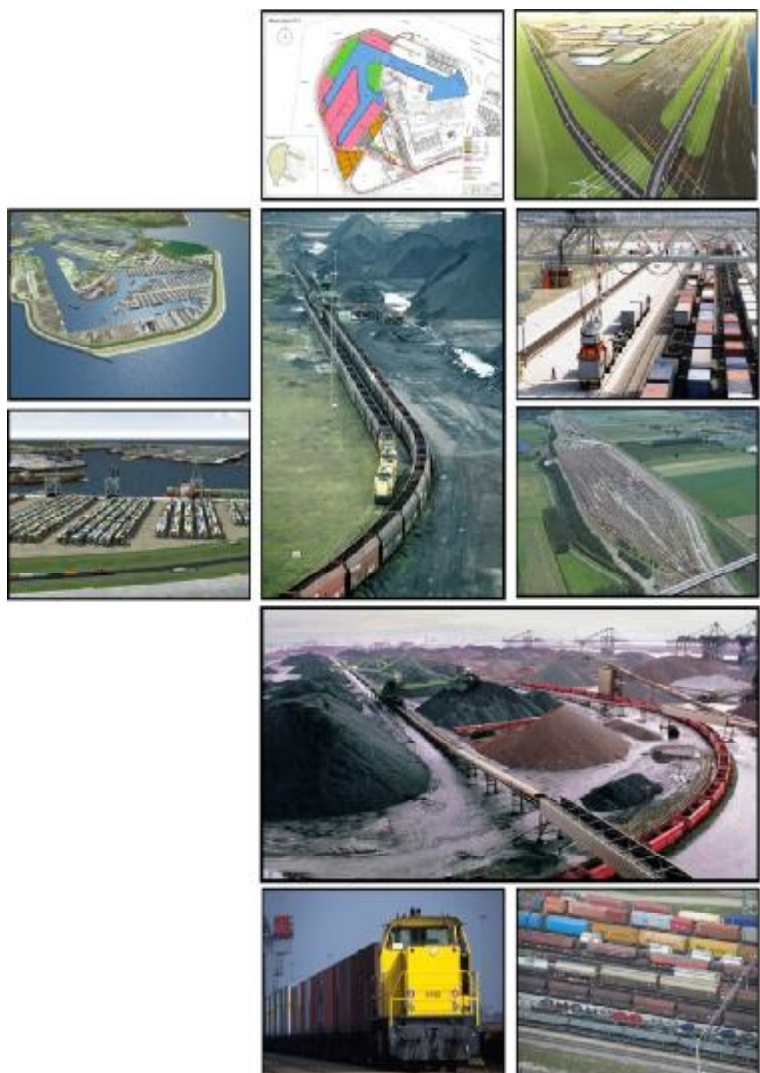


SIMULATIE RAILGOEDERENVERVOER TWEEDE MAASVLAKTE

Een onderzoek naar de dynamiek van de spoorprocessen op een volledig bebouwde en benutte
Maasvlakte in het jaar 2033

Afstudeerscriptie Fionn Stive



*Afstudeerscriptie ten behoeve van de afronding van de Master Industrial Engineering & Management binnen de
opleiding Technische Bedrijfskunde aan de Universiteit Twente*

F.D. Stive

0006513

BEDRIJF

Havenbedrijf Rotterdam N.V
World Port Center (WPC)
Wilhelminakade 909
3072 AP Rotterdam
Havennummer 1247
www.portofrotterdam.com



Begeleider ir. APG (Gerard) Eijkelenboom
apg.eijkelenboom@portofrotterdam.com

UNIVERSITEIT

Universiteit Twente
Faculteit BBT
Vakgroep Operationele Methoden
voor Productie en Logistiek (OMPL)
Postbus 217
7500 AE ENSCHEDE
www.bbt.utwente.nl



Begeleiders dr. PC (Peter) Schuur
p.c.schuur@utwente.nl

 ir. AM (Albert) Douma
a.m.douma@utwente.nl

AUTEUR

FD (Fionn) Stive
Madurastraat 63 C
1094 GG AMSTERDAM
fstive@gmail.com

MANAGEMENTSAMENVATTING

De overslag van containers in de Rotterdamse haven stijgt jaarlijks, hoewel het niet mogelijk is om sneller te groeien aangezien de haven letterlijk haar grenzen heeft bereikt. De tweede Maasvlakte moet uitkomst bieden. Contractueel is vastgelegd dat de overslagbedrijven die zich op de tweede Maasvlakte vestigen maximaal 45% van het achterlandvolume per weg mogen vervoeren, het merendeel dient via spoor en binnenvaart te gaan.

Op basis van toekomstige ontwikkelingen in het railgoederentransport is door het havenbedrijf een vertaling gemaakt naar infrastructuurbehoefte op Maasvlakte 1 en 2 in het jaar 2033 (volledig bebouwde en benutte Maasvlakte). Deze vertaling is gebaseerd op relatief eenvoudige analytische berekeningen en geeft slechts beperkt inzicht in de dynamiek van de spoorprocessen. De behoefte aan meer inzicht vormt de basis voor deze thesis. Op basis van de infrastructuurbehoefte en de verwachte ladingstromen in het jaar 2033, is door middel van een dynamisch simulatiemodel onderzocht wat de voorwaarden zijn waaronder minimaal 20% van alle achterlandlading vanaf de Maasvlakte via het spoor vervoerd kan worden.

Hierbij is de inrichting van de Maasvlakte aangehouden zoals vastgelegd in het masterplan versie 3.3.1. Voor het vervoer naar het achterland is gebruik gemaakt van 4 treinconcepten (containertreinen) waarbij onderscheid wordt gemaakt tussen ideaalshuttles, opstapshuttles, deeltreinen en bontetreinen. De treinen in het simulatiemodel zijn 650 meter lang en versnellen en vertragen met respectievelijk $0,2 \text{ (m/s}^2\text{)}$ en $0,5 \text{ (m/s}^2\text{)}$. De spoorlijnen op de Maasvlakte zijn in blokken ingedeeld van 1000 meter en in een blok mag zich uit veiligheidsoverwegingen slechts één trein per keer bevinden. De 8 railterminals op de Maasvlakte zijn in het model samengevoegd tot 3 terminals. Daarnaast zijn de twee emplacementen Zuid en West (specifiek bestemd voor containertreinen) opgenomen. De Maasvlakte wordt als een integraal 40 km/u gebied beschouwd.

Verscheidene scenario's zijn onderzocht, door te variëren met verschillende instellingen voor de modelparameters. De vijf modelparameters die zijn onderzocht zijn: (1) Verdeling lading over de treinconcepten. (2) Route van de treinconcepten over de Maasvlakte. (3) Belasting tijdens normaal uur en piek uur. (4) Procestijden op de emplacementen en terminals. (5) Besturingsmodel voor het interne verkeer. Om de modeloutput te kwantificeren is gebruik gemaakt van vier prestatiecriteria: (1) De verkeersstromen rondom knooppunten. (2) Het aantal treinen op de emplacementen/terminals. (3) De cyclustijd en wachttijd van de treinen. (4) De doorzet.

Uit de simulatie blijkt dat de inzet van deeltreinen, opstapshuttles en ideaalshuttles een significant hogere emplacementbehoefte (53-56 sporen) oplevert ten opzichte van de inzet van bontetreinen, opstapshuttles en ideaalshuttles (35-37 sporen). Er is in het huidige masterplan ruimte gereserveerd voor 43 emplacementsporen, waardoor er een tekort van 10-13 sporen ontstaat indien deeltreinen worden ingezet. Op basis hiervan wordt geadviseerd de inzet van deeltreinen zo veel mogelijk te beperken.

Verwacht wordt dat de emplacementbehoefte naar beneden gebracht kan worden met 8%-20% als emplacement West en emplacement Zuid treinen uitwisselbaar maken tussen beide emplacementen. De spoorlay out is hier momenteel niet (goed) op ingericht, extra onderzoek hiernaar wordt geadviseerd.

