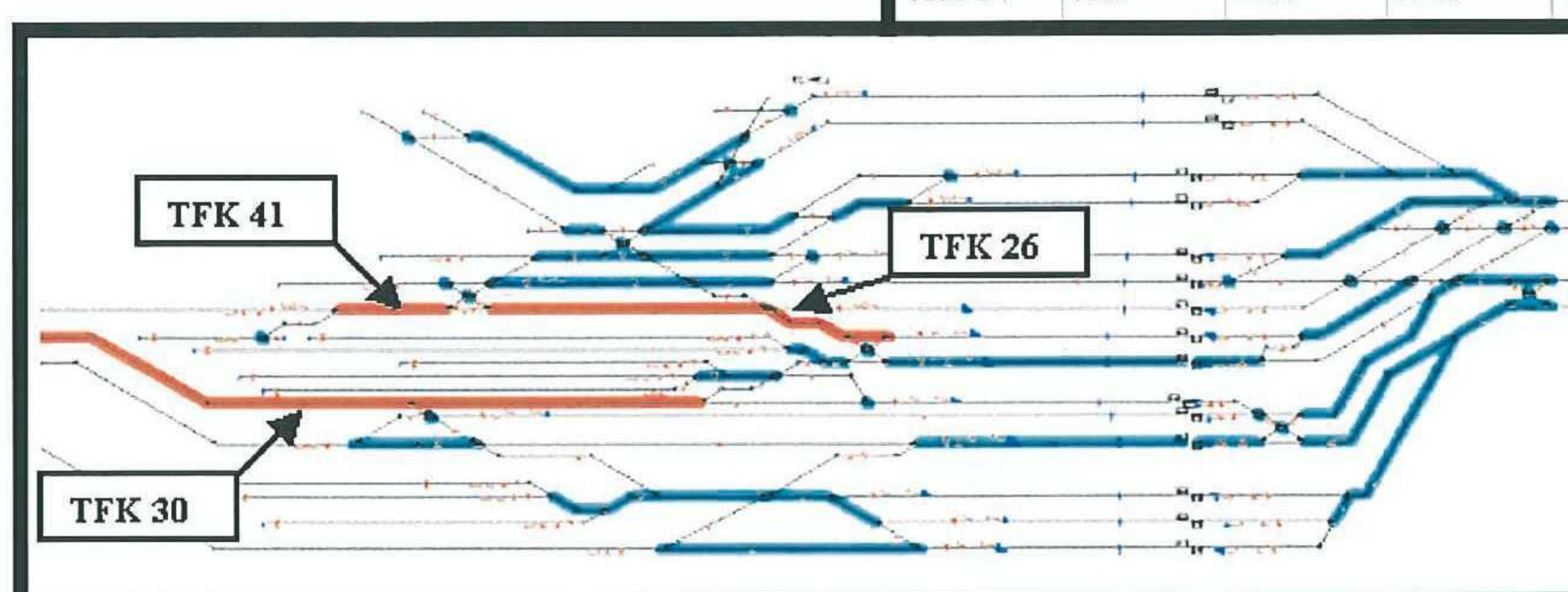


4 december 2003

Analyse van de capaciteitsbenutting op spoorwegemplacement Rotterdam Centraal

Vergelijking van de uitkomsten van een
analytisch model met de werkelijke
exploitatie

Datum	TreinNr	Dig	Dig	646BT	LB/LBS.0	LA/LAS.0	
		Aankomst	Vertrek	BEZET			
1999-9-1	1914	06:48	06:50	06:45:31	06:45:23	06:45:42	
1999-9-1	1918	07:48	07:50	07:44:55	07:44:47	07:45:07	
1999-9-1	1922	08:48	08:50	08:46:40	08:46:31	08:46:51	
1999-9-1	1926	09:48	09:50	09:45:04	09:44:51	09:45:23	
1999-9-1	1930	10:48	10:50	10:44:02	10:43:54	10:44:14	
1999-9-1	1934	11:48	11:50	11:46:33	11:46:26	11:46:43	
					12:44:58	12:45:18	
					13:55:23	13:55:20	13:55:34
					14:44:19	14:44:10	14:44:30
					15:44:07	15:43:55	15:44:24
					16:44:54	16:44:46	16:45:04



***Analyse van de
capaciteitsbenutting op
spoorwegemplacement
Rotterdam Centraal***

*Vergelijking van de uitkomsten van
een analytisch model met de
werkelijke exploitatie*

VOORWOORD

Voor u ligt de eindrapportage van mijn afstudeerwerk ter afronding van mijn studie Civiele Techniek aan de TU Delft. Vanaf half april 2003 heb ik met veel plezier en interesse aan dit onderzoek gewerkt. Het afstudeerwerk is tot stand gekomen door een samenwerking van 3 partijen;

- Sectie Transport en Planning van de faculteit Civiele Techniek aan de Technische Universiteit Delft.
- Advies- en Ingenieursbureau DHV Milieu en Infrastructuur B.V. in Amersfoort.
- Verkehrswissenschaftliches Institut der Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule Aachen.

Door de samenwerking heb ik de kennis en kunde van de verschillende partijen kunnen combineren, wat uiteindelijk heeft geresulteerd in een onderzoek wat anders niet mogelijk was geweest. Ik heb voor mijn afstudeerwerk het grootste deel van de tijd afwisselend in Amersfoort en Delft doorgebracht. Enkele dagen tijdens mijn onderzoek heb ik in Aachen gewerkt. Ik ben dan ook alle partijen zeer dankbaar voor hun medewerking. Speciale dank gaat er allereerst uit naar de voorzitter en leden van mijn afstudeercommissie. Zij zijn allen zeer behulpzaam geweest bij het beantwoorden van vragen en het geven van kritisch commentaar:

Afstudeercommissie

Prof. Dr. –Ing. I.A. Hansen (voorzitter)

Dr. –Ing. U. Hermann

Ir. J. Tromp

Drs. R.M.P. Goverde

Ir. G. van der Werf

Speciale dank gaat er verder uit naar de medewerkers van het Verkehrswissenschaftliches Institut van de RWTH Aachen. Allereerst gaat er dank uit naar Prof. Dr. –Ing. E. Wendler voor zijn samenwerking en het beschikbaar stellen van de noodzakelijke programmatuur voor het onderzoek. Verder wil ik Dipl. –Ing. N. Nießen speciaal bedanken voor zijn kunde en tijd in de dagen dat ik in Aachen gewerkt heb.

Verder ben ik door verschillende andere medewerkers van DHV in Amersfoort en de sectie Transport en Planning geholpen bij het beantwoorden van vragen en geven van kritisch commentaar. Ook medewerkers van Prorail hebben geholpen bij mijn afstudeerwerk, waarbij vooral de rondleiding bij de Railverkeersleiding in Rotterdam zeer nuttig voor mijn onderzoek was. Al deze personen wil ik hiervoor hartelijk bedanken.

Rest mij nog u veel plezier te wensen met het lezen van dit rapport. Ik hoop dat dit onderzoek zijn steentje heeft bijgedragen aan de kennis op het gebied van capaciteit van het spoor.

Bart de Keizer,
Delft, december 2003

SAMENVATTING

Dit onderzoek is uitgevoerd om meer inzicht te verkrijgen in de capaciteitsbenutting van het spoor. Om dit doel te bereiken worden de uitkomsten van een Duits model voor het beoordelen van de capaciteit vergeleken met de werkelijke exploitatie. Op deze wijze kan ook de bruikbaarheid van het Duitse model in de Nederlandse situatie getoetst worden. Als onderzoeksgebied is gekozen voor het emplacement van Rotterdam Centraal.

Binnen het emplacement worden de treinen op de doorgaande lijn Dordrecht-Rotterdam-Den Haag v.v. geanalyseerd. Voor het bepalen van de rijwegen over het emplacement zijn de data van de werkelijke exploitatie gegenereerd met behulp van het programma TNV-Prepare van de TU Delft. Uit de data blijkt dat per treinserie 80 a 90 % van de treinen van dezelfde rijweg gebruik maakt. De overige treinen gebruiken een andere rijweg of hebben niet gereden.

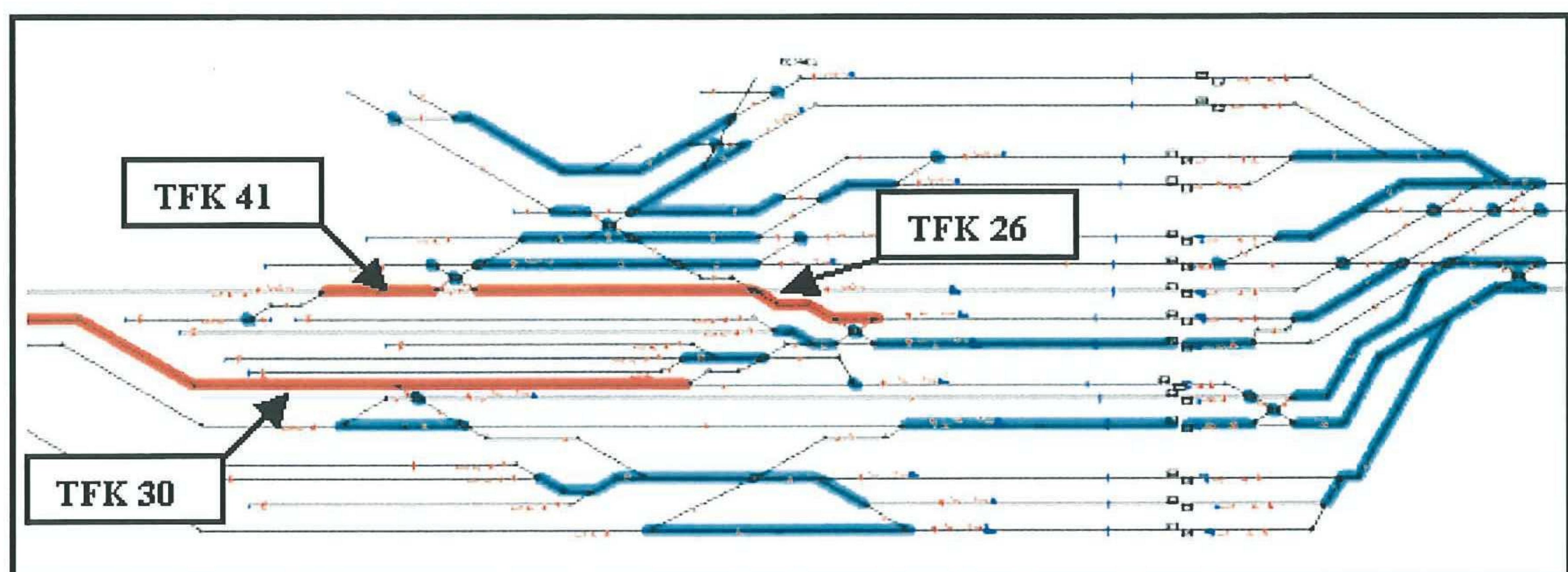
Het voor het onderzoek gebruikte model is gebaseerd op de wachtrijtheorie. Het model is ontwikkeld aan de RWTH Aachen en is bekend als het empirisch kansmodel van Schwanhäußer. Met het model kan voor een knooppunt op een spoorwegemplacement (Teilfahrstraßenknoten, TFK) bij een gegeven treinenloop de “gemiddelde lengte van de wachtrij” bepaald worden. Verder wordt de aanvaardbare lengte van de wachtrij bepaald, die is toegespitst op de situatie op het Duitse spoorwegennet. De verhouding van de ontstane wachtrij en de aanvaardbare wachtrij (kwaliteitsnorm, qB) geeft een indicatie van de kwaliteit van de exploitatie voor het betreffende knooppunt. Voor het nog op een behoorlijke wijze uitvoeren van de treindienst wordt een norm van 1,5 keer de aanvaardbare lengte van de wachtrij gehanteerd.

Voor het genereren van de data om de gerealiseerde vertragingen te kunnen bepalen is wederom gebruik gemaakt van TNV-prepare van de TU Delft. Met name de aankomstvertragingen zijn belangrijk, aangezien deze als input voor het model zullen indienen. Bij het analyseren van de aankomsten op Rotterdam Centraal vanuit Dordrecht blijkt het aantal vertraagde treinen te variëren van 18% tot 64%, afhankelijk van de treinserie. De gemiddelde vertraging bedraagt 1,5 tot 4,5 minuten. Het grootste deel van de treinen heeft een vertraging van minder dan 1 minuut. Deze waarden zijn als input gebruikt voor het model. De gemeten halteertijden van de treinen blijken altijd langer dan de geplande tijden. Het verschil varieert tussen de 20 en 81 s per treinserie. Bij het vertrek van de treinen is het grootste deel binnen een minuut na de geplande vertrektijd vertrokken.

Aan de RWTH Aachen is het computerpakket ANKE ontwikkeld, waarin spoorweginfrastructuur en de verschillende treindiensten op een traject gemodelleerd kunnen worden. Vervolgens kan met behulp van ANKE de capaciteitsbenutting, gebaseerd op het model van Schwanhäußer, bepaald worden. Rotterdam Centraal en de spoorlijn Dordrecht-Den Haag zijn in ANKE gemodelleerd, inclusief de treinseries die van deze lijn gebruik maken. De karakteristieken van Nederlandse treinen zijn ingevoerd voor een getrouwere afspiegeling van de werkelijkheid.

Bij de analyse van de uitkomsten van het model komen een aantal punten op het emplacement duidelijk naar voren als grootste knelpunten: Het betreft de samenvoeging achter de

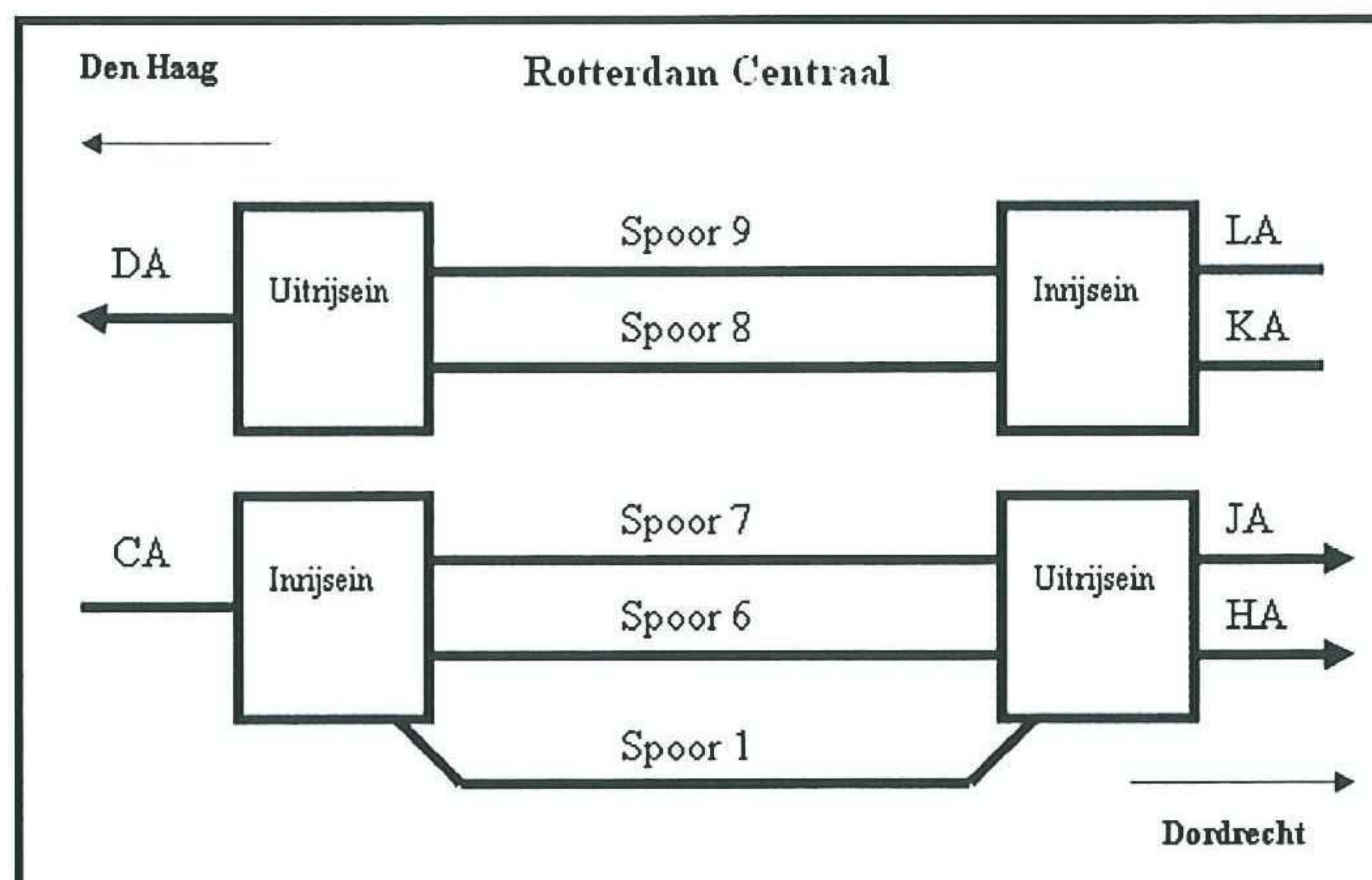
perronsporen tot 1 spoor voor treinen in de richting van Den Haag en vice versa het enkele spoor voor de treinen komende uit Den Haag tot aan de perronsporen op Rotterdam Centraal. Bij de gevoeligheidsanalyse blijkt de invloed van een aantal invoerparameters op de modeluitkomsten groot. Vooral de mate van beginvertraging van de treinen is van belang. Deze is met behulp van de gerealiseerde data nauwkeurig bepaald. Bij de gevoeligheidsanalyse blijft de volgorde van meest belaste TFK's gehandhaafd. Deze is niet afhankelijk van de geanalyseerde invoerparameters. De kwaliteitsbeoordeling van de drie meest belaste TFK's is "Overbelast" (meer dan 1,5 keer de aanvaarbare "lengte van de wachtrij"). TFK 41, de samenkomst van de perronsporen richting Den Haag, heeft de slechtste kwaliteitsbeoordeling. De gerealiseerde treinbewegingen rondom TFK 41 zijn nader geanalyseerd.



afbeelding: Overzicht van emplacement Rotterdam Centraal, waarbij de meest belaste TFK's zijn aangegeven

De wachttijden die met behulp van het model worden berekend en de vertragingen uit de data-analyse zijn niet 1 op 1 te vergelijken. Een aantal met het model voorspelde verschijnselen worden getoetst door te bepalen of deze verschijnselen zich ook in de werkelijkheid voordoen. De volgende mogelijke oorzaken voor het conflict in TFK 41 zijn bestudeerd met daarbij het resultaat van de vergelijking:

- **Conflict bij samenkomst perronsporen 8 en 9.** Stoptreinen blijken vaker op het perronspoor voor een rood sein te moeten wachten dan intercity's. Ook in het model is de wachttijd voor de TFK voor stoptreinen het grootst.
- **Rijtijden, bloktijden en opvolgtijden.** Uit de bloktijden blijkt dat het tweede blok na het uitrijsein in werkelijkheid een langere bloktijd heeft, dan in het model. De opvolgtijd blijkt bij de uitrijseinen veel korter dan in het model. In het model rijdt een trein pas voorbij het sein, wanneer dit groen is, terwijl in de werkelijkheid treinen vaak al bij geel vertrekken om zo het perronspoor vrij te maken. Doordat een trein bij geel maar op beperkte snelheid kan uitrijden zijn de opvolgtijden bij het volgende sein weer redelijk in overeenstemming met de modeluitkomsten.
- **Snelheden.** Met het model is voorspeld dat de baanvaksnelheid tussen Rotterdam en Schiedam niet of nauwelijks gehaald wordt. Uit de geanalyseerde data kan hetzelfde worden opgemaakt. De maximumsnelheid bedraagt 130 km/h, maar er wordt zelden harder dan 110 km/h gereden. De uitrijnsnelheden blijken ook in werkelijkheid voor spoor 9 hoger te liggen dan voor spoor 8. De gemiddelde snelheid over het eerste blok is voor treinen via spoor 8 40 km/h en voor treinen via spoor 9 60 km/h.



afbeelding: Perronsporen op Rotterdam Centraal

Na het vergelijken van de data zijn op basis van de geconstateerde problemen een aantal verbeteringsmogelijkheden aangedragen, die de wachttijd bij TFK 41 kunnen bekorten. De volgende mogelijkheden zijn met behulp van het model beoordeeld op de kwaliteit van de dienstuitvoering:

- Inhaalmogelijkheid Schiedam Centrum
- Verhogen van de uitrijnsnelheid van perronspoor 8
- Optimaliseren van de blok lengten
- Optimaliseren van de blok lengten en verhogen van de uitrijnsnelheid

Een inhaalspoor bij Schiedam Centrum levert de grootste verbetering van de kwaliteit. Voor stoptreinreizigers zal de reistijd echter toenemen, doordat de stoptreinen regelmatig op het wachtspoor halteren om een intercity te laten passeren. De kwaliteitsverbetering bij het verhogen van de uitrijnsnelheid en het optimaliseren van de blok lengten is ongeveer gelijk. Door de combinatie van deze aanpassingen verdubbelt ook de verbetering van de kwaliteit. Voor een goede afweging bij een keuze voor één van de alternatieven dienen ook de kosten in aanmerking worden genomen.

Geconcludeerd kan worden, dat het gebruik van het programma TNV-Prepare en het wachtrijmodel van Schwanhäußer, geïntegreerd in het computerprogramma ANKE voor een duidelijker beeld van het gebruik van het spoorwegemplacement gezorgd heeft. Het gecombineerd gebruik van de computer-tools is erg waardevol. De met TNV-Prepare gegenereerde nauwkeurige gegevens van gerealiseerde vertragingen kunnen als input voor het model in ANKE gebruikt worden. Hierdoor neemt de betrouwbaarheid van de uitkomsten die met behulp van ANKE verkregen worden toe. Het belangrijkste doel van het onderzoek is hiermee bereikt.

Verder blijkt dat het computerpakket ANKE goed toepasbaar is op het Nederlandse Spoorwegennet, wanneer de kwaliteitsbeoordelingen relatief beschouwd worden. Wanneer men ook de absolute uitkomsten van het model wil gebruiken wordt er aanbevolen om een aparte kwaliteitsnorm voor het Nederlandse spoorwegennet op te stellen.

ZUSAMMENFASSUNG

Durch die vorliegende Untersuchung sollen die Erkenntnis über die Ausnutzung der Leistungsfähigkeit des Eisenbahnnetzes zu verbessern. Um dieses Ziel zu erreichen werden die Ergebnisse eines Deutschen Modells für die Beurteilung der Leistungsfähigkeit mit dem wirklichen Betrieb vergleicht. Auf diese Weise ist es auch möglich die Zulässigkeit des Deutschen Modells in der Niederländischen Situation zu prüfen. Als Untersuchungsraum wurde der Bahnhofes Rotterdam Centraal ausgewählt.

Innerhalb des Bahnhofs werden die Züge der durchgehenden Strecke Dordrecht-Rotterdam-Den Haag analysiert. Zur Ermittlung der Fahrwege in der Betriebsstelle sind die Daten des tatsächlichen Betriebs mit Hilfe des Rechnerprogrammes TNV-Prepare der TU Delft generiert. Hierbei wurde ersichtlich, daß per Relation 80 bis 90 % der Züge die gleichen Fahrstraßen benützen. Die übrige Züge benützen einen alternative Fahrstraße, oder fahren nicht.

Das Modell, daß für diese Untersuchung verwendet wurde, beruht auf die Warteschlangentheorie. Das Modell wurde an der RWTH Aachen entwickelt und ist als das wahrscheinlichkeitstheoretische Modell von Schwanhäuser bekannt. Dieses Modell bietet die Möglichkeit für jeden Knoten innerhalb einer Betriebsstelle (Teilfahrstraßenknoten, TFK) bei einem vorliegenden Betriebsprogramm die mittlere länge der Warteschlange zu ermitteln. Desweiteren wird die zulässige mittlere länge der Warteschlange ermittelt, die zugespitzt ist auf die Situation im Deutschen Eisenbahnnetz. Der Qualitätsfaktor q_B für den Zustand der Betriebsabwicklung drückt das Verhältnis zwischen der aktuellen Länge der Warteschlange und der zulässigen Länge der Warteschlange aus. Als Maß für eine befriedigende Betriebsqualität wird ein maximaler Wert von 1,5 mal die zulässige mittlere länge der Warteschlange hantiert.

Für das Generieren der Daten um die wirkliche Verspätungen zu ermitteln, ist wiederum TNV-Prepare von der TU Delft verwendet. Vor allem die Ankunftsverspätungen sind wichtig, weil diese Daten als Input für das Modell verwendet werden. Beim analysieren der Ankünfte in Rotterdam Centraal aus der Richtung Dordrecht wird ersichtlich, daß der Prozentsat der verspäteten Züge, abhängig von der Zuggattung, zwischen 18% und 64% variiert. Die mittlere Verspätung beträgt 1,5 bis 4,5 Minuten. Das größte Teil der Züge hat eine Verspätung von weniger als eine Minute. Diese Wert werden als Input für das Modell verwendet. Die beobachteten Haltezeiten der Züge zeigen sich immer länger als die planmäßigen Haltezeiten. Der Unterschied variiert je nach Zuggattung zwischen 20 und 81 Sekunden. Bei der Abfahrt der Züge hat der größte Teil der Züge weniger als eine Minute verspätung.

An der RWTH Aachen wurde das Rechnerprogramm SPURPLAN/ANKE entwickelt womit die Eisenbahninfrastruktur und der Eisenbahnbetrieb auf einer Strecke und im Bahnhof modelliert werden können. Mit Hilfe von ANKE kann die Leistungsfähigkeit, basiert auf dem Warteschlangemodell von Schwahäuser, ermittelt werden. Der Bahnhof Rotterdam Centraal und die Strecke Dordrecht-Rotterdam-Den Haag sind inklusive der Züge auf dieser Strecke mit SPURPLAN/ANKE modelliert. Die spezifischen Zugdaten der Niederländischen Triebfahrzeuge und Loks sind für eine bessere Annäherung der Wirklichkeit ins Modell aufgenommen.

Während der Analyse der Modelergebnisse gibt es einige TFK in der Betriebstelle, welche einen deutlichen Engpaß darstellen. Dies sind vornehmlich die Zusammenführungen der Bahnsteiggleise für Züge in Richtung Den Haag sowie die Strecke aus Richtung Den Haag bis zur Verteilung in die Bahnsteiggleise. Aus der Sensibilitätsanalyse für eine Reihe von Eingangsgrößen des Modells folgt, daß einige Eingangsgrößen einen großen Einfluß auf die Ergebnisse der Modellrechnung haben. Vor allem die angenommene Einbruchsverspätungen der Züge haben einen erheblichen Einfluß auf das Resultaten der Leistungsfähigkeitsberechnung. Diese Einbruchsverspätungen sind im vorliegenden Fall mit den realen Daten sehr präzise ermittelt. In der Sensibilitätsanalyse bleibt die qualitative Reihung der am meisten belasteten TFK unverändert. Die Reihenfolge ist nicht abhängig von den analysierten Eingabeparametern. Die drei am höchsten belasteten TFK werden vom Modell als überlastet ausgewiesen. (mehr wie 1,5 mal die befriedigende Länge der Warteschlange), womit die Betriebsqualität in diesem Bereich des Knotens als nicht mehr zureichend gelten kann. TFK 41, die Einfädelung der Bahnsteiggleise für Züge in Richtung Den Haag erhält die schlechteste Beurteilung. Die in der Wirklichkeit realisierten Zugbewegungen in der Nähe von TFK 41 sind näher analysiert.

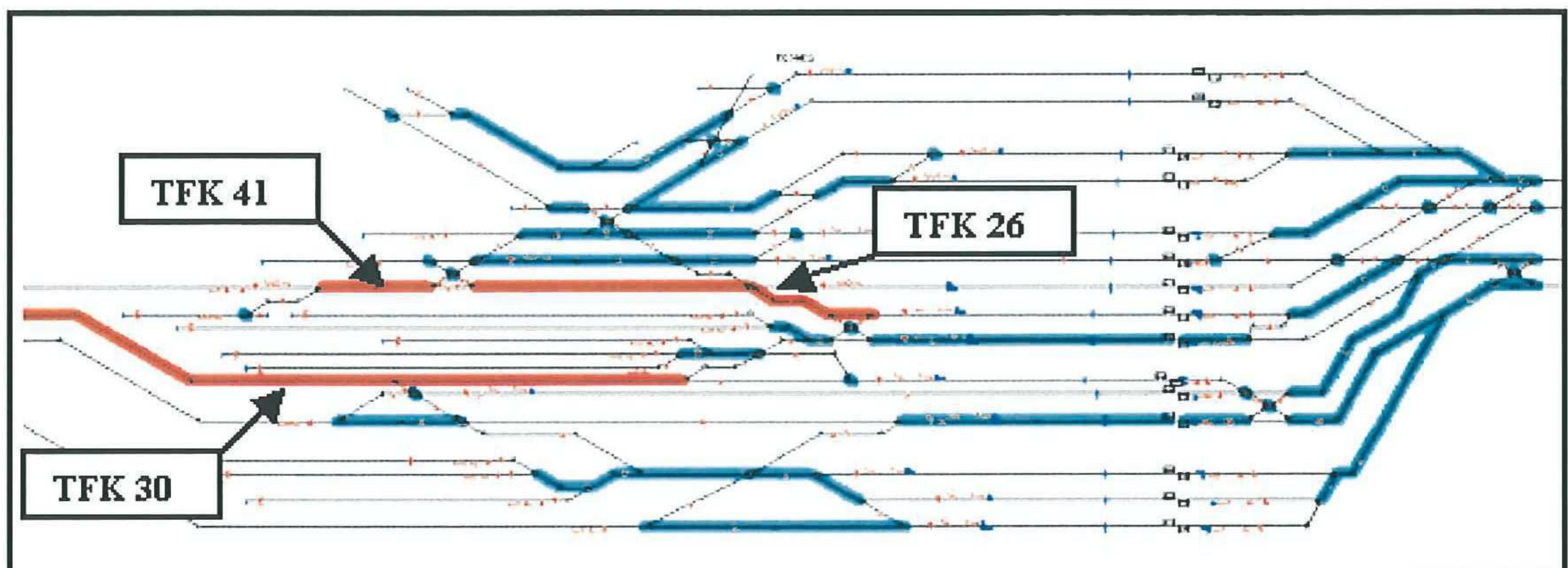


Abbildung: Übersicht der Betriebsstelle Rotterdam Centraal, wobei die am meisten belasteten TFK gezeigt werden.

Die Wartezeiten, welche mit dem Modell berechnet werden und die Verspätungen aus der Datenanalyse sind nicht direkt miteinander zu vergleichen. Einige Vorhersagen des Modells werden anhand der beobachteten Zugläufe überprüft. Es wird untersucht ob die prognostizierten Probleme auch in Wirklichkeit auftreten. Nachfolgend sind die Resultate dieses Soll-Ist-Vergleichs für Konflikte im TFK 41 dargestellt:

- **Konflikt beim Zusammenlauf der Bahnsteiggleise 8 und 9.** Nahverkehrszüge müssen auf dem Bahnsteiggleis öfter vor einem Halt zeigenden Signal warten als Fernreisezüge. Auch im Modell ist die Wartezeit im TFK für Nahverkehrszüge am größten.
- **Fahrzeiten, Sperrzeiten und Zugfolgezeiten.** In der Sperrzeitstreppe ist erkennen, daß die Sperrzeit des zweiten Blockabschnittes hinter dem Ausfahrtsignal in Wirklichkeit eine längere Sperrzeit hat als im Modell. Dahingegen ist die Zugfolgezeit bei den Ausfahrtsignalen kürzer als im Modell berechnet. Im Modell passiert ein Zug immer ein „Fahrt“ zeigendes Signal das, währendem in Wirklichkeit Züge schon oft bei Gelb zeigenden Signalen abfahren um das Bahnsteiggleis frei zu machen. Da ein Zug bei

Gelb nur mit beschränkter Geschwindigkeit abfahren kann, sind die Zugfolgezeiten am nächst folgenden Signal wieder in guter Übereinstimmung mit den Modelresultaten.

- **Geschwindigkeiten.** Mit dem Modell ist vorauszusagen, daß die zulässige Strecke-geschwindigkeit zwischen Rotterdam und Schiedam nicht oder nur sehr kurz erreicht wird. Mit den analysierten Daten ergibt sich das selbe Bild. Die Höchstgeschwindigkeit der Strecke beträgt 130 Kilometer pro Stunde, jedoch fahren die Züge selten schneller als 110 Kilometer pro Stunde. Die Ausfahrtsgeschwindigkeiten sind auch in Wirklichkeit für Gleis 9 höher als für Gleis 8. Die mittlere Geschwindigkeit über den ersten Blockabschnitte ist für Züge aus Gleis 8 40 Kilometer pro Stunde und für Züge aus Gleis 9 60 Kilometer pro Stunde.

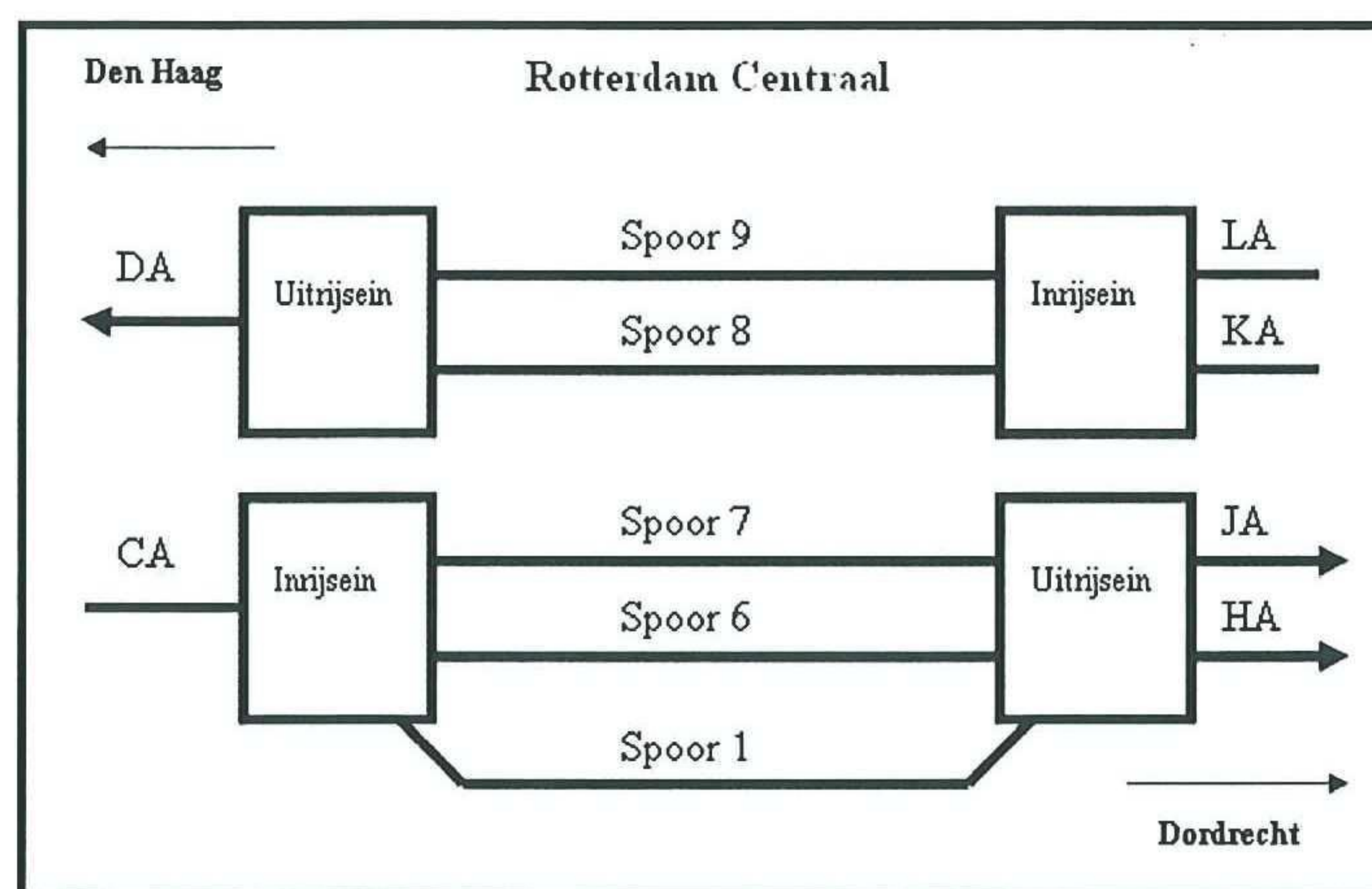


Abbildung: Bahnsteiggleise auf Rotterdam Centraal.

