer - Enschede	1x per uur
Sneltrein	5800	Amersfoort Schothorst - Amsterdam Centraal - Alkmaar	2x per uur
Stoptrein	4900	Utrecht Centraal - Hilversum - Almere	2x per uur
Stoptrein	5700	Leiden - Schiphol - Hilversum - Utrecht Centraal	2x per uur

Bijlage III Exploitatie en beheer van spoorinfrastructuur

III-1 Organisatie in de spoorsector

In het begin van de jaren negentig lag het beheer en de exploitatie van het spoor in handen van de Nederlandse Spoorwegen. Totdat de Europese regelgeving liberalisering en scheiding van exploitatie en beheer van het spoor voorschreef. Daardoor werden organisaties op het gebied van infrastructuur afgestoten van de NS. De zogeheten 'taakorganisaties' legden zich vanaf 1995 toe op het beheer van het Nederlandse spoor. Railinfrabeheer nam de zorg voor het onderhoud en de aanleg op zich. Railned bepaalde wie op welk moment van het spoor gebruik mag maken en zag toe op de spoorwegveiligheid. Railverkeersleiding regelde het dagelijkse treinverkeer, inclusief herstel na verstoringen en reizigersinformatie. Tot 2002 vielen deze bedrijven onder het NS-concern, hoewel ze in opdracht en voor rekening van het ministerie van Verkeer en Waterstaat werkten.

In 2002 werd de scheiding tussen beheer en exploitatie van het spoor definitief. Toen sprak de Tweede Kamer zich uit voor de nieuwe Spoorwegwet. Deze wet zorgt voor meer duidelijkheid in de taakverdeling op het spoor. De taken en verantwoordelijkheden van gebruikers en beheerders van het spoor werden nu ook organisatorisch gescheiden: Railinfrabeheer, Railned en Railverkeersleiding gingen zelfstandig verder. Om het beheer van het spoor nog duidelijker te onderscheiden, vormen Railinfrabeheer, Railned en Railverkeersleiding sinds 1 januari 2003 samen de zelfstandige organisatie ProRail. Overigens zonder de spoorwegveiligheidstak van Railned, dat onderdeel ging uitmaken van de Inspectiedienst Verkeer en Waterstaat. Figuur III-1 geeft de verbanden weer tussen de belangrijkste partijen in de spoorsector. De pijlen geven hierin de richting van de geldstroom weer.



Figuur III-1 Verbanden tussen de partijen in de spoorsector

De reizigers en de verladers betalen de kosten voor transport aan hun vervoerder(s), in geval van reizigers het treinkaartje. De vervoerders betalen een zogenaamde gebruiksvergoeding aan ProRail om gebruik te kunnen maken van het spoorweganet. Om tot een gewenste maatschappelijke situatie te komen, grijpt de overheid op diverse manieren in het verkeers- en vervoerssysteem in. Ze stelt budgetten vast voor spooronderhoud en nieuwbouwprojecten, regelt de hoogte van de infraheffingen en de prijsstijgingen van de vervoersbewijzen en zorgt voor maatschappelijk gewenste treindiensten die niet door marktwerking tot stand komen.

Feiten ProRail

- ProRail beheert ruim 6.500 kilometer spoor, inclusief 4.500 bruggen en tunnels, waaronder 58 beweegbare bruggen.
- Het spoor is verder voorzien van 3.000 merendeels beveiligde overwegen, 8.600 wissels, 9.800 seinen, 4.500 kilometer bovenleiding en 386 stations.
- Deze stations hebben een gezamenlijke oppervlakte van 1,4 miljoen vierkante meter.
- Over het spoor vervoeren dagelijks 5.000 reizigerstreinen bijna 1 miljoen passagiers en rijden er 230 treinen met een gezamenlijke vracht van 80.000 ton goederen. Daarmee is het Nederlandse spoorweganet één van de drukste van Europa.
- Met ruim 3.000 medewerkers zorgt ProRail voor beheer van de intensief gebruikte railinfra, toedeling van capaciteit en voor verkeersleiding. Zij voeren hun werkzaamheden uit in het Utrechtse hoofdkantoor, vier regiokantoren in Amsterdam, Eindhoven, Rotterdam en Zwolle en in dertien verkeersleidingsposten.
- Met de activiteiten van ProRail in onderhoud, nieuwbouw en de exploitatielasten en investeringen in nieuwe projecten is jaarlijks ruim 2 miljard euro gemoeid.

III-2 Verkeersleiding

De nieuwe structuur binnen ProRail kent zes bedrijfseenheden en acht staf eenheden. Eén van deze zes bedrijfseenheden is de (rail)verkeersleiding, zie ook het organigram in Figuur III-2.



Figuur III-2 Organigram ProRail

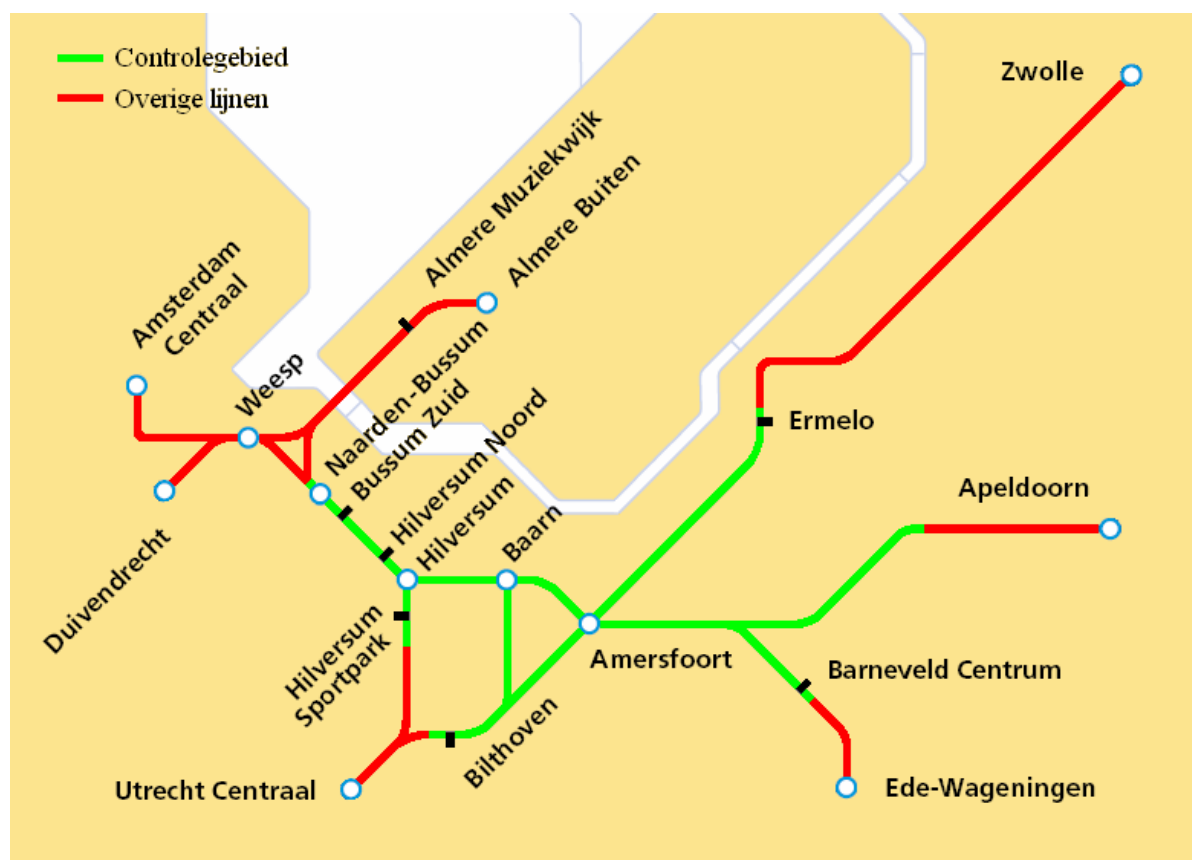
De verkeersleiding is de organisatie die verantwoordelijk is voor de operationele besturing van de treindiensten in Nederland. De verkeersleiding stuurt het treinverkeer op basis van plannen en afhandelingstrategieën, die tot stand komen in een open samenwerking met haar klanten: reizigers- en goederenvervoerders. Daarnaast wordt actuele reisinformatie geleverd en wordt gezorgd voor het managen van incidenten op het spoor, met de bijsturing die daarbij hoort.

De verkeersleiding heeft een centrale directie en staf en bestaat daarnaast uit vier regio's. Elke regio heeft een netwerkverkeersleidingscentrum en een aantal treindienstleidingsposten. Vandaar uit wordt het dagelijkse proces uitgevoerd, door respectievelijk netwerkbestuurders/-analisten en treindienstleiders, medewerkers omroep en brugwachters. Het regionaal management is, met ondersteuning van de regiostaf, verantwoordelijk voor het dagelijks proces in de regio.

Het belangrijkste verschil tussen de verkeersleiding en de treindienstleiding is dat de verkeersleiding eerst de capaciteit van de infrastructuur toedeelt. Conform deze (bijgestuurde) toedeling wordt de capaciteit dan vrijgegeven in de vorm van rijwegen door de treindienstleiding.