De bezetting op de emplacementen fluctueert sterk van uur tot uur. Door deze spreiding te verminderen zal de uiteindelijke behoefte aan emplacementsporen afnemen. Het is niet mogelijk om deze pieken met statische besturingsregels af te vlakken. Geadviseerd wordt om onderzoek te doen naar dynamische besturingsregels die de spreiding op de emplacementen reduceren en zo het totaal aantal benodigde emplacementsporen verlagen.

Door alleen maar opstapshuttles in te zetten neemt de emplacementbehoefte ten opzichte van het 'bontetreinen, opstapshuttles en ideaalshuttles' scenario met 7% toe. Door alleen maar ideaalshuttles in te zetten neemt de emplacementbehoefte juist met 8% af. Beide scenario's leveren ten opzichte van de inzet van deeltreinen een significant lagere emplacementbehoefte op. Het gebruik van één en hetzelfde treinconcept heeft een positieve invloed op de spreiding van de cyclustijd en wachttijd van de treinen. Geadviseerd wordt om in de toekomst met zo min mogelijk verschillende treinconcepten te werken.

De drukte op de knooppunten is afhankelijk van de gekozen modelparameters. Uit de simulatie blijkt dat gemiddeld 80% van de treinen ongehinderd een knooppunt kan passeren. Een belangrijke modelveronderstelling hierbij is dat er van blok naar blok wordt gereden. Onduidelijk is of een dergelijk systeem in de praktijk haalbaar is, aanbevolen wordt om hier nader onderzoek naar te doen.

De gemiddelde cyclustijden (tijd dat een trein zich op de Maasvlakte bevindt) per treinconcept zijn voor alle scenario's constant. In een piek uur neemt (in vergelijking tot een normaal uur) de gemiddelde cyclustijd per treinconcept toe met 6 tot 40 minuten op een gemiddelde van ruim 7 uur. De standaarddeviatie van zowel de cyclustijden als de wachttijden nemen in een piek uur flink toe, in sommige gevallen met een factor 9. Opstapshuttles hebben de langste totale wachttijd van alle treinconcepten en werken het meest verstorend op de overige processen. Aanbevolen wordt om onderzoek te doen naar wat vanuit de markt werkbare/acceptabele cyclus- en wachttijden zijn en welke mate van spreiding hierin wordt getolereerd.

Geadviseerd wordt om maximaal 8 treinen per uur de Maasvlakte op te laten rijden. Hiermee worden conflicten tussen vertrekkende en aankomende treinen vanaf de emplacementen West en Zuid voorkomen.

Benadrukt wordt dat de emplacementbehoefte die in dit onderzoek naar voren komt als een ondergrens gezien moet worden. Verwacht wordt dat het aantal benodigde sporen in de praktijk hoger zal zijn. Er heeft een aggregatie plaatsgevonden van 8 naar 3 terminals in het model waardoor een versimpeling van de werkelijkheid optreedt. De terminals in het model vormen (bijna) nooit een bottleneck, terwijl dit in werkelijkheid wel wordt verwacht. Door slechte planning en sturing van treinen zal de emplacementbehoefte verder toenemen. Om treinen 'op tijd' te laten rijden zal speling ingepland moeten worden om de spreiding in de cyclustijden op te vangen. Deze extra speling zal voor een deel op de emplacementen worden doorgebracht waardoor de behoefte nog verder toeneemt. Op basis hiervan wordt geadviseerd onderzoek te doen naar hoe het model functioneert ten opzichte van een initiële planning.

SUMMARY (ENGLISH)

The transshipment of containers in the port of Rotterdam rises annually. However it is not possible to grow any faster because the port has literally reached its limits. Maasvlakte 2 should provide outcome. Stevedores settling on Maasvlakte 2 are contractually committed to transport at least 55% of the hinterland volume by rail and barge.

On the basis of future developments in rail cargo, the Rotterdam Port Authority has estimated what the infrastructure needs on the Maasvlakte in the year 2033 will be. However these estimations are based on fairly basic analytical calculations and do not provide any insight into the system dynamics. The need towards further insight forms the basis for this thesis. The calculated infrastructure needs in combination with expected cargo flows are used in a dynamic simulation model to compute the exact conditions under which 20% of all hinterland cargo from the Maasvlakte can be transported by rail.

For the exact location of the terminals and shunting yards on the Maasvlakte, use has been made of the Maasvlakte MasterPlan version 3.3.1. Four train concepts (all container trains) are introduced for transport to the hinterland. A distinction can be made into shuttle trains (direct shuttle, hub shuttle, feeder shuttle) and block trains. The length of the trains in the model is 650 meter. An acceleration of $0.2 \text{ (m/s}^2\text{)}$ and a retardation of $0.5 \text{ (m/s}^2\text{)}$ are used in the model. The tracks on the Maasvlakte are separated into segments of 1,000 meters and for safety reasons only one train can be situated in a segment at once. The 8 rail terminals on the Maasvlakte are merged into 3 terminals in the model. The two shunting yards South and West are included in the model as well. The Maasvlakte is regarded as an integral 40 km/hour zone.

Several scenarios have been examined, by varying the different model parameters. The five model parameters that have been examined are: (1) The distribution of cargo over the various train concepts. (2) The different routes of the trains over the Maasvlakte. (3) The number of trains during normal hours and during peak hours. (4) The different process times at the shunting yards and terminals. (5) The policy rules for the internal traffic. In order to quantify the model output four criteria are used: (1) Analysis of the traffic flow around nodes. (2) Analysis of the number of trains on the yards/terminals. (3) Analysis of the cycle time and waiting time of the trains. (4) Analysis of the system throughput.

The simulation shows that the deployment of direct shuttles, feeder shuttles and block trains accounts for a significantly higher need of yard tracks (53-56) in comparison to the deployment of direct shuttles, feeder shuttles and hub shuttles (35-37). In the current MasterPlan a reservation has been made for 43 yard tracks, leaving a shortage of 10-13 tracks if block trains are to be deployed. It is therefore advised to avoid the use of block trains as much as possible.

It is expected that the amount of needed yard tracks can be lowered by 8% to 20 % by making trains interchangeable between the two yards. The track layout however is currently not sufficient to accomplish this, further research is advised.

The utilization of the two yards greatly fluctuates from hour to hour. By reducing the variance in the visit ratios, a reduction in the amount of needed yard tracks is expected to be obtained. However it is not possible to reduce the variance by using static operation rules. It is advised to further research the possibility of variance reduction through the use of dynamic rules, in order to bring down the number of yard tracks needed.

The mere deployment of feeder shuttles causes an extra need of yard tracks up to 7% in comparison to the scenario in which direct shuttles, feeder shuttles and hub shuttles are deployed. The mere deployment of direct shuttles has a positive effect of 8% on the number of yard tracks needed. However both the deployment of solely direct shuttles and the deployment of feeder shuttles have a significant lower impact on the number of yard tracks needed in comparison to deploying block trains. The use of the same train concept has a positive influence on the distribution of the cycle times and waiting times of the trains. It is recommended to work with as few as possible train concepts.

The train intensities at the nodes depend on the chosen model parameters. In practice it shows that on average 80% of the trains can pass a node unhindered. An important model assumption however is that trains drive from segment to segment. It is unclear whether such a system is practicable, further research is recommended.

The average cycle times of the various train concepts in the simulation scenarios are fairly constant. In a peak hour, the average cycle time per train concept increases 6 to 40 minutes over an average of 7 hours (compared to a normal hour). Once a peak hour (2.2 times more trains than in a normal hour) is simulated the standard deviation of both the cycle times and waiting times significantly increases, in some cases by a factor 9. The feeder shuttles have the longest waiting times and are most sensitive to disrupting to the other processes. Research has to be done to figure out what amount of variance in cycle times is workable/accepted by the market.

It is further recommended that no more than 8 trains per hour are to be accepted on the Maasvlakte. This will avoid conflicts between trains departing and arriving from the shunting yards West and South.