Nach dem Datenvergleichen sind, basiert auf den beobachteten Problemen, einige Verbesserungsmöglichkeiten ausgearbeitet, welche die Wartezeit in TFK 41 verkürzen können. Folgende Möglichkeiten sind mit Hilfe des Modells bezüglich der Qualität des Betriebsablaufs beurteilt:

- Zusätzliches Überholungsgleis in Schiedam Centrum.
- Erhöhung der Ausfahrtsgeschwindigkeit aus dem Bahnsteiggleis 8.
- Optimierung der Blocklängen.
- Optimierung der Blocklängen und Erhöhung der Ausfahrtsgeschwindigkeit aus dem Bahnsteiggleis 8.

Ein zusätzliches Überholungsgleis bei Schiedam Centrum bewirkt die größte Verbesserung der Qualität. Für Reisende in Nahverkehrszügen wird die Reisezeit hierbei länger, da die Nahverkehrszüge oft im Überholungsgleis halten müssen um einen Fernreisezug passieren zu lassen. Die Qualitätsverbesserungen durch Erhöhung der Ausfahrtsgeschwindigkeit und die Optimierung der Blocklängen sind ungefähr gleich zu bewerten. Durch einer Kombination dieser Anpassungen ergibt sich eine deutliche Qualitätsverbesserung im Vergleich mit den Einzelmaßnahmen. Für eine ausgewogene Abwägung der Alternativen müssen darüber hinaus die Kosten der verschiedenen Maßnahmen berücksichtigt werden.

Zusammenfassend kann gefolgert werden, daß der Gebrauch von TNV-Prepare und ANKE ein deutliches Bild der Betriebsqualität innerhalb der Betriebsstelle gibt. Die Kombination der beiden Programme hat liefert sehr gute Ergebnisse. Die mit TNV-Prepare generierten präzisen Daten der wirklichen Verspätungen können als Eingangsgrößen für das Model in ANKE benutzt werden. Hierdurch wird die Zuverlässigkeit der Resultaten von ANKE höher. Dies kann als wichtigstes Ergebnis der Untersuchung festgehalten werden.

Weiter ist deutlich geworden, daß ANKE im niederländischen Eisenbahnnetz gut einsetzbar ist, solange die Qualitätsbeurteilungen relativ betrachtet werden. Will man die absoluten Resultaten der Modellberechnung verwenden ist zu empfehlen separate Qualitätsmaßstäbe für das niederländischen Eisenbahnnetz auszuarbeiten.

INHOUD	BLAD
VOORWOORD	3
SAMENVATTING	4
ZUSAMMENFASSUNG	7
1 INLEIDING	13
2 DOELSTELLING EN RANDVOORWAARDEN	14
2.1 Doelstelling	14
2.2 Randvoorwaarden en Uitgangspunten	15
3 ANALYSE	16
3.1 Situatiesbeschrijving	16
3.2 Dienstregeling	17
3.3 Rijwegen vaststellen met behulp van TNV-Prepare	19
3.4 Treintypen en karakteristieken	21
4 ACHTERGRONDEN VAN HET WACHTRIJPROBLEEM	23
4.1 Wachttijden in relatie tot de verplaatsingstijd	23
4.2 Minimale opvolgtijd en buffertijd	24
4.3 Modelleren van infra-elementen	27
5 MODEL RWTH AACHEN	29
5.1 Bepalen van de lengte van de wachtrij	29
5.2 Uitdrukking voor de kwaliteitsbeoordeling	30
6 VERTRAGINGEN OP ROTTERDAM CENTRAAL	32
6.1 Aankomstvertragingen	32
6.2 Halteertijden	33
6.3 Vertrekvertragingen	34
7 MODELLERING MET COMPUTERPAKKET ANKE	36
7.1 Modelleren van de infrastructuur in SPURPLAN	36
7.2 Modelleren van de treinenloop in ANKE	37
7.3 Capaciteitsberekening	39
7.4 Gevoeligheidsanalyse	41
8 VERGELIJKING VAN HET MODEL MET DE WERKELIJKE SITUATIE	44
8.1 Analyse van de meest belaste TFK	44
8.2 Conflict bij samenkomst perronsporen 8 en 9	46
8.3 Rijtijden, bloktijden en opvolgtijden	47
8.4 Snelheden	51
9 VERBETERINGSMOGELIJKHEDEN	53
9.1 Alternatieven voor de huidige situatie	53

9.2	Toetsen van de alternatieven met behulp van het model	56
10	CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN	59
10.1	Conclusies	59
10.2	Aanbevelingen	60
	BRONVERMELDING	61

BIJLAGEN

1	Overzichtskaarten Rotterdam Centraal
2	Verslag van bezoek aan de verkeersleiding in Rotterdam
3	Aankomst en vertrektijden van treinen op Rotterdam Centraal
4	Rijwegen van treinseries (inclusief alle gepasseerde secties)
5	Gebruikte parameters voor de treinkarakteristieken van Nederlandse treinen

1 INLEIDING

Het Nederlandse spoorwegennet is één van de drukste ter wereld [NYFER, juni 2002]. In de toekomst zal de vraag naar transport over het spoor waarschijnlijk alleen nog maar toenemen. In hoeverre is er nog capaciteit onbenut op het huidige spoor? En als de capaciteit van de infrastructuur bereikt is, hoe kan er dan zo efficiënt mogelijk geïnvesteerd worden in de infrastructuur om de capaciteit naar behoefte te vergroten?

Om de benutting van de capaciteit op het spoor te kunnen bepalen, is aan de RWTH Aachen een analytisch model ontwikkeld. Met behulp van dit model, kan bij een gegeven infrastructuur en een gegeven aantal treinen per treinsoort de kwaliteit van de exploitatie bepaald worden. Later is dit model geïntegreerd in een computerprogramma, genaamd ANKE, waardoor het model ook in de praktijk kan worden toegepast.

Door middel van het beveiligingssysteem van het spoor worden er zeer veel data gegenereerd die de bezet- en ontruimingstijden van spoorsecties en seinstanden aangeven. Aan de TU Delft is het programma TNV-Prepare ontwikkeld, waarmee deze gegevens dusdanig geordend kunnen worden, dat de werkelijke rijtijden en bezettingstijden van de treinen kunnen worden bepaald.

Door de gegevens van de gerealiseerde bezettings- en rijtijden te vergelijken met de modelberekening die in ANKE is uitgevoerd, kan worden bekeken of de resultaten van de modelberekening overeenstemmen met de werkelijkheid. Op deze wijze kan zowel de bruikbaarheid van ANKE getest worden, als opvallende afwijkingen in de gerealiseerde bezettingstijden in kaart worden gebracht.

2 DOELSTELLING EN RANDVOORWAARDEN

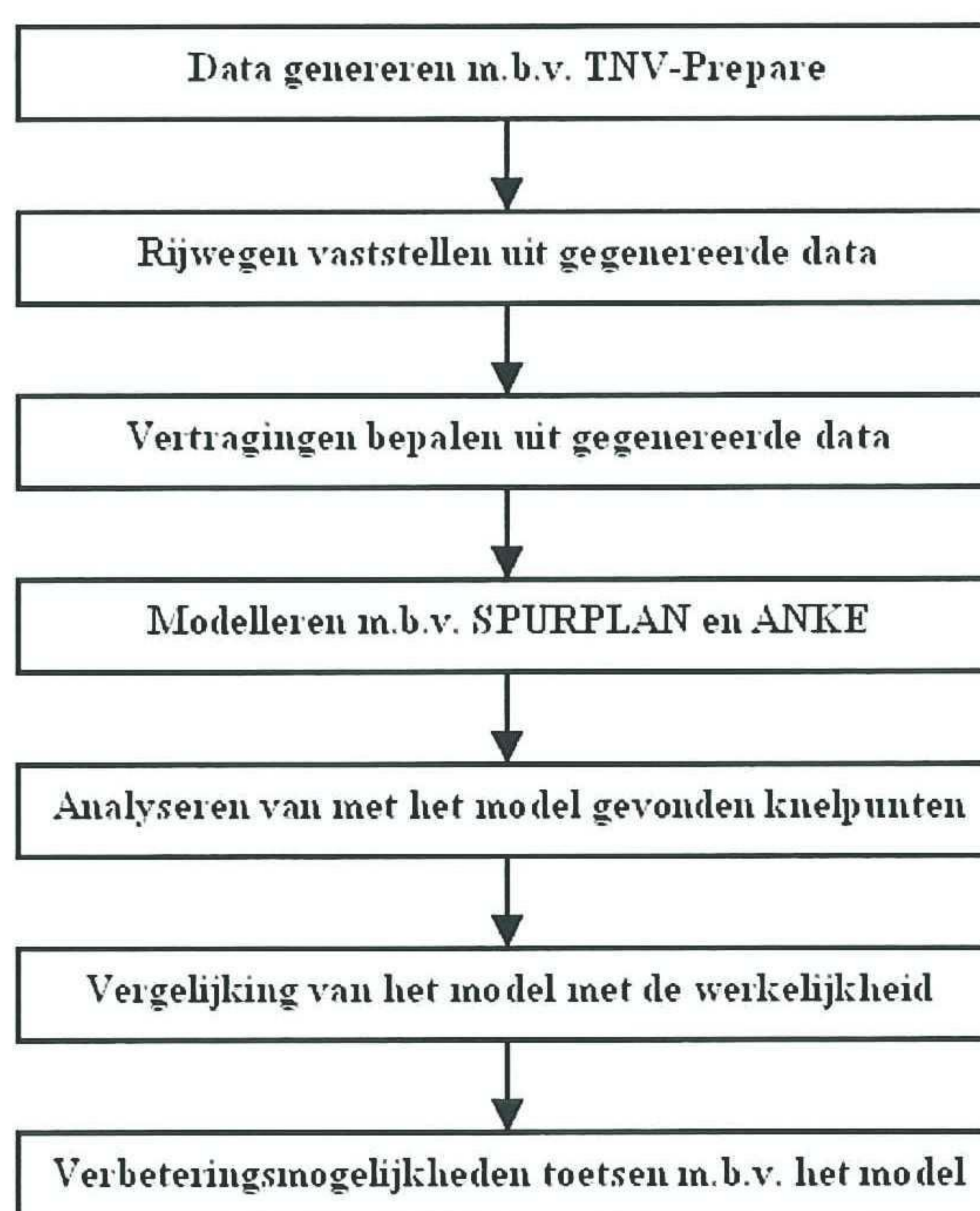
2.1 Doelstelling

Naar de benutting van de capaciteit op het Nederlandse spoorwegennet is tot nu toe voornamelijk onderzoek gedaan op macro-niveau en is er minder gekeken naar de daadwerkelijke situatie ter plekke. Ook voor het spoorwegemplacement van Rotterdam Centraal is de capaciteitsbenutting op micro-niveau nog nauwelijks onderzocht. Meer inzicht in de toestand van de capaciteitsbenutting kan uiteindelijk leiden tot een betere benutting van de infrastructuur. De doelstelling van het onderzoek luidt daarom als volgt:

- Inzicht verkrijgen in de capaciteitsbenutting op spoorwegemplacement Rotterdam Centraal

Om dit inzicht te verkrijgen worden de theoretische resultaten van een capaciteitsberekening vergeleken met de werkelijke dienstuitvoering op het spoorwegemplacement Rotterdam Centraal. Hiervoor worden de volgende twee opdrachten uitgevoerd:

- Een analytische berekening van de capaciteitsbenutting van het spoor op Rotterdam Centraal.
- Een statistische analyse van de gerealiseerde capaciteitsbenutting van het spoor op Rotterdam Centraal.



afbeelding 1 Werkwijze bij het onderzoek

Zoals al eerder vermeld, zal voor het genereren van de data van de werkelijk gerealiseerde exploitatie gebruik worden gemaakt van TNV-Prepare. Voor de analytische capaciteitsberekening wordt gebruik gemaakt van het computerprogramma ANKE. Nadat deze twee opdrachten uitgevoerd zijn, kunnen de uitkomsten met elkaar vergeleken worden. Dit resulteert in een conclusie, die eventueel leidt tot aanbevelingen voor verbetering van de capaciteitsbenutting op het spoorwegemplacement. De gehele werkwijze voor het onderzoek is schematisch weergegeven in afbeelding 1.

2.2 Randvoorwaarden en Uitgangspunten

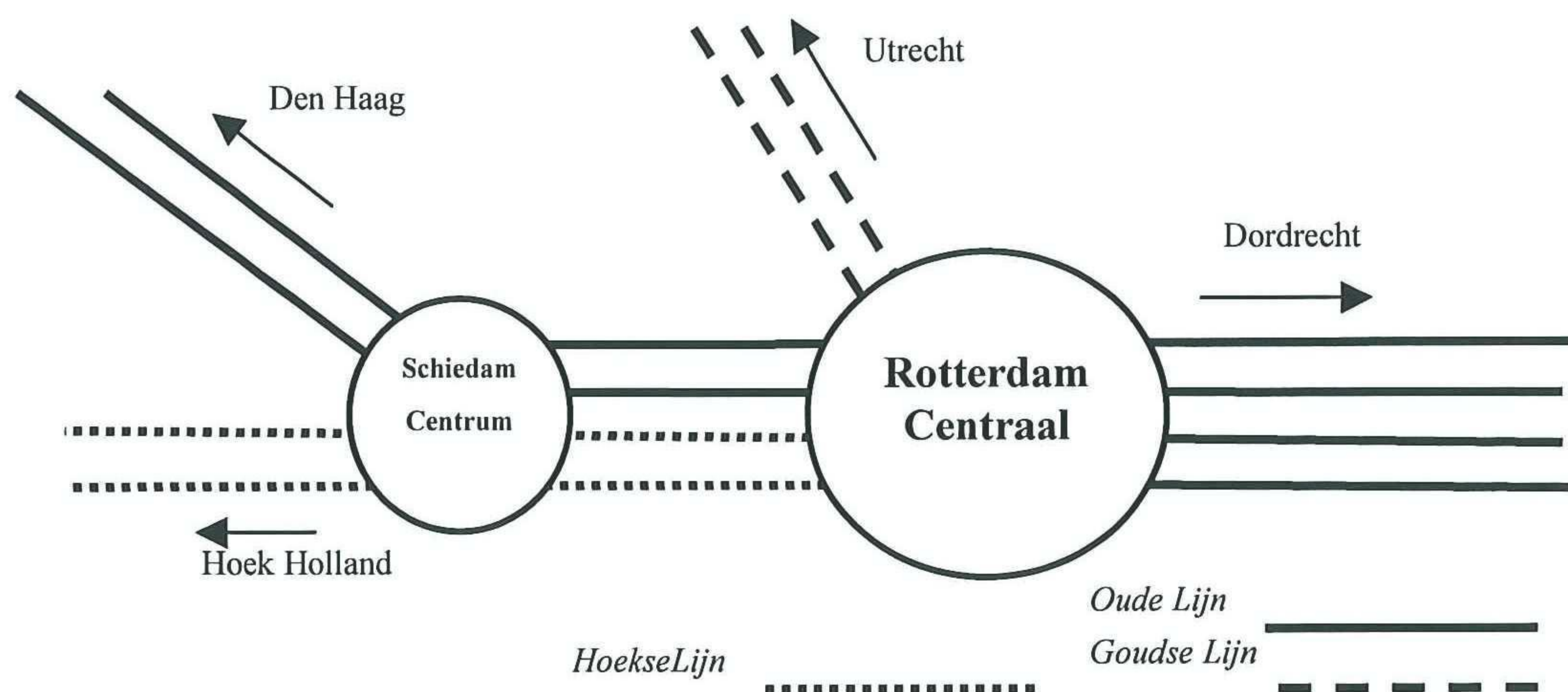
Om deze doelstellingen te realiseren dient het onderzoek te worden afgebakend. Dit is noodzakelijk om het overzicht op het onderzoek te behouden en te voorkomen dat allerlei externe factoren een grote rol gaan spelen. De volgende randvoorwaarden en uitgangspunten worden bij het verloop van het onderzoek in acht genomen:

- Het onderzoeksgebied beslaat in principe alleen het emplacement Rotterdam Centraal
- Primair worden de treinen rijdend in de richting Den Haag-Dordrecht vice versa in het onderzoek meegenomen
- Gebruik van de computerprogramma's SPURPLAN en ANKE voor de analytische capaciteitsberekening
- Gebruik van het computerprogramma TNV-prepare voor het genereren van de data van de gerealiseerde exploitatie

3 ANALYSE

3.1 Situatiebeschrijving

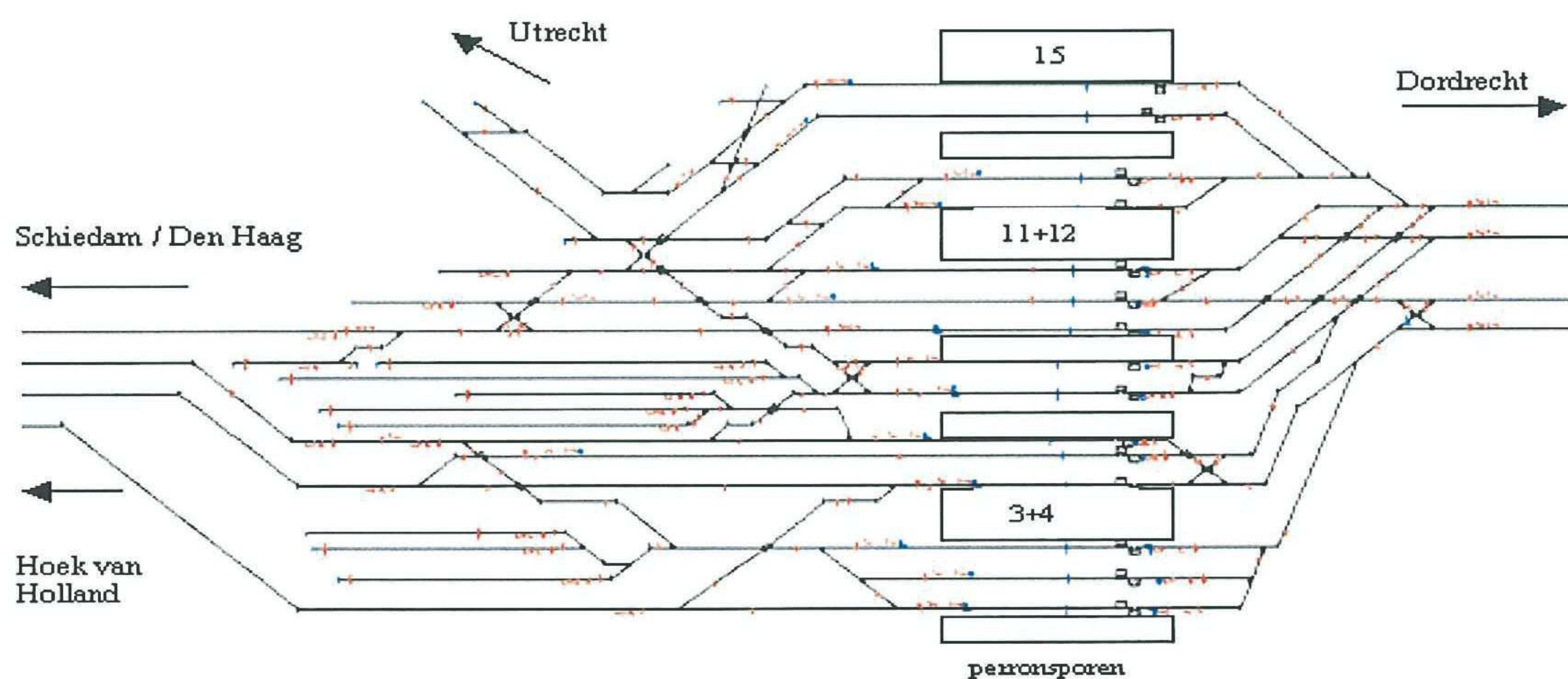
Als onderzoeksgebied voor de analyse van de capaciteitsbenutting is allereerst gezocht naar een geschikte locatie. Er is voor gekozen om een spooreplacement te onderzoeken, en niet een baanvak tussen twee emplacementen. Uit eerder onderzoek [Schepman, 2002] blijkt dat de treinen op de lange baanvakken tussen twee emplacementen een kortere rijtijd realiseren dan de geplande rijtijd. Vertragingen blijken dan ook vaak niet op de baanvakken te ontstaan, maar ergens anders op het spoorwegnet. Het nader analyseren van de rij- en wachttijden op een emplacement ligt dan voor de hand. Hierbij is gekozen voor Rotterdam Centraal, aangezien van dit emplacement de data voorhanden zijn, waarmee de rij- en bezettingstijden van spoorsecties berekend kunnen worden. Met deze informatie kunnen dan in een later stadium weer de wachttijden en vertragingen bepaald worden.



afbeelding 2 : ligging Rotterdam Centraal met lijnvoering

Op afbeelding 2 is de ligging van Rotterdam Centraal te zien. Een overzicht van het emplacement is te vinden op afbeelding 3. Het emplacement van Rotterdam Centraal is gelegen aan de noordrand van het centrum van de gelijknamige stad. Naast de perronsporen en wisselstraten beschikt het emplacement over opstelsporen en een wasstraat. De opstelsporen en de wasstraat bevinden zich allen aan de westkant van het emplacement. Aan de westkant vertakt het emplacement zich in 2 sporen die afbuigen in noordelijke richting en 4 sporen die verder gaan in westelijke richting. Ter hoogte van Schiedam splitsen deze 4 sporen zich in 2 sporen in de richting van Hoek van Holland en 2 sporen in de richting van Den Haag. De perronsporen zijn aan de oostkant van het emplacement gelegen. Aan de oostkant van het emplacement komen de perronsporen tezamen tot in totaal 4 sporen, die met een bocht in zuidwaartse richting direct verdwijnen in de Willemspoortunnel.

Voor de lijnvoering van de reizigerstreinen kan het emplacement grofweg worden opgedeeld in drie gescheiden van elkaar opererende spoorlijnen. De noordkant van het emplacement met de perronsporen 11 tot en met 16 is gereserveerd voor de treinen van de zogenoemde *Goudse Lijn*. De treinen van deze lijn komen en gaan naar Rotterdam Centraal via de spoortak die ten westen van het emplacement afbuigt naar het noorden. Voor de treinen die dienst doen op deze lijn fungeert Rotterdam Centraal als een kopstation. Er is géén interactie met de overige reizigerstreinen op Rotterdam Centraal tijdens de normale dienstuitvoering. Het middelste deel van het emplacement met de perronsporen 6 tot en met 9 wordt gebruikt door treinen komende uit de richting Dordrecht en vertrekkende in de richting Den Haag en vice versa. Deze lijn wordt ook wel de *Oude Lijn* genoemd. Aan de zuidkant van het emplacement zijn tenslotte de sporen te vinden voor de treinen die aankomen uit en vertrekken in de richting van Hoek van Holland. Net als voor de Goudse lijn fungeert Rotterdam Centraal voor deze lijn als kopstation. Deze lijn maakt verder gebruik van de perronsporen 3 en 4 en wordt ook wel de *Hoekse Lijn* genoemd. Anders dan bij de Goudse lijn vindt er tussen de Oude Lijn en de Hoekse lijn wel geringe interactie plaats. De internationale treinen komende uit de richting Den Haag, die gebruik maken van de Oude Lijn maken geen gebruik van de perronsporen 6 en 7, maar arriveren en vertrekken van perronspoor 1. Hiervoor dienen deze treinen op het westelijk deel van het emplacement de sporen van de Hoekse lijn te kruisen. Hierbij hebben de internationale treinen voorrang op de treinen van de Hoekse lijn.



afbeelding 3 Overzicht emplacement Rotterdam Centraal

Om het onderzoeksgebied van deze analyse overzichtelijk te houden wordt er gefocust op de Oude Lijn (Den Haag HS - Rotterdam Centraal - Dordrecht v.v.). Het gaat hierbij dan om de bezettings- en rijtijden op het emplacement van Rotterdam Centraal. De overige lijnen blijven buiten beschouwing. De invloed van de Hoekse lijn wordt verwaarloosd, aangezien de kruisende internationale treinen voorrang hebben op de treinen op deze lijn.

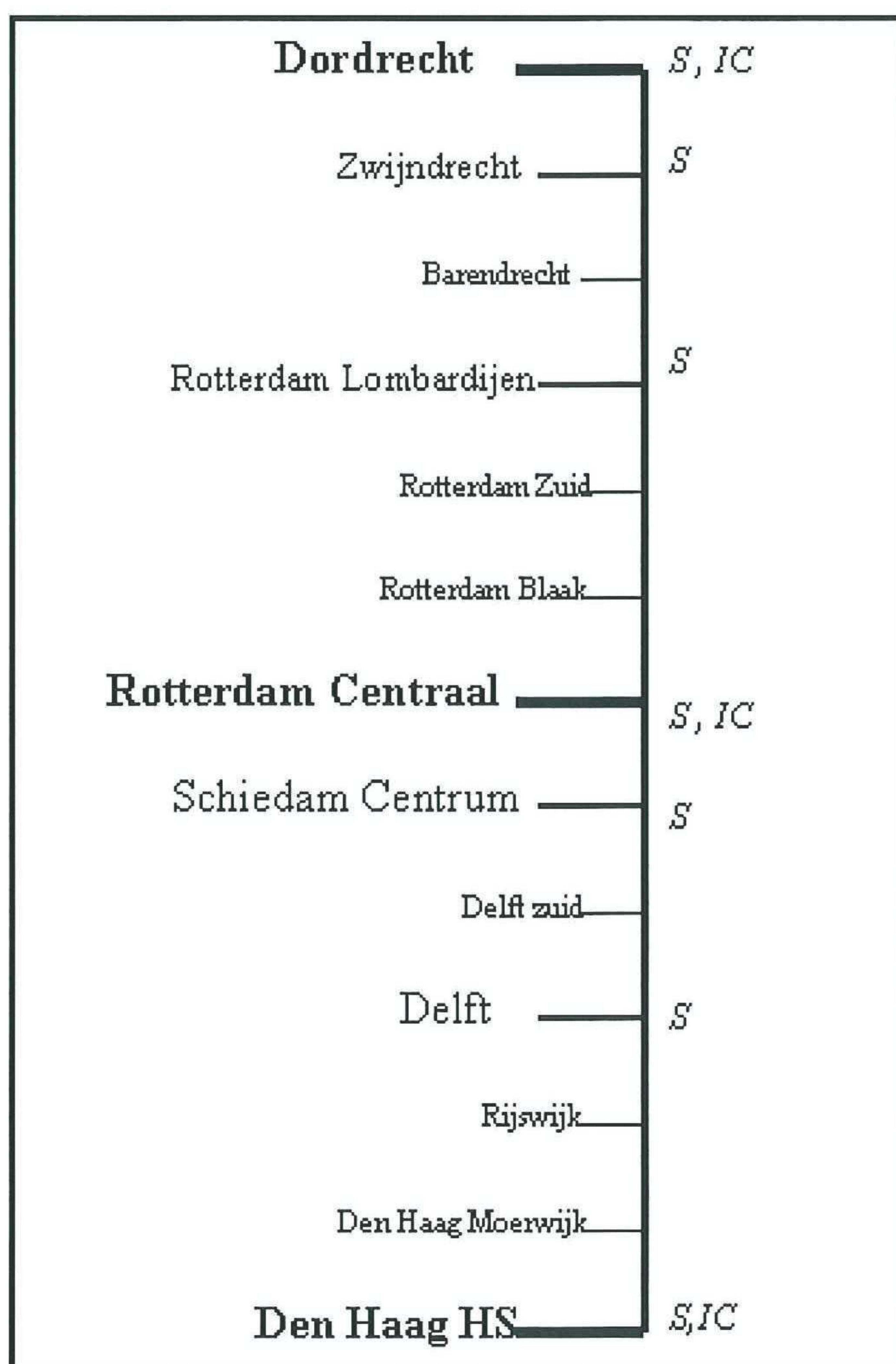
3.2 Dienstregeling

Voor de dienstregeling is uitgegaan van de situatie in 1999, aangezien de gegevens van de werkelijke rijtijden en bezettingstijden die beschikbaar zijn uit september 1999 stammen. De

Treinsoort	Serie	Traject	Frequentie
Thalys	9300	Amsterdam Centraal-Paris Nord v.v.	1 x per uur
Beneluxtrein	600	Amsterdam Centraal-Brussel Zuid v.v.	1 x per uur
Intercity	1900	Den Haag Centraal-Venlo v.v.	1 x per uur
Intercity	2500	Den Haag Centraal-Heerlen v.v.	1 x per uur
Intercity	2100	Amsterdam Centraal-Vlissingen v.v.	1 x per uur
Intercity	2400	Amsterdam Centraal-Dordrecht v.v.	1 x per uur
Sneltrein	2200	Amsterdam Centraal-Breda v.v.	2 x per uur
Stoptrein	5000	Leiden Centraal-Dordrecht v.v.	2 x per uur
Stoptrein	5100	Den Haag Centraal-Roosendaal v.v.	2 x per uur

tabel 1 Treindiensten op de Oude Lijn tijdens de spits

dienstregeling van de Nederlandse Spoorwegen is gebaseerd op een uurpatroon. Hierbij is er onderscheid te maken tussen de dienstregeling in de spits ('s ochtends tussen 6.00 en 10.00 uur en 's middags tussen 16.00 en 19.00 uur) en in de daluren. De capaciteitbeoordeling van de spits is maatgevend, aangezien de intensiteit in de spits het hoogst is. In het onderzoek zal dan ook de capaciteitsbenutting van de spitsuren onderzocht worden. Er worden door de Nederlandse Spoorwegen verschillende vervoersdiensten aangeboden. Zo zijn er de Beneluxtrein en Thalys voor het internationale treinverkeer en de intercity's voor de lange afstanden binnen Nederland, die slechts een beperkt aantal stations aandoen. Verder zijn er stoptreinen die halteren op alle stations en bedoeld zijn voor de korte afstanden. Om het gat tussen de intercity's en de stoptreinen in te vullen, rijden er op sommige trajecten in Nederland zogenoemde sneltreinen, die vaker stoppen dan een intercity, maar minder vaak dan een stoptrein. Verder heeft iedere treinsoort een serienummer, waarmee deze eenvoudig en snel te herkennen is.



Afbeelding 3 Oude Lijn tussen Dordrecht en Den Haag

Op de te onderzoeken Oude Lijn ter hoogte van het emplacement van Rotterdam Centraal rijden in de spits de in tabel 1 vermelde treinen met bijbehorende frequenties en serienummers. Al deze treinen halteren ook op Rotterdam Centraal.

Op afbeelding 3 is het gehele traject van de Oude Lijn vanaf Dordrecht via Rotterdam naar Den Haag Hollands Spoor te zien. Bij ieder station is aangegeven welke treinen op het station stoppen. In bijlage 3 zijn de vertrektijden volgens de dienstregeling per trein en per station weergegeven.

Aangezien in de spitsuren alle treinen op de Oude Lijn doorgaande treinen zijn, vinden er bij een correcte uitvoering van de dienstregeling geen rangeerbewegingen plaats. Verder stellen de veiligheidsvoorschriften [Horvat, juli 2001] voor de direct ten oosten van Rotterdam Centraal gelegen Willemspoortunnel, dat goederenvervoer door de tunnel tijdens de spitsuren niet is toegestaan. Alle goederentreinen die Rotterdam Centraal aandoen zijn doorgaande treinen aangezien er op Rotterdam Centraal geen goederenemplacement aanwezig is voor het overladen van goederen en rangeren van goederentreinen. Dit houdt in dat alle goederentreinen, die over Rotterdam Centraal rijden ook door de Willemspoortunnel dienen te rijden. Aangezien goederenvervoer door deze tunnel in de spits verboden is, vindt er in de spits ook geen goederenvervoer over het emplacement Rotterdam Centraal plaats.

3.3 Rijwegen vaststellen met behulp van TNV-Prepare

Om treinen te kunnen lokaliseren op het spoorwegnet wordt er gebruik gemaakt van het Trein Nummer Volg-systeem (TNV). Het spoorwegnet is opgedeeld in zogenaamde TNV-vensters, die aangeven of, en welke trein zich in het betreffende venster bevindt en op welk tijdstip. Binnen zo'n venster zijn er echter vaak nog verschillende rijpaden mogelijk. Hoe een trein zich exact over een emplacement beweegt, is met alleen deze informatie daarom niet te achterhalen. De bezetmeldingen en meldingen van vrijgave van seinen en spoorwegsecties worden door de verkeersleiding echter ook voor ieder onderdeel afzonderlijk geregistreerd. Hierbij wordt geen treinnummer doorgegeven. Deze meldingen en de meldingen van het TNV-systeem worden als log-files gearchiveerd. Met behulp van TNV-Prepare kunnen deze files gebruikt worden om de exacte rijpaden van de treinen over het emplacement te bepalen. In afbeelding 4 is een deel van de log-files te zien, waarbij iedere regel een bepaalde gebeurtenis met de bijbehorende gegevens voorstelt.