III-3 Treindienstleiding

Op 28 april 2005 is een bezoek gebracht aan de treindienstleiding op post Amersfoort. Hier worden de treinen op station Amersfoort en de aansluitingen in alle richtingen in de gaten gehouden. Ook worden hier twee overwegen op afstand bediend en wordt omroepinformatie op de stations verzorgd. In Figuur III-3 is schematisch het controlegebied van post Amersfoort weergegeven. Het controlegebied wordt verdeeld over meerdere treindienstleiders. Het deelgebied Gooilijn van station Amersfoort tot en met station Naarden-Bussum (exclusief de lijn naar Soest) is daarbij nader geobserveerd.



Figuur III-3 Schematische weergave controlegebied post Amersfoort

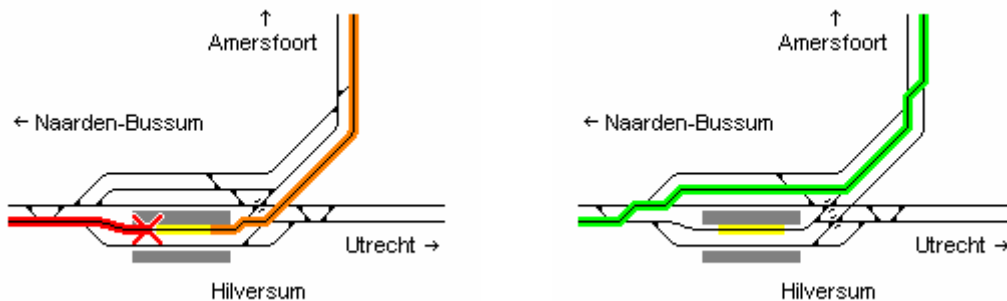
Elke treindienstleider heeft een aantal schermen voor zich en een speciale telefoon. Op de schermen is het netwerk van het betreffende deelgebied te zien en informatie over de treinen die op dat moment rijden. Met de telefoon kan naast het normale telefoonverkeer ook gebeld worden met de machinisten in de trein. Aan weerszijden van de treindienstleider Gooilijn zitten de overwegwachters voor de elektrisch bediende overwegen (EBO) in Hilversum en Naarden.

Automatische Rijweg Instelling (ARI)

Alle treinbewegingen worden tot stand gebracht door een in 1999 ingevoerd (half)-automatisch computersysteem. Dit systeem heeft als uitgangspunt ARI, oftewel Automatische Rijweg Instelling. Dat betekent dat bijna alle rijwegen door de computer veilig gezet worden mits de juiste trein er is en mits het spoor vrij en onbelemmerd is. ARI regelt dus de seininstellingen en voorkomt met gele en rode seinen dat de treinen op elkaar botsen.

Van de treinen worden de geplande doorkomsttijden getoond plus de actuele vertraging afgerond in hele minuten. Dit is een indicatie voor welke treinen specifieke aandacht vereisen. De trein is zichtbaar op het netwerk door het venster dat door de trein bezet wordt geel te markeren. Daarnaast wordt het serienummer erbij vermeldt. De ingestelde rijweg wordt in het groen weergegeven.

Wanneer een trein nu vertraging heeft of er dient zich een andere ongewenste situatie aan, kan de treindienstleider besluiten om handmatig een andere rijweg in te stellen. Zo kan een intercitty bijvoorbeeld een andere rijweg worden gegeven wanneer het spoor geblokkeerd wordt door een vertraagde stoptrein op het station, zie het voorbeeld in Figuur III-4. Een door ARI ingestelde rijweg kan echter niet zomaar veranderd worden. Dan zal eerst een sein herroepen moeten worden.



Figuur III-4 Alternatieve rijweg bij een geblokkeerd spoor

De EBO's zijn met de hand bediende overwegen, die de sporen volledig afsluiten. Deze overwegen zijn altijd zeer breed, daar er vele sporen overheen gaan. De overweg wordt dan ook altijd bediend door personeel dat zicht heeft op de overweg, en die de bomen individueel kan bedienen. Kenmerk van deze overwegen, is dat ze altijd zeer lang gesloten zijn. Om een trein ongehinderd doorgang te verlenen, moet de overwegwachter al vroeg beginnen met de sluiting. Pas als alle bomen gesloten zijn, kunnen de seinen op groen worden gezet. Ook wordt de overweg vaak gesloten gehouden als er nog een tweede trein aankomt, al duurt dat enkele minuten. Dit komt omdat ARI dan een nieuwe rijweg voor een andere trein over de overweg heeft ingesteld.

De bediening van de overwegen in Naarden en Hilversum vindt plaats vanuit de treindienstleiderspost in Amersfoort. Omdat de overwegwachter toch goed zicht moet hebben op de overweg zijn er vele camera's opgehangen, zodat de wachter kan zien of er verkeer is ingesloten. Hij kan zelfs berichten omroepen en overtreders vermanend toespreken, en er zijn ook microfoons geplaatst, zodat hij kan luisteren naar het omgevingsgeluid aldaar. Opmerkelijk is dat er in Nederland nog maar vier EBO's in gebruik zijn, waarvan dus twee op de Gooilijn.

Stop-door regeling bij automatische overwegen.

Automatische overwegen worden door de treinen zelf geactiveerd als de betreffende trein het aankondigingsgebied van die overweg bezet. De lengte van het gebied is afhankelijk van de maximale baanvaknelheid. Als er nu een station in het aankondigingsgebied ligt, gaat de overweg al sluiten voordat de trein überhaupt op het station arriveert. Als de trein doorrijdt is er geen probleem, maar als de trein stopt is de overweg onnodig lang dicht.

Hierop is een oplossing gevonden, de zogenaamde stop-door schakeling. Dit houdt in dat de treindienstleider bij het laatste bediende sein voor de overweg aan de beveiliging meegeeft of de trein op het station stopt, of dat de trein doorrijdt. Als er nu een trein aan komt die gaat stoppen, dan wordt de aankondiging tijdelijk uitgeschakeld door een tijdrelais. Nadat de ingestelde tijd nodig voor het halteren is verlopen, wordt de trein alsnog gedetecteerd. De overweg gaat dan sluiten en eenmaal gesloten zal de rijweg over de overweg worden ingesteld. Het sein gaat op groen, het vertreklicht gaat branden en de trein kan vertrekken.

Het uiteindelijke doel van de treindienstleider is zo veel mogelijk treinen op het juiste spoor te laten halteren of passeren.

III-4 Dienstuitvoering op de trein

Op 28 juni 2005 is in de cabine meegereden met trein 1625. Deze intercity vertrekt om 7.51 uur van Schiphol en rijdt via Amersfoort verder in de richting van Enschede. Van Schiphol tot Amersfoort is naast de machinist plaatsgenomen om van gedachte te wisselen over de capaciteit van de Gooilijn. Tegelijk is ook gekeken hoe het besturen van een trein in zijn werk gaat. In het kort zal eerst beschreven worden welke procedures aan bod komen tijdens de dienstuitvoering. Daarvoor wordt de volgende cyclus bekeken: aankomst - haltering - vertrek - rijden - aankomst.

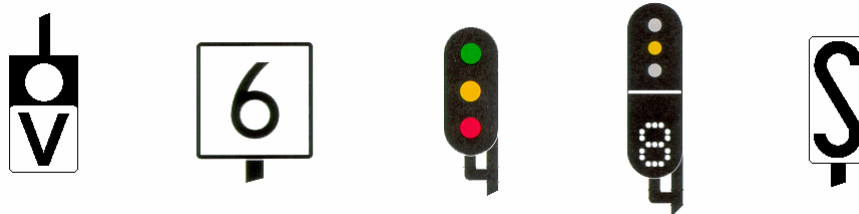
Cyclus aankomst - haltering - vertrek - rijden - aankomst

Na het tot stilstand komen van de trein worden de deuren aan de juiste zijde van de trein vrijgegeven door de machinist. De reizigers zelf kunnen daarna de deuren openen. Na het bereiken van de vertrektijd en de minimum halteertijd, sluit de conducteur centraal alle deuren. Dit mag de conducteur alleen doen indien het vertrekseinlicht brandt. Als alle deuren vergrendeld zijn, gaat er een lichtje branden in de cabine van de trein. De machinist kan nu, mits het eerstvolgende sein (indien zichtbaar) geen rood toont, vertrekken. De machinist heeft in principe niets met het vertrekseinlicht te maken.

Tijdens het rijden moeten de machinist de snelheidsaanduidingen en de seinen in de gaten houden. De ter plaatse geldende (maximum) snelheid wordt aangegeven door middel van borden of cijferbakken onder seinen. De snelheden op de cijferbakken zijn altijd maatgevend boven de borden. Voor een aantal snelheidsdrempels houdt de ATB (Automatische Trein Beïnvloeding) de snelheid in de gaten. Wanneer men de snelheid overschrijdt geeft de ATB een signaal. Indien de machinist daar niet op reageert, grijpt het systeem in en brengt de trein tot stilstand. Dit proces kan niet worden onderbroken.

Een groen sein geeft vrije doorgang aan met de ter plaatse geldende snelheid. Een geel sein geeft aan dat de momentane status van het daaropvolgende sein rood is. De machinist dient de snelheid te verlagen tot 40 km/h of zoveel minder als nodig is, zodat hij, als het sein inderdaad (nog) rood toont, de trein in stilstand kan brengen voor het sein. Een trein moet altijd stoppen voor een rood sein. Ook na passage van een rood sein grijpt de ATB in en brengt de trein tot stilstand. Het systeem werkt echter alleen bij snelheden boven de 40 km/h.

Na het passeren van het zogenaamde “verkenbord”, volgt een station of halte op remwegafstand. Op basis van eigen ervaring kan de machinist nu de remming inzetten om op de juiste positie tot stilstand te komen. Daarna begint de cyclus weer van voren af aan. Ter verduidelijking is in Figuur III-5 een aantal seinen en borden weergegeven.