Finally it is stressed that the number of yard tracks mentioned in this study should be seen as a lower limit. It is expected that the number of tracks in practice will turn out to be higher. The terminals in the model (almost) never form a bottleneck, reality will show otherwise. Due to poor planning and control the amount of needed yard tracks will rise. In order for trains to depart on time, slack time will have to be scheduled to account for the deviation in the cycle times. This extra slack will partly be spend on the yard tracks which further increases the number of tracks needed. On the basis of above it is recommended to investigate how the model performs compared to an initial planning.

VOORWOORD

Ter afronding van de Master Industrial Engineering & Management binnen de opleiding Technische Bedrijfskunde aan de Universiteit Twente heb ik het genoeg gehad mijn afstudeeronderzoek bij het Havenbedrijf Rotterdam N.V. te mogen uitvoeren. Zowel vanaf de kant van het Havenbedrijf als binnen de Universiteit Twente heb ik mijn begeleiding als zeer prettig ervaren.

Graag bedank ik Henk Bovenlander, Maurits van Schuylenburg, Cees Pons, Jan Willem Koeman en in het bijzonder Gerard Eijkelenboom vanuit het Havenbedrijf voor hun aandeel in dit onderzoek. Allen waren zeer bereid in het beantwoorden van vragen en het verschaffen van informatie. Naast de goede begeleiding, bedank ik Gerard tevens voor het in contact brengen met verschillende externe partijen; deze hebben mij allen zeer positief ontvangen. Hierbij mijn dank aan KeyRail, ECT delta Terminal, ERS Railways en Railion.

Ook de kritische blik en goede begeleiding van zowel Peter Schuur als Albert Douma vanuit de Universiteit bleken zeer waardevol. Zowel Peter als Albert hebben veel tijd gestoken in onze vaak lange commissie vergaderingen, mijn hartelijke dank daarvoor.

Als laatste een blijk van waardering richting mijn ouders die mij na zeven jaar weer met open armen hebben ontvangen nadat ik weer tijdelijk bij ze in trok. Ik heb met veel plezier weer even thuis gewoond.

Fionn Stive

Rotterdam, 2008

INHOUDSOPGAVE

MANAGEMENTSAMENVATTING.....	I
SUMMARY (ENGLISH)	III
VOORWOORD.....	V
LIJST MET GEBRUIKTE TERMEN	XI
FIGURENLIJST	XV
TABELLENLIJST.....	XIX
1. INLEIDING.....	1
1.1 AANLEIDING.....	2
1.2 PROBLEEMBESCHRIJVING	3
1.3 PROBLEEMSTELLING	4
1.4 DOELSTELLING.....	5
1.5 AFBAKENING.....	5
1.6 ONDERZOEKSVRAGEN	6
1.7 METHODIEK	6
1.8 LEESWIJZER	7
2. RAILGOEDERENVERVOER.....	9
2.1 SOORTEN LADING	9
2.2 MARKTPARTIJEN	9
2.3 MATERIEEL	11
2.4 TREINCONCEPTEN	12
2.5 ONTWIKKELINGEN SPOORVERVOER	14
2.6 SAMENVATTING	15

3. SPOORAFHANDELING HAVEN ROTTERDAM	17
3.1 SPOORBELEID HBR	17
3.2 LOPENDE SPOORSTUDIES	18
3.3 HAVENSPOORLIJN	19
3.4 MAASVLAKTE 2	21
3.5 TERMINALS	24
3.6 EMPLACEMENTEN	25
3.7 SAMENVATTING	27
4. CAPACITEIT RAILINFRASTRUCTUUR MAASVLAKTE.....	29
4.1 RAILINFRASTRUCTUUR EENHEDEN	29
4.2 CAPACITEIT SPOORLIJN	31
4.3 CAPACITEIT WISSELCOMPLEX	32
4.4 CAPACITEIT KRUISPUNT	33
4.5 CAPACITEIT EMPLACEMENTEN EN TERMINALS	35
4.6 CAPACITEIT MAASVLAKTE	36
4.7 SAMENVATTING	41
5. MODELFORMULERING.....	43
5.1 INPUTPARAMETERS	44
5.2 INFRASTRUCTUUR	45
5.3 BESTURING.....	47
5.4 OUTPUT.....	49
5.5 TECHNISCHE MODEL SPECIFICATIE	50
5.6 MODEL VALIDATIE	54
5.7 SAMENVATTING	55

6. EXPERIMENTEEL ONTWERP	57
6.1 MODEL OPZET	57
6.2 MODEL PARAMETERS	59
6.3 SIMULATIE SCENARIO'S	65
6.4 GEVOELIGHEIDSANALYSE	67
6.5 VALIDATIE OUTPUT	67
6.6 SAMENVATTING	69
7. RESULTATEN	71
7.1 SYSTEEM INSTELLINGEN	71
7.2 OPZET RESULTATEN	72
7.3 EMPLACEMENTBEHOEFTE	73
7.4 ANALYSE TERMINALS	76
7.5 VERKEERSKNOOPPUNTEN	80
7.6 CYCLUSTIJDEN EN WACHTTIJDEN	84
7.7 GEVOELIGHEIDSANALYSE	86
7.8 INZICHTEN	95
7.9 SAMENVATTING	97
8. CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN	99
8.1 CONCLUSIES	99
8.2 AANBEVELINGEN	103
REFERENTIES	105
BIJLAGEN	107

LIJST MET GEBRUIKTE TERMEN

Achterland	Gebieden die voor hun invoer en uitvoer zijn aangewezen op een haven.
ACTP	Academic Centre TransPORT, virtueel kenniscentrum die de verbinding maakt tussen praktijk uit de haven en kennis uit de kennisinstituten.
Betuwerroute	Dedicated vrachtspoorlijn tussen de Rotterdamse haven en de Duitse grens.
Bonte trein	Goederentrein die op een rangeerterrein wordt samengesteld uit verschillende losse wagons en lading vervoert voor meerdere verladers.
C2 knoop	Knooppunt aan het begin van de Maasvlakte waar alle verkeersstromen (zowel weg als spoor) samenkomen van Maasvlakte 1 en 2.
Deeltrein	Goederentrein die wordt samengesteld uit meerdere treindelen waarbij ieder treindeel een eigen herkomst/bestemming heeft.
Double stack	Goederentrein waarop containers twee hoog worden gestapeld.
ECT (delta)	European Container Terminal. Bestaande marineterminal op de Maasvlakte.
ETCS	European Train Control System. Het treinbeïnvloedingssysteem dat wordt toegepast op de Betuwerroute.
EMO	Europees Massagoed- Overslag bedrijf. Bestaande droge bulk terminal op de Maasvlakte.
Emplacement	Gedeelte van de spoorweg, bestemd en ingericht om treinen te stoppen, beginnen, eindigen, inhalen, samenstellen of kruisen en voorzien van tenminste één wissel.
Euromax	Bestaande marineterminal op de Maasvlakte.
Expeditie	Specialist in het verzenden van goederen.
Havenspoorlijn	Vrachtspoorlijn door de Rotterdamse haven.
HbR	Havenbedrijf Rotterdam N.V.
HIC	Rotterdams haven- en industriecomplex.

Ideaalshuttle/ Ideaaltrain	Goederentrein die met een veelal vaste samenstelling van wagons tussen A en B rijdt.
Inhaalspoor	Zijsporen waar goederentreinen doorgaans wachten op (vaak sneller rijdende) reizigerstreinen.
Intermodaal	Transport van containers waarbij van meerdere modaliteiten gebruik wordt gemaakt.
Marineterminal	Zeekadeterminal; een terminal waar goederen vanaf zeeschepen worden overgeslagen.
Massagoed, droog	Agribulk, ertsen, schroot en kolen.
Massagoed, nat	Ruwe aardolie, aardolieproducten, chemicaliën.
Modal split	Vervoer per modaliteit (binnenvaart, spoor en wegvervoer).
MV	Maasvlakte.
Off-dock	Zich niet op het terrein van een marineterminal bevindend.
On-dock	Zich op het terrein van een marineterminal bevindend.
Opstapshuttle/ Opstaptrain	Goederentrein die met een veelal vaste samenstelling van wagons tussen A en B rijdt en die, in zijn geheel, onderweg stopt op meerdere terminals om lading te laden of lossen.
ORT	Oostelijke Rail Terminal, bestaande on dock railterminal op de Maasvlakte (op het terrein van de ECT delta terminal).
Overloopsporen	Stuk spoor dat ervoor zorgt dat een trein van een spoor kan ‘overlopen’ naar een parallel lopend spoor.
Overslag	Aan- en afvoer van goederen.
Piekfactor	Rekenfactor waarmee een uiterste (piek) wordt afgezet ten opzichte van het gemiddelde.
Rangeren	Splitsen dan wel opnieuw samenvoegen van een complete trein.
RCC	Rail Chemie Center, terminal waar chemische lading op de trein wordt gezet.
RoRo, Roll on/Roll of	Vorm van stukgoederenvervoer: vrachtwagens, opleggers, auto’s en ander rollend materiaal.