9-SEP-1999 05:59:04	TNV_DLM VTNR	103: Elementmelding aangaande LDD\$4B/CT toestand: BZ_BEZET.
9-SEP-1999 05:59:06	TNV_DLM VTNR	103: Elementmelding aangaande LDD\$79BT toestand: BZ_ONBEZET.
9-SEP-1999 05:59:06	TNV_DLM VTNR	103: Elementmelding aangaande LDD\$15BT toestand: BZ_ONBEZET.
9-SEP-1999 05:59:06	TNV_DLM VTNR	103: Elementmelding aangaande LEDN\$835A-CT toestand: BZ_BEZET.
9-SEP-1999 05:59:06	TNV_PLM VTNR	1: Verplaatsing 54601 van GV\$KF4/KF45.0 naar GV\$KF5/KF55.0.

afbeelding 4 Stuk van de listing van een log-file

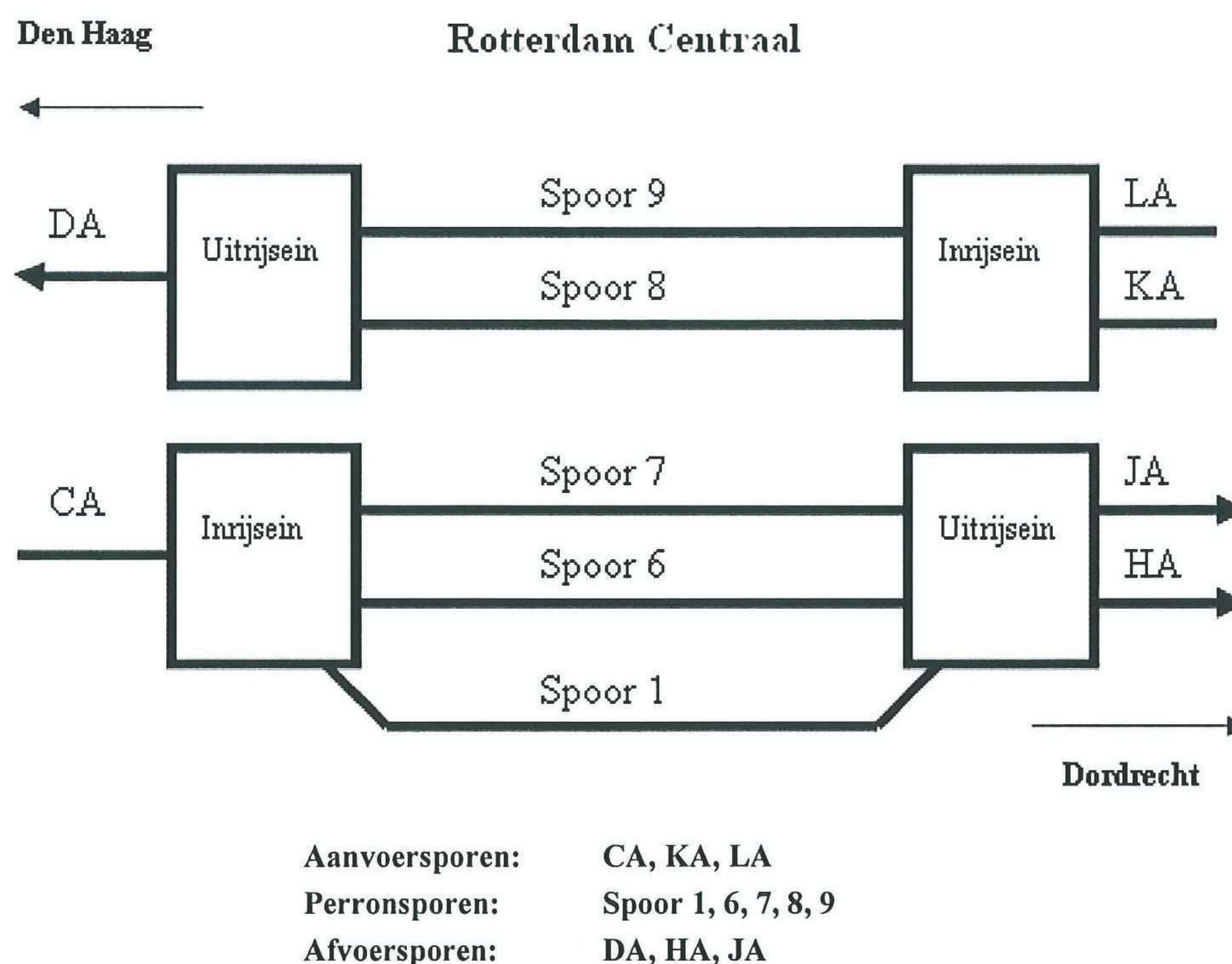
TNV-Prepare knoopt de informatie uit de TNV-vensters aan de informatie uit de log-files en traceert hierbij per trein de gevolgde route met alle doorrijtijden. Vervolgens kunnen met behulp van het programma hiervan per treinserie tabellen gegenereerd worden. In afbeelding 5 is een deel van zo'n tabel te zien.

Datum	TreinNr	Drg	Drg	646BT	LB/LBS:0	LA/LAS:0
		Aankomst	Vertrek	BEZET		
1999-9-1	1914	06:48	06:50	06:45:31	06:45:23	06:45:42
1999-9-1	1918	07:48	07:50	07:44:55	07:44:47	07:45:07
1999-9-1	1922	08:48	08:50	08:46:40	08:46:31	08:46:51
1999-9-1	1926	09:48	09:50	09:45:04	09:44:51	09:45:23
1999-9-1	1930	10:48	10:50	10:44:02	10:43:54	10:44:14
1999-9-1	1934	11:48	11:50	11:46:33	11:46:26	11:46:43
1999-9-1	1938	12:48	12:50	12:45:07	12:44:58	12:45:18
1999-9-1	1942	13:48	13:50	13:55:23	13:55:20	13:55:34
1999-9-1	1946	14:48	14:50	14:44:19	14:44:10	14:44:30
1999-9-1	1950	15:48	15:50	15:44:07	15:43:55	15:44:24
1999-9-1	1954	16:48	16:50	16:44:54	16:44:46	16:45:04

afbeelding 5: Met behulp van TNV-prepare gegenereerde tabel met de treinen per treinserie en de bezetmeldingen van een baanvak

TNV-Prepare is allereerst gebruikt om per treinserie te kunnen bepalen welke rijwegen gebruikt worden. Hierbij is ook onderzocht hoe vaak een bepaalde rijweg gebruikt wordt. Het wordt al snel duidelijk dat de meeste treinseries één vaste rijweg hebben en een aantal twee rijwegen. Verder zijn er nog een aantal afwijkende rijwegen die voornamelijk gebruikt worden wanneer de treinen veel vertraging hebben. In tabel 2 is per treinserie aangegeven, welke rijwegen het meest gebruikt worden en welk percentage van de treinen per serie de aangegeven rijweg volgt. Voor het aanduiden van de route is er in de tabel gebruik gemaakt van het *aanvoerspoor* naar het emplacement toe, het *perronspoor* waar de trein halteert en het *afvoerspoor* voor het verlaten van het emplacement. In afbeelding 6 zijn deze sporen grafisch weergegeven. De Thalys (serie 9300) in de richting Den Haag is niet terug te vinden, omdat deze trein in de ochtendspits niet rijdt. De serie 5000 rijdt buiten de spits 1 x per uur en in de spits 2 x per uur. Uit de gegevens blijkt dat deze tweede trein per uur in de richting Dordrecht in de spits op spoor 6 halteert in plaats van op spoor 7. Dit is noodzakelijk, omdat de serie 2500 dan al spoor 7 bezet.

Aangezien TNV ook data-logs kan missen, moet er rekening worden gehouden met een foutenmarge in de percentages. De percentages voor het gebruik van de vaste rijwegen kunnen in werkelijkheid enkele procenten hoger liggen.



afbeelding 6 Beschikbare sporen voor de Oude Lijn op Rotterdam Centraal

Serie	treinsoort	Rijweg Richting Dordrecht	percentage	Rijweg Richting Den Haag	percentage
600	Benelux	CA-Spoor1-HA	76%	LA-Spoor 9-DA	66%
1900	Intercity	CA-Spoor 6-HA	85%	LA-Spoor 9-DA	81%
2500	Intercity	CA-Spoor 7-HA	81%	LA-Spoor 9-DA	82%
2100	Intercity	CA-Spoor 6-HA	82%	LA-Spoor 9-DA	88%
2400	Intercity	CA-Spoor 6-HA	81%	LA-Spoor 9-DA	81%
2200	sneltrein	CA-Spoor 6-HA	81%	LA-Spoor 8-DA	60%
				KA-Spoor 8-DA	28%
5000	stoptrein	CA-Spoor 7-JA	67%	KA-Spoor 8-DA	92%
		CA-Spoor 6-JA	26%		
5100	stoptrein	CA-Spoor 7-JA	90%	KA-Spoor 8-DA	89%
9300	Thalys	CA-Spoor 1-HA	77%		

tabel 2 Percentages per treinserie van het aantal treindiensten, dat de aangegeven (geplande) rijweg volgt. Tijdsperiode: 1 etmaal.

3.4 Treintypen en karakteristieken

Voor de uitvoering van de dienstregeling op de te onderzoeken lijn maakt de NS gebruik van verschillend materieel. Over het algemeen wordt er per treinserie wel zoveel mogelijk met hetzelfde materieel gereden, hoewel er door materieeltekort vrij vaak andere typen treinen ingezet werden [ten Broek, juni 1998]. Het aangeven van het ingezette materieel is van belang,

omdat ieder treintype andere rijkaracteristieken heeft. De acceleratie en de remvertraging verschillen per type en lengte van de trein. Dit heeft weer invloed op de snelheid en de bezettingstijden van de spoorsecties en uiteindelijk op de capaciteit. In bijlage 5 is het materieel weergegeven dat op het te onderzoeken deel van de Oude Lijn het meest frequent rijdt. Hier staan ook de belangrijkste technische gegevens vermeld.

De log-data geven informatie met betrekking tot bezetmeldingen en de TNV-venster verplaatsingen met inbegrip van de treindienstnummers. Wanneer welk materieel exact gereden heeft, wordt niet gelogd. Voor de capaciteitsberekening wordt dan ook uitgegaan van het meest gebruikte materieel per treinserie. Verder verschilt de lengte van de treinen over de dag. In de spits zijn de treinen vaak langer dan daarbuiten om de grotere vervoersstromen op te kunnen vangen. Aangezien het onderzoek zich richt op de spits, omdat dan de grootste spoorbelastingen verwacht worden, is de lengte van de treinen in de spits maatgevend. In tabel 3 zijn de verschillende treinseries met bijbehorend materieel aangegeven. Het aantal 'bakken' duidt op het aantal compartimenten, waaruit een treinstel is opgebouwd. Bij een treinstel zijn de functies van een locomotief en een rijtuig geïntegreerd, waardoor een aparte locomotief overbodig is.

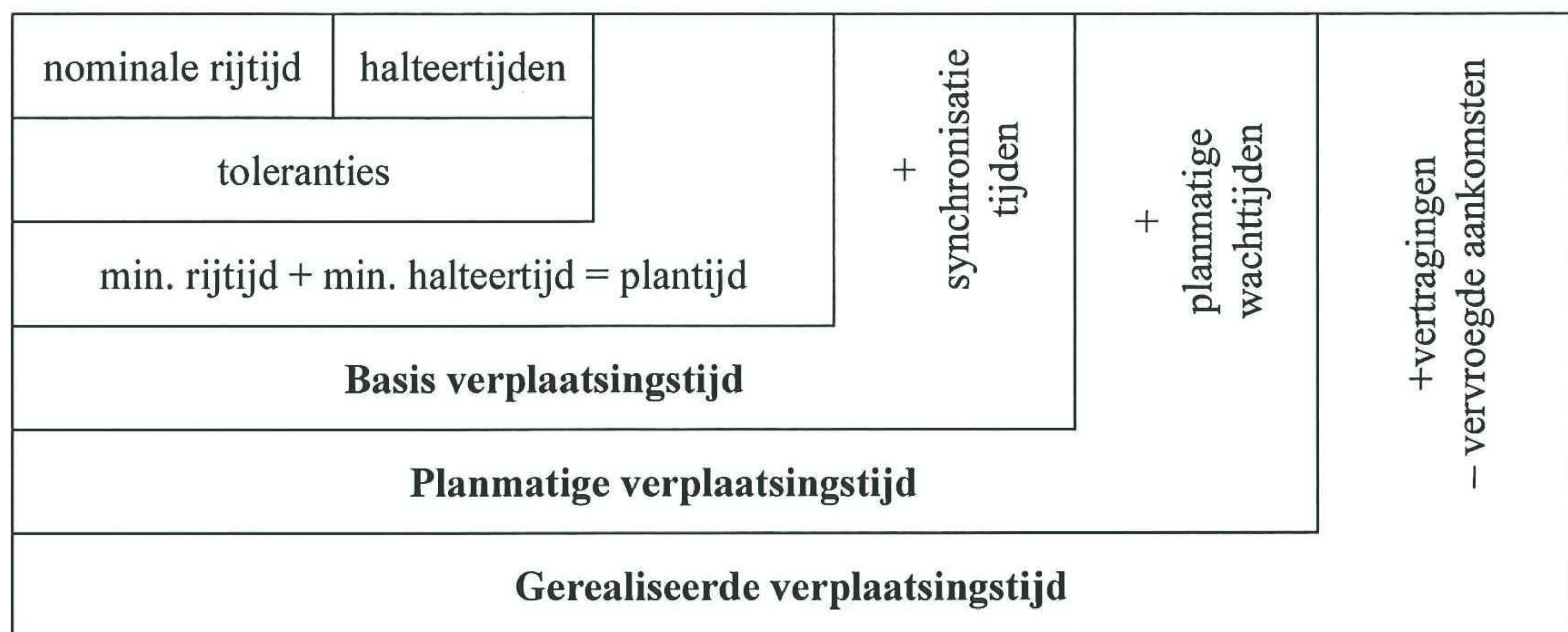
trein serie	treinsoort	materieel	samenstelling	lengte
9300	Thalys	Thalys (PBA/PBKA)	1 treinstel met 10 bakken	226 m
600	Benelux	Beneluxmaterieel (SNCB 1180) + ICR	1 loc met 6 rijtuigen	177 m
1900	Intercity	E-loc (1800 serie) + ICR	1 loc met 9 rijtuigen	255 m
2500	Intercity	E-loc (1800 serie) + ICR	1 loc met 9 rijtuigen	255 m
2100	Intercity	IRM	2 treinstellen met ieder 4 bakken	214 m
2400	Intercity	IRM	2 treinstellen met ieder 4 bakken	214 m
2200	Sneltrein	2 x mDDM	2 treinstellen met ieder 4 bakken	200 m
5000	Stoptrein	2 x mDDM	2 treinstellen met ieder 4 bakken	200 m
5100	stoptrein	2 x mDDM	2 treinstellen met ieder 4 bakken	200 m

tabel 3: treinseries met soort materieel

4 ACHTERGRONDEN VAN HET WACHTRIJPROBLEEM

4.1 Wachtijden in relatie tot de verplaatsingstijd

Om uiteenlopende redenen kunnen treinen op het spoor te maken krijgen met vertragingen. Treinen kunnen vertraging oplopen door verliezen in de verplaatsingstijd, oponthoud als gevolg van verstoringen van en afhankelijkheden tussen de op het railnetwerk aanwezige verkeersstromen. In afbeelding 7 wordt verduidelijkt waaruit de verplaatsingstijd is opgebouwd.



afbeelding 7 Opbouw van de gerealiseerde verplaatsingstijd [Hertel, 1994]

Opbouw van de gerealiseerde verplaatsingstijd:

- De nominale rijtijd en de halteertijd bestaan uit de zuivere rijtijd en zuivere halteertijden, inclusief een toeslag die per situatie kan verschillen. Vaak wordt gerekend met een toeslag van ongeveer 7%. De zuivere rijtijd wordt op basis van trein- en infrastructuureigenschappen berekend.
- Door het toevoegen van toleranties (veiligheidsmarges en een deel van de buffertijden) worden de minimale rijtijd en de minimale halteertijd verkregen. Tezamen vormen zij de plantijd.
- De basis verplaatsingstijd wordt verkregen door bij deze plantijd synchronisatietijden voor overstappen en aansluitingen op te tellen.
- Op het spoor worden planmatige wachtijden als gevolg van oponthoud dat verband houdt met de bezetting van het baanvak (zoals samenvoegingen, inhalen, kruisen en de (ont)koppeling van treinen) ingecalculeerd en opgeteld bij de basis verplaatsingstijd. Tezamen vormt dit de planmatige verplaatsingstijd
- De uiteindelijk gerealiseerde verplaatsingstijd wordt nog beïnvloed door vertragingen en vervroegde aankomsten die tijdens de dienstuitvoering optreden.

Deze uiteenzetting geeft aan dat wachttijden zowel op het planmatige niveau als op het uitvoeringsniveau kunnen ontstaan. Op beide niveaus zijn twee soorten wachttijden te onderscheiden:

Op het planmatige niveau:

- Wachttijden voor de treinen bij een gegeven dienstregelingstructuur
- Wachttijden voor de reizigers ten behoeve van synchronisatie

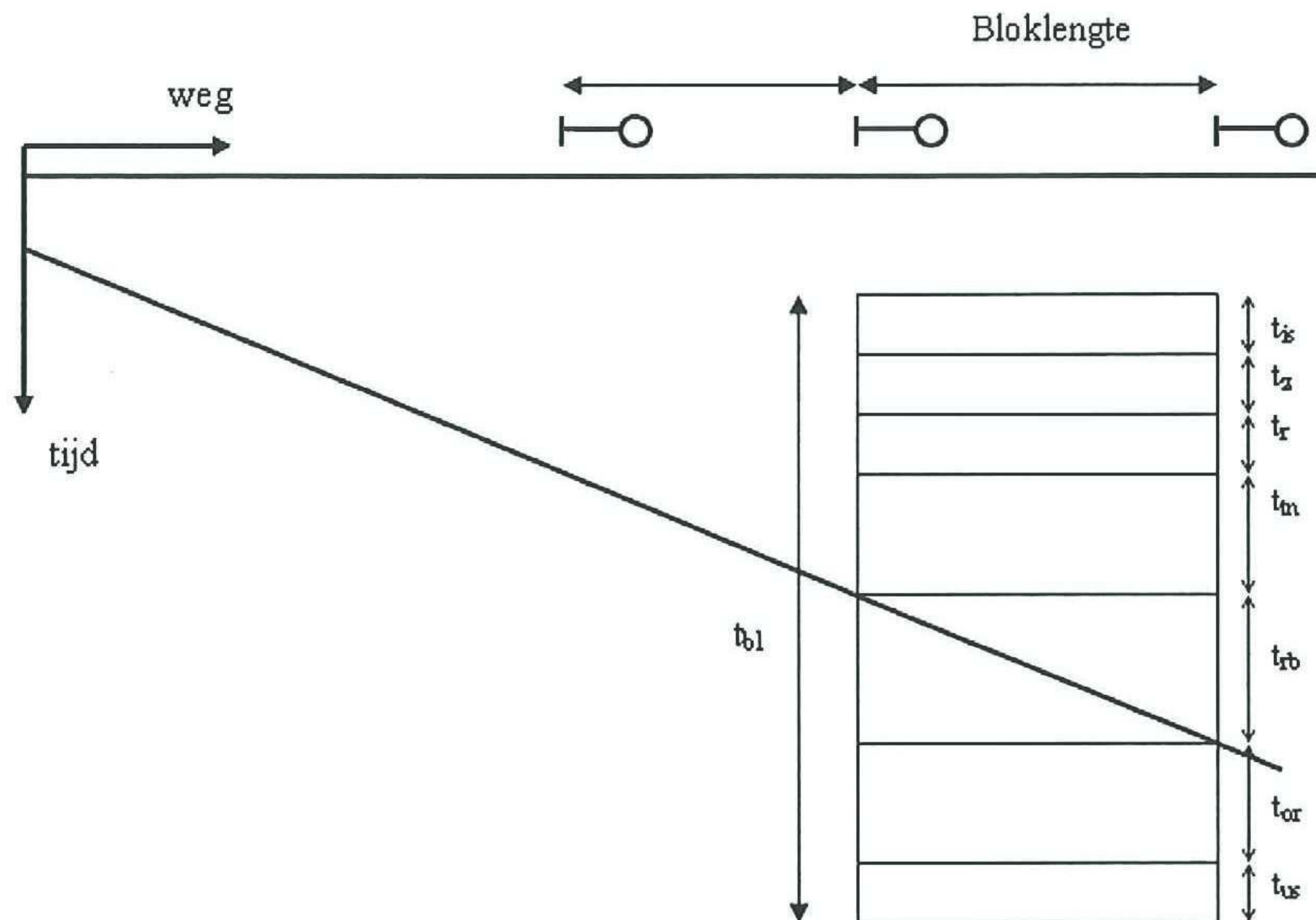
Op het uitvoeringsniveau:

- (volg)vertragingen van de treinen
- wachttijden die tijdens de dienstuitvoering optreden bij het overstappen

4.2 Minimale opvolgtijd en buffertijd

Voor het bepalen van de minimale opvolgtijd volgt eerst een globale uitleg over het beveiligingssysteem, zoals dat op het Nederlandse spoor van toepassing is. De minimale opvolgtijd en daar weer van afgeleid, de capaciteit zijn sterk afhankelijk van het toegepaste beveiligingssysteem. Het Nederlandse spoor is uitgerust met een beveiligingssysteem met vaste blokken.

Een blok is een spoorgedeelte tussen twee hoofdseinen. Het beveiligingssysteem met vaste blokken is er op gebaseerd dat trein i zich nooit tegelijkertijd met trein j in hetzelfde blok kan bevinden. De totale tijdsduur die nodig is om dit te bewerkstelligen wordt de bloktijd genoemd. Dit houdt dus niet alleen de tijd in waarin een trein zich werkelijk in het blok bevindt, maar ook de tijd die van tevoren en na afloop nodig is om er zeker van te zijn dat de trein zich als enige in het blok bevindt. Als een blok bezet is, zal het sein van dit blok rood tonen. Het voorafgaande sein (voorsein) zal echter ook al aangeven dat het volgende sein rood geeft (het voorsein toont geel), omdat een trein vanaf dat punt al zal moeten gaan remmen. Vanwege zijn lange remweg zal deze anders niet tijdig voor het rode sein tot stilstand kunnen komen. Om een onbelemmerde doorgang voor de trein te creëren, dient het voorsein ook reeds groen te tonen. In Nederland is de functie van voorsein en hoofdsein vrijwel altijd gecombineerd, d.w.z.; een hoofdsein van een blok is tevens voorsein voor het daar weer op volgende blok. In de Nederlandse praktijk betekent dit, dat er zich bij een onbelemmerende doorgang minimaal 2 lege blokken tussen twee treinen dienen te bevinden. De rijtijd tussen het voorsein en het hoofdsein behoort daarom ook tot de bloktijd. Om de bloktijden te kunnen bepalen, dienen de locaties van de seinen en de isolatielassen bekend te zijn. Verder zijn de bloktijden afhankelijk van de snelheden van de treinen. De formule voor het berekenen van de bloktijd ziet er dan als volgt uit:



afbeelding 8 Opbouw bloktijd

$$t_{bl} = t_{is} + t_z + t_r + t_{tn} + t_{rb} + t_{or} + t_{us}$$

met:

t_{bl}: bloktijd

t_{is}: inschakeltijd (tijd die nodig is om de seinen en wissels om te schakelen)

t_z: zichttijd

t_r: reactietijd van de machinist (tijd die een machinist nodig heeft om op een verandering van seinbeeld te reageren)

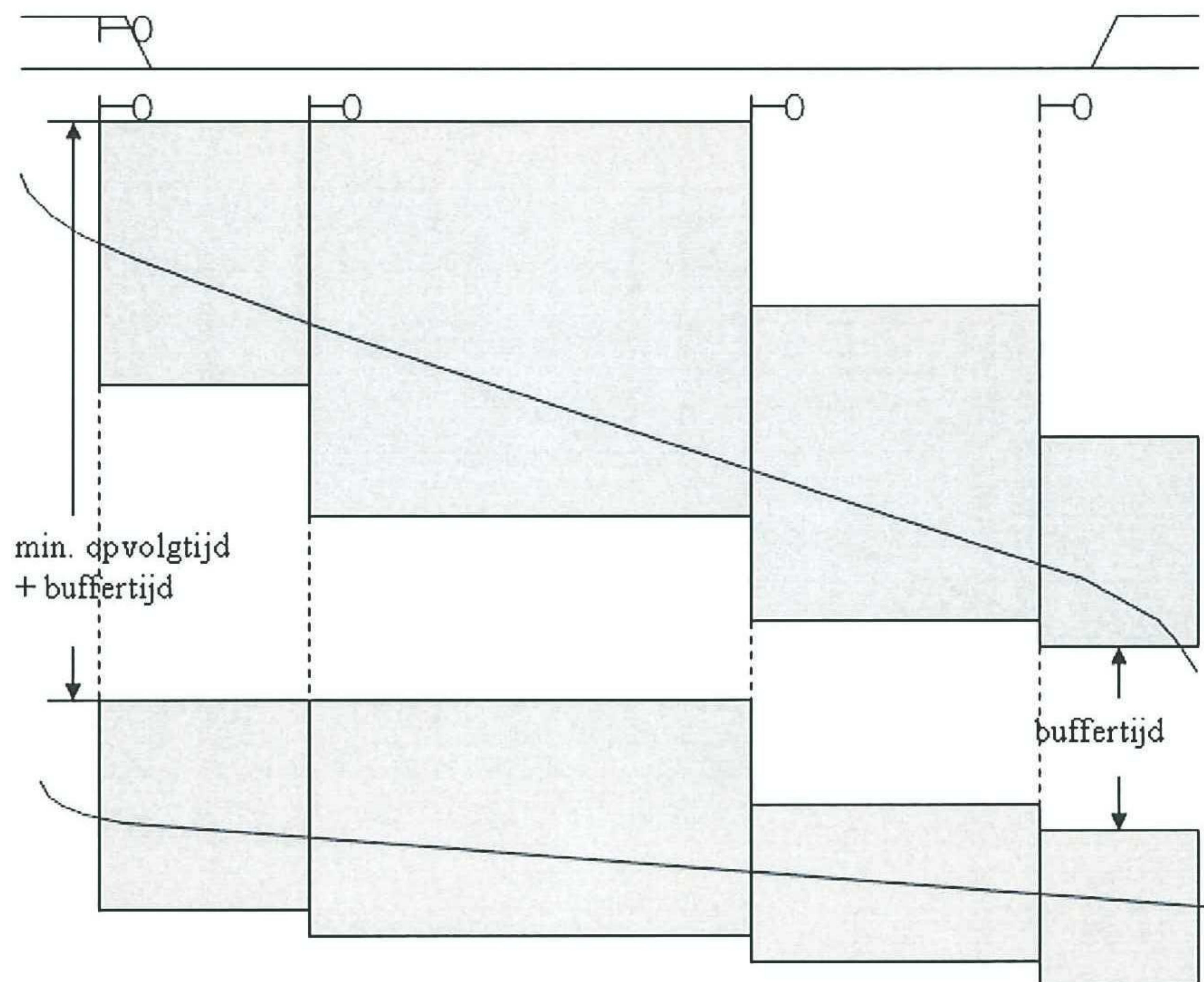
t_{tn}: toenaderingstijd (tijd die trein nodig heeft om de afstand tussen het voorsein en het hoofdsein af te leggen).

t_{rb}: zuivere rijtijd over het blok

t_{or}: ontruimingstijd (tijd tussen het uitrijden van het blok door de voorkant van de trein en het uitrijden van het blok door de achterkant van de trein)

t_{us}: uitschakeltijd (tijd die nodig is om de seinen en wissels om te schakelen)

Wanneer de (geplande) snelheid van de trein bekend is, kan zo voor ieder blok op een baanvak de bloktijd bepaald worden. Door alle bloktijden van een baanvak in een tijd-wegdiagram achter elkaar te zetten ontstaat er een blok-trapdiagram (zie Afbeelding 9). Een opvolgende trein kan alleen ongehinderd over hetzelfde baanvak rijden wanneer de blok-trapdiagrammen van de twee treinen elkaar niet overlappen. De minimale opvolgtijd kan nu worden afgeleid uit de situatie dat de blok-trapdiagrammen van de twee treinen elkaar net raken. Het maximale verschil over alle blokken tussen de aanvangstijden van de bloktijden van de twee treinen bij hetzelfde blok is dan de minimale opvolgtijd.



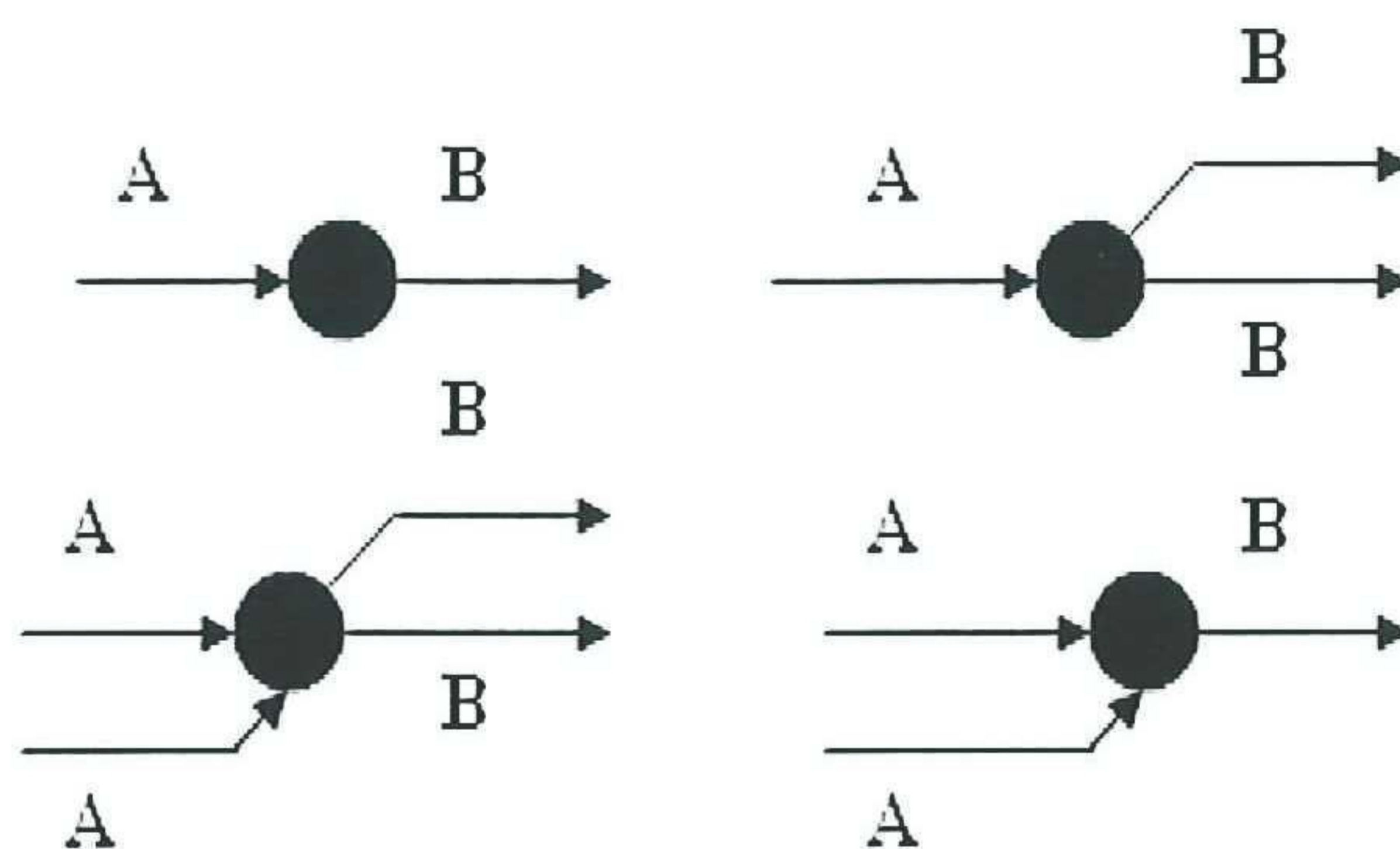
Afbeelding 9 Blok-trapdiagram met minimale opvolgtijd en buffertijd

De *buffertijd* in de dienstregeling dient voor het opvangen van verplaatsingen. Cruciaal bij het ontwerp van een dienstregeling is de gekozen grootte van de buffertijd. Voor een optimale benutting van de capaciteit wordt een zo klein mogelijke buffertijd geprefereerd, terwijl bij het voorkomen van vertragingen in de dienstuitvoering een grote buffertijd gewenst is. Deze twee belangen dienen tegenover elkaar te worden afgewogen bij het maken van de dienstregeling.

Op het *uitvoeringsniveau* kunnen ook nog altijd wachttijden ontstaan wanneer de buffertijden niet voldoende blijken te zijn. Als een trein een grotere vertraging heeft dan de buffertijd tussen deze trein en de opvolgende trein, dan ontstaat er voor deze opvolgende trein een zogenaamde *volgvertraging*. Ook wanneer een trein op een station moet wachten op een vertraagde trein om een overstap te garanderen kan er doorwerking van een beginvertraging van een trein op een andere trein plaatsvinden. De beginvertraging kan gezien worden als een *primaire vertraging*, terwijl de volgvertraging die afhankelijk is van de beginvertraging een *secundaire vertraging* is. De volgvertragingen vormen tezamen het totaal aan wachttijd op het uitvoeringsniveau en geven per tijdseenheid een indicatie van de kwaliteit van de dienstuitvoering. Met behulp van een model, waarmee voor een deel van de infrastructuur en een bijbehorende dienstregeling de totale wachttijd op het uitvoeringsniveau kan worden berekend, kan reeds vooraf een indicatie van de kwaliteit van de dienstregeling gegeven worden.