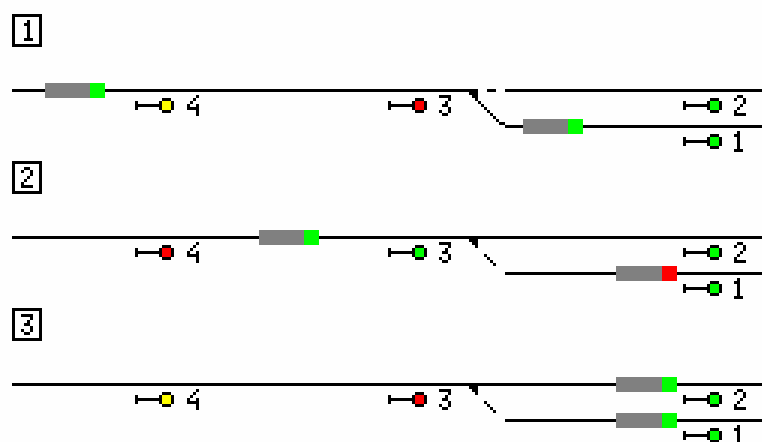


Figuur III-5 Vertrekseinlicht, snelheidsbord 60 km/h, lichtsein, lichtsein met cijferbak 80 km/h en verkenbord

Voorbeeld van interactie tussen een trein en de opvolgende trein

Intercity series 700 en 1600 van Schiphol via Duivendrecht naar Amersfoort rijden achter stoptrein serie 5700 van Leiden via Schiphol, Duivendrecht en Hilversum naar Utrecht Centraal. Deze stoptrein heeft vaak vertraging en daardoor loopt de intercity vaak tegen een rood sein aan. Bij een minimale vertraging van de stoptrein ondervindt de intercity al hinder. Nu was dit ook het geval, maar de intercity was dit keer aan de vroege kant.

Goed zichtbaar was dat in dit geval het wissel naar spoor 1 in Hilversum maatgevend was. De stoptrein halteert op spoor 1 en dan kan de intercity passeren via spoor 2. Ter verduidelijking is deze situatie geschematiseerd weergegeven in Figuur III-6.



Figuur III-6 Schematisatie seinbeelden bij station Hilversum

In de schematisatie in Figuur III-6 zijn de seinen 1 t/m 4 genummerd. Sein 1 geeft ook spoor 1 aan en sein 2 spoor 2. De treinen zijn aangegeven als een grijze balk met een groene voorkant (rijdend) of een rode voorkant (stilstaand). De volgende drie situaties doen zich nu achtereenvolgens voor:

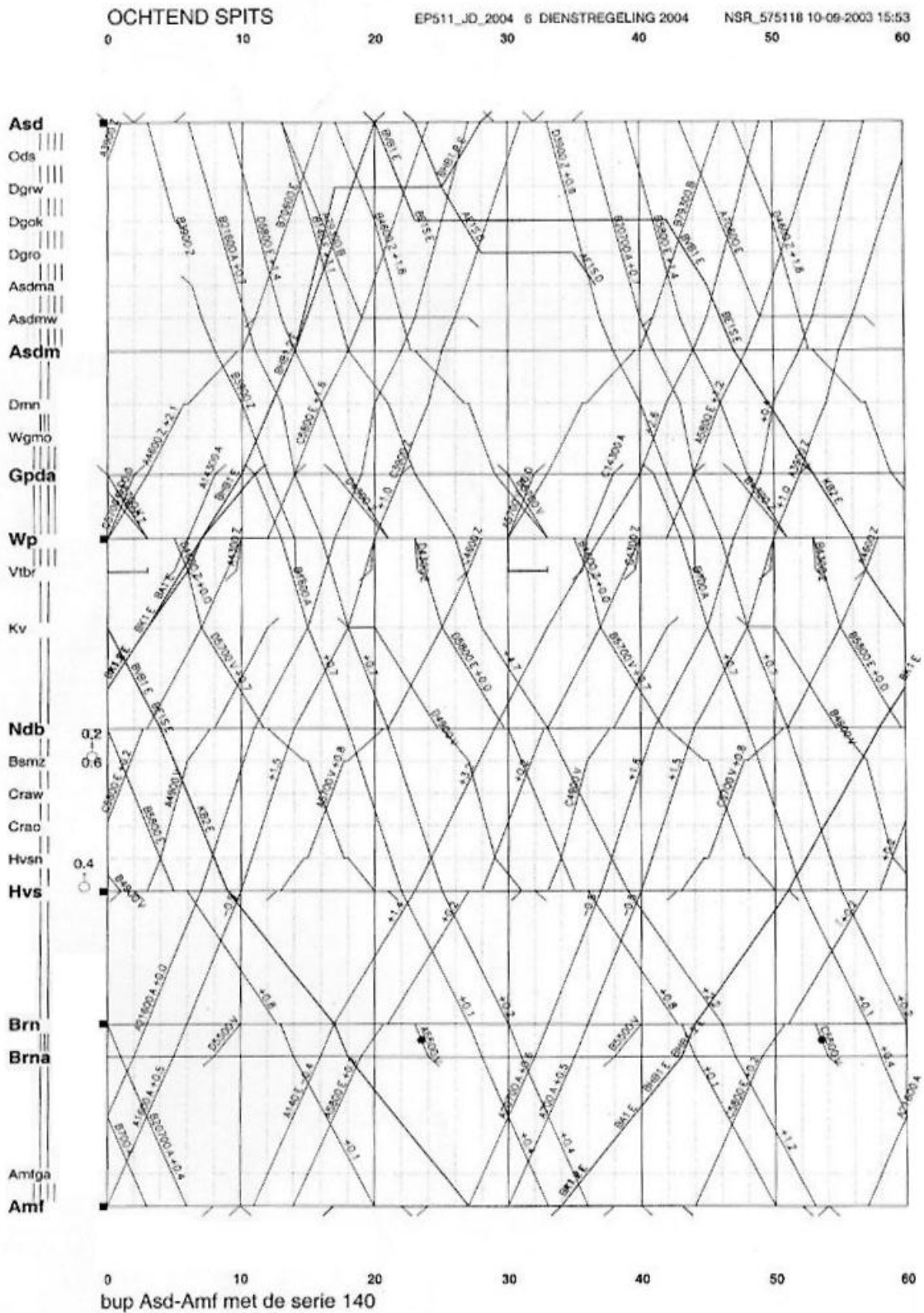
1. Het wissel ligt in de afbuigende richting en is zojuist gepasseerd door de stoptrein (rechts). Doordat de stoptrein zich nu in het blok tussen de seinen 1 en 3 bevindt, toont sein 3 rood om dit blok als bezet aan te geven. De intercity (links) bevindt zich nu voor sein 4 welke geel toont. In de verte is nog net sein 3 zichtbaar. Sein 1 en 2 tonen groen omdat de twee eerstvolgende blokken na deze seinen onbezet zijn.
2. Het wissel is nu omgelegd en ligt in de doorgaande richting. Spoor 2 is nu vrij voor de intercity en sein 3 toont nu groen. De intercity is ondertussen sein 4 gepasseerd en kan nu ongehinderd doorrijden. Sein 4 toont nu rood. De stoptrein is tot stilstand gekomen op spoor 1.
3. De intercity (spoor 2) is nu één blok opgeschoven en de stoptrein (spoor 1) gaat vertrekken. Sein 3 is van groen in rood veranderd en sein 4 van rood in geel. Sein 4 geeft nu aan dat het blok achter dit sein vrij is, maar het blok daar achter (in de richting van het wissel) bezet is.

III-5 Bevindingen treindienstleider en machinist

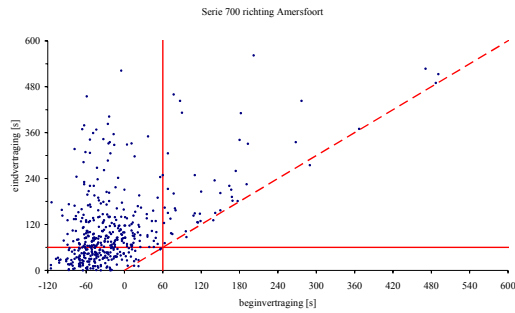
Volgens de treindienstleider wordt ongeveer 80% van het oponthoud en de daardoor veroorzaakte vertragingen, veroorzaakt door mens en dier. Bij de mens gaat het vooral om vandalisme. Vaak wordt het spoor geblokkeerd met voorwerpen zoals fietsen en huisvuilcontainers. Ook het maken van kortsluiting door middel van muntjes of andere metalen voorwerpen kan voor onnodig oponthoud zorgen. Spelende kinderen in de woonwijk tussen de stations Naarden-Bussum en Bussum Zuid geven af en toe ook problemen net als loslopende huisdieren. Ook bij het natuurgebied tussen Weesp en Naarden worden regelmatig dieren op het spoor aangetroffen. Verder zijn er nog de standaard storingen van wissels, seinen, overwegen en overige spoorelementen. Maar ook de treindienstleider zelf kan oorzaak zijn van vertragingen, door onoplettendheid of een verkeerde beslissing.