RSC	Rail Service Center, terminal waar containers op de trein worden gezet.
Shortsea	Vervoer te water over een traject dat tenminste voor een deel uit zee of oceaan bestaat maar waarbij de oceaan niet wordt gekruist.
Stukgoed	Goederen die in eenheden verpakt en vervoerd worden.
TEN	Trans Europese railgoederen Netwerk.
TEU	Twenty Equivalent Unit. Een laadbak van 20 voet (1 voet = ± 30 cm).
TEU-factor	Rekenfactor waarmee het aantal TEU per container wordt uitgedrukt.
UIC	Union Internationale des Chemins de fer; internationaal platform voor railgoederenvervoer.
Wisselcomplex	De overgang tussen baanvaksporen en terminal- en emplacementsporen.

FIGURENLIJST

FIGUUR 1: CLUSTERING HAVENGEBIEDEN (BRON: HbR, BEWERKT DOOR STIVE)	1
FIGUUR 2: RELATIE INFRASTRUCTUUR BESTURING EN OUTPUT.....	4
FIGUUR 3: ONDERZOEKSMODEL	7
FIGUUR 4: VERDELING SPOORLADING NAAR SOORT ANNO 2007 (BRON: RAILCARGO).....	9
FIGUUR 5: RAILVERBINDINGEN ACHTERLAND (BRON: RAILCARGO).....	12
FIGUUR 6: IDEEAALSHUTTLE (BRON: RAILCARGO, BEWERKT DOOR STIVE).....	13
FIGUUR 7: OPSTAPSHUTTLE (BRON: RAILCARGO, BEWERKT DOOR STIVE).....	13
FIGUUR 8: DEELTREIN (BRON: RAILCARGO, BEWERKT DOOR STIVE)	14
FIGUUR 9: BONTETREIN (BRON: RAILCARGO, BEWERKT DOOR STIVE).....	14
FIGUUR 10: HAVENSPOORLIJN (BRON: RAILCARGO).....	20
FIGUUR 11: MASTERPLAN TWEEDE MAASVLAKTE VERSIE 3.3.1 (BRON: HbR).....	23
FIGUUR 12: ARTIST IMPRESSION MAASVLAKTE IN HET JAAR 2033 VANUIT C2 KNOOP BEKEKEN (BRON: HbR)	23
FIGUUR 13: FUNCTIONALITEIT RAILINFRASTRUCTUUR MAASVLAKTE IN HET JAAR 2033 (BRON: LOGITECH).....	23
FIGUUR 14: VERDELING AANKOMST TREINEN RTW TERMINAL ANNO 2008 (BRON: ECT)	24
FIGUUR 15: OVERZICHT EMPLACEMENTEN MAASVLAKTE (HbR, 2008).....	25
FIGUUR 16: RAILINFRASTRUCTUUR EENHEDEN	29
FIGUUR 17: STANDAARD SEINRELATIES SPOORLIJN	32
FIGUUR 18: WISSELCOMPLEX (LINKS) CONFLICTERENDE TREINBEWEGING (RECHTS).....	33
FIGUUR 19: SCHEMATISCHE WEERGAVE KRUISPUNT	33
FIGUUR 20: C2 KNOOP, LINKS SCENARIO 1, RECHTS SCENARIO 2 (BRON: LOGITECH).....	37
FIGUUR 21: RELATIES EMPLACEMENTEN-TERMINALS MAASVLAKTE	40
FIGUUR 22: RELATIE MODELONTWERP	43
FIGUUR 23: VERTAALSLAG SPOORLAY-OUT NAAR SIMULATIEMODEL	46

FIGUUR 24: ROUTE IDEEAALTREIN MET BESTEMMING RWGEUR	52
FIGUUR 25: COMMUNICATIE METHODEN EN OBJECTEN.....	53
FIGUUR 26: OPZET SIMULATIERUNS.....	58
FIGUUR 27: LEGENDA BEHORENDE BIJ FIGUUR 25	59
FIGUUR 28: MATRIX OPSTAP23SHUTTLE.....	62
FIGUUR 29: RELATIE WIP EN DOORZET BIJ VERSCHILLENDE PROCESVARIANTIE (SPEARMAN & HOPP, 2000).....	64
FIGUUR 30: OPZET SIMULATIE SCENARIO'S.....	65
FIGUUR 31: BASIS SCENARIO'S SIMULATIE	66
FIGUUR 32: BEPALING WARMUP PERIODE	71
FIGUUR 33: BEZETTING EMPLACEMENTEN LAAG_NORM_DET EN HOOG_NORM_DET (BASIS SCENARIO).....	73
FIGUUR 34: BEZETTING EMPLACEMENTEN LAAG_PIEK_DET EN HOOG_PIEK_DET (BASIS SCENARIO)	73
FIGUUR 35: BEZETTING EMPLACEMENTEN LAAG_NORM_EXP EN HOOG_NORM_EXP (BASIS SCENARIO)	74
FIGUUR 36: BEZETTING EMPLACEMENTEN LAAG_PIEK_EXP EN HOOG_PIEK_EXP (BASIS SCENARIO)	74
FIGUUR 37: BEZETTING TERMINALS LAAG_PIEK_DET (BASIS SCENARIO).....	76
FIGUUR 38: BEZETTING TERMINALS LAAG_PIEK_EXP (BASIS SCENARIO).....	76
FIGUUR 39: DOORZET TERMINALS LAAG_PIEK_DET (BASIS SCENARIO).....	77
FIGUUR 40: DOORZET TERMINALS LAAG_PIEK_EXP (BASIS SCENARIO)	77
FIGUUR 41: VERKEERSSTROMEN RONDOM RWGEUR HOOG_PIEK_DET (BASIS SCENARIO).....	80
FIGUUR 42: VERKEERSSTROMEN RONDOM RTW HOOG_PIEK_DET (BASIS SCENARIO)	80
FIGUUR 43: VERKEERSSTROMEN RONDOM APMT HOOG_PIEK_DET (BASIS SCENARIO)	80
FIGUUR 44: VERKEERSSTROMEN RONDOM RWGEUR HOOG_PIEK_EXP (BASIS SCENARIO)	81
FIGUUR 45: VERKEERSSTROMEN RONDOM RTW HOOG_PIEK_EXP (BASIS SCENARIO).....	81
FIGUUR 46: VERKEERSSTROMEN RONDOM APMT HOOG_PIEK_EXP (BASIS SCENARIO)	81
FIGUUR 47: PERCENTAGE TREINEN DAT MOET REMMEN LAAG_PIEK_DET (BASIS SCENARIO)	82
FIGUUR 48: AANTAL KRITIEKE KRUISINGEN PER UUR C2 KNOOP HOOG_PIEK_EXP (BASIS SCENARIO).....	83
FIGUUR 49: CYCLUSTIJD TREINEN LAAG_PIEK_DET (BASIS SCENARIO).....	85