4.3 Modelleren van infra-elementen

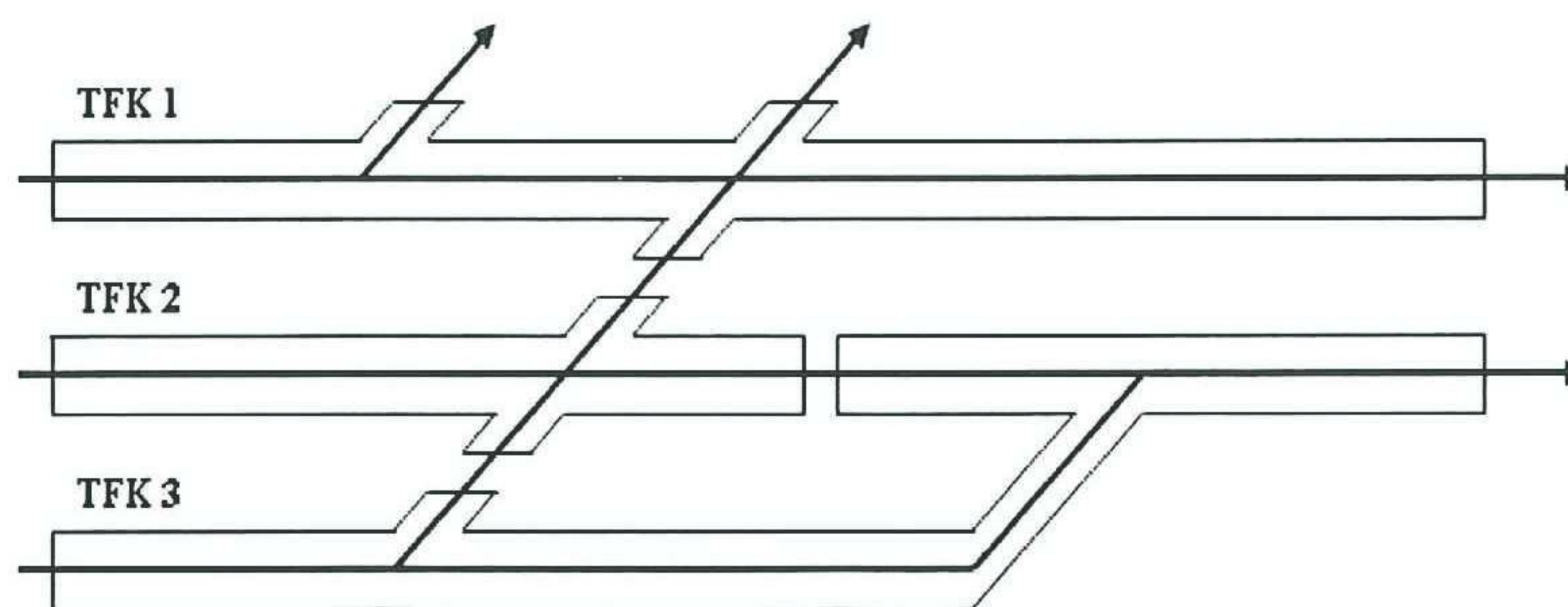
Voor de modellering van de infrastructuur wordt uitgegaan van de graaftheorie. De graaf is een netwerk van knopen en verbindingen, waarbij in dit geval elke knoop een infra-element voorstelt en iedere verbinding aangeeft welke infra-elementen met elkaar verbonden zijn. Aangezien een blok op de vrije baan ook een infra-element is, wordt deze ook met een knoop gemodelleerd.



afbeelding 10 : elementaire knooppunten: A = aanvoerkanaal, B = afvoerkanaal

Kenmerk van een infra-element in een railverkeerssysteem is, dat deze maar door één trein tegelijkertijd gepasseerd kan worden.

We noemen zo'n knoop dan ook wel een *elementair knooppunt* met een *enkelvoudig bedieningspunt*. Een trein arriveert op een knoop via een aanvoerkanaal. De opstelplaats van de treinen op het aanvoerkanaal, waar eventueel gewacht dient te worden alvorens de knoop bereden kan worden, wordt ook wel de *wachtrij* genoemd.



afbeelding 11 complexe knoop, onderverdeeld in TFK's

Op een hoger niveau kan ook een spooreplacement als één knoop beschouwd worden. We spreken dan van een *complex knooppunt*, dat op zijn beurt weer is onder te verdelen in elementaire knooppunten. Zoals reeds eerder aangegeven, heeft een *elementair knooppunt* als kenmerk, dat het tegelijkertijd maar voor één trein kan worden vrijgegeven. In dit geval kunnen er echter ook elementaire knopen met meer dan één wachtrij voorkomen. Op een spoorwegemplacement noemen we zo'n knooppunt een *deelspoorwegknooppunt*, oftewel met de meer gebruikte Duitse term; TFK (Teilfahrstraßenknoten). Een TFK is dus een elementaire knoop, waardoor het model zo overzichtelijk mogelijk blijft. Een rijweg op een emplacement

wordt begrensd door twee hoofdseinen en bevat één of meer elkaar opvolgende TFK's. Rijwegen die gemeenschappelijke TFK's hebben, kunnen nooit tegelijkertijd vrijgegeven worden, omdat een TFK maar door één trein tegelijkertijd bereden kan worden. Hierdoor ontstaan er wachttijden [Schwanhäußer, 1974; Wakob, 1985].

Door een complex spoorwegemplacement op deze manier terug te brengen tot een graaf van elementaire knopen en verbindingen, zijn de wachtprocessen eenvoudiger te modelleren en kunnen op een eenvoudigere wijze wachttijden en wachtrijen bepaald worden.

5 MODEL RWTH AACHEN

5.1 Bepalen van de lengte van de wachtrij

Met het empirische kansmodel van Schwanhäußer wordt het aandeel van de wachttijd in de totale voor de dienstuitvoering beschikbare tijd bepaald. Het betreft hier de totale wachttijd, die is ontstaan door volgvertragingen. Het aandeel van de wachttijd in de totale voor de dienstuitvoering beschikbare tijd wordt ook wel de *lengte van de wachtrij* genoemd. De lengte van de wachtrij is een dimensieloze waarde, die als maat kan worden gebruikt om een uitspraak te doen over de kwaliteit van de dienstregeling.

$$L_{WB} = \frac{W_{tot}}{T_{dienst}} \quad (1)$$

L_{WB} = Gemiddelde lengte van de wachtrij per TFK tijdens de dienstuitvoering [-]

W_{tot} = totale gemiddelde wachttijd per spoorwegknoop [min]

T_{dienst} = totale voor de dienstuitvoering beschikbare tijd [min]

De gemiddelde lengte van de wachtrij wordt voor alle tijdens de dienstuitvoering optredende opvolggevallen van de treinen voor iedere TFK in het spoorwegnetwerk afzonderlijk bepaald. De formule om de gemiddelde lengte van de wachtrij te bepalen, luidt als volgt [Schwanhäußer, 1974]:

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

Daarbij is de formule voor de term voor opvolggevallen van treinen met gelijke prioriteit:

$$SG = pG \cdot \left(1 - e^{-\frac{tZ_g}{tV_m}} \right)^2 \quad (3)$$

Daarbij is de formule voor de term voor opvolggevallen van treinen met verschillende prioriteit:

$$SV = (1 - pG) \cdot \frac{tZ_v}{tV_m} \cdot \left(1 - e^{-\frac{2 \cdot tZ_v}{tV_m}} \right) \quad (4)$$

Daarbij is de formule voor de term voor de invloed van langere wachtrijen:

$$SL = \frac{tZ_m}{tP_m} \cdot \left(1 - e^{-\frac{tZ_m}{tV_m}} \right)^2 \quad (5)$$

De betekenissen en eenheden van de parameters luiden als volgt:

tP_m = gemiddelde buffertijd [min]. Tijd waarin naar rekenkundig gemiddelde een eerste trein i vertraagd mag zijn, zonder dat deze een volgens dienstregeling rijdende tweede trein uit zijn positie brengt.

tZ_m = gemiddelde minimale opvolgtijd als rekenkundig gemiddelde van alle mogelijk opvolggevallen van de treinen [min].

tZ_g = gemiddelde minimale opvolgtijd als rekenkundig gemiddelde van alle treinen met dezelfde prioriteit [min].

tZ_v = gemiddelde minimale opvolgtijd als rekenkundig gemiddelde van alle treinen met ongelijke prioriteit [min].

tV_m = gemiddelde beginvertraging per vertraginggeval, per treinserie [min]

pV_e = kans op een beginvertraging per treinserie

pG = kans op het elkaar opvolgen van twee treinen met gelijke prioriteit.

5.2 Uitdrukking voor de kwaliteitsbeoordeling

Nadat de lengte van de wachtrij voor een bepaalde situatie bepaald is, kan met behulp van een vergelijking een uitspraak gedaan worden over de kwaliteit van de exploitatie. Deze kwaliteitsbeoordeling is op de omstandigheden op het spoor in Duitsland toegespitst, zodat de parameters in landen met andere omstandigheden kunnen verschillen. Als basis voor deze vergelijking is uitgegaan van een negatief exponentiële functie van de vorm [Schwanhäußer, 1974]:

$$L_{WB,bevr} = \alpha \cdot e^{-\beta \cdot pRz} \quad (6)$$

Hierbij zijn:

- $L_{WB,bevr}$ = Gemiddelde lengte van de wachtrij, waarbij de kwaliteit van de exploitatie op een bevredigend niveau ligt [-]
 PRz = kans op een reizigerstrein op het totaal van treinen [-]
 α en β = empirisch te bepalen parameters [-]

De vergelijking laat zien dat de lengte van de wachtrij met bevredigende kwaliteit alleen afhankelijk wordt gemaakt van het percentage reizigerstreinen op het totaal van treinen tijdens de beoordeelde periode. De niet-reizigerstreinen betreft hier voor het overgrote deel goederentreinen. Hoe groter het percentage reizigerstreinen, des te kleiner wordt $L_{WB,bevr}$. Uitgangspunt hierbij is, dat er bij goederentreinen een grotere vertraging geaccepteerd wordt dan bij reizigerstreinen, waardoor bij een groter aandeel niet-reizigerstreinen de lengte van de wachtrij mag oplopen. α en β zijn parameters die empirisch bepaald zijn met behulp van data van de Deutsche Bahn. Hierbij is als eis gesteld dat bij een gegeven verhouding van reizigers- en goederentreinen, de som van de volgvertragingen maximaal tussen de 130 en 300 minuten per etmaal mag liggen [Sitzmann et al, 1990]. In het geval, dat 100% van de treinen reizigerstreinen zijn, is de som maximaal 130 minuten. Dit levert voor α een waarde van 0.257 en voor β een waarde van 1.3 op. De vergelijking voor de kwaliteitsbeoordeling luidt dan als volgt:

$$L_{WB,bevr} = 0.257 \cdot e^{-1,3}$$

(7)

Nu zowel de lengte van de wachtrij bij een bepaalde dienstuitvoering als de aanvaardbare lengte van de wachtrij voor diezelfde situatie bepaald zijn, kan er een kwaliteitsbeoordeling plaatsvinden door de verhouding van deze waarden te bekijken [Schwanhäußer, 1994]:

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

(8)

Hierbij is qB de kwaliteitsnorm, waarbij voor een aantal waarden een bijbehorende kwaliteitsindicatie van de dienstuitvoering is gegeven. Ook deze waarden zijn toegespitst op de situatie op het Duitse spoorwegnet.

kwaliteitsindicatie	Zeer goed	aanvaardbaar	Niet aanvaardbaar
qB	0.5	1.0	1.5

tabel 4 kwaliteitsnorm [Schwanhäußer, 1994]

6 VERTRAGINGEN OP ROTTERDAM CENTRAAL

6.1 Aankomstvertragingen

De aankomstvertragingen, die met behulp van de TNV-data bepaald zijn, worden als input gebruikt voor de beginvertragingen van het model. De aankomstvertragingen zijn voor treinen vanuit Dordrecht naar Rotterdam bepaald. Voor de eenvoud van het model zijn de vertragingverdelingen voor treinen vanuit de andere richting als gelijk aan die voor treinen vanuit Dordrecht naar Rotterdam gesteld. Als criterium om te bepalen of een trein vertraagd is, wordt de aankomsttijd, zoals vermeld in het spoorboekje gebruikt. In tabel 5 is het percentage treinen dat vertraagd is, weergegeven en hoe groot de gemiddelde vertraging van deze vertraagde treinen is.

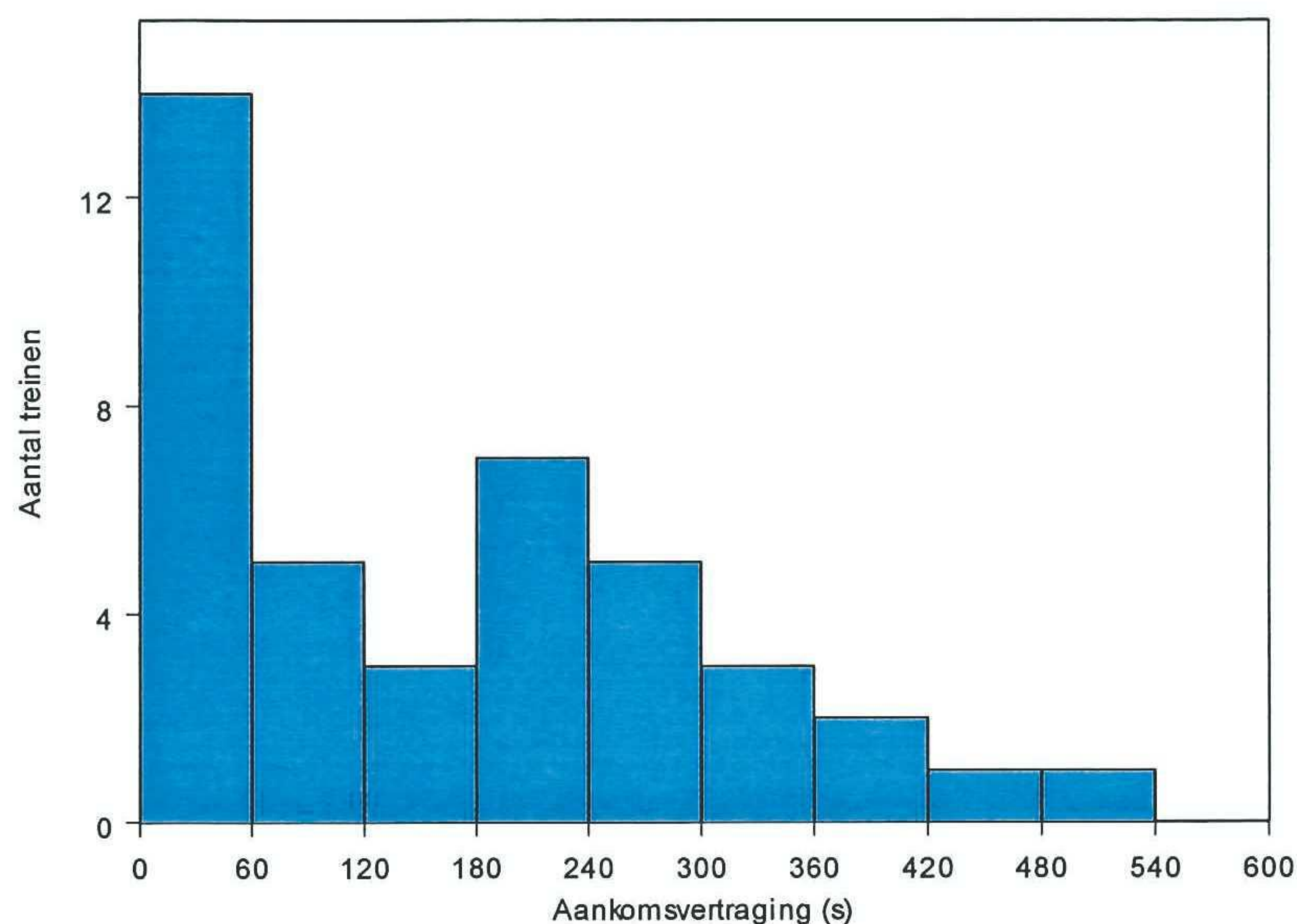
Trein serie	Traject	Aantal metingen	Aandeel vertraagde treinen		vertraging van de vertraagde treinen			
					Gemiddelde (s)		Standaarddeviatie (s)	
			Tot.	> 1 minuut	Tot.	> 1 minuut	Tot.	> 1 minuut
1900	IC (Venlo-Den Haag)	92	0.54	0.36	203	235	210	206
2100	IC (Vlissingen-A'dam)	102	0.41	0.27	192	181	197	103
2200	Sneltrein (Breda-A'dam)	180	0.18	0.08	123	187	201	251
2400	IC (Dordrecht-A'dam)	98	0.38	0.29	208	214	221	225
2500	IC (Heerlen-Den Haag)	97	0.64	0.48	274	299	335	350
5000	Stoptrein (Dordrecht-Leiden)	180	0.61	0.26	89	111	119	147
5100	Stoptrein (Den Haag-R'sendaal)	229	0.48	0.19	148	171	158	161
600	Beneluxtrein (Brussel-A'dam)	89	0.35	0.26	248	203	202	192

tabel 5 Aankomstvertragingen op Rotterdam Centraal van treinen komende uit de richting Dordrecht

Opvallend is dat het percentage treinen met vertraging zeer groot is. Van de serie 2500 komt zelfs 64 % van de treinen met vertraging aan. Het percentage treinen dat meer dan 1 minuut te laat arriveert ligt ruimschoots lager. Een groot aantal treinen arriveert met een kleine vertraging. Om afwijkingen in het model te voorkomen, door de grote invloed van het percentage beginvertragingen op de kwaliteitsbeoordeling, zijn hiervoor de treinen met minder dan een minuut vertraging niet meegenomen. De percentages en gemiddelde vertraging van treinen die meer dan 1 minuut te laat zijn, dienen als input voor het model.

Verder blijkt uit de tabel, dat de intercitytreinen meer vertraging hebben dan de stop- en sneltreinen. Ook is er onderscheid tussen de intercity's uit zuidoost-Nederland (serie 1900 en 2500) en de intercity uit Vlissingen (serie 2400). De treinen uit zuidoost-Nederland blijken meer vertraging te hebben.

In afbeelding 12 is de verdeling van de vertragingen van serie 2100 grafisch weergegeven. Ook hierin is het grote aantal kleine vertragingen duidelijk zichtbaar.



afbeelding 12 Aankomstvertragingen van serie 2100 op Rotterdam Centraal komende uit de richting Dordrecht

6.2 Halteertijden

De halteertijd is de tijd die een trein daadwerkelijk aan het perron stil staat. Er zijn geen exacte TNV-data van de halteertijden voorhanden. Het ontruimingstijdstip van de laatste sectie vóór het perronspoor en de aanvang van de bezettingstijd van de eerste sectie na het perronspoor worden als uitgangspunt genomen. Naar aanleiding van enkele metingen op Rotterdam Centraal is er een schatting gemaakt van het aantal seconden tussen ontruimingstijdstip en het tot stilstand komen van de trein, en het aantal seconden tussen vertrek en bezetting van de eerstvolgende sectie. Als vertrektijdstip is bij de metingen “het sluiten van de deuren” aangenomen. De aangenomen waarden staan in tabel 6.

	Spoor 8	Spoor 9
Aankomst	10 s	10 s
Vertrek	25 s	38 s

tabel 6 Extrapolatiewaarden op de gemeten tijden

De bezettingstijd van een perronspoor is niet alleen afhankelijk van de halteertijd. Het perronspoor dient namelijk al ontruimd te zijn, voordat een opvolgende trein het inrijsein van het emplacement passeert. De totale bezettingstijd van een perronspoor is dan het tijdstip van het passeren van het inrijsein door de kop van de trein tot het vrijmaken van de perronsectie door de staart van diezelfde trein. De bezettingstijden en halteertijden van de treinen op de sporen 8 en 9 (treinen richting Den Haag) zijn weergegeven in tabel 7. De geplande halteertijden zijn hierbij ook vermeld.

Trein serie	Traject	Gemeten Bezettingstijd perronspoor		Geplande halteertijd (s)	Benaderde halteertijd perronspoor	
		Gem. (s)	Stdev.		Gem. (s)	Stdev.
1900	IC (Venlo-Den Haag)	276	58	120	146	55
2100	IC (Vlissingen-A'dam)	303	82	120	201	84
2200	Sneltrein (Breda-A'dam)	228	76	60	127	77
2400	IC (Dordrecht-A'dam)	302	101	120	198	96
2500	IC (Heerlen-Den Haag)	284	62	120	140	52
5000	Stoptrein (Dordrecht-Leiden)	252	92	120	149	92
5100	Stoptrein (Den Haag-R'sendaal)	301	88	180	211	88
600	Beneluxtrein (Brussel-A'dam)	342	90	180	233	86

tabel 7 Bezettingstijden en halteertijden van de sporen 8 en 9 op Rotterdam Centraal

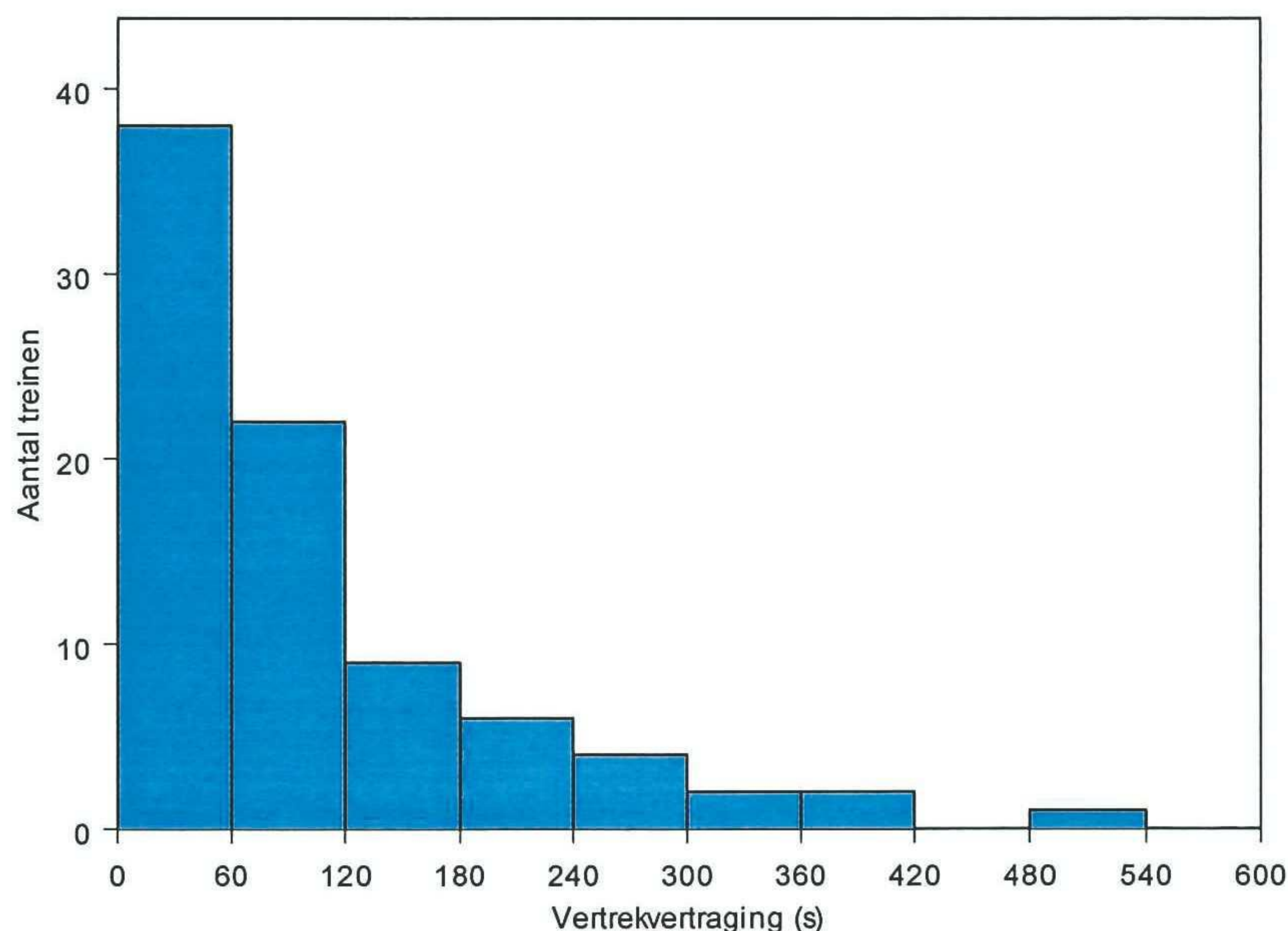
Uit tabel 7 valt direct op te maken, dat alle treinseries gemiddeld langer halteren bij het perron dan in het spoorboekje vermeld staat. Dit wordt veroorzaakt, doordat treinen vroeger dan gepland arriveren, maar ook doordat ze later dan gepland vertrekken. De vertrekvertragingen worden in paragraaf 6.3 vermeld. Uit de bezettingstijden zijn de bezettingsgraden van de perronsporen 8 en 9 te bepalen. Als aanvangstijdstip voor de bezetting wordt het passeren van het inrijsein genomen. De bezetting eindigt wanneer de staart van de trein de perronsectie verlaten heeft. Hierbij wordt uitgegaan van de dienstregeling, zoals vermeld in tabel 1 en tabel 2, uitgezonderd de serie 9300 (Thalys), die in de ochtendspits niet in de richting Den Haag rijdt.

	Spoor 8	Spoor 9
Bezettingsgraad	0.434	0.419

tabel 8 Bezettingsgraad van de sporen 8 en 9

6.3 Vertrekvertragingen

Op een enkele bijzonderheid na, zullen bij vertrek alle treinen op tijd, of te laat vertrekken. Er zullen geen treinen voor hun vertrektijd, zoals aangegeven in het spoorboekje, weggrijden. De verdeling van de vertragingen zal er hierdoor heel anders uitzien dan bij de aankomstvertragingen. In afbeelding 13 is de verdeling van vertrekvertragingen bij de serie 2100 vertrekkende in de richting Den Haag weergegeven. De verdeling lijkt hier sterk op een negatief exponentiële verdeling. In dit geval zal de mediaan dan ook sterk afwijken van het gemiddelde. Om een beter beeld te krijgen van de verdeling van de vertrekvertragingen worden in tabel 9 ook de medianen vermeld.



afbeelding 13 Vertrekvertragingen van serie 2100 op Rotterdam Centraal komende uit de richting Dordrecht

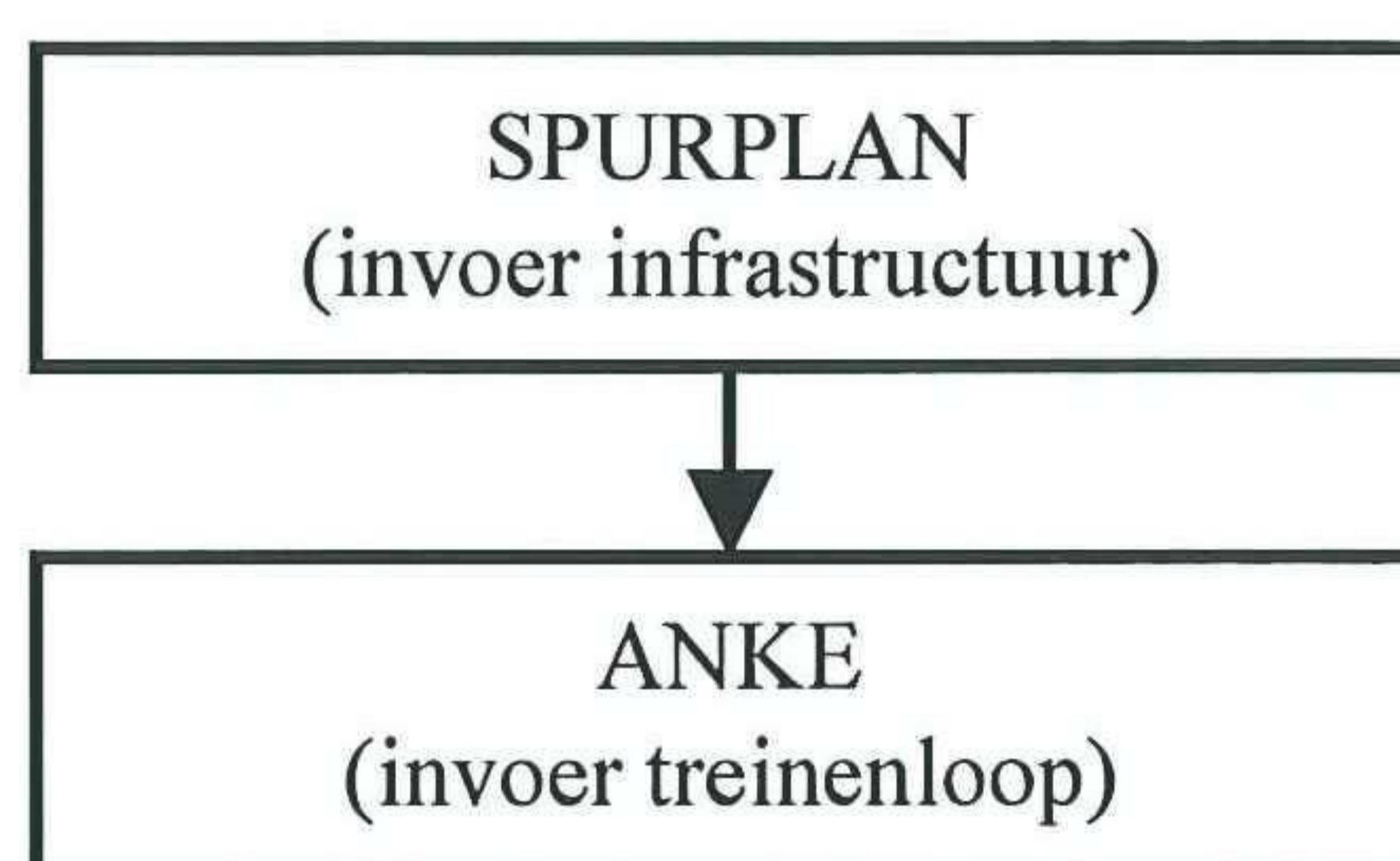
De medianen van de vertrekvertragingen zijn gering. Het hoge gemiddelde en de grote standaarddeviatie duiden er dan op dat er enkele treinen per serie een zeer grote vertraging hebben, maar dat de meeste treinen binnen een minuut na de geplande vertrektijd vertrekken. Aangezien de halteertijden langer bleken dan gepland (zie tabel 7), duidt dit er op dat er te veel buffers op het traject voor Rotterdam zijn. Dit leidt echter niet tot complicaties langs de perrons, omdat de capaciteit van de perronsporen toereikend is (tabel 8).

Trein serie	Traject	Aantal metingen	vertrekvertragingen van de treinen		
			Mediaan (s)	Gemiddelde (s)	Standaarddeviatie (s)
1900	IC (Venlo-Den Haag)	92	63	145	193
2100	IC (Vlissingen-A'dam)	102	68	100	100
2200	Sneltrein (Breda-A'dam)	180	27	62	141
2400	IC (Dordrecht-A'dam)	98	41	100	137
2500	IC (Heerlen-Den Haag)	97	66	203	313
5000	Stoptrein (Dordrecht-Leiden)	180	45	94	136
5100	Stoptrein (Den Haag-R'sendaal)	229	32	91	131
600	Beneluxtrein (Brussel-A'dam)	89	20	87	153

tabel 9 Vertrekvertragingen op Rotterdam Centraal van treinen vertrekkende in de richting Den Haag

7 MODELLERING MET COMPUTERPAKKET ANKE

Op welke wijze de spoorweginfrastructuur zodanig is te modelleren, dat de wachtprocessen kunnen worden nagebootst is in hoofdstuk 4 te lezen. De achtergronden van het model van Schwanhäuser, dat dit wachtproces nabootst, zijn in hoofdstuk 5 terug te vinden. Met behulp van deze achtergronden is aan de RWTH Aachen het computerpakket ANKE (Analytische Ermittlung der Kapazität des Eisenbahnnetzes) ontwikkeld, waarmee de capaciteitsbenutting van een nader aan te geven deel van de spoorweginfrastructuur te bepalen is. Het computerprogramma bestaat uit twee modules; SPURPLAN voor het invoeren van de infrastructuur en ANKE voor het invoeren van de treinenloop en het maken van de capaciteitsberekening.



afbeelding 14 Opbouw van het programmapakket

7.1 Modelleren van de infrastructuur in SPURPLAN

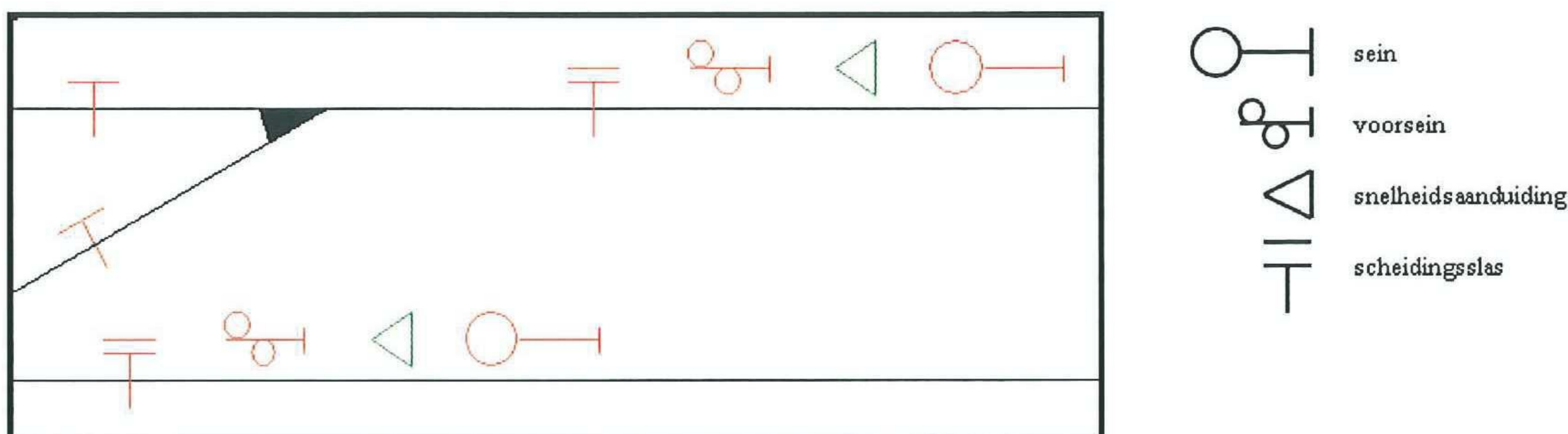
Het te onderzoeken gebied is het emplacement van Rotterdam Centraal. Om de capaciteitsberekening uit te voeren dient niet alleen het emplacement te worden ingevoerd, maar ook de aan- en afvoerende sporen tot de eerstvolgende stations waar alle treinen weer halteren. In dit geval strekt de infrastructuur zich dan ook uit van Den Haag HS tot aan Dordrecht. Hierbij wordt het te onderzoeken emplacement, Rotterdam Centraal, gedetailleerd ingevoerd en kan bij de aan- en afvoerende baanvakken worden volstaan met de doorgaande sporen en de inhaalmogelijkheden.

Om de capaciteitsberekening uit te kunnen voeren, dienen de volgende infrastructuurelementen te worden ingevoerd:

- wissels
- seinen
- locaties van sectie-overgangen
- hellingen
- halteplaatsen
- toegestane snelheden (baanvakken en wissels)

Verder dienen de mogelijke rijwegen te worden ingevoerd. Deze rijwegen zijn met behulp van de in de TNV-prepare gegenereerde data gevonden (zie paragraaf 3.3). Nadat de rijwegen zijn ingevoerd kunnen met behulp van ANKE de mogelijke conflictpunten, de in hoofdstuk 4

beschreven TFK's, worden vastgesteld. In afbeelding 15 is een deel van de infrastructuur van een spooreplacement weergegeven, zoals dat in SPURPLAN gepresenteerd wordt.



afbeelding 15 Voorbeeld van de grafische representatie van de infrastructuur in SPURPLAN

Elemente des markierten Abschnitts:			
83.590 275B	EW E Spitze		RDAMCS
83.600	SZSS F	Fa: 3.00 s	RDAMCS
83.610 274	Vorsignal F	Fb: 9.00 s	RDAMCS
83.610	Geschw. F	zul. V: 40.00 km/h	RDAMCS
83.610 274	Hauptsig. F	DFa: 3.00 s	RDAMCS
83.854	FZSS F	Fa: 3.00 s	RDAMCS
83.955 216BT	Km-Ende 1		RDAMCS

afbeelding 16 Voorbeeld van een lijst van infrastructuurelementen in SPURPLAN

7.2 Modelleren van de treinenloop in ANKE

De verschillende treindiensten die worden gereden, dienen in ANKE te worden ingevoerd. Per treindienst zijn de volgende gegevens benodigd:

- Gegevens voor de identificatie van de treindienst, zoals; serienummer, soort dienst, traject.
- Type trein, waarmee de dienst gereden wordt.
- Frequentie van de treindienst en het tijdstip waarop de trein het onderzoeksgebied inrijdt.
- Kans op een beginvertraging (Pve) per dienst en de grootte van de gemiddelde beginvertraging (tVm) bij het binnen rijden van het onderzoeksgebied indien de trein daadwerkelijk vertraagd is.
- Plaats die de dienst inneemt in de hiërarchie tussen de verschillende diensten die op het traject uitgevoerd worden. Er dient een kengetal te worden ingevoerd, waarbij het getal 1 correspondeert met de treindienst met de hoogste prioriteit en het hoogste cijfer met de treindienst met de laagste prioriteit.
- De rijweg van de treinen door het onderzoeksgebied, die in niet verstoorde toestand gevolgd zal worden.
- Stations in het onderzoeksgebied, waar de trein stopt en de tijdsduur per stop.