In tegenstelling tot de treindienstleider denkt de machinist dat 80% van het oponthoud wordt veroorzaakt door de intensiteit waarmee de lijn bereden wordt. Naar zijn idee rijden er teveel treinen per uur en worden deze te krap ingelegd. Daardoor leidt een (primaire) vertraging vrijwel altijd tot volgvertragingen mede doordat er ook weinig ruimte is om vertragingen in te lopen. Voorbeeld hiervan is de stoptrein 4900 vanuit Utrecht in de richting van Almere, deze houdt de intercity's op. In omgekeerde richting geldt hetzelfde voor stoptrein 5700 vanuit Schiphol richting Utrecht. De invoering van ARI (Automatische Rijweg Instelling) heeft de situatie eerder verslechterd dan verbeterd. Ook op de treindienstleiding posten worden vaker verkeerde beslissingen genomen door onervarenheid. Beide punten zorgen voor meer oponthoud.

Bijlage IV Basisuurpatroon Amsterdam Centraal - Amersfoort

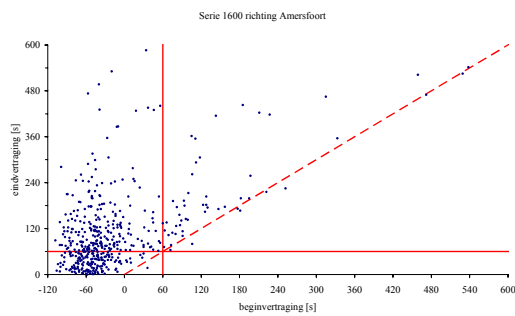


Bijlage V Vertragsverdelingen



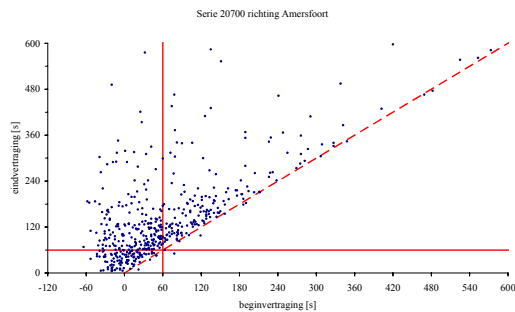
Serie 700 richting Amersfoort

	Begin	Eind
Gem. vertraging [s]	0	123
Standaardafwijking [s]	141	175
Vertraging < 60s [%]	88	39



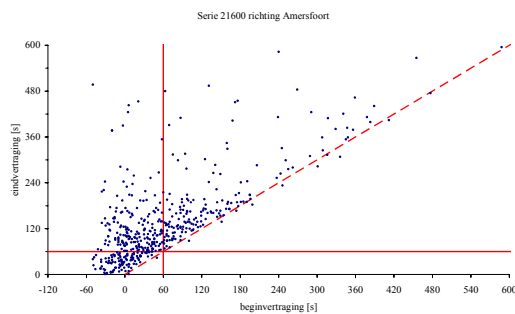
Serie 1600 richting Amersfoort

	Begin	Eind
Gem. vertraging [s]	0	112
Standaardafwijking [s]	116	149
Vertraging < 60s [%]	89	40



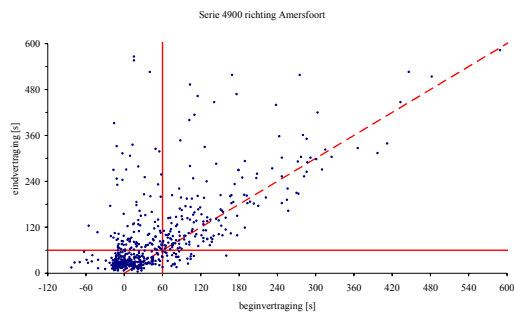
Serie 20700 richting Amersfoort

	Begin	Eind
Gem. vertraging [s]	70	150
Standaardafwijking [s]	132	157
Vertraging < 60s [%]	64	25



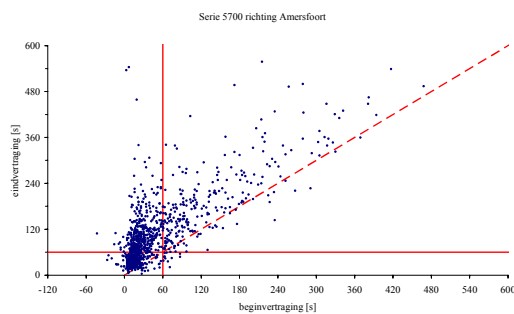
Serie 21600 richting Amersfoort

	Begin	Eind
Gem. vertraging [s]	78	158
Standaardafwijking [s]	169	190
Vertraging < 60s [%]	63	24



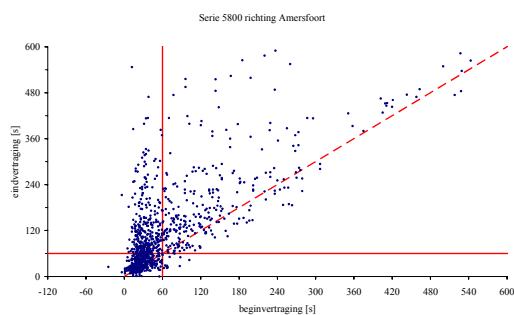
Serie 4900 richting Amersfoort

	Begin	Eind
Gem. vertraging [s]	52	94
Standaardafwijking [s]	88	114
Vertraging < 60s [%]	68	55



Serie 5700 richting Amersfoort

	Begin	Eind
Gem. vertraging [s]	59	122
Standaardafwijking [s]	87	122
Vertraging < 60s [%]	73	32



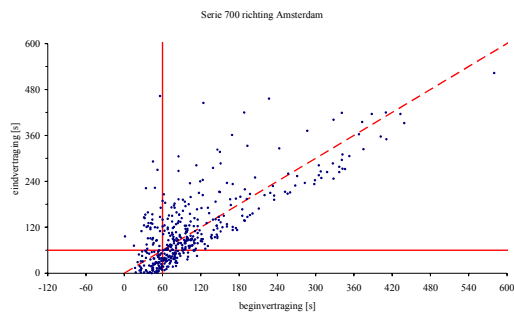
Serie 5800 richting Amersfoort

	Begin	Eind
Gem. vertraging [s]	75	129
Standaardafwijking [s]	104	135
Vertraging < 60s [%]	68	38

De volgorde waarin de treinen richting Amersfoort het kerntraject passeren is als volgt:

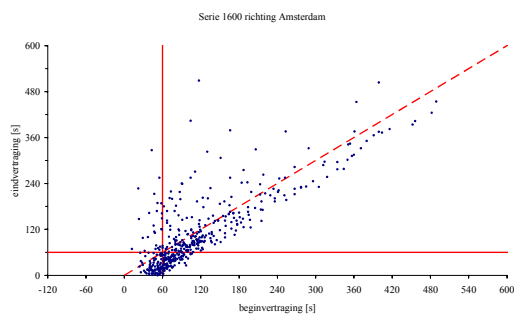
1	5700	[07]	6	5700	[37]
2	1600	[15]	7	700	[45]
3	21600	[18]	8	20700	[48]
4	4900	[20]	9	4900	[50]
5	5800	[25]	10	5800	[55]

Tussen haakjes staat het tijdstip van passage in minuten ter plaatse van Keverdijk aansluiting.



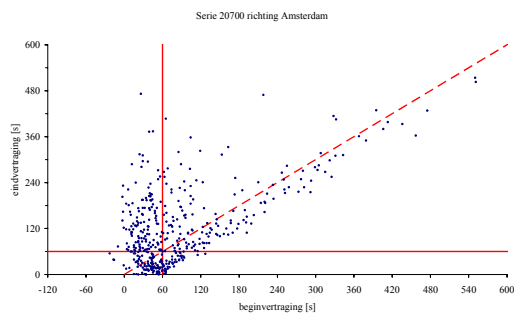
Serie 700 richting Amsterdam

	Begin	Eind
Gem. vertraging [s]	111	119
Standaardafwijking [s]	107	138
Vertraging < 60s [%]	32	37



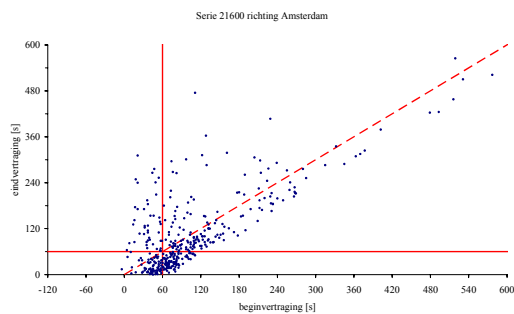
Serie 1600 richting Amsterdam

	Begin	Eind
Gem. vertraging [s]	114	106
Standaardafwijking [s]	111	138
Vertraging < 60s [%]	31	45



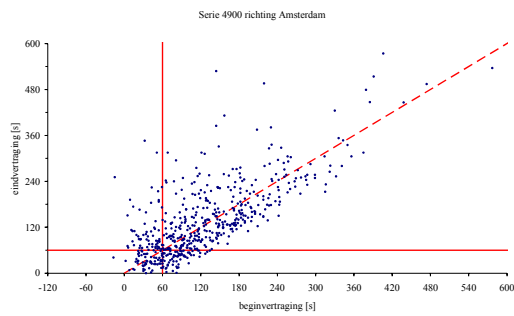
Serie 20700 richting Amsterdam

	Begin	Eind
Gem. vertraging [s]	84	113
Standaardafwijking [s]	103	124
Vertraging < 60s [%]	59	39