FIGUUR 50: CYCLUSTIJD TREINEN LAAG_PIEK_EXP (BASIS SCENARIO).....	85
FIGUUR 51: GEVOELIGHEID EMPLACEMENTSPOREN OPSTAPSHUTTLES VIA EMPLACEMENT	86
FIGUUR 52: GEVOELIGHEID TREINSTROMEN RONDOM RWGEUR 100% OPSTAPSHUTTLES NOOIT VIA EMPLACEMENT (LAAG_NORM_DET)	87
FIGUUR 53: GEVOELIGHEID TREINSTROMEN RONDOM RWGEUR 100% OPSTAPSHUTTLES ALLES VIA EMPLACEMENT (LAAG_NORM_DET)	87
FIGUUR 54: GEVOELIGHEID AANTAL BEZETTE EMPLACEMENTSPOREN 100% OPSTAPSHUTTLES EN 100% IDEAALSHUTTLES (NORMAAL UUR)	89
FIGUUR 55: GEVOELIGHEID AANTAL BEZETTE EMPLACEMENTSPOREN 100% OPSTAPSHUTTLES (PIEK UUR).....	89
FIGUUR 56: GEVOELIGHEID AANTAL BEZETTE TERMINALSPOREN 100% OPSTAPSHUTTLES (PIEK UUR)	89
FIGUUR 57: GEVOELIGHEID VERKEERSSTROMEN RONDOM RWGEUR 100% OPSTAPSHUTTLES (PIEK UUR).....	90
FIGUUR 58: GEVOELIGHEID VERKEERSSTROMEN RONDOM RTW 100% OPSTAPSHUTTLES (PIEK UUR).....	90
FIGUUR 59: GEVOELIGHEID VERKEERSSTROMEN RONDOM APMT 100% OPSTAPSHUTTLES (PIEK UUR).....	90
FIGUUR 60: GEVOELIGHEID BEZETTING EMPLACEMENTSPOREN SLOTTIJDEN VERSUS FCFS BESTURING (LAAG SCENARIO NORMAAL UUR)	94
FIGUUR 61: GEVOELIGHEID BEZETTING TERMINALSPOREN SLOTTIJDEN VERSUS FCFS BESTURING (LAAG SCENARIO NORMAAL UUR)	94
FIGUUR 62: BEZETTING EMPLACEMENT ZUID OVER EEN DAG	95
FIGUUR 63: BASIS SCENARIO'S SIMULATIEMODEL.....	99
FIGUUR 64: LAY-OUT SIMULATIEMODEL	100

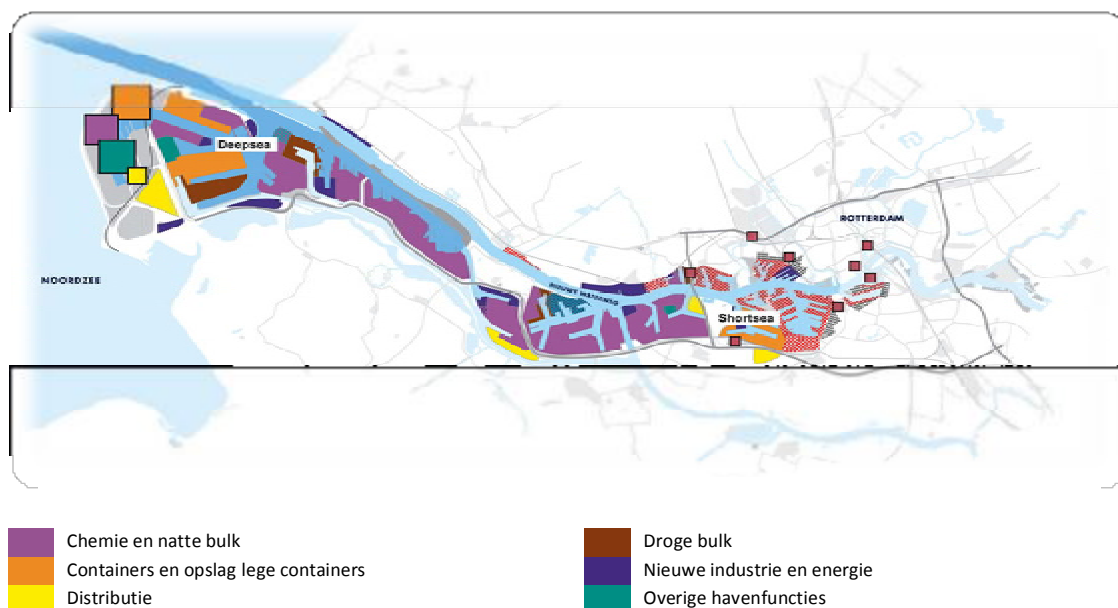
TABELLENLIJST

TABEL 1: PROGNOSES SPOORVOLUME MAASVLAKTE (BRON: SPOORSLAG 2008).....	2
TABEL 2: SWOT ANALYSE SPOORVERVOER ROTTERDAM (HBR, 2007 A).....	17
TABEL 3: OVERSTEEKKANSEN MET BEZETTINGSGRAAD 2 MIN (RAILNED, 1996).....	35
TABEL 4: TREINAANTALLEN PER SCENARIO VASTE DIENSTREGELING (MOVARES B.V., 2008).....	37
TABEL 5: TREINAANTALLEN HOOG EN LAAG SCENARIO (BRON: SPOORSLAG 2008).....	60
TABEL 6: ROUTES IDEAAAL-/DEEL-/BONTETREINEN	61
TABEL 7: ROUTES OPSTAP2SHUTTLE.....	61
TABEL 8: ROUTES OPSTAP3SHUTTLE.....	62
TABEL 9: SAMENVATTING EMPLACEMENT BEZETTING BASIS SCENARIO'S DETERMINISTISCHE TIJDEN	75
TABEL 10: SAMENVATTING EMPLACEMENT BEZETTING BASIS SCENARIO'S EXPONENTIELE TIJDEN	75
TABEL 11: BEZETTING KRANEN EN TERMINALSPOREN LAAG_PIEK_DET EN LAAG_PIEK_EXP (BASIS SCENARIO) 78	
TABEL 12: BEZETTINGSGRADEN TERMINALKRANEN EN TERMINALSPOREN LAAG_PIEK_DET EN LAAG_PIEK_EXP (BASIS SCENARIO).....	78
TABEL 13: SAMENVATTING CYCLUS- EN WACHTTIJDEN (BASIS SCENARIO'S DETERMINISTISCHE TIJDEN)	84
TABEL 14: SAMENVATTING CYCLUS- EN WACHTTIJDEN (BASIS SCENARIO'S EXPONENTIELE TIJDEN).....	84
TABEL 15: CYCLUS- EN WACHTTIJDEN 100% OPSTAPSHUTTLES.....	91
TABEL 16: ANALYSE DOORZET PER TERMINAL LAAG_NORM_DET (BASIS SCENARIO).....	92
TABEL 17: ANALYSE DOORZET PER TERMINAL LAAG_PIEK_DET (BASIS SCENARIO)	92
TABEL 18: EMPLACEMENTBEHOEFTE SPOORSLAG VERSUS SIMULATIEMODEL (PIEK UUR).....	101

1. INLEIDING

Deze thesis maakt deel uit van de afronding van de Master 'Industrial Engineering and Management' aan de Universiteit Twente. De thesis levert een bijdrage in het verder inzichtelijk maken van de capaciteit van de railinfrastructuur op de tweede Maasvlakte. Het Havenbedrijf Rotterdam N.V. is de opdrachtgever; het onderzoek is uitgevoerd in de periode november 2007 – september 2008.

Veertig jaar lang (1962 - 2002) was Rotterdam in goederenoverslag gemeten de grootste haven van de wereld. Met 31 duizend zeeschepen en 133 duizend binnenvaartschepen die Rotterdam jaarlijks aandoen is Rotterdam in 2007 nog steeds met stip de grootste haven in Europa en de hekkensluiter van de mondiale top drie met slechts Singapore en Sjanghai voor zich (HbR, 2007 b). Binnen Europa laat Rotterdam haar concurrenten Hamburg en Antwerpen in overslag gemeten ver achter zich. De overslag van massagoed heeft Rotterdam groot gemaakt en is in tonnage nog altijd de belangrijkste activiteit. De verschillende havenactiviteiten zijn sterk geclusterd in het 40 km lange havengebied (zie Figuur 1).