Bij de invoer van het treintype waarmee de dienst gereden wordt, kan er gekozen worden uit een groot aantal treintypen. In de lijst ontbreken echter de meeste voertuigen waarmee in Nederland

gereden wordt. Om de werkelijke situatie zo goed mogelijk te benaderen is er voor gekozen om een aantal Nederlandse treintypen aan deze lijst toe te voegen. De volgende treintypen zijn aan de lijst toegevoegd:

- 2xmDDM3
- 2xIRM4
- loc1800 + 9 ICR

Nieuwe treintypen kunnen niet in ANKE zelf ingevoerd worden. Hiervoor dienen een aantal data-files met behulp van een editor bewerkt te worden. Om een nieuw treintype aan de lijst toe te kunnen voegen zijn de volgende gegevens van het materieel benodigd:

- lengte, massa en maximum snelheid, en of het een losse locomotief, dan wel een treinstel betreft.
- Toeslag voor de roterende massa
- Weerstandscoefficienten p_1 , p_2 en p_3 om de weerstand met behulp van de volgende formule te kunnen berekenen:

$$W = m * g * p_1 + p_2 * V + p_3 * (V + VW)^2$$

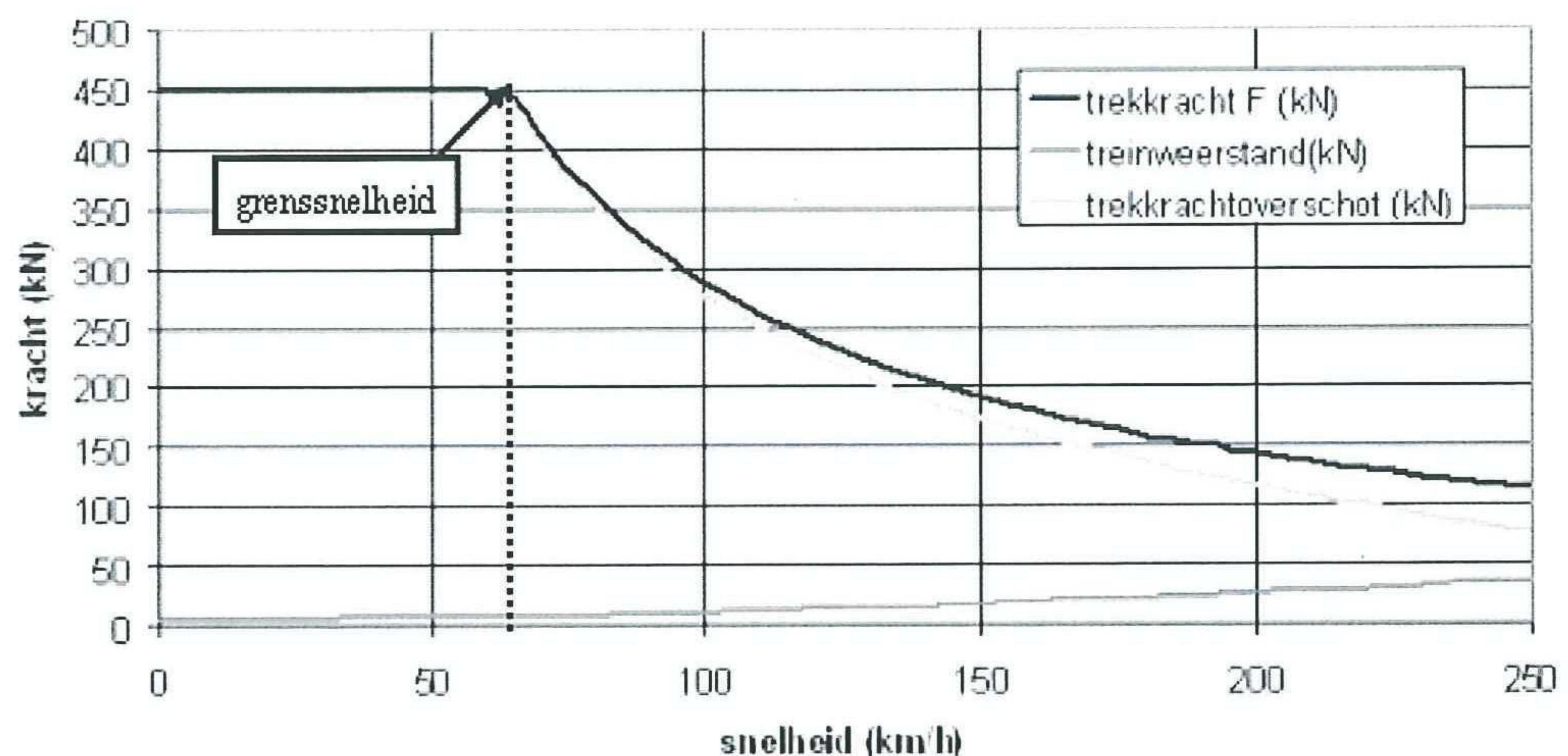
($W[N]$ = weerstand, $m[t]$ = massa van het voertuig, $V [km/h]$ = snelheid voertuig, $VW[km/h]$ = windsnelheid in de rijrichting)

- Hyperboolcoëfficiënt voor de berekening van trekkracht van de trein naar de formule:

$$Z = hl * 360000 / V$$

($Z[N]$ = trekkracht, $V[km/h]$ = snelheid voertuig, hl = hyperboolcoëfficiënt, die het vermogen van de trein in Megawatt weergeeft).

- Grenssnelheid, daaronder de adhesiekracht van de trein maatgevend is voor de trekkracht die de trein voor zijn voortbeweging gebruiken kan (volgens de lineaire vergelijking $Ax+B$). Boven deze grenssnelheid is het vermogen van de trein maatgevend en kan de trekkracht met de bovenstaande hyperboolfunctie bepaald worden (zie afbeelding 17).



afbeelding 17 Voorbeeld van het verloop van de trekkracht van een trein uitgezet tegen de snelheid

Verder dienen er in ANKE een aantal algemeen geldende waarden voor het onderzoeksgebied te worden ingevoerd:

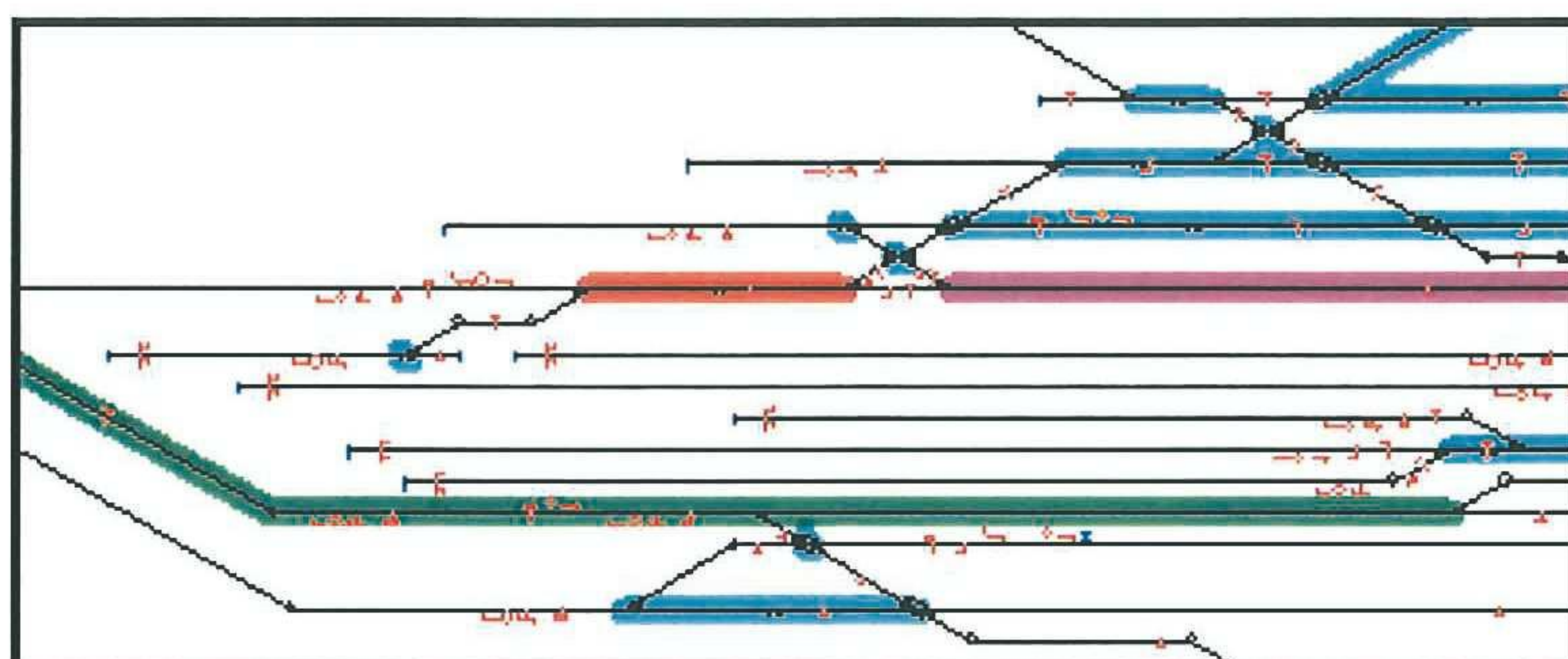
- Tijdsperiode waarin de capaciteitsbenutting bepaald dient te worden. In dit geval is dat de ochtendspits tussen 6.00 en 10.00 uur.
- Dispositieconstante M_f . Deze waarde geeft aan, op basis van het aantal verschillende rangen die er in de hiërarchie van treindiensten voorkomen, in hoeverre de volgorde strikt gehanteerd wordt, dan wel minder strikt.

7.3 Capaciteitsberekening

Alvorens met behulp van ANKE de werkelijke capaciteitsberekening wordt uitgevoerd, worden met behulp van het programma eerst een aantal andere berekeningen gemaakt. De uitkomsten hiervan zijn noodzakelijk voor de capaciteitsberekening, maar worden ook afzonderlijk door het programma weergegeven. De volgende berekeningen worden in ANKE uitgevoerd, wanneer alle parameters en variabelen een waarde zijn gegeven:

- Rijtijd door het onderzoeksgebied per treindienst
- Bloktijden per treindienst
- Minimale opvolgtijden van de verschillende treindiensten
- Kans op het elkaar opvolgen van twee verschillende treindiensten
- Blok-trapdiagram

Wanneer al deze berekeningen zijn uitgevoerd kan tenslotte de capaciteitsberekening gemaakt worden.



afbeelding 18 Voorbeeld van de grafische weergave van de kwaliteitsbeoordeling van de TFK's

Bij de capaciteitsberekening wordt de totale wachttijd per TFK berekend, die door conflicten in deze TFK ontstaat. Hieruit volgt dan de lengte van de wachtrij en een beoordeling van de kwaliteit van de exploitatie in de TFK. Deze wordt in tabelvorm gepresenteerd. Met behulp van verschillende kleuren wordt per TFK ook grafisch de kwaliteitsbeoordeling weergegeven (zie afbeelding 18).

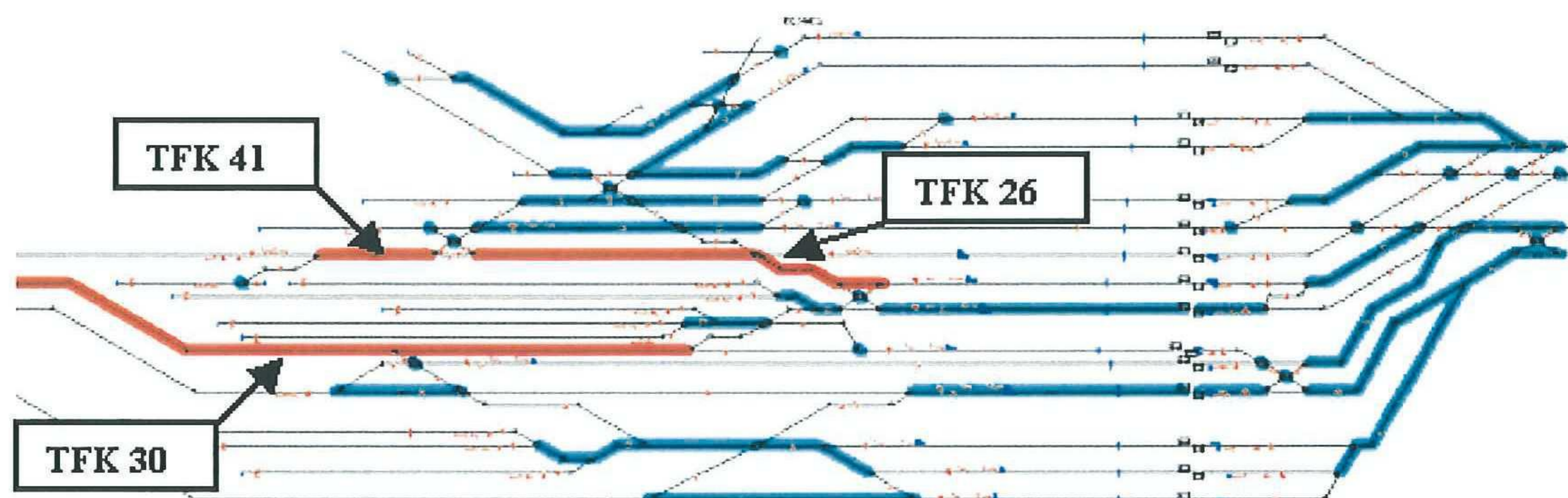
De capaciteit van de perronsporen kan met behulp van ANKE niet worden berekend. Wanneer een trein meer dan één perronspoor ter beschikking heeft, zal er bij een berekening met ANKE van worden uitgegaan dat de perroncapaciteit oneindig is. Wanneer men vermoedt dat de capaciteit van de perronsporen maatgevend is voor het capaciteitsprobleem, dient er een aparte berekening te worden uitgevoerd. Om te bepalen of de perroncapaciteit voldoende is, kan er bijvoorbeeld gebruik worden gemaakt van de methode van Hertel [Wegener, 1999]. Aangezien dit onderzoek zich richt op de vergelijking van het model van Schwanhäußer met de werkelijkheid, zal hier in dit rapport niet verder op in worden gegaan. In hoofdstuk 7 is wel de bezettingsgraad van de perronsporen 8 en 9 bepaald ter indicatie van de benutting van de perronsporen.

Voor een eerste berekening moet er een schatting gemaakt worden voor enkele van de parameters en variabelen in het model:

- Dispositieconstante M_f . De dispositie is verder afhankelijk van het aantal verschillende rangen. Gekozen waarden $M_f = 8.0$ aantal rangen = 5. (in paragraaf 6.4 wordt door middel van een gevoeligheidsanalyse dieper ingegaan op de keuze voor deze waarden)
- Kans op een beginvertraging P_{ve} en de grootte van de beginvertraging t_{Vm} , indien er vertraging optreedt bij het binnenrijden van het onderzoeksgebied. Voor treinen vanuit Dordrecht worden de gemeten aankomstvertragingen op Rotterdam Centraal, zoals vermeld in hoofdstuk 6 gebruikt. Voor de treinen die bij Den Haag het onderzoeksgebied binnenrijden worden dezelfde waarden gebruikt.

De aankomstvertragingen op Rotterdam Centraal zijn een goede benadering voor de beginvertragingen van de treinen wanneer deze vlak voor het emplacement het onderzoeksgebied binnenrijden. Aangezien de spoorlijn vanuit Dordrecht richting Rotterdam twee sporen heeft, zullen eventuele kritische punten zich niet voor het punt van binnenrijden van het emplacement bevinden. Ter hoogte van de uitgang van Willemspoortunnel zullen de treinen dan met de gemeten aankomstvertragingen als beginvertragingen het onderzoeksgebied binnenrijden. Vanwege de beperkte tijd voor het onderzoek zijn de waarden van de beginvertragingen voor treinen uit de richting Den Haag per treinserie hetzelfde aangenomen als de beginvertragingen van de treinen uit de richting Dordrecht.

Voor iedere TFK afzonderlijk zal met behulp van ANKE nu een kwaliteitsbeoordeling van de benutting van de betreffende TFK tijdens de dienstuitvoering gegeven worden. In afbeelding 19 is de kwaliteitsbeoordeling voor de TFK's op Rotterdam visueel weergegeven met de hierboven genoemde waarden voor de parameters.



afbeelding 19 Overzicht emplacement Rotterdam Centraal met TFK's

Op afbeelding 19 is te zien dat de belasting op de meeste TFK's gering is. Ook worden een aantal TFK's niet berekend, aangezien de treinen van de Goudse lijn niet zijn ingevoerd. Dit is ook niet nodig, omdat er bij deze lijn ook geen interactie met de Oude Lijn plaatsvindt. De TFK's die volgens het model het zwaarst belast worden, zijn in tabel 10 vermeld, inclusief de totale som van de wachttijd, het bijbehorende gemiddelde van de wachtrij en de kwaliteitsfactor q_B . Alle overige TFK's op het emplacement hebben een waarde voor q_B van minder dan 0.5, zodat het verschil tussen de drie meest belaste TFK's en de rest zeer groot is.

TFK	Omschrijving	Tot. wachttijd [min]	Gem. wachtrij	q_B
41	Westzijde bij het uitrijden van het emplacement	43.96	0.1832	2.615
26	Westzijde bij samenvoeging perronsporen 8 en 9	41.42	0.1726	2.464
30	Westzijde bij binnenrijden van het emplacement	27.55	0.1148	1.639

tabel 10 Resultaat van de capaciteitsberekening in de tijdsperiode 6.00-10.00 uur voor de meest belaste TFK's

Aangezien deze 3 TFK's allen een kwaliteitsfactor hebben, die groter is dan 1.5, zijn ze volgens de in het model gehanteerde norm (zie tabel 4) overbelast. Deze drie knelpunten bevinden zich allen ten westen van het emplacement, waar slechts één inrij- en één uitrijspoor voorhanden zijn.

7.4 Gevoeligheidsanalyse

In een eenvoudige gevoeligheidsanalyse wordt de invloed van de meest onzekere variabelen op de resultaten van de capaciteitsberekening bekeken. Allereerst is er de dispositieconstante die in combinatie met het aantal rangen invloed heeft op het omdraaien van de treinvolgorde. Ten tweede wordt de invloed van de beginvertragingen bekeken. Uitgangspunt is de 0-situatie, zoals beschreven in paragraaf 7.3. De dispositieconstante is dan $M_f = 8$, het aantal rangen = 5 en de waarden voor p_{Ve} en t_{Vm} zijn de gemeten aankomstvertragingen. Voor alle vier de variabelen wordt een capaciteitsberekening uitgevoerd bij zowel een lagere als een hogere waarde voor de betreffende variabele. De resultaten van deze capaciteitsberekeningen zijn te vinden in tabel 11.

Variant	Gewijzigde variabele	TFK 41		TFK 26		TFK 30	
		Tot. Wachtijd [min]	qB	Tot. Wachtijd [min]	qB	Tot. Wachtijd [min]	qB
Mf kleiner	Mf = 4	47.99	2.855	45.55	2.710	34.04	2.025
0-situatie	Mf = 8	43.96	2.615	41.42	2.464	27.55	1.639
Mf groter	Mf = 12	45.12	2.684	42.16	2.508	26.96	1.604
Minder rangen	Aantal = 3	43.54	2.590	40.45	2.406	26.06	1.551
0-situatie	Aantal = 5	43.96	2.615	41.42	2.464	27.55	1.639
Meer rangen	Aantal = 10	47.99	2.855	45.55	2.710	34.04	2.025
pVe kleiner	-10%	28.78	1.712	27.15	1.615	17.14	1.019
0-situatie		43.96	2.615	41.42	2.464	27.55	1.639
pVe groter	+10%	58.21	3.463	54.82	3.261	36.54	2.174
tVm kleiner	-1 minuut	30.02	1.786	28.31	1.684	18.05	1.074
0-situatie		43.96	2.615	41.42	2.464	27.55	1.639
tVm groter	+1 minuut	54.73	3.256	51.70	3.076	34.3	2.041

tabel 11 Resultaten van de capaciteitsberekeningen voor de gevoeligheidsanalyse in de tijdsperiode 6.00-10.00 uur.

Na het analyseren van de verschillende capaciteitsberekeningen blijken de TFK's 41, 26 en 30 altijd als de drie meest belaste TFK's naar voren te komen. Het verschil met de overige TFK's blijft even groot als in de 0-situatie. Uit tabel 11 blijkt verder dat de onderlinge volgorde van de 3 meest belaste TFK's ook onveranderd blijft.

Ten aanzien van de verschillende variabelen zijn een aantal opmerkingen te plaatsen:

- Tussen $Mf = 8$ en $Mf = 12$ verandert qB nauwelijks. Wanneer Mf veel kleiner wordt genomen ($Mf = 4$) wordt de beoordeling negatiever.
- Het verkleinen van het aantal rangen heeft weinig effect op qB . Bij een verdubbeling van het aantal rangen wordt de beoordeling negatiever
- Bij een vermindering van pVe wordt de beoordeling ongeveer even positiever als dat deze bij een 10% grotere kans op een beginvertraging negatiever wordt.
- Bij een verkleining van de vertragingen met 1 minuut wordt de beoordeling ongeveer even positiever als dat deze bij een vergroting van de vertragingen negatiever wordt.

De invloed van de prioriteitsregels blijkt aan de hand van de uitkomsten bij grote waarden voor Mf en een klein aantal rangen onderling niet veel te verschillen. Een combinatie van weinig rangen en een hoge Mf -waarde geeft aan dat er weinig hiërarchie in het treinsysteem zit. Deze situatie is vergelijkbaar met de situatie op het Nederlandse spoor, waar ook weinig strak hiërarchische regels worden toegepast (zie bijlage 2). De invloed van de kans op en de grootte van de beginvertragingen op de kwaliteit van de dienstregeling blijkt wel groot te zijn. Meer en

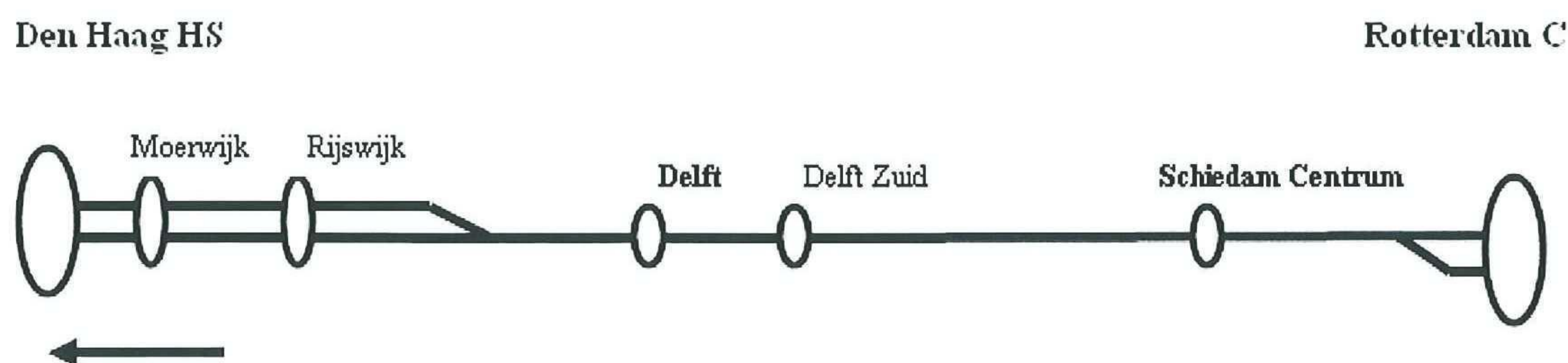
een grotere kans op vertraging blijkt de beoordeling sterk negatief te beïnvloeden. Evenzo levert een vermindering van de vertragingen een sterke verbetering van de kwaliteit op. Voor het verdere onderzoek wordt vastgehouden aan de 0-situatie. De prioriteitsregels lijken de Nederlandse situatie namelijk redelijk te benaderen.

Aangezien in alle situaties TFK 41 als meest belaste deel van het emplacement naar voren komt, zal het nadere onderzoek in dit rapport zich toespitsen op dit conflictpunt.

8 VERGELIJKING VAN HET MODEL MET DE WERKELIJKE SITUATIE

8.1 Analyse van de meest belaste TFK

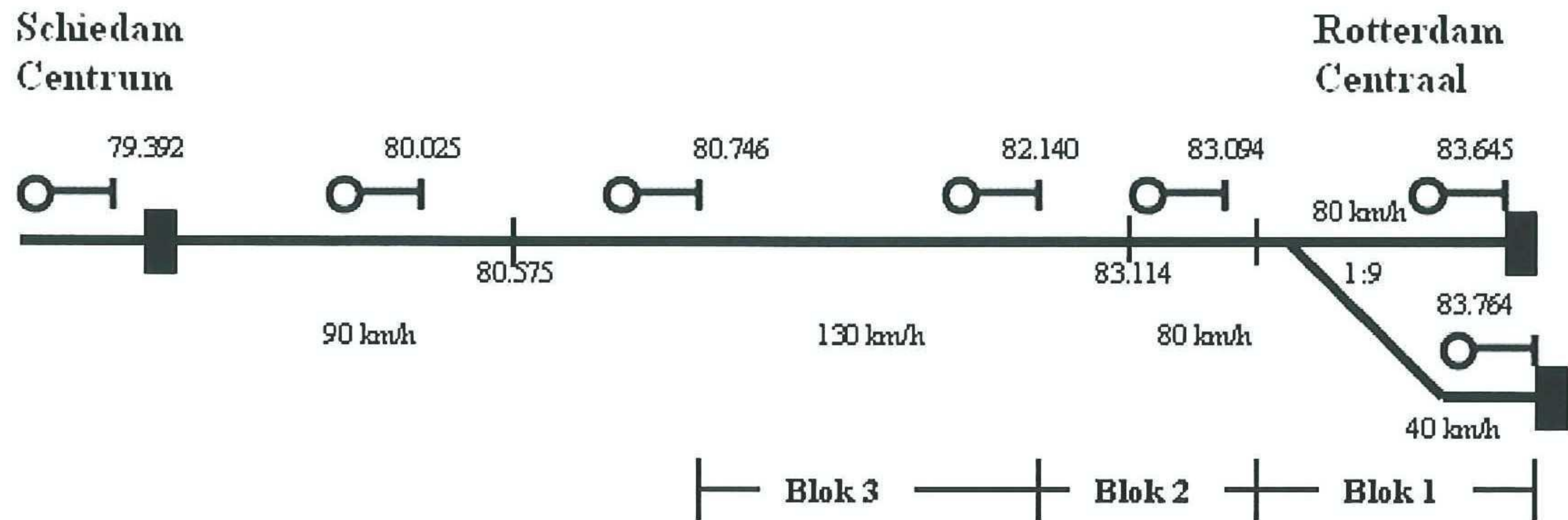
In de paragrafen 7.3 en 7.4 kwam TFK 41 als meest belaste onderdeel van het emplacement naar voren. Met behulp van TNV-prepare zijn de TNV-tabellen met informatie over bezettingstijden gegenereerd uit de log-files van de maand september 1999. Met de informatie uit het model en de informatie uit de TNV-data zal er nu een vergelijking worden gemaakt. Een directe vergelijking van de modeluitkomsten met de werkelijkheid is echter niet mogelijk. Met behulp van het model wordt de wachttijd berekend die in een TFK ontstaat in een tijdsperiode, terwijl uit de data alleen vertragingen zijn te genereren. Een vertraging van een trein op een bepaalde locatie is een combinatie van verschillende wachttijden, die op verschillende plaatsen tijdens de dienst ontstaan zijn. Waar precies en hoeveel wachttijd ieder onderdeel van het traject heeft toegevoegd kan niet meer achterhaald worden, omdat een deel van deze wachttijden buiten het onderzoeksgebied opgedaan is. Om toch te kunnen zien of er zich in de werkelijkheid ook problemen bij deze TFK voordoen, zullen een aantal mogelijke oorzaken voor de hoge belasting worden onderzocht, waarbij wel een vergelijking van de modeluitkomsten met de werkelijkheid mogelijk is, zoals snelheden, rijtijden, bezettingstijden en opvolgtijden. In deze paragraaf worden een aantal mogelijke redenen voor de hoge waarde van q_B in TFK 41 opgevoerd.



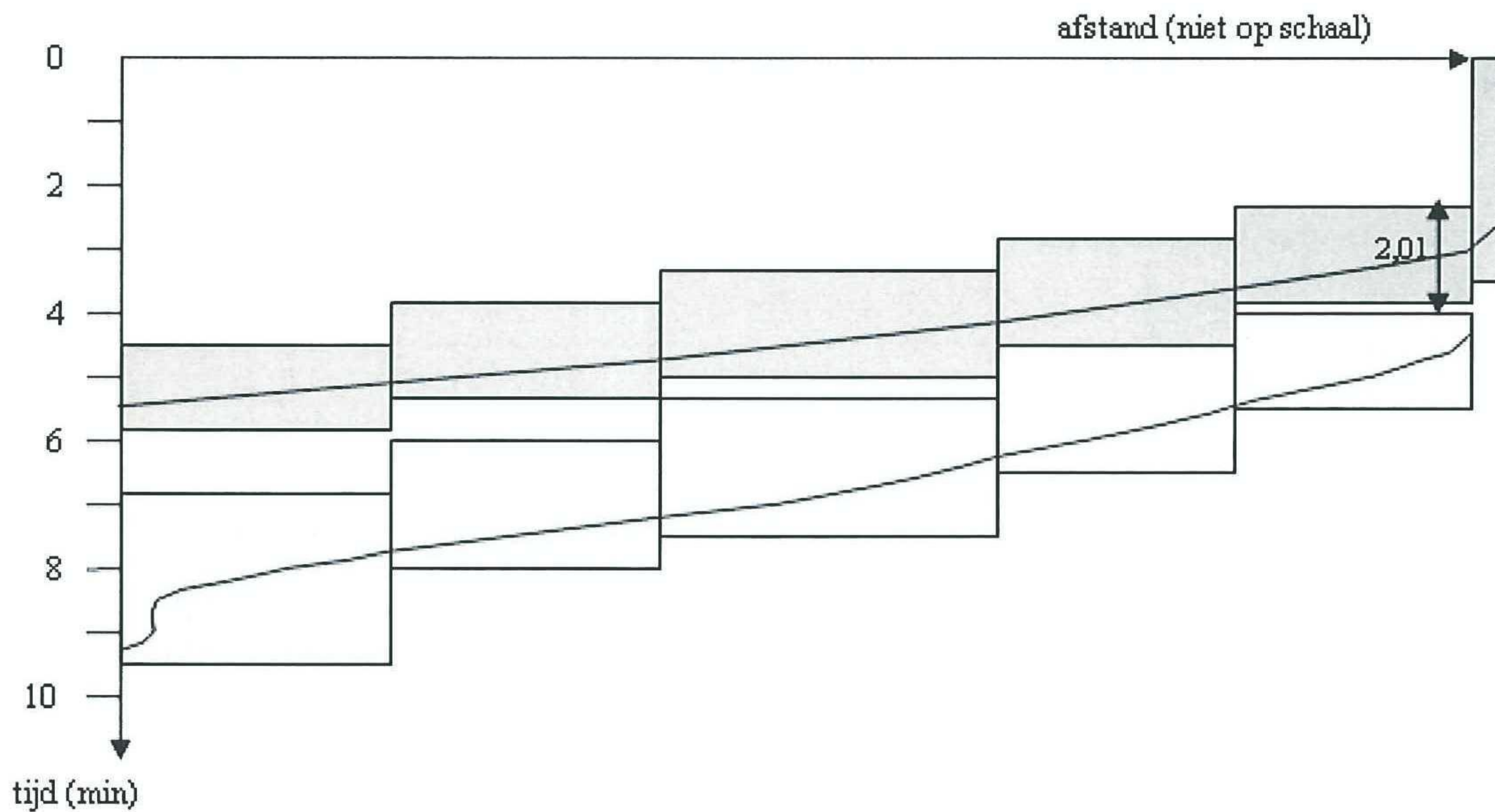
afbeelding 20 schematisering van het spoor tussen Rotterdam Centraal en Den Haag Hollands Spoor

TFK 41 is gelegen op het westelijk deel van emplacement Rotterdam Centraal. De treinen komend vanuit Rotterdam rijden over het conflictpunt heen in de richting van Schiedam en Den Haag. Direct na het verlaten van de sporen 8 en 9 komen de treinen voor de richting Den Haag samen en hebben tot voorbij Delft slechts 1 spoor ter beschikking. Vanaf daar zijn er weer twee sporen beschikbaar tot aan Den Haag Hollands Spoor (zie afbeelding 20).