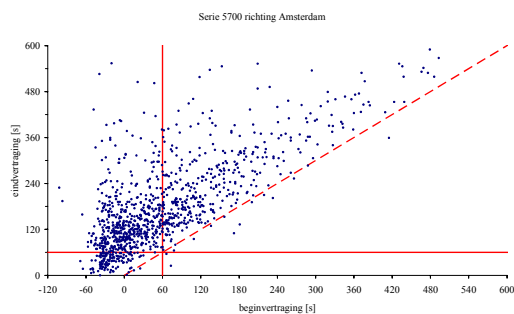
Serie 21600 richting Amsterdam

	Begin	Eind
Gem. vertraging [s]	85	72
Standaardafwijking [s]	90	114
Vertraging < 60s [%]	49	59



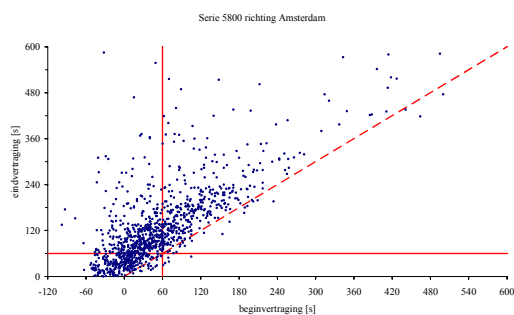
Serie 4900 richting Amsterdam

	Begin	Eind
Gem. vertraging [s]	141	157
Standaardafwijking [s]	124	148
Vertraging < 60s [%]	23	23



Serie 5700 richting Amsterdam

	Begin	Eind
Gem. vertraging [s]	66	187
Standaardafwijking [s]	115	135
Vertraging < 60s [%]	61	12



Serie 5800 richting Amsterdam

	Begin	Eind
Gem. vertraging [s]	56	132
Standaardafwijking [s]	92	116
Vertraging < 60s [%]	49	31

De volgorde waarin de treinen richting Amsterdam het kerntraject passeren is als volgt:

1	5800	[58]	6	5800	[28]
2	4900	[03]	7	4900	[33]
3	21600	[07]	8	20700	[37]
4	1600	[10]	9	700	[40]
5	5700	[13]	10	5700	[43]

Tussen haakjes staat het tijdstip van passage in minuten ter plaatse van station Hilversum.

Bijlage VI Materieeloverzicht

Type ICM “Koploper” (Intercity serie 700 / 1600 / 20700 / 21600)



Type DD-AR “Dubbeldekker” (Sneltrain serie 5800)



Type Plan V “Materieel ‘64” (Stoptrein serie 4900 / 5700)



Type ICR “Intercity rijtuig” (Internationale trein serie 140, normaal in DB kleurstelling)



Type 1800 “E-loc 1800” (Locomotief goederentrein en internationale trein serie 140)



Bijlage VII Materieelkarakteristieken

Om het Nederlandse materieel te kunnen gebruiken in ANKE, moeten twee databestanden binnen het programma aangepast worden. Dit zijn bestanden betreffende de samenstelling van het materieel (#####0000.XTD) en de dynamische rijeigenschappen van het materieel (#####0000.XTF). De basisgegevens om de benodigde waarden te berekenen zijn ontleend aan PRORIN_RIVM.

In Tabel VII-1 is de samenstelling van het materieel weergegeven. Dit zijn de gegevens die zichtbaar zijn tijdens de invoer in ANKE en kunnen eventueel nog worden aangepast. Het remniveau geeft een indicatie van het remvermogen van de treinen. Deze waarden zijn niet beschikbaar voor Nederlandse treinen en geschat op basis van vergelijkbaar materieel in Duitsland.

Materieel	Lengte [m]	Massa [t]	Vmax [km/h]	Remniveau [-]
2 x PlanV	104	176	140	170
3 x PlanV	156	264	140	170
2 x ICM3	162	288	160	180
loc 1800 + 6 DDM	176	359	140	190
loc 1800 + 6 ICR	176	329	160	190
loc 1800 + 20 wagons	418	1083	100	130

Tabel VII-1 Samenstelling van het materieel

Naast de gegevens over de lengte en de massa moeten nog een aantal andere parameters worden toegevoegd ten behoeve van de dynamische eigenschappen. Dit zijn:

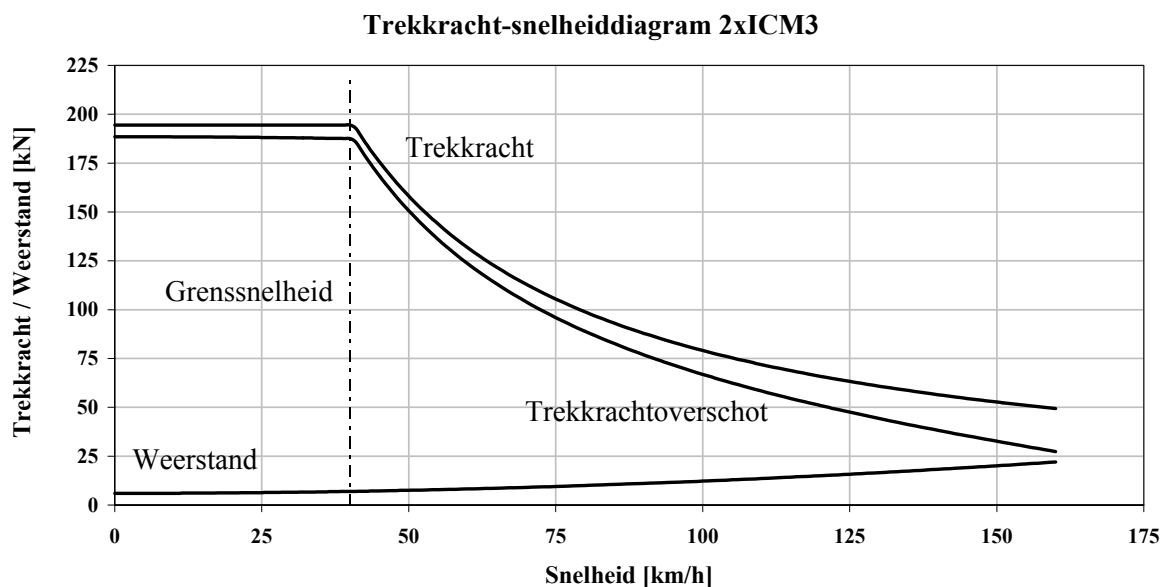
- Toeslag voor roterende massa $Rho T$
- Weerstandsparementers P_1, P_2, P_3 en vW in de formule:

$$W = m \cdot g \cdot P_1 + P_2 \cdot v + P_3 \cdot (v + vW)^2$$
 met: W [N] = weerstand, m [t] = massa voertuig, v [km/h] = snelheid voertuig, vW [km/h] = windsnelheid in de rijrichting
- Paraboolcoëfficiënten a, b en c in de formule:

$$Z = (a \cdot v^2 + b \cdot v + c) \cdot g$$
 met: Z [N] = trekkracht en v [km/h] = snelheid voertuig
- Hyperboolcoëfficiënt hl in de formule:

$$Z = hl \cdot 3.600.000 / v$$
 met: Z [N] = trekkracht, v [km/h] = snelheid voertuig, hl [MW] = hyperboolcoëfficiënt (vermogen trein)
- De grenssnelheid v_{gr} waarbeneden de adhesiekracht maatgevend is (parabool) boven de trekkracht. Boven deze snelheid is het vermogen maatgevend (hyperbool).

De toeslag voor de roterende massa voor de gehele trein wordt berekend aan de hand van de massa en toeslag per wagon, locomotief en treinstel. Parameter P_1 wordt berekend aan de hand van de loopweerstand (20N/ton). P_2 is de parameter voor viskeuze frictie. Hier zijn geen gegevens over beschikbaar en derhalve wordt P_2 op 0 gesteld. De luchtweerstandscoefficiënt P_3 wordt bepaald door de specifieke luchtweerstandsfactoren van de trein en het frontaal oppervlak. De windsnelheid v_W wordt in de berekening niet meegenomen omdat er geen gegevens beschikbaar zijn over de maatgevende windkracht en windrichting.