FIGUUR 1: CLUSTERING HAVENGEBIEDEN (BRON: HBR, BEWERKT DOOR STIVE)

Rotterdam biedt vijf competitieve achterlandmodaliteiten: (1) weg, (2) spoor, (3) binnenvaart, (4) shortsea en (5) pijpleidingen. De achterlandverbindingen zijn zeer belangrijk voor Rotterdam om competitatief te blijven. De wijze van vervoer gedistribueerd over de verschillende transportmogelijkheden wordt uitgedrukt in het modal split kengetal. Een modal split kengetal van 50% weg betekent dat 50% van alle lading bestemd voor het achterland per weg wordt vervoerd.

Spoorvervoer - het centrale onderwerp in deze thesis - is vooral geschikt voor het vervoer van grotere volumes over (middel)lange afstanden naar 'droge' (niet via binnenvaart bereikbare) bestemmingen. Sinds 2007 is de

havenspoorlijn aangesloten op de Betuweroute, een dedicated vrachtspoorlijn naar Duitsland. Omdat vervoer per spoor milieuvriendelijk is en de Europese wegen (zonder fysieke uitbreidingen van de infrastructuur) nagenoeg hun maximale capaciteit hebben bereikt, wordt in Europa met regelmaat geïnvesteerd in deze modaliteit. Het spoorvervoer neemt slechts een klein gedeelte (momenteel 11%) van de totale hoeveelheid van de capaciteit voor haar rekening en bezit een enorme groeipotentie. Steeds meer verladers zien het railgoederenvervoer dan ook als een duurzaam alternatief voor het dichtslibbende wegennet in Nederland en Europa.

1.1 AANLEIDING

De grootste verandering in het zeetransport is de containerisatie vanaf eind jaren zestig die elk jaar een sterke groei laat zien. In aantallen containers neemt Rotterdam wereldwijd een zevende plek in maar de Europese concurrentie is hevig en Hamburg en Antwerpen liggen niet ver achter. De totale overslag stijgt nog altijd jaarlijks hoewel het voor Rotterdam niet mogelijk is om nog sneller te groeien aangezien de haven letterlijk haar grenzen heeft bereikt. De tweede Maasvlakte, een duizend hectare nieuw te winnen bedrijfsterrein, voornamelijk bedoeld voor chemie- en containeroverslag ten westen van de huidige kustlijn, moet uitkomst bieden. Een project dat de haven in één keer 20% groter maakt. Als alles volgens plan verloopt zal het eerste schip in 2013 in de nieuwe haven aanleggen.

Het spoorvolume naar het achterland groeit al jaren achtereen met 10% per jaar. De verwachting is dat in het jaar 2033 het spoorvolume met een factor 5 zal zijn toegenomen ten opzichte van de huidige situatie (jaar 2007). De prognoses voor het jaar 2033 uit de Spoorslagstudies¹ liegen er niet om (zie Tabel 1).

Spoorvolumes (achterland) mv1 + 2	2000	2007	2033 (eindsituatie)
Containers (× 1000 TEU/jaar)	370	905	4100
Distributie (× 1000 TEU/jaar)	-	-	170
Chemie (miljoen ton/jaar)	0	-	0,45
Droge bulk (miljoen ton/jaar)	3.9	-	14,7
Stukgoed (miljoen ton/jaar)	0	-	1,1

TABEL 1: PROGNOSIS SPOORVOLUME MAASVLAKTE (BRON: SPOORSLAG 2008)

De haven van Rotterdam heeft het vervoer over spoor tot één van haar speerpunten en modal split afspraken van 20% spoor zijn gemaakt met de stuwadoors die zich op de tweede Maasvlakte willen vestigen. Diverse studies binnen het havenbedrijf tonen aan dat fysieke uitbreiding van de railinfrastructuur in de vorm van extra sporen alleen, onvoldoende is om de toekomstige vraag te kunnen garanderen. Voor een overzicht van deze studies wordt verwezen naar het rapport Spoorslag 2004 (HbR, 2004 b). Uit de Spoorslagstudies (HbR, 2004 b) (HbR, 2005 b) (HbR, 2006 b) (HbR, 2008) blijkt dat naast de uitbreiding in infrastructuur verdere optimalisaties

¹ Studie uitgevoerd in opdracht van de projectorganisatie Maasvlakte 2, waarbij de verwachte ontwikkelingen van het railgoederentransport op Maasvlakte 1 en 2 zijn beschreven en deels vertaald naar hoeveelheid infrastructuur.

in de verschillende railprocessen moeten bijdragen aan een hogere doorzet van treinen door de Rotterdamse Haven.

Verder tonen de Spoorslagstudies aan dat er verbeteringen te behalen zijn in het spoorproces door de doorlooptijd van treinen in het havengebied te verkorten, de pieken in het aankomstproces van treinen af te vlakken en de bezetting op de emplacementen te verhogen. Schattingen over de te verwachten verdeling tussen de verschillende logistieke treinconcepten ² in combinatie met de zojuist genoemde procesverbeteringen maken het mogelijk een eerste indruk te krijgen voor het benodigde aantal sporen op de Maasvlakte (1 en 2 samen). Deze 'Spoorslag berekeningen' geven aan dat er 75 sporen in totaal nodig zijn om alle treinen op een volledig bebouwde en benutte Maasvlakte (MV 1+2) te kunnen afhandelen. Met dit aantal is (gedeeltelijk) rekening gehouden in het ruimtelijk plan. Momenteel liggen er 30 sporen op de huidige Maasvlakte, er dienen aldus het rapport Spoorslag 45 sporen bij te komen. In het huidige masterplan is ruimte gereserveerd voor 72 sporen in totaal waarbij er met de huidige inzichten een tekort zou zijn van 3 sporen.

Hoewel de berekeningen uitgevoerd in Spoorslag een eerste indruk geven maakt het de dynamiek van de verschillende spoorprocessen op de Maasvlakte niet inzichtelijk. De veronderstellingen uit de Spoorslagstudies gecombineerd met een dynamisch simulatiemodel moeten meer inzicht verschaffen in hoe 'het systeem' zich in 2033 gedraagt. Nader onderzoek is nodig naar de exacte voorwaarden waaronder minimaal 20% van alle achterlandlading vanaf de Maasvlakte via het spoor vervoerd kan worden.

1.2 PROBLEEMBESCHRIJVING

Het Havenbedrijf Rotterdam (HbR) beheert namens de gemeente Rotterdam het Rotterdamse haven- en industriecomplex (HIC). Vanouds heeft het Havenbedrijf altijd twee taken gehad: enerzijds het ontwikkelen, construeren, managen en opereren van het haven- en industriecomplex en anderzijds het effectief, veilig en efficiënt afhandelen van het scheepsverkeer. Het HbR wil verzekerd zijn van een vlotte en veilige afhandeling naar het achterland.

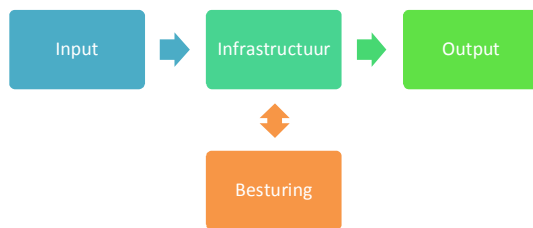
Om te kunnen groeien in volume is uitbreiding van de huidige Maasvlakte (MV 1) hard nodig. Drie grote rederijen (APM Terminals, Euromax en DP World) hebben al een plek geclaimd op de nieuwe Maasvlakte (MV 2) voor grootschalige containeroverslag. Voor containeroverslag moet in relatie tot de bestaande Maasvlakte een doordacht logistiek concept uitgewerkt worden waarbij de afhandeling van containers en het vervoer naar het achterland op een efficiënte en effectieve wijze plaatsvindt.