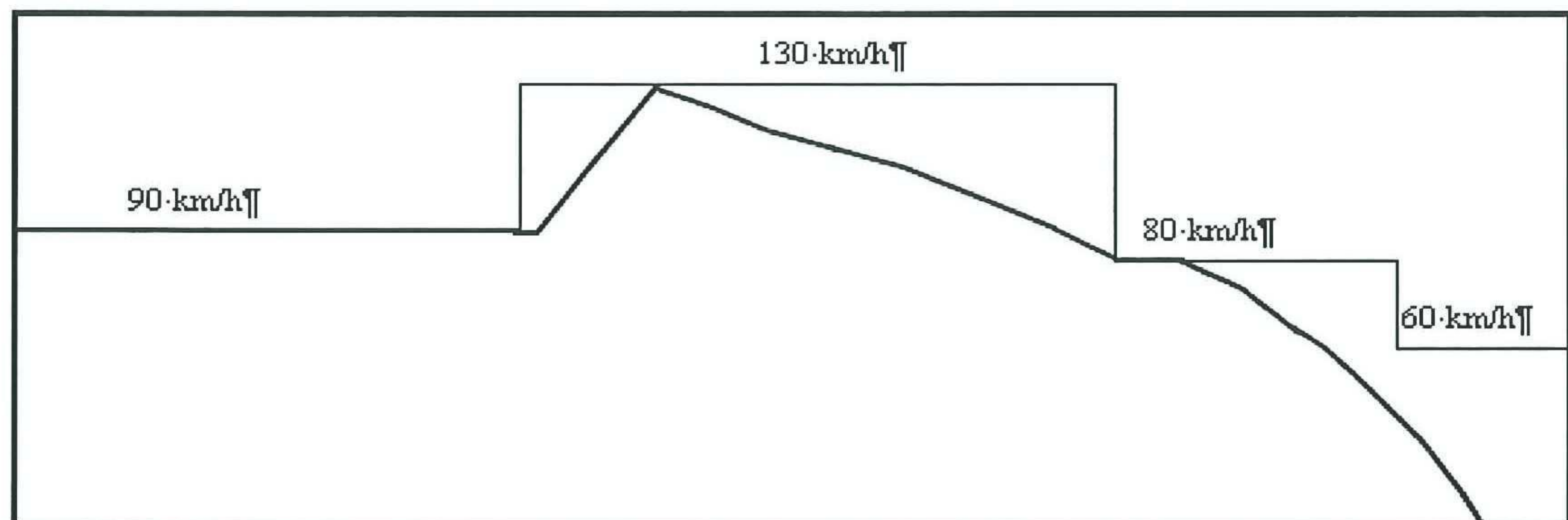
Met behulp van het computerpakket ANKE kan niet alleen de capaciteitsbenutting worden bepaald, maar kunnen ook de rijtijden en snelheden over een traject worden bekeken. Verder kunnen er blok-trapdiagrammen bekeken worden en de minimale opvolgtijden in een TFK. Met behulp van deze informatie is er gezocht naar mogelijke oorzaken voor de hoge waarde van de kwaliteitsfactor q_B voor TFK 41. In afbeelding 21 is het baanvak tussen Rotterdam Centraal en Schiedam Centrum weergegeven, inclusief de locaties van de seinen en de toegestane snelheden.



afbeelding 21 Schematisering van het spoor tussen Rotterdam en Schiedam met locaties van de seinen en baanvaksnelheden



afbeelding 22 Blok-trapdiagram van intercity 1900 gevolgd door stoptrein 5000 tussen Rotterdam Centraal en Schiedam Centrum



afbeelding 23 maximaal snelheidsverloop intercity van spoor 9 (in km/h) tussen Rotterdam Centraal (rechts) en Schiedam Centrum (links) volgens het model.

In afbeelding 22 is het blok-trapdiagram over het traject Rotterdam Centraal – Schiedam weergegeven van een intercity gevolgd door een stoptrein. De minimale opvolgtijd is hier vrij groot. Verder is het opvallend dat tussen Rotterdam en Schiedam een baanvaksnelheid van 130 km/h geldt, terwijl volgens de snelheid-tijd grafiek (afbeelding 23) uit het model, deze maximumsnelheid zelfs in een optimale situatie niet of nauwelijks gehaald wordt.

Met behulp van de informatie uit ANKE zijn er voor TFK 41 een aantal mogelijke redenen aan te geven, waarom er een grote hoeveelheid wachttijd ontstaat.

Mogelijke oorzaken van de wachttijd in TFK 41:

- **Conflict bij samenkomst spoor 8 en 9.** Er komen 2 perronsporen (spoor 8 en 9) uit op TFK 41. Wanneer een trein op één van de perronsporen gereed is voor vertrek, maar niet kan vertrekken, omdat de rijweg nog niet is vrijgegeven, ontstaat er voor deze laatste trein wachttijd.
- **Enkelsporigheid tot Delft-Noord.** Nadat de perronsporen ter hoogte van TFK 41 zijn samengekomen tot één spoor, blijft dit één spoor tot voorbij Delft. De minimale opvolgtijd van een langzame trein door een snelle trein in de richting Den Haag is hierdoor groot (ruim 6 minuten). Wanneer de opvolgende snelle trein vanuit Rotterdam vertrekt met een opvolgtijd, die kleiner is dan de minimale opvolgtijd, zal er onderweg wachttijd ontstaan, die aan TFK 41 is toe te wijzen.
- **Lage uitrijnsnelheid perronspoor 8.** Bij de samenvoeging van de perronsporen 8 en 9 moeten de treinen komende van spoor 8 door een wissel 1:9. Een dergelijke wissel mag slechts met maximaal 40 km/h bereden worden. Vanaf spoor 9 mogen de treinen direct accelereren tot 80 km/h. Dit verschil vergroot de minimale opvolgtijden van de treinen en veroorzaakt wachttijd voor TFK 41.
- **Bloklengten zijn niet geoptimaliseerd.** De bloklengten zijn niet geoptimaliseerd voor de werkelijk gereden snelheden, waardoor te lange bloktijden ontstaan. Hierdoor worden de opvolgtijden groter en ontstaat er meer wachttijd voor TFK 41.

Om te kijken of deze problemen zich ook in de werkelijkheid voordoen zullen de data van het model met de werkelijkheid vergeleken worden. In de volgende paragrafen zullen respectievelijk; het uitrij conflict, de minimale opvolgtijden en bezettingstijden, en de snelheden vergeleken worden om de bovengenoemde hypothesen te toetsen. De minimale opvolgtijden van de intercity's op de stop- en sneltreinen kunnen niet bepaald worden. Het meetpunt hiervoor ligt bij de verdubbeling van de sporen ten noorden van Delft en dat ligt buiten het onderzoeksgebied.

8.2 Conflict bij samenkomst perronsporen 8 en 9

Aangezien de perronsporen 8 en 9 direct na het station in de richting Den Haag samenkomen op 1 spoor kunnen er niet gelijktijdig treinen vertrekken van deze sporen. Met behulp van de TNV-data is er gekeken, hoe vaak er zich nu een conflict voordoet, waarbij een trein niet kan uitrijden, vanwege een rood sein, terwijl deze trein zelf wel gereed is voor vertrek. Hierbij is er uitgegaan van de officiële vertrektijd en de minimale halteertijd van een treinserie. De reden van

het rode sein is niet altijd de aanwezigheid van een andere trein. Het instellen van de rijwegen gebeurt op Rotterdam Centraal nog handmatig (zie bijlage 2), waardoor de wachttijd ook door het niet tijdig instellen van de rijweg door de verkeersleider kan worden veroorzaakt. In tabel 12 is per treinserie aangegeven, hoe vaak een gereedstaande trein voor een rood sein heeft staan wachten, en hoe groot de daarbij opgelopen wachttijd is. De stoptreinen, serie 5000 en 5100 tellen de meeste conflicten met naar verhouding de meeste wachttijd. Dit was redelijkerwijs ook te verwachten, aangezien deze stoptreinen volgens het spoorboekje direct achter de intercity's 1900, 2100, 2400 en 2500 vertrekken. Een vertraging van de intercity heeft hierbij direct tot gevolg, dat de stoptrein in de meeste gevallen pas later dan gepland kan vertrekken. De NS hanteert immers een prioriteitsregel, waarbij de stoptrein pas bij een verwachte vertraging van de intercity van meer dan 6 minuten voor de intercity mag vertrekken (zie bijlage 2).

Trein serie	Traject	Aantal waarnemingen	conflicten		wachttijd door het conflict (s)	
			Aantal	Aandeel op totaal	Gem. Per trein	totaal
1900	IC (Venlo-Den Haag)	92	4	0.04	90	358
2100	IC (Vlissingen-A'dam)	102	18	0.18	81	1449
2200	Sneltrein (Breda-A'dam)	180	23	0.13	97	2236
2400	IC (Dordrecht-A'dam)	98	24	0.24	59	1422
2500	IC (Heerlen-Den Haag)	97	5	0.05	83	415
5000	Stoptrein (Dordrecht-Leiden)	180	37	0.21	133	4904
5100	Stoptrein (Den Haag-R'sendaal)	229	65	0.28	76	4952
600	Beneluxtrein (Brussel-A'dam)	89	3	0.03	101	303

tabel 12 Aantal conflicten en daardoor ontstane wachttijd voor treinen bij de samenkomst van de perronsporen 8 en 9

Verder valt het op dat de intercity's series 1900 en 2500 veel minder vaak voor een rood sein staan, dan de intercity's series 2100 en 2400. Mogelijke oorzaak hiervan is, dat de series 1900 en 2500 vaker en meer vertraagd zijn, en daarom meer prioriteit krijgen om zo enige vertraging in te kunnen lopen.

8.3 Rijtijden, bloktijden en opvolgtijden

Voor de 3 blokken volgend op de perronsporen 8 en 9 in de richting van Den Haag zijn de rijtijden bepaald. In afbeelding 20 wordt de ligging van de blokken aangegeven. De rijtijden over blok 1 zijn voor de series 2200, 5000 en 5100 via spoor 8 gemeten en voor de overige series over spoor 9. Er wordt in tabel 13, zowel de gemiddelde rijtijd, als de kortst gemeten rijtijd aangegeven. Vervolgens is ook de zuivere rijtijd aangegeven die het model heeft berekend. Dit is een minimale rijtijd.

Trein serie	Traject	Rijtijd blok 1			Rijtijd blok 2			Rijtijd blok 3		
		gemeten		Model	gemeten		Model	gemeten		Model
		Gem (s)	Min. (s)	(s)	Gem (s)	Min. (s)	(s)	Gem (s)	Min. (s)	(s)
1900	IC (Venlo-Den Haag)	36	28	34	44	33	40	55	41	44
2100	IC (Vlissingen-A'dam)	31	23	34	42	35	40	52	44	47
2200	Sneltrein (Breda-A'dam)	61	45	63	44	28	49	51	40	44
2400	IC (Dordrecht-A'dam)	31	25	34	41	35	40	51	42	47
2500	IC (Heerlen-Den Haag)	40	27	34	43	37	40	55	45	44
5000	Stoptrein (Dordrecht-Leiden)	59	48	63	46	35	49	54	38	44
5100	Stoptrein (Den Haag-R'sendaal)	58	47	63	43	30	49	51	38	44
600	Beneluxtrein (Brussel-A'dam)	31	22	31	42	37	38	54	44	44

tabel 13 Gemeten rijtijden en zuivere rijtijden volgens het model

Bij blok 1 valt direct op dat de rijtijd van een trein, die van spoor 8 vertrekt 20 a 30 seconden langer is dan de rijtijd van een trein van spoor 9. Dit wordt veroorzaakt, doordat de bloklengte via spoor 8 ruim 100 meter langer is, en (zoals was voorspeld in paragraaf 8.1) omdat de uitrijnsnelheid bij spoor 8 slechts 40 km/h bedraagt. Bij spoor 9 is de uitrijnsnelheid 80 km/h. Verder blijken de rijtijden over blok 3 voor alle treinseries ongeveer 10 seconde langer te zijn, dan over blok 2. De rijtijden die door het model berekend zijn, stemmen redelijk overeen met de gemiddelde rijtijden, behalve bij blok 3. In het laatste geval blijkt de rijtijd in het model meer overeen te komen met de kortst gemeten rijtijd. Aangezien de rijtijden in het model berekend zijn voor een ideaal geval zou men verwachten dat deze altijd overeenkomen met de kortst gemeten tijden. Het gebruik van verschillend materieel met andere treinkarakteristieken kan hiervan een oorzaak zijn.

Op basis van de rij- en bezettingstijden, kunnen nu de bloktijden benaderd worden. Hiervoor dienen er een aantal aannames gedaan te worden:

- Insteltijd van de rijweg bedraagt 5 s
- Reactietijd machinist bedraagt 2 s
- Zichttijd bedraagt 10 s
- De tijd tussen het sluiten van de deuren en het passeren van het uitrijsein bedraagt minimaal 25 s bij spoor 8 en 38 s bij spoor 9. Voor de gemiddelde waarden worden respectievelijk 35 s en 48 s gehanteerd.
- Uitschakeltijd rijweg bedraagt 5 s

Verder zijn de bloktijden bepaald, zoals aangegeven in tabel 14 Ook is er net als bij de rijtijden weer onderscheid gemaakt in de gemiddelde bloktijd en de kortste bloktijd, die op de kortste rijtijd gebaseerd is. In tabel 14 zijn de bloktijden die op de gemeten waarden zijn gebaseerd en de bloktijden uit het model weergegeven.

Trein serie	Traject	Bloktijd blok 1			Bloktijd blok 2			Bloktijd blok 3		
		gemeten		Model	gemeten		Model	gemeten		Model
		Gem (s)	Min. (s)	(s)	Gem (s)	Min. (s)	(s)	Gem (s)	Min. (s)	(s)
1900	IC (Venlo-Den Haag)	118	99	96	160	130	108	132	104	120
2100	IC (Vlissingen-A'dam)	110	91	90	151	123	108	124	104	120
2200	Sneltrein (Breda-A'dam)	128	99	114	169	128	144	124	87	126
2400	IC (Dordrecht-A'dam)	111	90	90	150	124	108	121	89	120
2500	IC (Heerlen-Den Haag)	125	98	96	165	133	108	132	115	120
5000	Stoptrein (Dordrecht-Leiden)	126	103	114	169	134	144	129	100	126
5100	Stoptrein (Den Haag-R'sendaal)	123	99	114	163	128	144	121	95	126
600	Beneluxtrein (Brussel-A'dam)	111	91	84	150	126	102	125	95	114

tabel 14 Gemeten bloktijden en bloktijden volgens het model

De bloktijd van blok 2 is voor treinen komende vanaf spoor 9 in het model aanmerkelijk korter dan in werkelijkheid. Dit verschil wordt veroorzaakt doordat bij het aanvangstijdstip van de bloktijd er in de werkelijkheid vanaf vertrek is gemeten, en bij het model is uitgegaan van de zichtafstand. In de situatie op Rotterdam Centraal ligt het uitrijsein van spoor 9 namelijk zo ver van het vertrekpunt, dat in het model de zichtafstand maatgevend is.

De gemeten bloktijden van blok 2 blijken aanmerkelijk langer te zijn, dan de gemeten bloktijden van de blokken 1 en 3. De bloktijd van blok 1 is korter, omdat hier de toenaderingstijd slechts bestaat uit de rijtijd van het vertrekpunt tot aan het sein van het blok. De bloktijd van blok 2 vangt echter vrijwel te gelijkertijd aan, aangezien de toenaderingstijd van blok 2 uit de rijtijd van het vertrekpunt tot het inrijsein bij blok 1, plus de rijtijd over blok 1 bestaat. Verder blijken de bloktijden van de van spoor 8 vertrokken treinen gemiddeld zo'n 10 seconde langer te zijn bij blok 1 en 2. Dit komt overeen met het gevonden onderscheid bij de rijtijden in tabel 13. Bij de intercitytreinen is er onderscheid tussen de series 1900 en 2500 aan de ene kant en de series 2100 en 2400 aan de andere kant. De bloktijden van de series 1900 en 2500 zijn gemiddeld 10 seconde langer.

Met behulp van het model zijn de minimale opvolgtijden per opvolgmogelijkheid van treinen bepaald (zie tabel 15). Voor een aantal veel voorkomende situaties, waarbij een stoptrein direct achter een intercity vertrekt zijn de opvolgtijden in de werkelijkheid bepaald. De minimale opvolgtijden hierbij, zijn de opvolgtijden bij vertrek. Ter indicatie zijn ook de opvolgtijden van het eerste kwartiel weergegeven (75% van de metingen ligt hoger dan deze waarde), aangezien het bij de minimale opvolgtijden hier vaak uitschieters betreft, die mogelijk door incorrecte data zijn ontstaan.

Volgorde treinseries	Aantal waarnemingen	Geplande Opvolgtijd (s)	Kortste Opvolgtijd (gemeten) (s)	Opvolgtijd P>25% (gemeten) (s)	Minimale Opvolgtijd (model) (s)
5000 na 1900	62	180	88	121	121
5100 na 2100	90	180	92	118	119
5100 na 2400	92	180	89	138	119
5000 na 2500	51	180	103	132	121

tabel 15 Minimale opvolgtijden bij vertrek

In tabel 15 valt direct op dat de opvolgtijd die met behulp van het model bepaald is, langer is dan de opvolgtijden in werkelijkheid. Dit lijkt in eerste instantie niet mogelijk, aangezien het model al een ideale situatie weergeeft voor een minimale opvolgtijd. Toch is dit verschil wel te verklaren: Bij het berekenen van de minimale opvolgtijd met behulp van het model, wordt er vanuit gegaan dat een trein pas zal vertrekken, wanneer het uitrijsein groen is. Op dat moment is er pas onbeperkte doorgang voor de trein. In de praktijk vertrekken sommige treinen echter al, wanneer het sein nog geel toont. De treinen mogen maximaal 40 km/h rijden. Door de lange bloktijd van blok 2 zullen deze treinen bij sein 180 wederom slechts met maximaal 40 km/h door mogen rijden. Aangezien hier de baanvaknelheid van 130 km/h geldt zal de werkelijke opvolgtijd hier gaan oplopen, zelfs tot boven de minimale opvolgtijd van het model. Voor het beperken van de opvolgtijd voor het traject heeft het wegrijden bij geel dan ook geen zin.

Volgorde treinseries	Aantal waarnemingen	Gemiddelde Opvolgtijd sein 180 (s)	Gemiddelde Opvolgtijd sein 146 (s)	Gemiddelde Opvolgtijd sein 102 (s)
5000 na 1900	62	169	173	173
5100 na 2100	90	178	179	177
5100 na 2400	92	192	195	197
5000 na 2500	51	172	175	177

tabel 16 Gemiddelde opvolgtijden per sein per combinatie van intercity en stoptrein

Het zo snel mogelijk vrijmaken van het perronspoor voor een volgende trein kan wel een reden zijn om al bij geel te vertrekken. In tabel 16 zijn de gemiddelde gemeten opvolgtijden bij de 3 seinen volgend op de uitrijseinen van spoor 8 en 9 weergegeven voor dezelfde opvolggevallen als in tabel 15. Uit de tabel blijkt dat de opvolgtijd bij ieder volgend sein nagenoeg constant blijft. De intercity loopt niet uit op de stoptrein, wat er op duidt dat er op dit traject weinig snelheidsverschil tussen intercity's en stoptreinen is.

8.4 Snelheden

De waarden voor de snelheden die met behulp van het model gevonden zijn gaven aan, dat de baanvaknelheid van 130 km/h, die voor het grootste deel van het traject tussen Rotterdam Centraal en Schiedam geldt, niet of nauwelijks door de treinen gehaald wordt. In tabel 17 worden de snelheden uit het model vergeleken met de werkelijk gerealiseerde snelheden. Duidelijk te zien in de tabel is dat de snelheden van de treinen, die van spoor 8 zijn vertrokken, lager zijn dan die van treinen die van spoor 9 zijn vertrokken. De invloed van de snelheidsbeperkende wissel is duidelijk te zien. De treinen vanaf spoor 8 mogen tot voorbij de wissel maximaal 40 km/h. Na de wissel mogen deze treinen net als de treinen die van spoor 9 zijn vertrokken met een snelheid van 80 km/h rijden. Over blok 2 is er al nauwelijks onderscheid in snelheid meer.

trein serie	Traject	Vertrek spoor	Snelheid over Blok 1 (km/h)		Snelheid over Blok 2 (km/h)		Snelheid over Blok 3 (km/h)	
			Gem. (gemeten)	Model	Gem. (gemeten)	Model	Gem. (gemeten)	Model
1900	IC (Venlo-Den Haag)	9	55	56	81	86	95	114
2100	IC (Vlissingen-A'dam)	9	63	57	84	85	100	107
2200	Sneltrein (Breda-A'dam)	8	41	40	79	73	100	113
2400	IC (Dordrecht-A'dam)	9	64	57	85	85	101	107
2500	IC (Heerlen-Den Haag)	9	50	56	80	86	94	114
5000	Stoptrein (Dordrecht-Leiden)	8	42	40	76	73	96	113
5100	Stoptrein (Den Haag-R'sendaal)	8	42	40	81	73	102	113
600	Beneluxtrein (Brussel-A'dam)	9	63	61	83	89	97	113

tabel 17 Snelheden van de treinen tussen Rotterdam Centraal en Schiedam Centrum

Over blok 2 geldt een maximumsnelheid van 130 km/h. De gemiddelde snelheid van de treinen ligt hier met 80 km/h echter ver onder. Ook over blok 3 met een gemiddelde van 98 km/h wordt de baanvaknelheid ruimschoots niet gehaald. Het model voorspelt voor dit baanvak een hogere snelheid van ongeveer 113 km/h, maar ook dit is nog een stuk onder de toegestane snelheid. Na het derde blok zal de snelheid niet verder meer omhoog gaan, aangezien 200 meter achter het derde blok een snelheidsbeperking tot 90 km/h begint. Deze beperking geldt tot voorbij station Schiedam Centrum. Hierna geldt er tot aan Delft een baanvaknelheid van 140 km/h. De hoge baanvaknelheid tussen Rotterdam Centraal en Schiedam Centrum heeft dan ook geen nut, wanneer ter hoogte van Schiedam een snelheidsbeperking van 90 km/h geldt. Het niet bereiken van de baanvaknelheid heeft zelfs een nadelig effect; doordat treinen met een lagere snelheid over een blok rijden, dan waarvoor het is ontworpen zal de rijtijd over het blok toenemen vergeleken met de rijtijd bij de ontwerpsnelheid. De lengte van de baanvakken is immers aangepast aan de remweg van de treinen, die op zijn beurt weer afhankelijk is van de toegestane snelheid. Wanneer de rijtijd over het blok langer wordt, wordt ook de bloktijd langer, en hierdoor de minimale opvolgtijd.

Uit de vergelijking van het model met de werkelijk gerealiseerde tijden kunnen een aantal conclusies getrokken worden.

Conclusies vergelijking model en werkelijkheid

- De wachttijd die ontstaat door een direct conflict tussen treinen bij de samenkomst van de perronsporen 8 en 9 is gering. Dit conflict is grotendeels afhankelijk van de minimale opvolgtijd bij vertrek. Wanneer de hierdoor ontstane wachttijd wordt vergeleken met de totale volgens het model ontstane wachttijd in TFK 41, zou dit neerkomen op een aandeel van ongeveer 20%. Het grootste deel van de wachttijd ontstaat blijkbaar door een andere oorzaak.
- De door het model voorspelde verlenging van de rijtijden voor treinen die gebruik maken van spoor 8 komt overeen met de situatie in werkelijkheid. In de werkelijke situatie blijkt het rijtijdverlies wel wat geringer dan met het model voorspeld werd. Het bekorten van de rijtijd voor treinen over spoor 8 zal dan ook effect hebben op de kwaliteitsbeoordeling. In hoofdstuk 9, tabel 19 kan worden nagegaan, dat volgens het model de wachttijd hierdoor met ongeveer 20 % bekort kan worden. Door de kortere minimale opvolgtijden zal ook het conflict bij samenkomst van de perronsporen verkleind worden.
- Volgens het model is de bloktijd van blok 2 maatgevend voor de minimale opvolgtijd van stoptrein op intercity, aangezien deze significant langer is dan de andere bloktijden. Van de 3 blokken die in de werkelijke situatie bestudeerd zijn, blijkt ook de bloktijd van het 2^e blok het langst. Wanneer ook de rijtijden over de blokken vergeleken worden, blijken deze net als in het model verder uit elkaar te liggen dan gewenst. De rijtijd over de blokken kan in alle gevallen bekort worden, gezien de werkelijk gereden snelheden op het baanvak. Verder kunnen de verschillen tussen de rijtijden nog verkleind worden. Vooral blok 3, en in mindere mate blok 2 zijn langer dan gewenst.
- De minimale opvolgtijd in het model is gebaseerd op een vrije doorgang voor de opvolgende trein. Aangezien in werkelijkheid treinen regelmatig al bij geel vertrekken strookt in deze het model niet met de werkelijkheid. De invloed hiervan op de kwaliteitsbeoordeling is vermoedelijk gering, omdat deze treinen maar met beperkte snelheid kunnen rijden totdat zij weer een groen sein tegenkomen. Op dat moment is hun opvolgtijd echter al weer gestegen tot de minimale opvolgtijd bij doorkomst en is de tijdwinst verdampt.

Alle onderdelen van de vergelijking van de modeluitkomsten met de werkelijke situatie overziend, blijken de waarden redelijk tot goed met elkaar overeen te komen. De met het model voorspelde problemen zijn duidelijk terug te vinden in de gerealiseerde data. De waarden van de parameters die als input voor het wachtrijprobleem dienen blijken betrouwbaar en daarmee neemt de zekerheid over een juiste indicatie van de hoeveelheid wachttijd ook toe.

9 VERBETERINGSMOGELIJKHEDEN

9.1 Alternatieven voor de huidige situatie

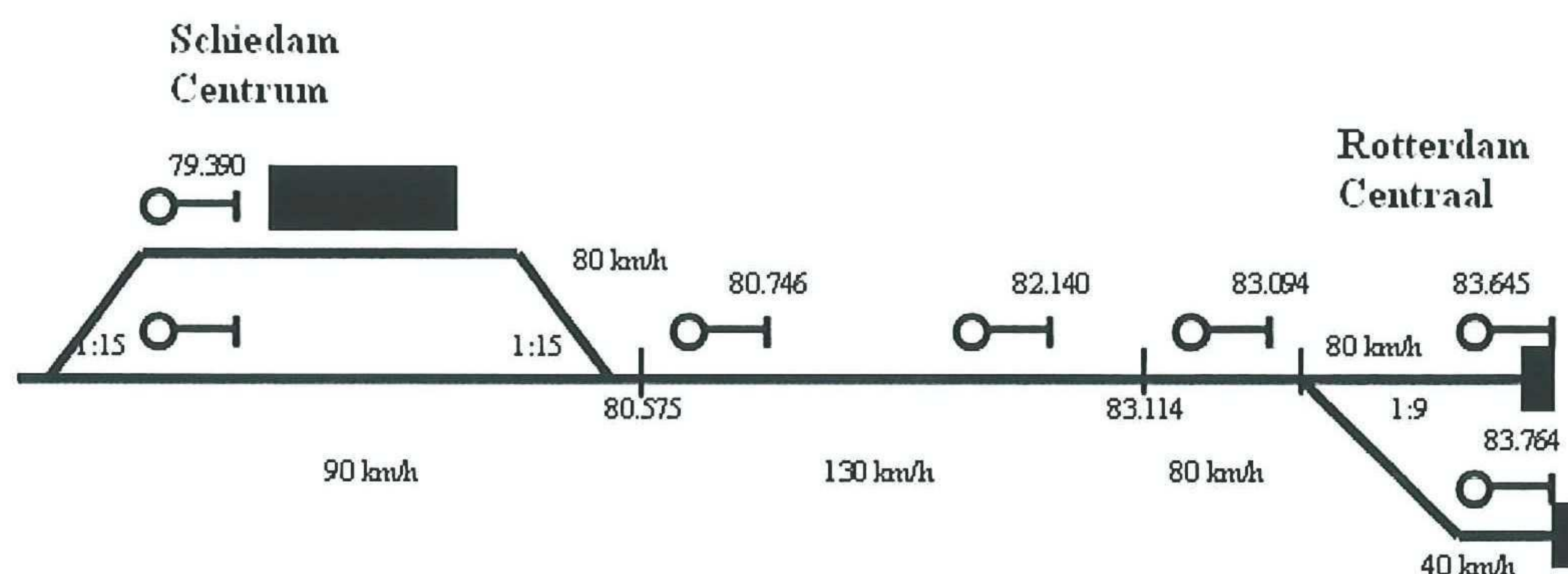
In deze paragraaf zullen een aantal mogelijke verbeteringen worden aangedragen om de wachttijd in TFK 41 te doen bekorten. Hierbij is er gezocht naar eenvoudige, niet al te dure oplossingen met een zo groot mogelijk effect. Het volledig verdubbelen van het baanvak tussen Rotterdam Centraal en Delft zal ongetwijfeld de wachttijd in TFK 41 sterk doen verminderen, maar is wel een zeer ingrijpende en dure oplossing. Met behulp van het model in ANKE worden de alternatieven met elkaar vergeleken. Bij alle alternatieven wordt getracht de minimale opvolgtijden te bekorten. De oorzaken van een langere minimale opvolgtijd zijn verschillend, en zodoende ook de mogelijke oplossingen. In tabel worden de mogelijke oorzaken van de lange minimale opvolgtijden met bijbehorende mogelijke oplossingen weergegeven. De mogelijke oplossingen worden hierna nader beschreven.

Probleem		verbeteringsmogelijkheid
Te lang enkelsporig traject	→	Inhaalmogelijkheid bij Schiedam Centrum
Te lage uitrijnsnelheid	→	Verhogen van de uitrijnsnelheid door wissel voor 80 km/h i.p.v. 40 km/h
Niet bereiken van de baanvaksnelheid	→	Optimaliseren van de bloklengten

tabel 18 Mogelijke oorzaken van de grote hoeveelheid wachttijd bij TFK 41 met de mogelijke oplossingen

1. Inhaalmogelijkheid Schiedam Centrum

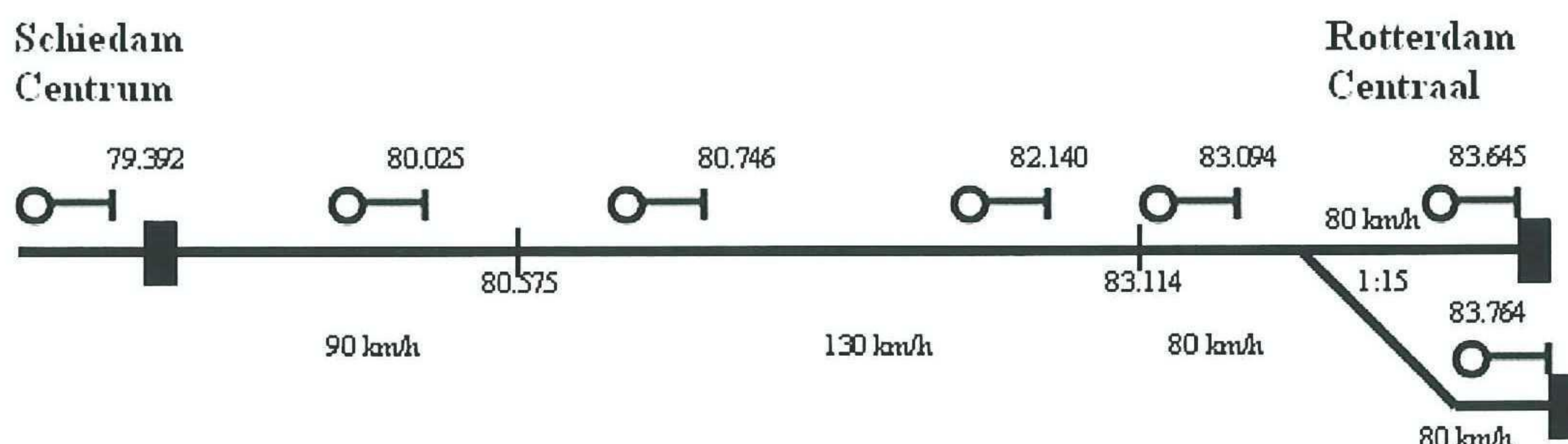
Bij dit alternatief wordt er ter hoogte van station Schiedam Centrum een inhaalmogelijkheid gecreëerd, waardoor snellere treinen hier stoptreinen in kunnen halen. Aangezien het traject met 1 spoor per richting nu wordt opgeknipt in twee kortere stukken, wordt de minimale opvolgtijd voor intercity's volgend op stoptreinen bekort. Voor het inhaalspoor is tussen de sporen van en naar Den Haag reeds ruimte aanwezig. Het inhaalspoor heeft een lengte van 1,3 kilometer. Het perronspoor is middels wissel 1:15 met een doorrijdsnelheid van 80 km/h met het inhaalspoor verbonden. Treinen die gebruik maken van het perronspoor kunnen met maximaal 80 km/h uitrijden. Een snellere trein kan dan over het inhaalspoor de stoptrein passeren. Een overzicht van de situatie wordt in afbeelding 24 geschetst. Verder blijft de situatie ongewijzigd.



afbeelding 24 Inhaalspoor bij Schiedam Centrum

2. Verhogen van de uitrijnsnelheid

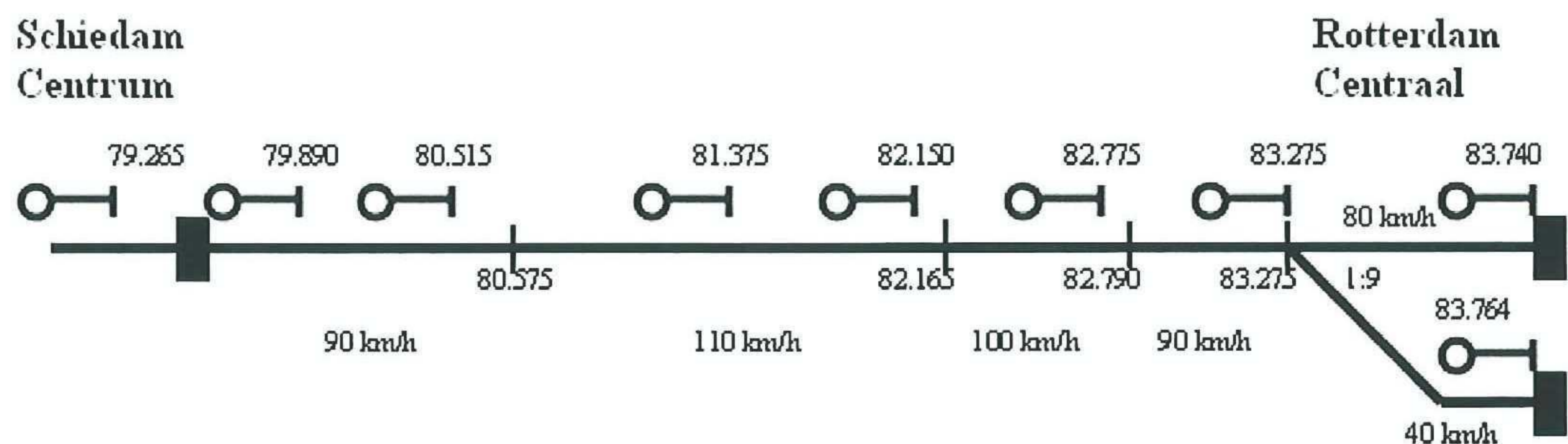
Op spoor 9 van Rotterdam Centraal is de uitrijdsnelheid reeds 80 km/h. Op spoor 8 is deze uitrijnsnelheid echter slechts 40 km/h. Door de 1:9 wissel, die de 2 sporen samenbrengt tot 1 spoor te vervangen door een 1:15 wissel kan de uitrijnsnelheid voor spoor 8 ook naar 80 km/h worden opgeschroefd. Uit de gerealiseerde rijtijden, zoals vermeld in paragraaf 8.3, kan worden opgemaakt, dat door een dergelijke maatregel de rijtijden van de treinen van spoor 8 met ongeveer 20 seconden kan worden bekort. Hierdoor worden de opvolgtijden van de intercity's op de stoptreinen bekort, en wordt de capaciteitsbenutting verbeterd. Aangezien een wissel voor een hogere snelheid ook grotere afmetingen heeft, moet er op het emplacement wel ruimte worden gecreëerd, wat eventueel ten koste gaat van andere infrastructuur. Verder blijft de situatie ongewijzigd.