Figuur VII-1 *Trekkraft-snelheidsdiagram 2xICM3*

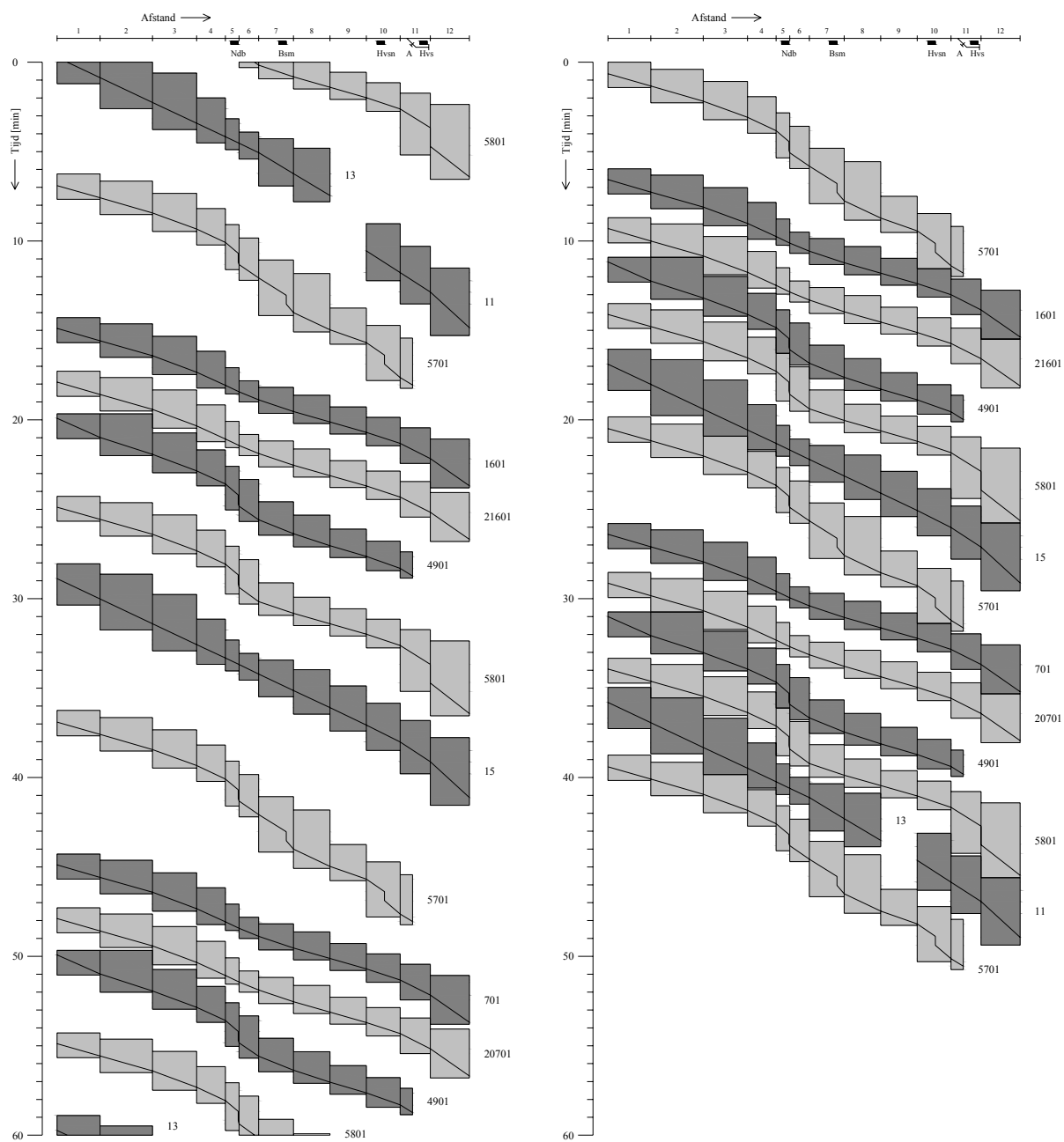
De paraboelcoëfficiënten a en b worden wegens gebrek aan gegevens op 0 gesteld. Parameter c is dan gelijk aan de adhesiekracht gedeeld door de valversnelling g (9,81 m/s²). De hyperboelcoëfficiënt h_1 is gelijk aan het effectief vermogen van de trein / locomotief [MW]. Deze wordt berekend door het geïnstalleerd vermogen te vermenigvuldigen met het rendement van de aandrijving. De grenssnelheid tot slot wordt berekend door het effectief vermogen te delen door de adhesiekracht omdat de trekkraft hier gelijk is aan de adhesiekracht. In Figuur VII-1 is een voorbeeld van een trekkraft-snelheidsdiagram opgenomen. In Tabel VII-2 zijn de waarden van de parameters weergegeven zoals die zijn opgenomen in het databestand binnen ANKE.

Materieel	ρt [-]	P1 [-]	P3 [kg/m]	Vgr [km/h]	c [kg]	hl [MW]
2 x PlanV	0,10	2,03874	0,006	18,8	18310,0	0,9384
3 x PlanV	0,10	2,03874	0,007	18,8	27465,0	1,4076
2 x ICM3	0,10	2,03874	0,008	40,7	19823,3	2,1965
loc 1800 + 6 DDM	0,06	2,03874	0,011	88,3	16600,0	3,9952
loc 1800 + 6 ICR	0,06	2,03874	0,011	88,3	16600,0	3,9952
loc 1800 + 20 wagons	0,05	2,03874	0,018	88,3	16600,0	3,9952

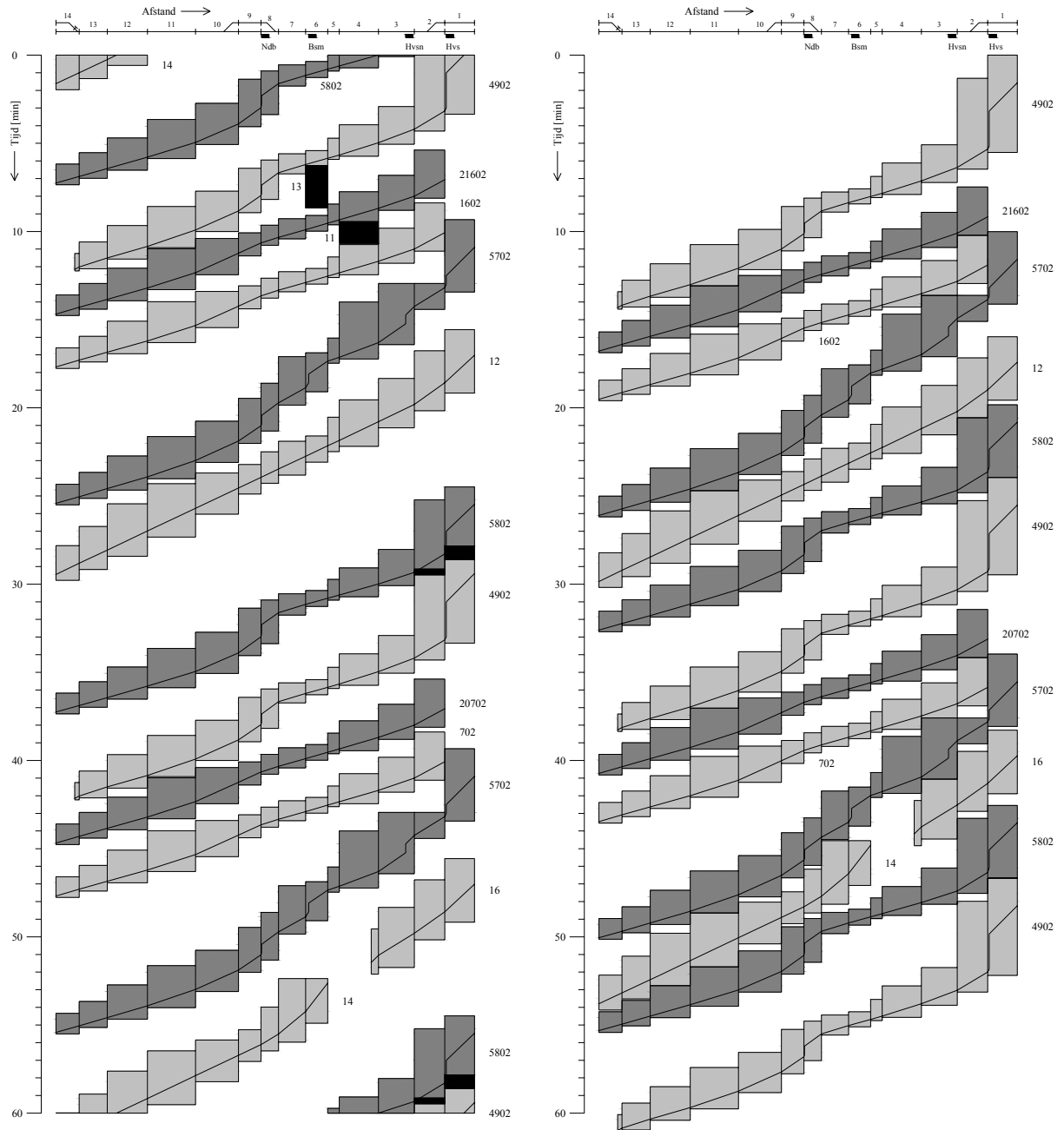
Tabel VII-2 Dynamische rijeigenschappen van het materieel