Het volgende voorbeeld ontleend aan Spoorslag 2004 illustreert het belang van deze procesverbeteringen: Indien de huidige (anno 2007) proceskarakteristieken (verblijftijden en aantallen) van goederentreinen in de haven worden geëxtrapoleerd naar het verwachte spoorvolume in het jaar 2033, dan dient er alleen al voor de tweede Maasvlakte 200 hectare ingeruimd te worden aan emplacementsporen. Deze ruimte (20% van de totale oppervlakte tweede Maasvlakte) is planologisch en kostentechnisch niet beschikbaar voor

² Er worden in dit onderzoek verschillende treinconcepten onderscheiden. Voor een overzicht hiervan wordt verwezen naar paragraaf 2.4.

spooruitbreiding. Door de projectorganisatie Maasvlakte 2 is bij de inrichting van de tweede Maasvlakte een afweging gemaakt tussen ruimtelijke ordening en kosten enerzijds en het garanderen van capaciteit anderzijds.

Om een uitspraak te doen over deze capaciteit is inzicht nodig in de treinprocessen op en rondom de emplacementen en sporen om het Distripark³. Door de uitkomsten uit de Spoorslagstudies (treinaantallen, verblijftijden, soorten treinen, verdeling) en aanverwante studies zoals de ACTP studie⁴ als input te gebruiken, waarbij het masterplan versie 3.3.1 (zie hiervoor Bijlage A) als definitieve infra lay-out wordt beschouwd, kan de relatie tussen de output en input van de Maasvlakte worden beschreven via Figuur 2.



FIGUUR 2: RELATIE INFRASTRUCTUUR BESTURING EN OUTPUT

De output (en tevens maat voor de capaciteit) van de tweede Maasvlakte kan gekwantificeerd worden in een aantal prestatiecriteria. Deze output is zowel afhankelijk van de toekomstige railinfrastructuur op de tweede Maasvlakte als van het besturingssysteem dat wordt toegepast om de treinen op de Maasvlakte af te handelen. Het gehanteerde besturingsmodel bepaalt de wijze en prioritering waarop treinen over de Maasvlakte mogen rijden (verkeersregels). Binnen de Spoorslagstudies is extensief onderzoek gedaan naar de 'input'. Denk hierbij aan zaken als het aantal treinen per uur dat de Maasvlakte aandoet, het soort trein (er zijn verschillende soorten treinen, meer hierover in hoofdstuk 2), de verschillende procestijden van de treinen over de Maasvlakte en de route die een trein op de Maasvlakte aflegt (deze verschilt per treinsoort). Inzicht in deze relaties is wenselijk, hetgeen nader onderzoek behoeft.

1.3 PROBLEEMSTELLING

De ruimte voor de aanleg van extra sporen op de tweede Maasvlakte is al gereserveerd en de contracten waarin modal split afspraken zijn gemaakt met nieuw te vestigen overslagbedrijven op de tweede Maasvlakte zijn al getekend. Uit de Spoorslagstudies is gebleken dat de verblijftijden van treinen in het Rotterdamse havengebied omlaag moeten en de bezetting van de emplacementen omhoog. De laad- en losprocessen op de terminals zullen beter op bestaande dienstregelingen moeten aansluiten om zo de spreiding in de aankomst en vertrektijden van treinen zo laag mogelijk te houden. Zowel de uitbreiding van de railinfrastructuur als de verbeteringen van het logistieke proces hebben tot doel om in de toekomst meer treinen op de Maasvlakte te kunnen afhandelen en zo de enorme groei aan te verwachten railvolumes het hoofd te kunnen bieden. Onduidelijk is of de geplande 45 extra sporen, gegeven de aannames voor procesverbetering daadwerkelijk het

³ Het Distripark is een distributiekantoor centraal gelegen op de Maasvlakte. Zie verder hoofdstuk 3.

⁴ Studie gericht op het zoeken naar één of meerdere uitgewerkte logistieke besturingmodellen ten aanzien van de toekomstige spoorafhandeling in de haven.

beoogde aantal treinen kunnen verwerken dat in het jaar 2033 verwacht wordt. En zo ja, onder welke voorwaarden dit geldt. De volgende probleemstelling is derhalve geformuleerd:

Onder welke voorwaarden beschikt de geplande railinfrastructuur op de tweede Maasvlakte over voldoende capaciteit om de verwachte volumes in treinaantallen in het jaar 2033 af te handelen?

1.4 DOELSTELLING

Het doel van dit onderzoek is om een uitspraak te doen of en zo ja onder welke voorwaarden de geplande railinfrastructuur over voldoende capaciteit beschikt om de toekomstige treinaantallen in het jaar 2033 af te kunnen handelen. Noodzakelijk hiervoor, is om inzicht te krijgen in de verschillende proceskarakteristieken (verblijftijden, doorlooptijden etc.) van de treinen bij een gegeven infrastructuur en procesbesturing. Deze proceskarakteristieken (zie relatie Figuur 2) kunnen middels prestatiecriteria (kwantitatieve maat voor de prestatie van het systeem) met elkaar worden vergeleken bij verschillende inputparameters (treinaantallen, treinmodellen etc.). De volgende tweeledige onderzoeksdoelstelling is derhalve geformuleerd:

Inzicht krijgen in de proceskarakteristieken van de verschillende treinmodellen in termen van verblijftijden, doorlooptijden en bezetting op de emplacementen en terminals op de tweede Maasvlakte, gebaseerd op de inputparameters uit de Spoorslag 2008 studie.

Inzichtelijk maken welk besturingsmodel leidt tot een werkbare mix tussen de verblijftijden en de doorlooptijden van de verschillende treinen op de emplacementen, terminals en spoorlijnen op de tweede Maasvlakte.

1.5 AFBAKENING

Hoe de spoorafhandeling op de tweede Maasvlakte in het jaar 2033 eruit zal zien is zeer lastig te voorspellen anno 2008. Complexe relaties bestaan tussen de terminals, het achterland en de logistieke treinconcepten, die zich lastig laten kwantificeren. Vanwege deze complexiteit worden alle externe factoren (achterland, rest van het havengebied, internationale treinpaden) buiten beschouwing gelaten en de processen op de Maasvlakte daar waar mogelijk vereenvoudigd.

De geografische afbakening ligt bij de Suurhofbrug, alles ten westen hiervan wordt beschouwd als de Maasvlakte. Indien niet specifiek genoemd, wordt met 'de Maasvlakte' zowel de eerste als de tweede Maasvlakte bedoeld, met andere woorden een volledig bebouwde en benutte Maasvlakte in het jaar 2033.

De terminals worden daar waar mogelijk als blackbox beschouwd en verondersteld zo te zijn ingericht dat zij over voldoende capaciteit beschikken om het beoogde aantal treinen af te kunnen handelen. De verwachte hoeveelheid lading in het jaar 2033 wordt als een gegeven beschouwd, dit geldt ook voor de lay out van de sporen, emplacementen en terminals zoals vastgelegd in het masterplan 3.3.1.

Er wordt geen rekening gehouden met de beschikbaarheid van machinisten, losse loc bewegingen over de Maasvlakte en externe storingen. Uitgangspunt is verder dat een trein die de Maasvlakte verlaat ook zijn

internationale treinpad haalt. Het simulatiemodel doet derhalve geen uitspraak over hoe het systeem presteert ten opzichte van het spoorboekje⁵ en de terminal planning.