afbeelding 25 Uitrijnsnelheid verhogen door 1:9 wissel te vervangen door een 1:15 wissel

3. Optimaliseren van de blok lengten

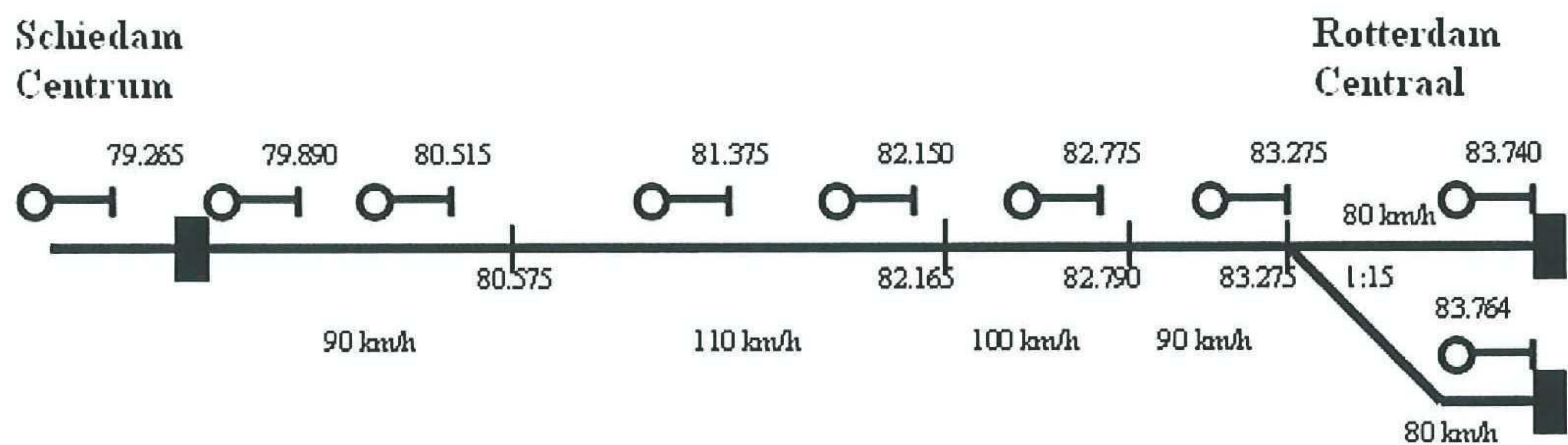
De blokken tussen Rotterdam Centraal en Schiedam Centrum zijn langer dan strikt noodzakelijk. De geldende baanvaknelheid wordt door de treinen niet of nauwelijks gerealiseerd, omdat de afstand tussen Rotterdam Centraal en Schiedam Centrum (waar een snelheidsbeperking van 90 km/h geldt) te kort is om naar deze snelheid te accelereren. De blok lengte is gebaseerd op de noodzakelijke remweg, die op zijn beurt weer afhankelijk is van de snelheid van de trein. De rijtijden over de baanvakken zijn hierdoor langer dan noodzakelijk en dien ten gevolge is de minimale opvolgtijd ook langer dan nodig. Door het snelheidsdiagram in afbeelding 23 en de gerealiseerde snelheden in tabel 17 te analyseren kan de baanvaknelheid worden aangepast aan de te realiseren snelheden. De blok lengten kunnen vervolgens hierop worden afgestemd. Op deze manier wordt de wachttijd in TFK 41 verminderd, terwijl de rijtijd slechts zeer weinig verlengd wordt. In afbeelding 26 is de nieuwe situatie weergegeven. In de nieuwe situatie kon het aantal blokken tussen Rotterdam en Schiedam met 2 wordt vermeerderd, omdat de blokken nu korter zijn. De toegestane snelheid loopt nu in etappes op van 80 km/h bij het eerste blok (alleen voor spoor 9), via 90 en 100 km/h bij respectievelijk het 2^e en het 3^e blok naar 110 km/h bij het 4^e blok. Tegen het einde van het 5^e blok dient de snelheid te worden teruggebracht naar de bij Schiedam Centrum maximaal toegestane snelheid van 90 km/h.



afbeelding 26 Nieuwe situatie voor de bloklengten en baanvaknelheden

4. Optimaliseren van de bloklengten en verhogen van de uitrijnsnelheid

Deze 4^e mogelijkheid is een combinatie van de 2 voorgaande alternatieven. Aangezien de bloklengte van het 1^e blok is gebaseerd op de hoogst mogelijke snelheid, is deze afgestemd op de treinen van spoor 9 met een uitrijnsnelheid van 80 km/h. De treinen, komend van spoor 8 vertrekken echter nog steeds met slechts 40 km/h. Door nu de uitrijnsnelheid door middel van een wissel 1:15 ook voor 80 km/h geschikt te maken, worden de opvolgtijden op het traject nog verder geoptimaliseerd. Verder blijft de situatie ongewijzigd.



afbeelding 27 Combinatie van optimalisatie van de bloklengten, baanvaknelheden en verhoging van de uitrijnsnelheid naar 80 km/h

9.2 Toetsen van de alternatieven met behulp van het model

Met behulp van ANKE is nu gekeken wat het effect is op de kwaliteitsbeoordeling bij de verschillende alternatieven. Net als bij de gevoeligheidsanalyse is de totale wachttijd van TFK 41 voor de spitsperiode van 6 tot 10 uur 's ochtends bepaald. De waarden van q_B voor de kwaliteitsbeoordeling van de belasting van TFK 41 zijn weergegeven in tabel 19.

Alternatieven	Totale wachttijd (min)	q_B
0. Bestaande situatie	43.96	2.615
1. Inhaalspoor Schiedam Centrum	8.86 (18.06)	0.527 (1.074)
2. Verhogen van de uitrijnsnelheid	34.03	2.025
3. Optimaliseren van de bloklengten	35.88	2.135
4. Optimaliseren van de bloklengten en verhogen van de uitrijnsnelheid	28.33	1.686

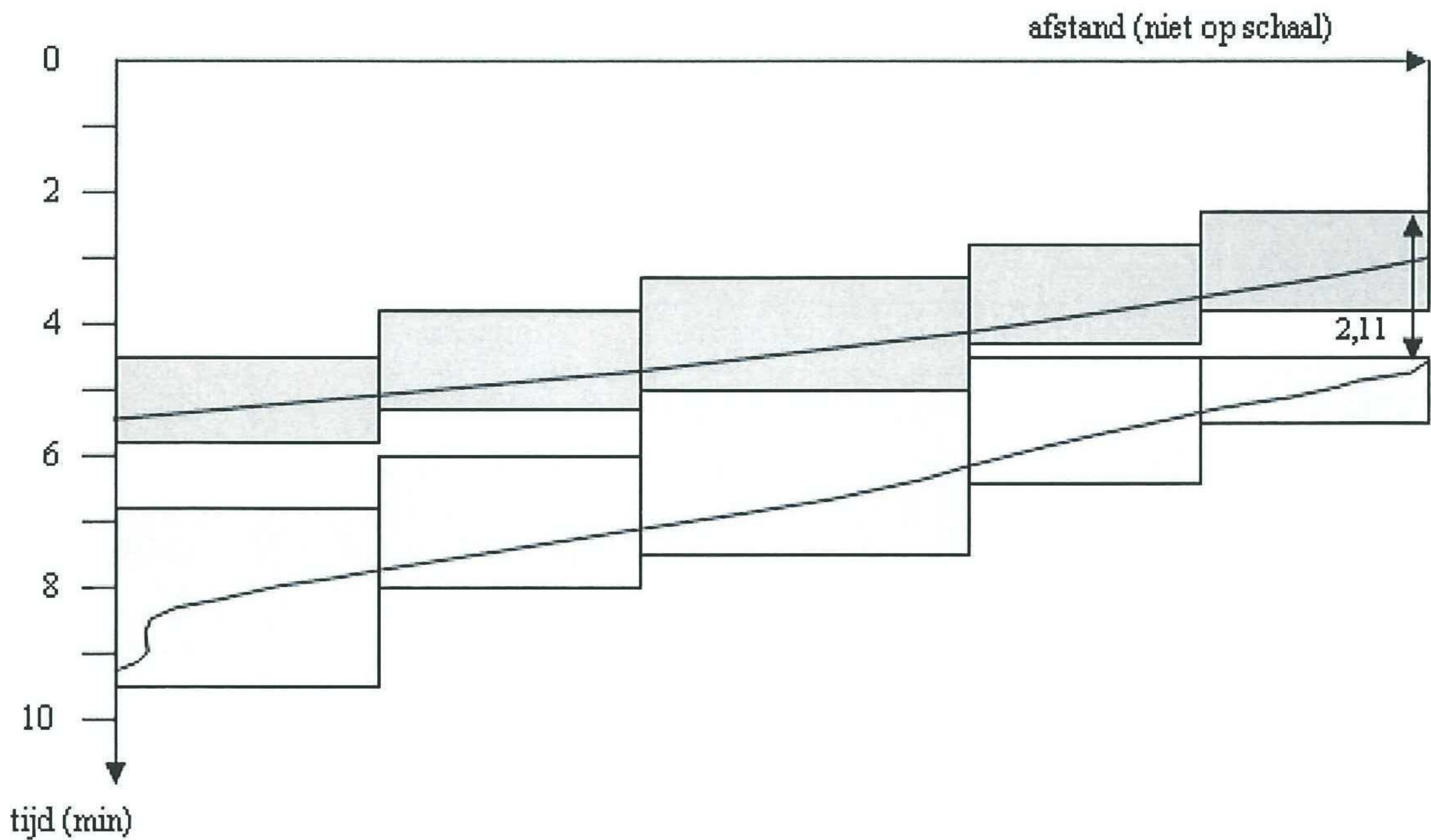
tabel 19 kwaliteitsbeoordeling van TFK 41 voor de verschillende alternatieven

Als beste alternatief, als het alleen de kwaliteitsbeoordeling van TFK 41 aangaat, komt duidelijk alternatief 1 naar voren. Dit is ook het enig alternatief dat onder de Duitse grenswaarde van 1,5 voor q_B blijft. Bij dit alternatief is de tweesporige bottleneck tussen Rotterdam en Delft door het inhaalspoor bij Schiedam in 2 tweesporige bottlenecks opgeknipt. Aangezien de bottleneck tussen Schiedam en Delft langer is, is de wachttijd die hierdoor ontstaat maatgevend voor de kwaliteit van de dienstuitvoering tussen Rotterdam en Den Haag. De waarde van q_B voor TFK 40, die de bottleneck tussen Schiedam en Delft representeert is dan ook tussen haakjes weergegeven in tabel 19. De andere alternatieven geven ook een verbetering van de kwaliteit vergeleken met de huidige situatie, maar dit verschil is wel minder groot. Het verhogen van de uitrijnsnelheid scoort licht beter dan het optimaliseren van de bloklengten. Zoals te verwachten scoort een combinatie van deze twee alternatieven nog beter.

Alternatieven	2500 na 5000 (s)	5100 na 2400 (s)
0. Bestaande situatie	364	119
1. Inhaalspoor Schiedam Centrum	139 (278)	119 (124)
2. Verhogen van de uitrijnsnelheid	329	127
3. Optimaliseren van de bloklengten	362	95
4. Optimaliseren van de bloklengten en verhogen van de uitrijnsnelheid	331	99

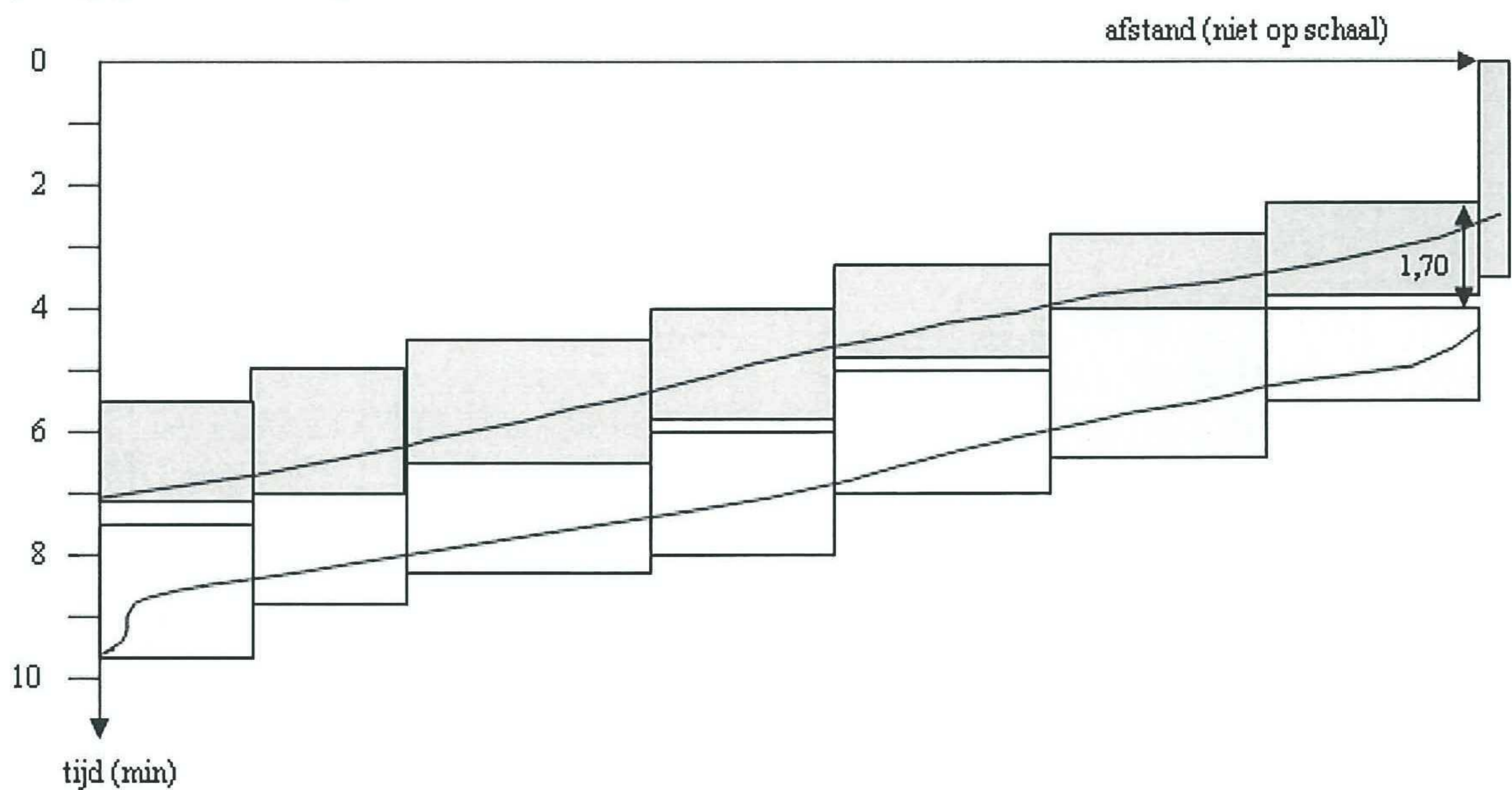
tabel 20 Minimale opvolgtijden van de alternatieven voor TFK 41

Bij alle alternatieven is de verkorting van de minimale opvolgtijden op Rotterdam Centraal verantwoordelijk voor de kwaliteitsverbetering. Bij de alternatieven 1 en 2 worden de minimale opvolgtijden van de intercity's op de stoptreinen verkort. Bij het optimaliseren van de bloklengten tussen Rotterdam Centraal en Schiedam worden juist de minimale opvolgtijden van de stoptreinen op de intercity's korter. In tabel 20 zijn deze minimale opvolgtijden van 2 opvolgevallen weergegeven met de 0-situatie als referentie.



afbeelding 28 Bloktrap-diagrammen tussen Rotterdam Centraal en Schiedam Centrum van een intercity serie 1900 gevolgd door een stoptrein serie 5000 bij verhoging van de uitrijnsnelheid

De eerste kolom geeft de minimale opvolgtijd van een intercity (serie 2500) op een stoptrein (serie 5000) weer. Bij de tweede kolom wordt een intercity (serie 2400) juist gevolgd door een stoptrein (serie 5100). Voor het alternatief met het inhaalspoor is tussen haakjes de minimale opvolgtijd voor het traject Schiedam-Delft vermeld.



afbeelding 29 Bloktrap-diagrammen tussen Rotterdam Centraal en Schiedam Centrum van een intercity serie 1900 gevolgd door een stoptrein serie 5000 bij een combinatie van verhoging van de uitrijnsnelheid en optimalisatie van de bloklengten

Niet in alle gevallen worden alle opvolgtijden korter. Het verhogen van de uitrijnsnelheid bij spoor 8 heeft tot gevolg dat de minimale opvolgtijden van de stoptreinen op de intercity's juist toenemen. De bloktrap-diagrammen raken elkaar nu bij blok 3 (zie afbeelding 28), aangezien de bloktijd van blok 3 in de nieuwe situatie voor de stoptrein nu eerder aanvangt. Het bloktrap-diagram van de intercity blijft ongewijzigd. Aangezien het maatgevende blok nu verschuift van het 2^e naar het 3^e blok wordt de minimale opvolgtijd groter. Het ontstaan van deze situatie geeft aan dat bloktijd van blok 3 in verhouding met de andere blokken te lang is. De bloktijd kan bekort worden door de bloklengten van blok 2 en blok 3 te verkleinen.

Door de verhoging van de uitrijnsnelheid te combineren met een verkleining van de bloklengten, zoals bij het 4^e alternatief, wordt de minimale opvolgtijd van stoptrein op intercity weer bekort. De bloktrap-diagrammen sluiten op het traject nu zeer dicht op elkaar aan. De stoptrein kan nu op het gehele traject tussen Rotterdam Centraal en Schiedam Centrum vlak achter de intercity aan rijden. Op deze manier kan de infrastructuur zo goed mogelijk benut worden.

Afgezien van de capaciteitsbenutting verschillen de alternatieven ook in andere opzichten die een rol spelen bij de keuze voor een verbeteringsmogelijkheid. Het aanleggen van een inhaalspoor bij Schiedam geeft de grootste capaciteitsverbetering, maar de reistijd voor stoptreinreizigers wordt er wel door verlengd. Stoptreinen zullen nu immers regelmatig van het wachtspoor gebruik dienen te maken om snellere treinen te laten passeren. Bij een verhoging van de uitrijnsnelheid zal de rijtijd voor de treinen die in Rotterdam Centraal van spoor 8 vertrekken met 20 à 30 seconden bekort worden. Bij de huidige dienstregeling profiteren daar de stoptreinen en sneltreinen van. Bij het optimaliseren van de bloklengten wordt de maximumsnelheid tussen Rotterdam en Schiedam verlaagd. Het verlies aan rijtijd is echter gering, doordat de baanvaksnelheden zo goed mogelijk zijn afgestemd op de snelheid-tijdgrafieken van de treinen. Het rijtijdverlies bij het optimaliseren van de bloklengten bedraagt voor de intercity ongeveer 4 en voor de stoptrein ongeveer 2 seconden.

Bij een beoordeling van de alternatieven dienen natuurlijk ook de verschillen in kosten voor de realisatie van de verbeteringen bij een afweging meegenomen te worden. Er wordt op de kosten van de verschillende alternatieven in dit onderzoek niet ingegaan, maar het is wel zeer waarschijnlijk dat het inhaalspoor bij Schiedam verreweg de duurste oplossing is. Deze oplossing biedt echter ook de grootste capaciteitsverbetering. De alternatieven 2 en 3 zijn vermoedelijk het goedkoopst, maar geven allebei ook slechts een lichte verbetering van de huidige situatie. Een eventuele keuze tussen de verschillende verbeteringsmogelijkheden zal dan waarschijnlijk ook gaan tussen alternatief 1 (inhaalspoor Schiedam Centrum) en alternatief 4 (combinatie van optimalisatie van bloklengten en verhogen van de uitrijnsnelheid).

10 CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN

10.1 Conclusies

Door middel van het onderzoek is het inzicht in de capaciteitsbenutting op het spoorwegemplacement van Rotterdam Centraal sterk verbeterd. Door het gebruik van zowel TNV-Prepare, als het computerpakket ANKE kon er doelgericht naar de knelpunten op het emplacement gezocht worden en konden deze nauwkeurig worden geanalyseerd.

De data die met behulp van de beide programma's gegenereerd zijn, zijn niet 1 op 1 te vergelijken. De onderliggende gegevens, zoals rijtijden en snelheden kunnen wel vergeleken worden. Door de programma's en beschikbare data op de juiste manier te gebruiken uitgaande van de mogelijkheden ervan zijn de gegevens te combineren.

Voor de analyse is allereerst met behulp van het computerpakket ANKE op een grove basis gezocht naar de grootste knelpunten op het emplacement. De input aan beginvertraging is vervolgens uit de met TNV-Prepare gegenereerde data bepaald. Hiermee is het model geoptimaliseerd. Met behulp van het verbeterde model en de gerealiseerde data zijn de knelpunten verder onderzocht om zo de oorzaken van het conflict in kaart te brengen. Hierna zijn er een aantal oplossingen aangedragen om de oorzaken van het conflict te verminderen. Deze oplossingen zijn allen met behulp van ANKE getoetst op de kwaliteit van de dienstuitvoering.

TNV-Prepare maakt de log-files van het treinverkeer inzichtelijk. Met behulp van het programma kunnen de werkelijke gedragingen van een trein, zoals rijtijden en snelheden, zeer gedetailleerd gevolgd worden. Met name de aankomstvertragingen, die ook voor het model als input zijn gebruikt, kunnen met de log-files in combinatie met TNV-Prepare nu zeer nauwkeurig bepaald worden.

Met de kwaliteitsbeoordeling uit het model van Schwanhäußer wordt TFK 41 als sterk overbelast bestempeld. Dit is echter een beoordeling op basis van Duitse normen en uitgangspunten. Het gegeven is, dat er in de Nederlandse situatie met een dergelijke beoordeling gewoon gereden wordt. De kwaliteitsnormen die in Duitsland gehanteerd worden, kunnen dan ook niet direct overgenomen worden. De beoordelingen van de verschillende varianten kunnen wel met elkaar vergeleken worden, zodat er een kwalitatieve beoordeling gemaakt kan worden. Het effect van de maatregelen is met behulp van ANKE goed in beeld te brengen, en met de informatie omtrent minimale opvolgtijden, bloktrap-diagrammen, rijtijden en bezettingstijden kunnen ook de oorzaken van de effecten achterhaald worden.

Uit de gedane experimenten, waarin een aantal verbeteringsmogelijkheden is getoetst, blijkt een inhaalspoor ter hoogte van Schiedam voor de verbetering van de kwaliteit van de exploitatie veruit het beste alternatief. De rijtijden voor de stoptrein zullen hierdoor wel gaan oplopen door een langere stop op Schiedam Centrum. Een combinatie van een hogere uitrijnsnelheid vanaf spoor 8 en een optimalisatie van de blok lengten geeft ook een sterke verbetering van de kwaliteitsbeoordeling, terwijl de totale rijtijd ook licht verbetert.

Het gebruik van het programma TNV-Prepare en het wachtrijmodel van Schwanhäußer, geïntegreerd in het computerprogramma ANKE heeft voor een duidelijker beeld van het gebruik van het spoorwegemplacement van Rotterdam Centraal gezorgd. Het gecombineerd gebruiken van de programma's heeft een duidelijke meerwaarde, aangezien de betrouwbaarheid van de uitkomsten in ANKE sterk verbetert doordat de beginvertragingen nu met TNV-Prepare nauwkeurig bepaald kunnen worden. Hiermee is het belangrijkste doel van het onderzoek bereikt. Verder blijkt dat het computerpakket ANKE goed toepasbaar is op het Nederlandse Spoorwegennet, wanneer de kwaliteitsbeoordelingen relatief beschouwd worden.

10.2 Aanbevelingen

De kwaliteit van de dienstuitvoering van verschillende punten op Rotterdam Centraal werd met behulp van ANKE als 'zwaar overbelast' gewaardeerd. In de Nederlandse situatie wordt er echter bij dit soort waarderungen van de kwaliteit gewoon gereden. De reden voor dit verschil kan worden veroorzaakt door een andere interpretatie van kwaliteit, maar ook doordat het model voor de Duitse situatie ontwikkeld is. In beide gevallen kan met dit probleem worden omgegaan door voor de Nederlandse situatie een aparte kwaliteitsbeoordeling voor het model van Schwanhäußer te bepalen. Hiervoor dient het model op meerdere plaatsen in Nederland getoetst te worden, en dient er een maatstaf voor vertragingen en wachttijden te worden opgesteld.

Met het wachtrijmodel van Schwanhäußer kan geen uitspraak over de belasting van de perronsporen gedaan worden. Ook in de gebruikte versie van ANKE is geen ander model geïntegreerd, dat een uitspraak over de capaciteitsbenutting van de perronsporen doet. Het is dan ook aan te bevelen om de mogelijkheid te creëren om deze problemen gezamenlijk te kunnen analyseren met behulp van een computerpakket. Op deze wijze kunnen voor het spoorwegemplacement als geheel knelpunten gelokaliseerd worden en kan een beter inzicht worden verkregen in de urgentie van het aanpakken van de verschillende knelpunten.

Voor het analyseren van het gehele tweesporige traject tussen Rotterdam en Delft-Noord waren in TNV-Prepare niet voldoende data ingelezen. Om de rijtijden en ontstane wachttijden voor het gehele traject te kunnen analyseren dienen de TNV-tabellen opnieuw met behulp van TNV-Prepare gegenereerd te worden. Wellicht kunnen er dan voor het resterende traject tussen Schiedam en Delft-Noord ook nog een aantal verbeteringsmogelijkheden worden aangedragen.

BRONVERMELDING

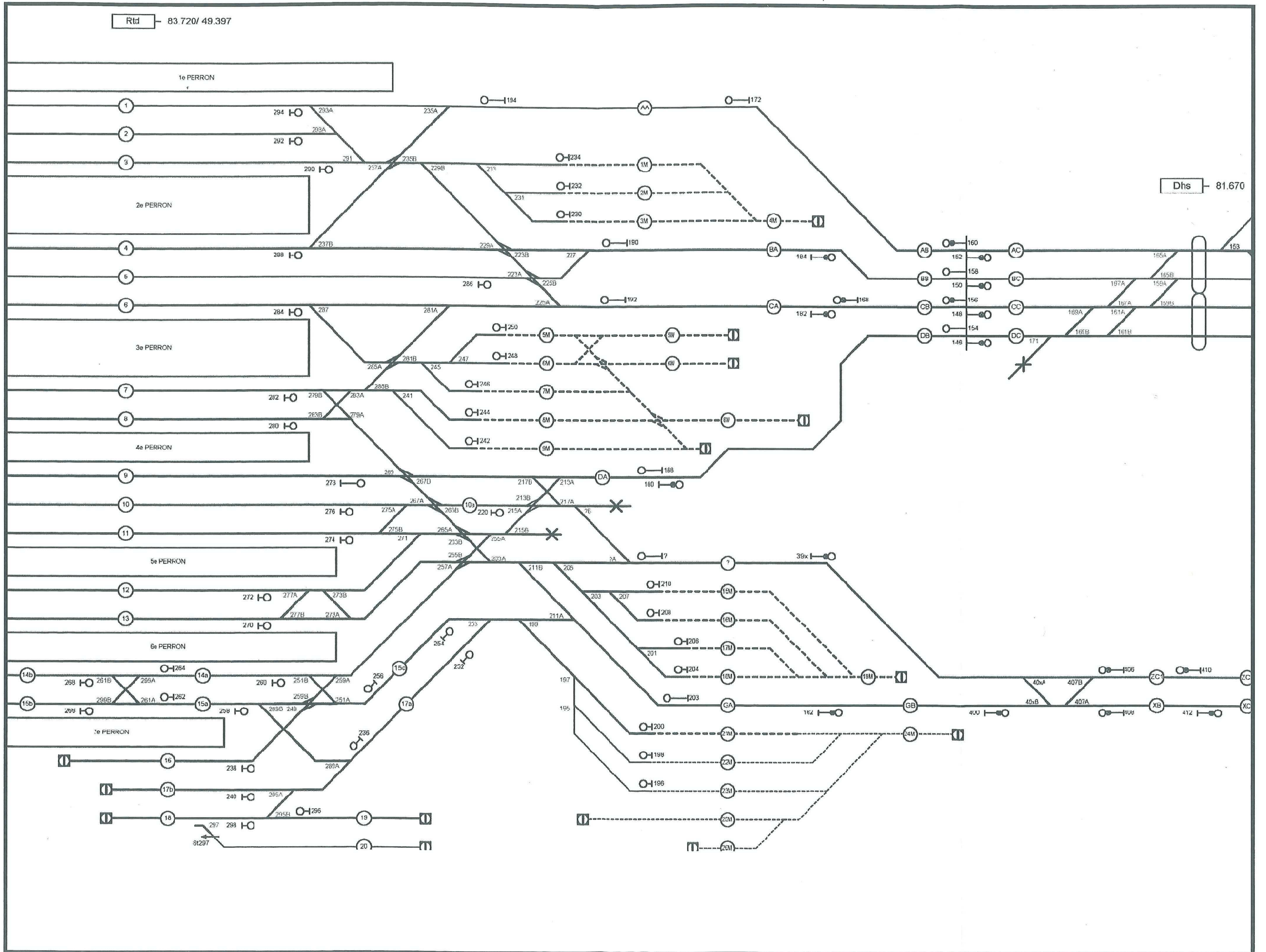
Literatuur

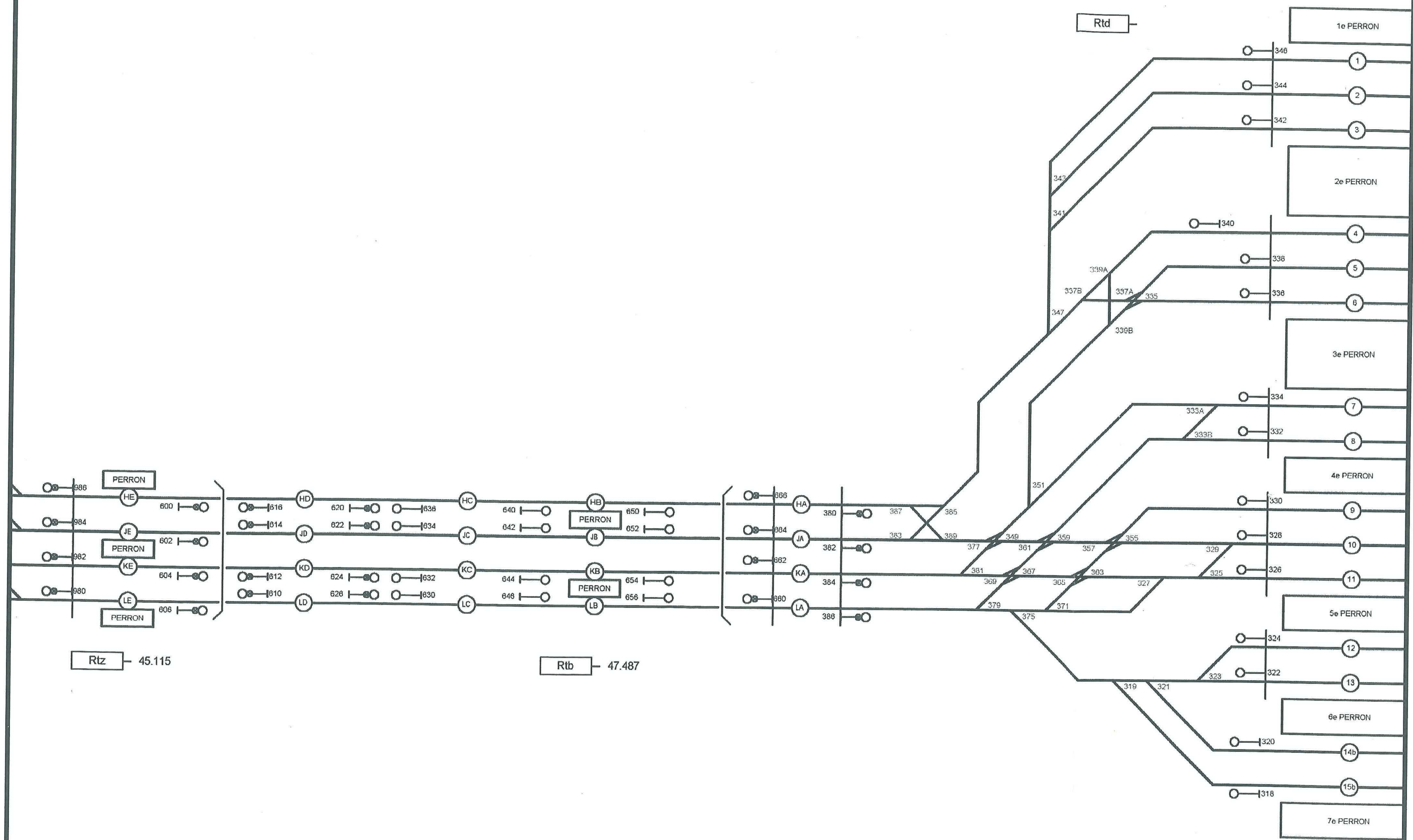
- Broek, J.M. ten, *Omloop van het NS-materieel jaardienst 98/99*, Op de Rails, juni 1998.
- Decknatel, G., Schnieder, E., *Modellbildung und Simulationssysteme für den Schienenverkehr*, Eisenbahntechnische Rundschau, nr 8-9 1998.
- Gijsen, A., Brink, R.M.M. van den, *Het spoor in model: energieverbruik en emissies door het railvervoer*, RIVM rapport 773002021, 2002.
- Goverde, R.M.P., Hansen, I.A., *TNV-Prepare: Analysis of Dutch Railway operations based on train detection data*, Data. In: J. Allan, R.J. Hill, C.A. Brebbia, G. Sciutto & S. Sone (ed(s)), *Computers in railways IIV*, 2000.
- Hansen, I.A., Olsder G.J., Michels R., *Modellen voor de beheersing van treinverkeer*, TRAIL Onderzoeksschool Delft, 1999.
- Hansen, I.A., *Design and control of public transport systems*, collegedictaat CT 4811, TU Delft, 2003.
- Horvat, E., *Overzicht veiligheidsconcepten bij tunnels*, Horvat Consulting B.V., juli 2001.
- Johanns, R.D., *Handleiding bij de modules van de TNV-Prepare programmatuur*, TU Delft, 2001.
- Kort, A.F., *Wachtrijmodellen voor spoorwegknooppunten*, TRAIL onderzoeksschool Delft, november 1996.
- Pacht, J., *Railway operation and control*, Mountlake Terrace, USA, 2002
- Poort, J.P., *Grenzen aan benutting*, NYFER, juni 2002.
- Schepman, A, *Inzicht in uitvoering, thermometer of barometer?*, TU Delft,
- Schwanhäußer, W., Vakhtel, S., *Handbuch ANKE*, , RWTH Aachen, januari 2001.
- Schwanhäußer, W., *Die Bemessung der Pufferzeiten im Fahrplangefüge der Eisenbahn*, Verkehrswissenschaftliches Institut RWTH Aachen, december 1974.
- Tromp, J., Goverde, R.M.P., Wiggenraad, P.B.L., Yuan, J., *Train delay at stations and network stability*, TRAIL Workshop, december 2001.
- Vakhtel, S., *Rechnerunterstützte analytische Ermittlung der Kapazität von Eisenbahnnetzen*, RWTH Aachen, februari 2002.
- Waal, J. de, *Goederendienst van NS-cargo zomerdienst 1999*, Op de Rails, juli 1999.
- Wegener, M., *Bemessung und Gestaltung von Eisenbahn Betriebsanlagen*, www.marco-wegener.de, augustus 1999.