Bijlage VIII

Bloktrapdiagrammen op het kerntraject

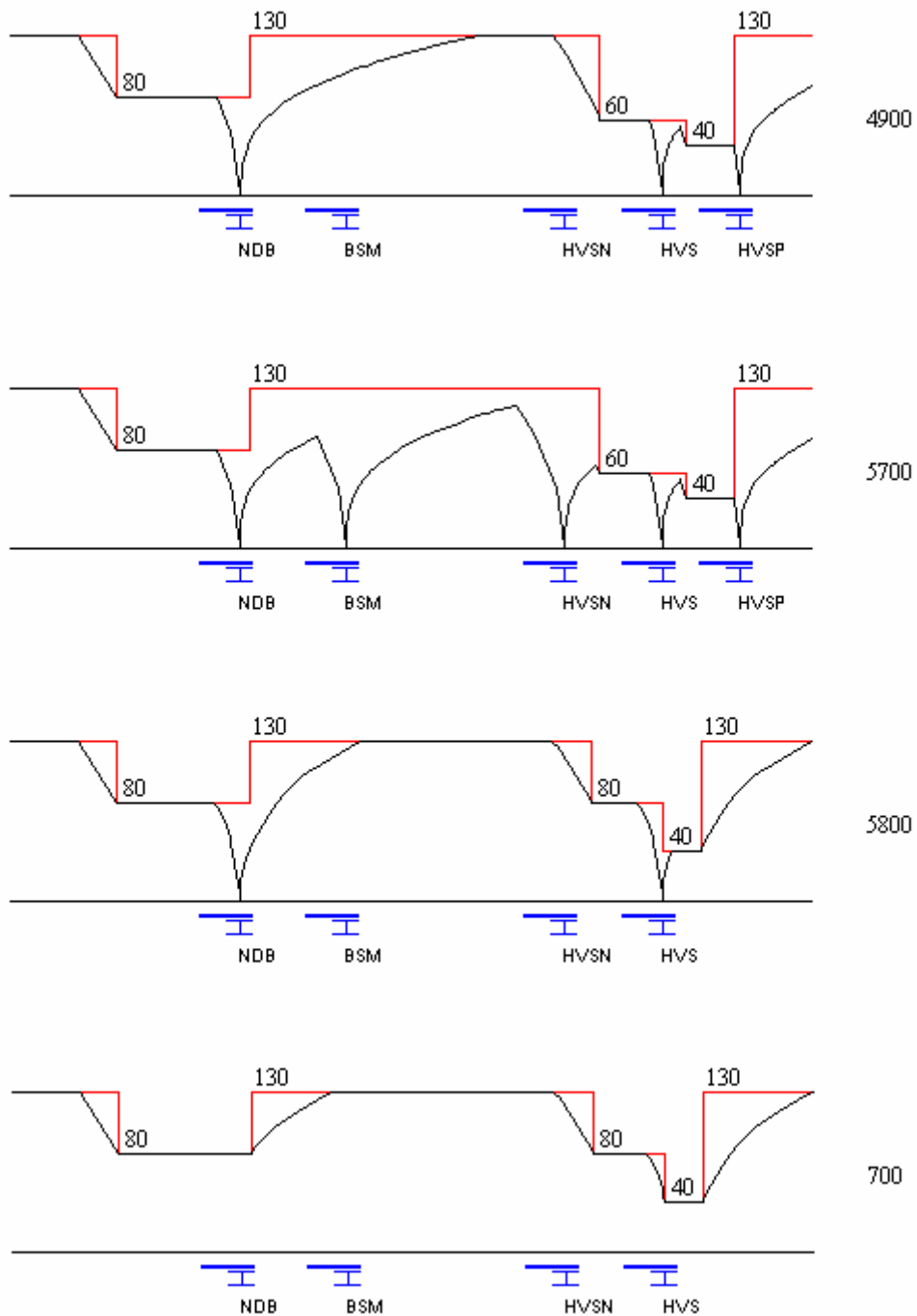


Figuur VIII-1 Bloktrapdiagram van de treindienst richting Amersfoort volgens de dienstregeling (links) en in elkaar geschoven zonder buffertijden (rechts); baanvakbelasting = 64,6%

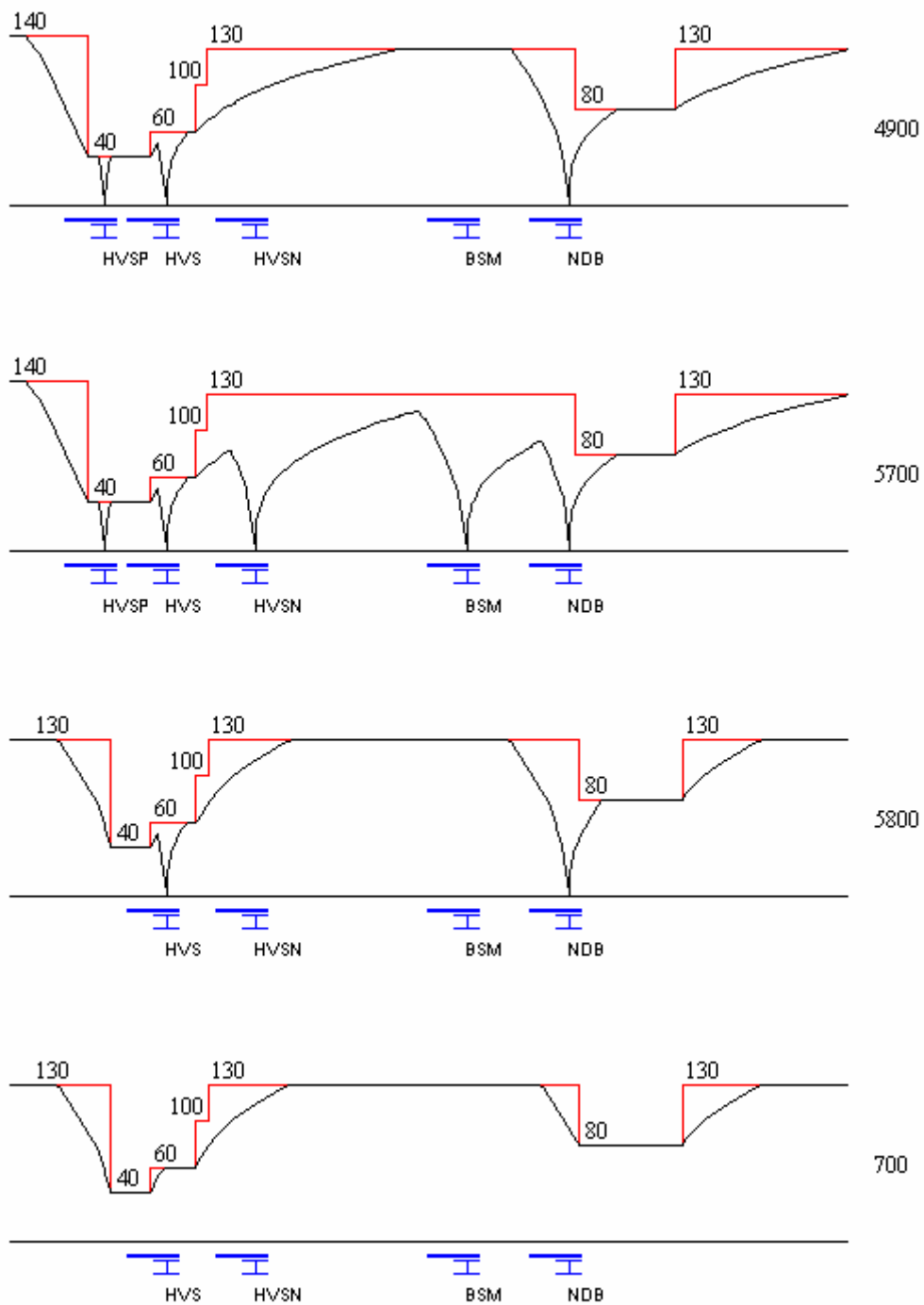


Figuur VIII-2 Bloktrapdiagram van de treindienst richting Amsterdam volgens de dienstregeling (links) en in elkaar geschoven zonder buffertijden (rechts); baanvakbelasting = 77,3%

Bijlage IX Afstand-snelheiddiagrammen



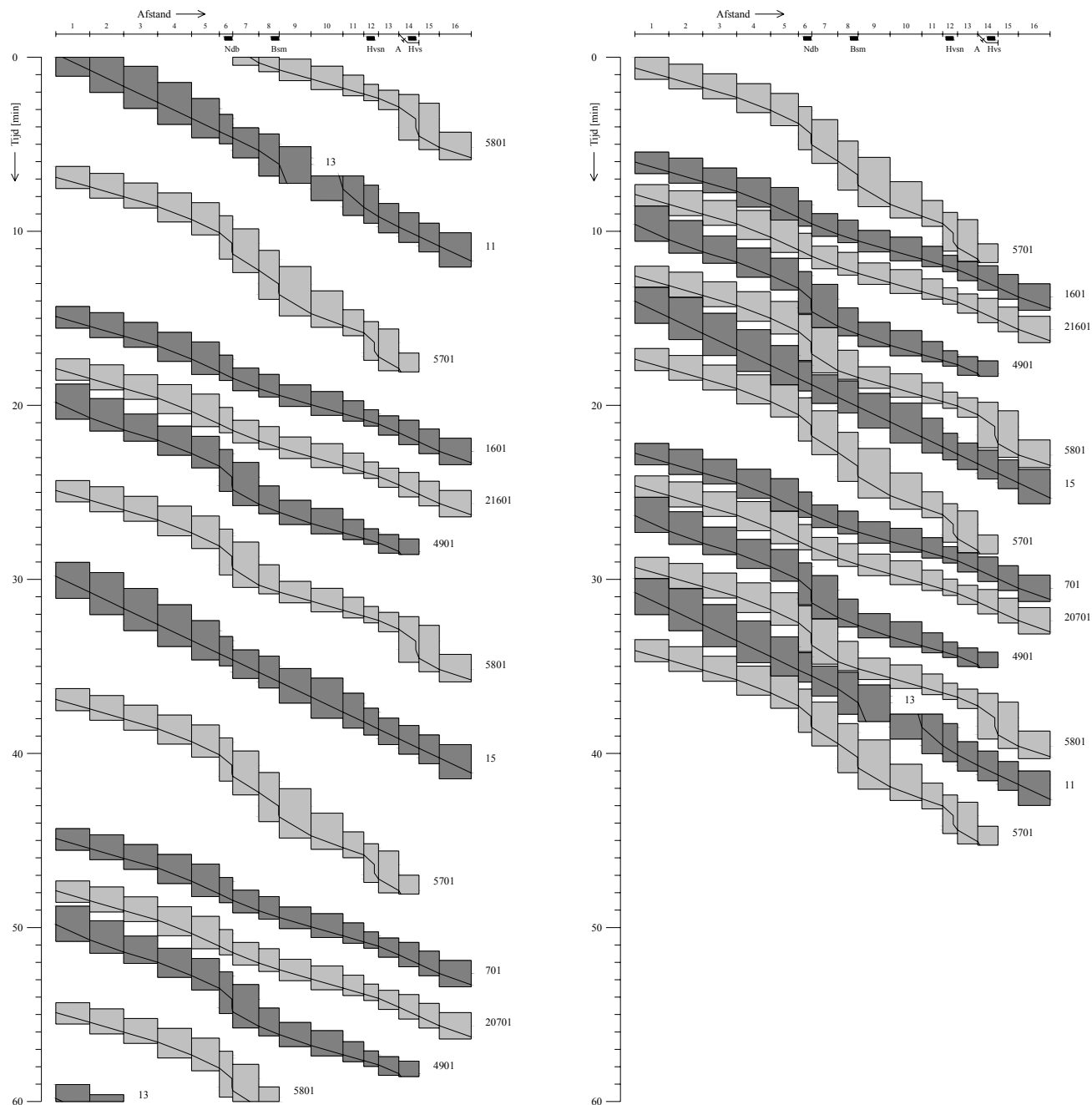
Figuur IX-1 Afstand-snelheiddiagrammen van de series 4900, 5700, 5800 en 700 op het kerntraject in de richting Amersfoort