Kaartmateriaal en Voorschriften

- Basis beheerkaarten Dordrecht-Den Haag, Prorail Utrecht, 2003
- OBE-bladen Dordrecht-Den Haag, Prorail Utrecht, 1993-1999
- OKT-bladen Dordrecht Den Haag, Prorail Utrecht, 1993-1999
- Hoogteprofiel-kaarten, Prorail Utrecht, 1997
- Voorschriften Seintechnische Installaties, Prorail Utrecht, 2003

BIJLAGE 1 Overzichtskaarten Rotterdam Centraal





BIJLAGE 2 Verslag van bezoek aan de verkeersleiding in Rotterdam

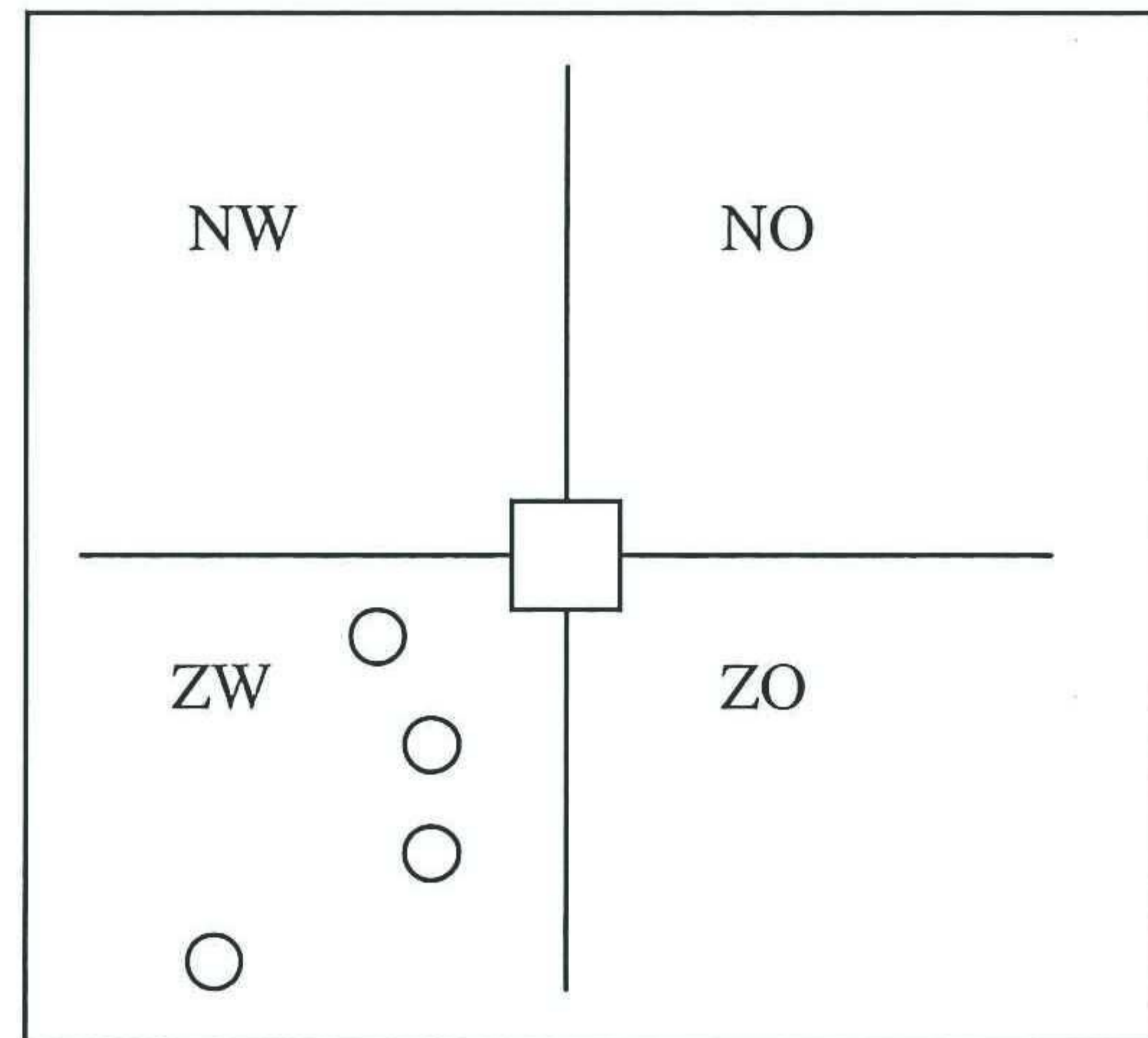
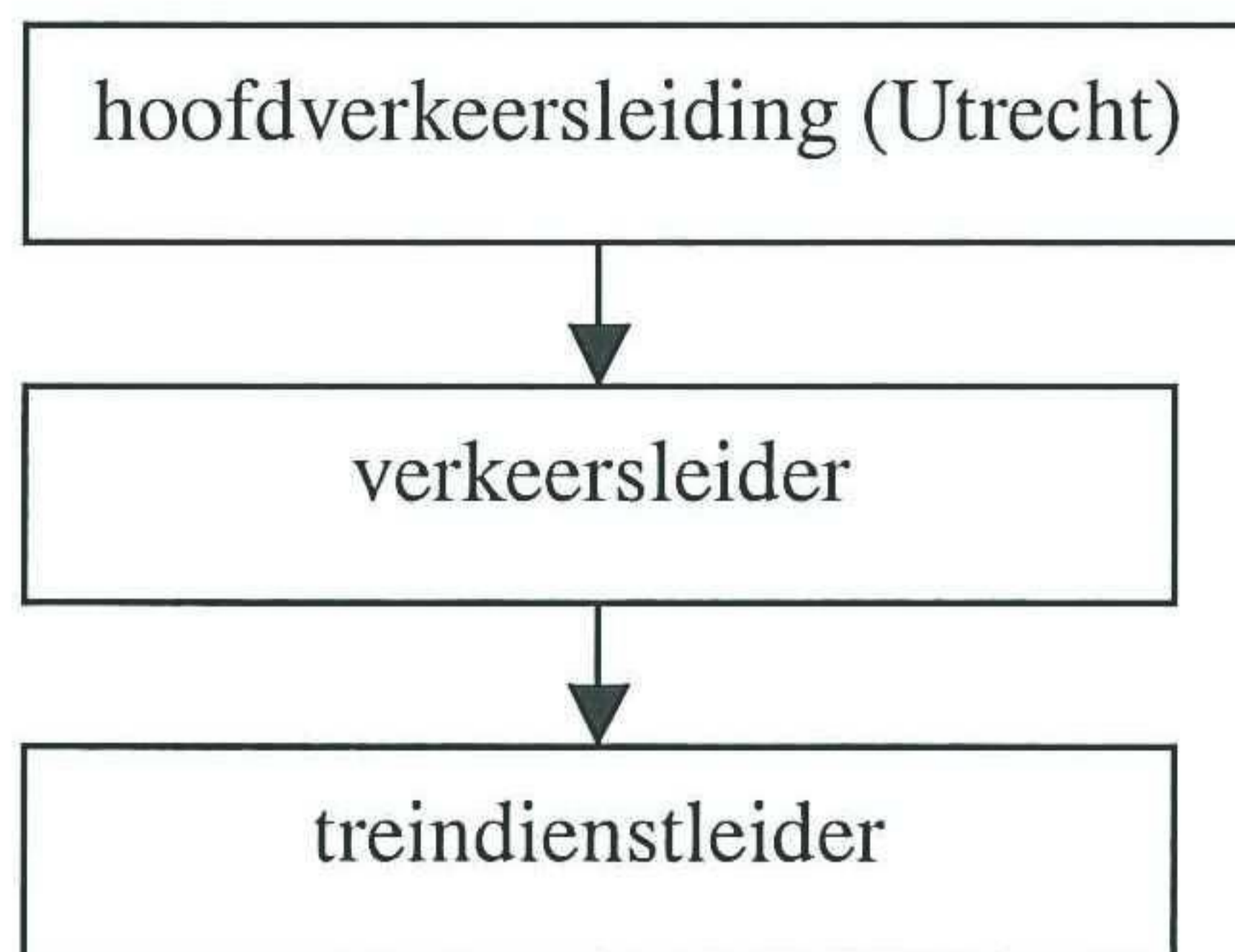
Bezoek aan de railverkeersleiding en het NS regelcentrum op Rotterdam Centraal

Prorail:

- Railverkeersleiding
- Railinfrabeheer
- Railned (capaciteitstoedeling)

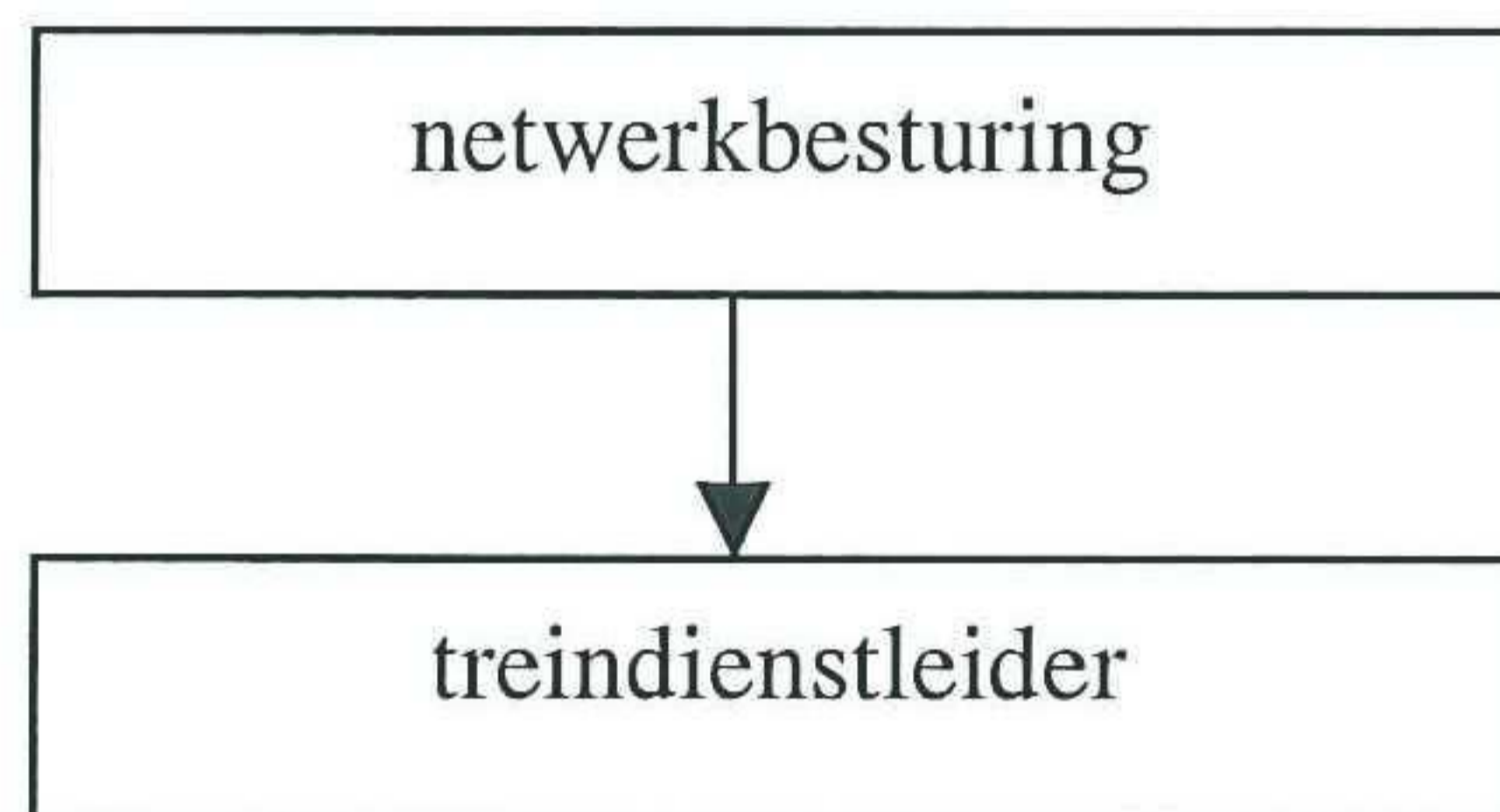
NS regelcentrum (omloop van personeel en materieel)

Oude situatie Railverkeersleiding:



De hoofdverkeersleiding zetelt in Utrecht. Verder zijn er in de regio zuidwest 4 verkeersleiders (1 per post), die zetelen in Rotterdam, Den Haag, Dordrecht en Roosendaal. Onder iedere verkeersleider werkt de treindienstleider, die het meest uitvoerende werk doet.

Nieuwe situatie Railverkeersleiding:



In de nieuwe situatie is de hoofdverkeersleiding in Utrecht verdwenen. Nederland is opgedeeld in 4 netwerken met allen 1 standplaats: zuidwest (Rotterdam), zuidoost (Eindhoven), noordoost (Zwolle), noordwest (Amsterdam). De netwerkbestuurders sturen direct de treindienstleiders van de posten in. De verkeersleiders zijn komen te vervallen. De netwerkbesturing geschiedt door 3 personen. Zij moeten ingrijpen bij grote vertragingen en regelen het treinverkeer dat zich van het ene naar het andere netwerk verplaatst. De treindienstleiders besturen de posten Dordrecht, Rotterdam, Den Haag en Roosendaal ook vanuit Rotterdam.

Versperringen

Bij versperringen is het de taak van Prorail om het spoor zo snel mogelijk vrij te maken. Hiervoor is er per regio een algemeen leider aangesteld. Voor veel versperringen zijn er scenario's gemaakt om de treindienst aan te passen. Deze kunnen op zo'n moment direct uit de kast gehaald worden.

Aanleveren van de dienstregeling

NS logistiek (NS jaarplan) maakt de jaardienstregeling in opdracht van alle vervoerders. Deze jaardienstregeling wordt, na te zijn gecontroleerd door Prorail capaciteitstoedeling, aangeleverd aan de railverkeersleiding.

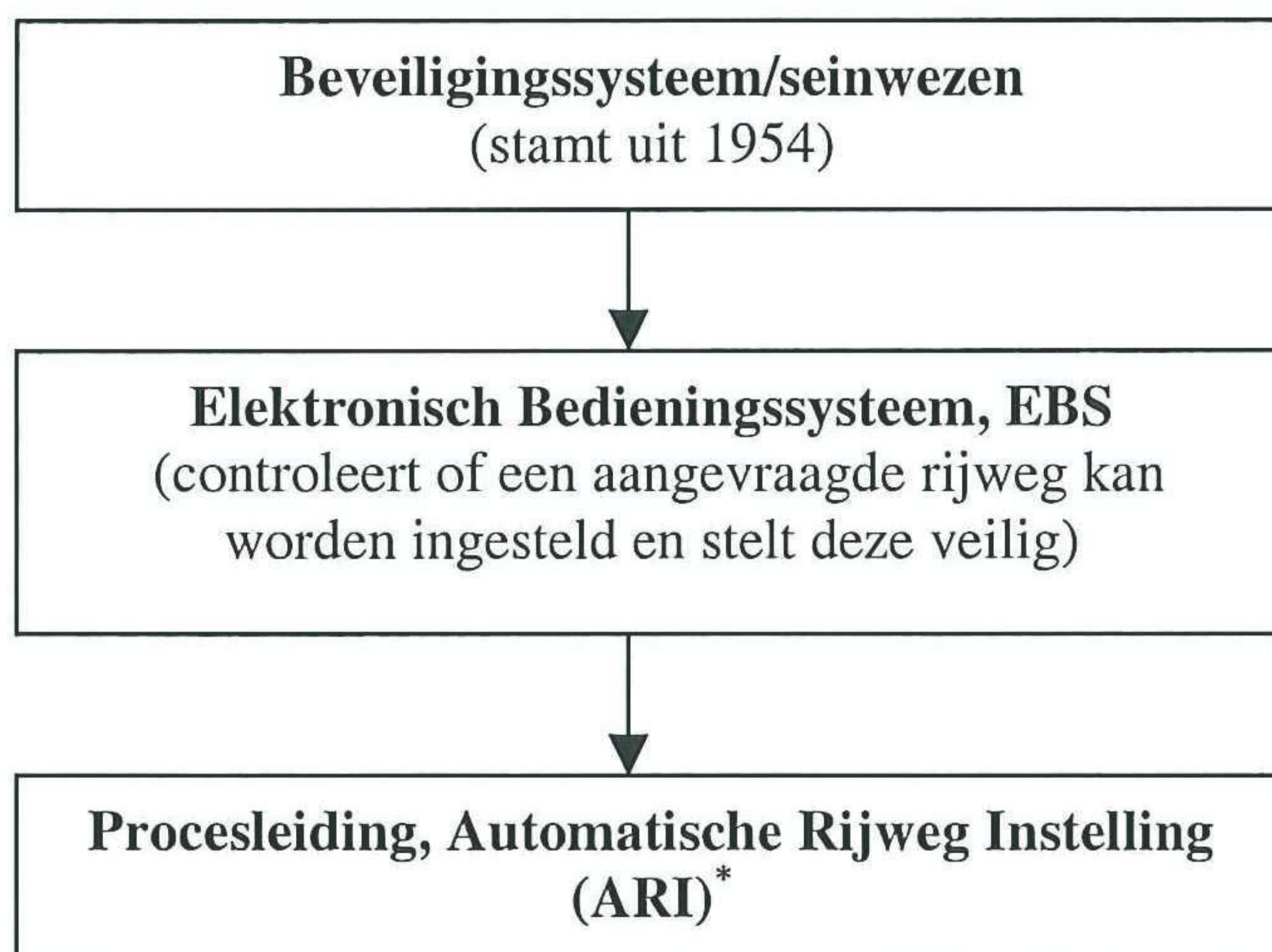
Indien een vervoerder een aanpassing in de dienstregeling wil aanbrengen geldt het volgende:

tijdsduur tot ingaan wijziging:	verzoek indienen bij:
>36 uur	→ NS logistiek, die wordt gecheckt door Prorail
>30 min en <36 uur	→ netwerkbestuurder (geeft aanpassing door aan TDL)
<30 min	→ geen verzoek mogelijk. alleen bijsturing door treindienstleider.

15 minuten van tevoren dient de actuele planning van de rijwegen bekend te zijn bij de verkeersleiding. Het NS regelcentrum heeft nog een aparte procesleider materieel. Deze regelt het rangeren van treinen en overlegt met de verkeersleiding over de rangeerbewegingen.

Beveiliging/bedieningssysteem

Het systeem van het seinwezen tot de bediening door de railverkeersleiding ziet er als volgt uit:



*De Post Rotterdam is de laatste post, waar de treindienstleiding de rijwegen nog handmatig instelt. Alle andere posten in Nederland werken met ARI.

Wachttijden

Iedere trein krijgt tegenwoordig een pad aangewezen. Wanneer een trein van de ene vervoerder de trein van een andere vervoerder in de weg dreigt te zitten, wordt er als volgt gehandeld:

Trein 2 staat gereed voor vertrek op het station en Trein 1 komt naar het station toe gereden. Beide treinen willen vanaf station in dezelfde richting wegrijden.

Trein 1	vertraging < 5 min	Trein 2 wacht en rijdt achter trein 1 aan.
Trein 1	vertraging > 5 en < 10 min	Trein 2 vertrekt op tijd, trein 1 volgt.
Trein 1	vertraging > 10 min	Trein 2 vertrekt op tijd. Het pad van trein 1 vervalt. Trein 1 moet een nieuw pad aanvragen of de treindienst laten vervallen.

Aangezien de meeste treinen op het Nederlandse spoor nog steeds door de NS gereden worden is er voor de reizigerstreinen onderling nog een extra regeling ontworpen:

Wachttijdregeling Reizigerstreinen (WTR)

Hierin staan wachttijden voor verschillende treinen vermeld, afhankelijk van locatie en tijd. Voor Rotterdam en omgeving gelden onder andere de volgende regelingen met betrekking tot het omdraaien van de volgorde van opvolging van de treinen:

Station Rotterdam		
Treinen Dordrecht-Den Haag	Vertraging Intercity	regeling
Serie 2100/2400 (Intercity Vlis/Dordt-Adam) Serie 5100 (stoptrein Rdl-Den Haag C)	tm 6 minuten	5100 wacht (geen wijziging van volgorde)
	> 6 minuten	5100 rijdt vooruit
Serie 1900/2500 (Intercity Heerlen/Venlo-Den Haag C) Serie 5000 (stoptrein Dordt-Leiden)	tm 6 minuten	5000 wacht (geen wijziging van volgorde)
	> 6 minuten	5000 rijdt vooruit

Delft Aansluiting		
Treinen Den Haag-Dordrecht	Vertraging Intercity/Int/Thalys	regeling
Serie 2100/2400 (Intercity Adam-Vlis/Dordt) Serie 5000 (stoptrein Leiden-Dordt)	tm 5 minuten	5000 wacht bij aansluiting (geen wijziging van volgorde)
	6 tm 9 minuten	5000 rijdt vooruit tot spoor 3 station Delft. 2100/2400 passeert bij Station Delft.
	> 9 minuten	5000 rijdt vooruit tot Rotterdam Centraal
Serie 600/9300 (Internationale trein Adam-Brussel, Thalys Adam-Parijs) Serie 5100 (Stoptrein Den Haag C-Roosendaal)	tm 3 minuten	5100 wacht bij aansluiting (geen wijziging van volgorde)
	4 tm 7 minuten	5100 rijdt vooruit tot spoor 3 station Delft. 2100/2400 passeert bij Station Delft.

	> 7 minuten	5100 rijdt vooruit tot Rotterdam Centraal
Station Den Haag Hollands Spoor		
Kruising lijnen Leiden-DH HS en DH HS-DH Centraal	Vertraging	regeling
Serie 2200 (snelrein Leiden-Rotterdam) Serie 5100 (stoptrein Rdl-Den Haag C) Serie 600/9300 (Internationale trein Adam-Brussel, Thalys Adam-Parijs)	2200 tm 5 minuten	5100 wacht (steekt over na 2200, maar voor 600/9300)
	2200 >5 minuten	5100 steekt over op geplande tijd.
	5100 tm 2 minuten	Volgorde handhaven (5100 steekt over voor 600/9300)
	5100 >2 minuten	5100 steekt over na 600/9300

Probleem bij de gehanteerde methode is, dat de meetpunten ver voor het werkelijke knelpunt liggen. Bij de kruising Hollands Spoor liggen de meetpunten voor de vertragingen bijvoorbeeld bij Den Haag Mariahoeve en Delft aansluiting. In de tijd tussen het meetpunten het knelpunt kunnen vertragingen dan al lang weer verminderd zijn of juist zijn opgelopen.

BIJLAGE 3 Aankomst en vertrektijden van treinen op Rotterdam Centraal

Aankomst- en vertrektijden van treinen op Rotterdam Centraal

Treinseries met de aankomst- en vertrektijden op Rotterdam Centraal. Het gaat hierbij om treinseries die in de ochtendspits rijden (ong. 6.00 tot 10.00 uur) en gebruik maken van de Oude lijn of de Hoekse lijn.

Treinsoort	Serie	Even/ Oneven	Traject	Aankomst- tijden ieder uur om (op min)	Vertrek- tijden ieder uur om (op min)
Thalys	9300	n.v.t.	Amsterdam Centraal-Paris Nord	:51 (niet ieder uur)	:54 (niet ieder uur)
		n.v.t.	Paris Nord- Amsterdam Centraal	:09 (niet ieder uur)	:12 (niet ieder uur)
Beneluxtrein	600	n.v.t.	Amsterdam Centraal-Brussel Zuid	:21	:24
		n.v.t.	Brussel Zuid- Amsterdam Centraal	:39	:42
Intercity	1900	Oneven	Den Haag Centraal-Venlo	:43	:45
		Even	Venlo- Den Haag Centraal	:48	:50
Intercity	2500	Oneven	Den Haag Centraal-Heerlen	:13	:15
		Even	Heerlen- Den Haag	:18	:20
Intercity	2100	Oneven	Amsterdam Centraal-Vlissingen	:02	:04
		Even	Vlissingen- Amsterdam Centraal	:59	:01
Intercity	2400	Oneven	Amsterdam Centraal-Dordrecht	:32	:34
		Even	Dordrecht-Amsterdam Centraal	:29	:31
Sneltrein	2200	Oneven	Amsterdam Centraal-Breda	:19 en :49	:20 en :50
		Even	Breda- Amsterdam Centraal	:14 en :44	:15 en :45
Stoptrein	5000	Oneven	Leiden Centraal-Dordrecht	:10 en :40	:12 en :42
		Even	Dordrecht- Leiden Centraal	:21 en :51	:23 en :53
Stoptrein	5100	Oneven	Den Haag Centraal-Roosendaal	:59 en :29	:02 en :32
		Even	Roosendaal- Den Haag Centraal	:01 en :31	:04 en :34
Stoptrein	4100	Oneven	Hoek van Holland-Rotterdam Centraal	:03 en :33	n.v.t.
		Even	Rotterdam Centraal-Hoek van Holland	n.v.t.	:11 en :41
Stoptrein	14100	Oneven	Vlaardingen- Rotterdam Centraal	:11, :25, :41 en :55	n.v.t.
		Even	Rotterdam Centraal-Vlaardingen	n.v.t.	:02, :17, :32 en :47
Stoptrein	4200	Oneven	Hoek van Holland-Rotterdam Centraal	:18 en :48	n.v.t.
		Even	Rotterdam Centraal-Hoek van Holland	n.v.t.	:26 en :56

BIJLAGE 4 Rijwegen van treinseries (inclusief alle gepasseerde secties)

Rijwegen treinseries Rotterdam Centraal

Voor het bepalen van de capaciteitsbenutting is het noodzakelijk om te weten welke rijwegen op het emplacement Rotterdam Centraal mogelijk zijn. Verder is het noodzakelijk om de rijweg van de 1e keus per treinserie op te geven en welke alternatieve routes daarnaast gebruikt worden en hoe vaak deze gebruikt worden.

In eerst instantie is gekeken naar de situatie in de spits, omdat deze situatie in principe de grootste capaciteitsbenutting moet weergeven. Hieronder zijn dan ook alleen treinseries die in de spits (tussen 7.00 en 9.00 uur 's ochtends en tussen 16.00 en 18.00 uur 's middags) rijden opgenomen:

Serie 600 (heen)		Serie 1900 (heen)		Serie 2200 (heen) 1		Serie 2200 (heen) 2	
<i>Internationale trein</i>		<i>Intercity</i>		<i>Snelrein</i>		<i>Snelrein</i>	
Amsterdam Centraal- Brussel Zuid		Den Haag Centraal- Venlo		Amsterdam Centraal- Dordrecht/Breda		Amsterdam Centraal- Dordrecht/Breda	
Sectie	venster	sectie	Venster	sectie	venster	sectie	venster
156CT	CB	156CT	CB	156CT	CB	156CT	CB
168AT		168AT		168AT		168AT	
168BT	CA	168BT	CA	168BT	CA	168BT	CA
225AT		225AT		225AT		225AT	
223AT		287T		287T		287T	
223BT		192T	6.0	192T	6.0	192T	6.0
229BT		335T		335T		335T	
291T		337BT		337BT		351T	
293BT		347T		347T		349T	
194T	1.0	385T		385T		383T	
343T		A666AT		A666AT		A664AT	
341T		A666BT	HA	A666BT	HA	A664BT	HA
347T		666AT		666AT		664AT	
385T		666BT		666BT		664BT	
A666AT		666CT	HB	666CT	HB	664CT	JB
A666BT	HA						
666AT							
666BT							
666CT	HB						

Serie 2100 (heen)		Serie 2400 (heen)		Serie 2500 (heen)		Serie 5000 (heen) 1	
<i>Intercity</i>		<i>Intercity</i>		<i>Intercity</i>		<i>Stoptrein</i>	
Amsterdam Centraal-Vlissingen		Amsterdam Centraal-Dordrecht		Den Haag Centraal-Heerlen		Leiden-Rotterdam Lombardijen/Dordt	
Sectie	venster	Sectie	Venster	sectie	venster	sectie	Venster
156CT	CB	156CT	CB	156CT	CB	156CT	CB
168AT		168AT		168AT		168AT	
168BT	CA	168BT	CA	168BT	CA	168BT	CA
225AT		225AT		225AT		225AT	
287T		287T		245T		245T	
192T	6.0	192T	6.0	241T		241T	
335T		335T		279BT		279BT	
337BT		337BT		246T	7.0	246T	7.0
347T		347T		333AT		333AT	
385T		385T		351T		351T	
A666AT		A666AT		349T		349T	
A666BT	HA	A666BT	HA	383T		383T	
666AT		666AT		385T		A664AT	
666BT		666BT		A666AT		A664BT	JA
666CT	HB	666CT	HB	A666BT	HA	664AT	
				666AT		664BT	
				666BT		664CT	JB
				666CT	HB		

Serie 5000 (heen) 2		Serie 5100 (heen) 1		Serie 600 (retour)		Serie 1900 (retour)	
<i>Stoptrein</i>		<i>Stoptrein</i>		<i>Internationale trein</i>		<i>Intercity</i>	
Leiden-Rotterdam Lombardijen/Dordt		Den Haag-Centraal-Roosendaal		Brussel Zuid-Amsterdam Centraal		Venlo-Den Haag Centraal	
Sectie	Venster	Sectie	Venster	Sectie	venster	sectie	venster
156CT	CB	156CT	CB	646BT	LB	646BT	LB
168AT		168AT		656AT		656AT	
168BT	CA	168BT	CA	656BT		656BT	
225AT		225AT		656CT	LA	656CT	LA
287T		245T		656DT		656DT	
192T	6.0	241T		379T		379T	
335T		279BT		319T		319T	
351T		246T	7.0	371T		371T	
349T		333AT		363T		363T	
383T		351T		355T		355T	
A664AT		349T		330T		330T	
A664BT	JA	383T		188BT	9.0	188BT	9.0
664AT		A664AT		267BT		267BT	
664BT		A664BT	JA	217BT		217BT	
664CT	JB	664AT		213AT		213AT	
		664BT		179BT	DA	179BT	DA
		664CT	JB	154CT	DB	154CT	DB

Serie 2200 (retour) 1		Serie 2200 (retour) 2		Serie 2100 (retour)		Serie 2400 (retour)	
<i>Snelrein</i>		<i>Snelrein</i>		<i>Intercity</i>		<i>Intercity</i>	
Breda/Dordrecht-Amsterdam Centraal		Breda/Dordrecht-Amsterdam Centraal		Vlissingen-Amsterdam Centraal		Dordrecht-Amsterdam Centraal	
Sectie	Venster	Sectie	Venster	sectie	Venster	sectie	Venster
646BT	LB	644BT	KB	646BT	LB	646BT	LB
656AT		654AT		656AT		656AT	
656BT		654BT		656BT		656BT	
656CT	LA	654CT	KA	656CT	LA	656CT	LA
656DT		654DT		656DT		656DT	
379T		381T		379T		379T	
367T		367T		319T		319T	
359T		359T		371T		371T	
333BT		333BT		363T		363T	
A280T	8.0	A280T	8.0	355T		355T	
283BT		283BT		330T		330T	
279AT		279AT		188BT	9.0	188BT	9.0
267BT		267BT		267BT		267BT	
217BT		217BT		217BT		217BT	
213AT		213AT		213AT		213AT	
179BT	DA	179BT	DA	179BT	DA	179BT	DA
154CT	DB	154CT	DB	154CT	DB	154CT	DB

Serie 2500 (retour)		Serie 5000 (retour) 1		Serie 5100 (retour)	
<i>Intercity</i>		<i>Stoptrein</i>		<i>Stoptrein</i>	
Heerlen-Den Haag Centraal		Dordt/Rotterdam Lombardijen-Leiden		Roosendaal-Den Haag Centraal	
Sectie	Venster	sectie	venster	sectie	Venster
646BT	LB	644BT	KB	644BT	KB
656AT		654AT		654AT	
656BT		654BT		654BT	
656CT	LA	654CT	KA	654CT	KA
656DT		654DT		654DT	
379T		381T		381T	
319T		367T		367T	
371T		359T		359T	
363T		333BT		333BT	
355T		A280T	8.0	A280T	8.0
330T		283BT		283BT	
188BT	9.0	279AT		279AT	
267BT		267BT		267BT	
217BT		217BT		217BT	
213AT		213AT		213AT	
179BT	DA	179BT	DA	179BT	DA
154CT	DB	154CT	DB	154CT	DB

BIJLAGE 5 Gebruikte parameters voor de treinkarakteristieken van Nederlandse treinen

Gebruikte parameters voor de treinkarakteristieken van Nederlandse treinen

Materieel: 2xmDDM3

Volgens PRORIN_RIVM
2 treinstellen zijn behandeld als een geheel.

Vmax (km/h)	140
Loklaenge (m)	200
Lokmasse (t)	434
Reibmasse (t)	152
Haftreibungswert	2.3
Rholock (%)	12.0
Windbeiwert (km/h)	0

Weerstandsparemeters ($A+B*V+C+V^2$)	A	B	C
Met: V in m/s	4520	11.11	0.80

Materieel: 2xIRM4

Volgens PRORIN_RIVM
2 treinstellen zijn behandeld als een geheel.

Vmax (km/h)	160
Loklaenge (m)	214
Lokmasse (t)	458
Reibmasse (t)	120
Haftreibungswert	2.0
Rholock (%)	11.0
Windbeiwert (km/h)	0

Weerstandsparemeters ($A+B*V+C+V^2$)	A	B	C
Met: V in m/s	4240	11.89	0.83

Materieel: Trein 1800 + 9 ICR

Volgens PRORIN_RIVM
Combinatie is behandeld als een geheel.

Vmax (km/h)	160
Loklaenge (m)	255.2
Lokmasse (t)	452
Reibmasse (t)	83
Haftreibungswert	25
Rholock (%)	10
Windbeiwert (km/h)	0

Weerstandsparemeters ($A+B*V+C+V^2$)	A	B	C
Met: V in m/s	4800	14.18	1.08

Materieel: SNCB 1180 reeks +6 ICR

Volgens PRORIN_RIVM
Combinatie is behandeld als een geheel.

Vmax (km/h)	140
Loklaenge (m)	177
Lokmasse (t)	331
Reibmasse (t)	85
Haftreibungswert	23
Rholock (%)	11
Windbeiwert (km/h)	3.611

Weerstandsparemeters ($A+B*V+C+V^2$)	A	B	C
Met: V in m/s	3960	9.83	0.87