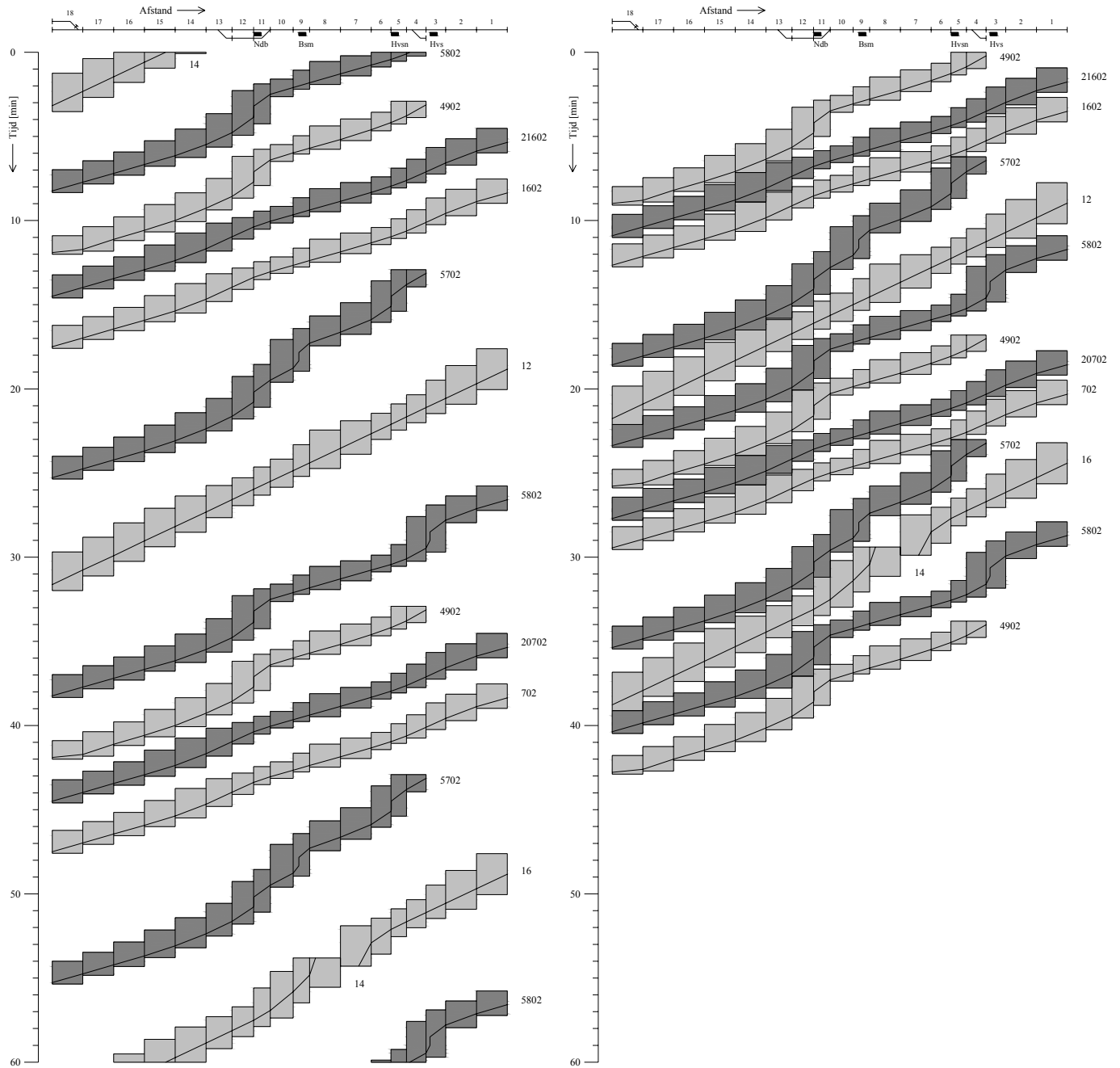
Figuur IX-2 Afstand-snelheiddiagrammen van de series 4900, 5700, 5800 en 700 op het kerntraject in de richting Amsterdam

Bijlage X

Bloktrapdiagrammen in de nieuwe situatie



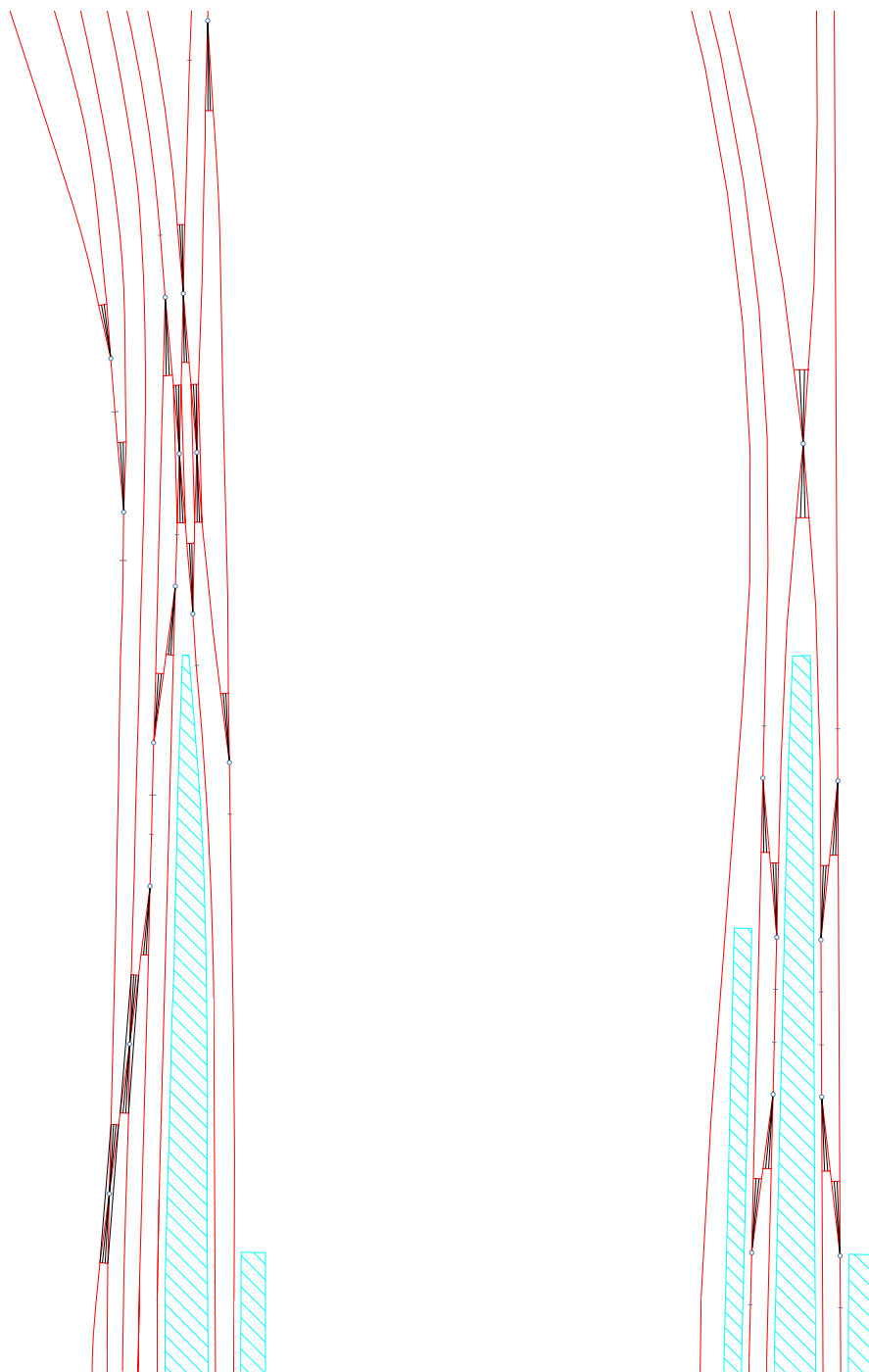
Figuur X-1 Bloktrapdiagram van de treindienst op het kerntraject richting Amersfoort volgens de dienstregeling (links) en in elkaar geschoven zonder buffertijden (rechts); baanvakbelasting = 55,8%



Figuur X-2 Bloktrapdiagram van de treindienst op het kerntraject richting Amsterdam volgens de dienstregeling (links) en in elkaar geschoven zonder buffertijden (rechts); baanvakbelasting = 56,3%

Bijlage XI

Tekeningen huidige en nieuwe situatie



Figuur XI-1 Huidige situatie (links) en nieuwe situatie (rechts) op emplacement Hilversum