1.6 ONDERZOEKSVRAGEN

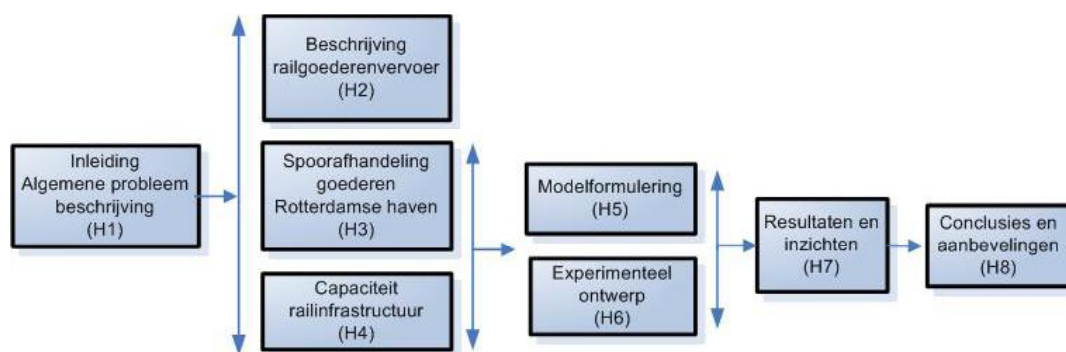
Volgend uit de doelstelling zijn de onderzoeksvragen opgedeeld in vier centrale vragen die op hun beurt in een aantal deelvragen zijn uitgewerkt; hierbij wordt de relatie uit Figuur 2 aangehouden. De centrale onderzoeksvragen en de bijbehorende deelvragen zijn:

- Hoe is het systeem te beschrijven in termen van inputparameters?
 - Welke inputparameters worden onderscheiden?
 - Welke inputparameters dienen verder te worden onderzocht?
- Hoe is het systeem te beschrijven in termen van infraeenheden?
 - Welke infraeenheden worden onderscheiden?
 - Wat is de capaciteit van deze infraeenheden?
- Hoe is het systeem te beschrijven in termen van output?
 - Welke prestatiecriteria worden gebruikt om de output te meten?
 - Hoe zijn deze prestatiecriteria te beschrijven als functie van de inputparameters?
- Welk besturingsmodel dient te worden toegepast op de Maasvlakte?
 - Welke besturingsmodellen zijn toepasbaar op de Maasvlakte?
 - Welk besturingsmodel waarborgt acceptabele prestatiecriteria bij gegeven inputparameters en infrastructuur?

1.7 METHODIEK

Het uitgangspunt van dit onderzoek vormt het rapport Spoorslag 2008. Op basis van dit rapport en interviews met relevante marktpartijen zoals overslagbedrijven, spoorvervoerders, railoperators, ProRail en KeyRail wordt de afhandeling van goederen via het spoor op de Maasvlakte in het jaar 2033 zo goed mogelijk in beeld gebracht. Deze bevindingen in combinatie met literatuur uit de spoorwereld en vakspecifieke literatuur (operations research, productiemanagement literatuur) worden gebruikt om de processen op de Maasvlakte kwalitatief te beschrijven en te kwantificeren in een simulatiemodel. Hierbij wordt gebruik gemaakt van het programma Tecnomatix Em-plant. Een schematische weergave van de opbouw van het onderzoek is gepresenteerd in Figuur 3.

⁵ Hierin staan alle treinen met hun herkomst bestemming en treinpaden ingepland.



FIGUUR 3: ONDERZOEKSMODEL

1.8 LEESWIJZER

Hoofdstuk 2 geeft een algemene beschrijving van het railgoederenvervoer. De marktpartijen, soorten lading die over het spoor worden vervoerd en de verschillende logistieke treinconcepten die hiervoor worden gebruikt worden beschreven. Hoe het railgoederenvervoer in de Rotterdamse haven precies verloopt en welke rol het Havenbedrijf Rotterdam hierin speelt is uiteengezet in hoofdstuk 3. Zowel hoofdstuk 2 als 3 zijn voornamelijk beschrijvend van aard.

Hoofdstuk 4 gaat in op de capaciteit van de railinfrastructuur op de Maasvlakte door de infrastructuur op te delen in verschillende infraeenheden. Het is een technisch hoofdstuk waarin de verschillende productie uitgangspunten⁶ die van invloed zijn op de capaciteit worden besproken aan de hand van voorbeelden specifiek gericht op de Maasvlakte.

Op basis van de eerste vier hoofdstukken wordt in hoofdstuk 5 een modelformulering gegeven. Hierin wordt de keuze voor een simulatiestudie beargumenteerd en de modelopzet besproken. Het simulatiemodel wordt gebruikt om een aantal simulatie experimenten uit te voeren. De opzet van deze experimenten is gespecificeerd in hoofdstuk 6.

De resultaten en inzichten verkregen uit de simulatiestudie worden in hoofdstuk 7 uiteengezet. In het afsluitende hoofdstuk (H8) worden de conclusies en aanbevelingen besproken.

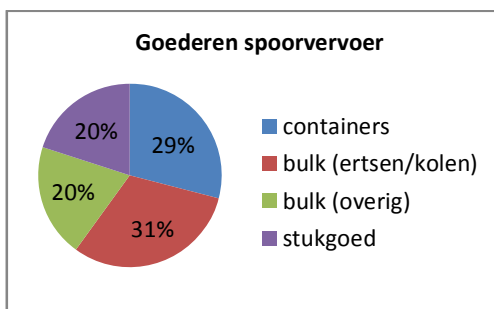
⁶ Twee uitgangspunten worden onderscheiden. Technische productie uitgangspunten zijn zaken als beveiliging, civiele lay out en materieelkarakteristieken. Exploitatie uitgangspunten zijn zaken als de te behalen servicegraad, de mix tussen treinsoorten en het gebruik van een dienstregeling.

2. RAILGOEDERENVERVOER

Dit hoofdstuk richt zich op het railgoederenvervoer in het algemeen. Indien de lezer bekend is met het railgoederenvervoer dan kan dit hoofdstuk worden overgeslagen. Paragraaf 2.1 geeft een beschrijving van de verschillende soorten lading die per spoor worden vervoerd en paragraaf 2.2 beschrijft de diverse marktpartijen die betrokken zijn bij het railgoederenvervoer. Het materieel en de verschillende logistieke treinconcepten die worden ingezet worden besproken in paragraaf 2.3. Het hoofdstuk eindigt met een overzicht van recente ontwikkelingen binnen het railgoederenvervoer (paragraaf 2.4).

2.1 SOORTEN LADING

Er zijn verschillende soorten lading die via het spoor worden vervoerd en vaak bepaalt het soort lading (bulk, stukgoed, containers) ook welk vervoersconcept wordt ingezet. Figuur 4 geeft een overzicht van de soorten lading die per spoor worden vervoerd anno 2007. De prognose is dat in het jaar 2033 80% van de treinen die de Maasvlakte aandoen containertreinen zijn, 14% bulktreinen en 6% stukgoedtreinen (HbR, 2008).



FIGUUR 4: VERDELING SPOORLADING NAAR SOORT ANNO 2007 (BRON: RAILCARGO)

2.2 MARKTPARTIJEN

Er zijn tal van verschillende partijen betrokken bij het railgoederenvervoer. Hiervoor geldt dat samenwerking tussen partijen van groot belang is voor een effectief en efficiënt railproduct. Twee partijen worden kort toegelicht, te weten de vervoerders & operators en de beheerders.

2.2.1 VERVOERDERS EN OPERATORS

De vervoerders en operators hebben dagelijks met elkaar te maken en zijn actief bezig zijn met het goederenvervoer per spoor. Daarbij wordt onderscheid gemaakt tussen railgoederenvervoerders, railoperators en terminal operators.

RAILGOEDERENVERVOERDER

De railgoederenvervoerder ook wel spoorvervoerder genoemd beschikt over een licentie uitgegeven door de Inspectie Verkeer en Waterstaat (IVW) om over het Nederlandse spoor te mogen rijden. Alle buitenlandse

bedrijven die een Europese of een Nederlandse licentie hebben worden in Nederland toegelaten⁷. In Nederland zijn op dit moment tien spoorvervoerders actief. Het basiskennmerk van spoorvervoerders is het feit dat zij tractie leveren. Dit betekent dat zij de beschikking hebben over locomotieven (elektrisch of diesel). De vervoerders bieden spoorvervoerdiensten aan naar nationale en internationale bestemmingen en leveren naast de tractie ook vaak de wagons. Enkele vervoerders die in Nederland opereren zijn Railion Nederland, ACTS Nederland en ERS Railways.

INTERMODALE RAILOPERATOR

De railoperators laten voor eigen rekening en risico goederentreinen rijden. Zij zorgen zelf voor de acquisitie van de lading. Voor het daadwerkelijk laten rijden van de trein wordt een spoorvervoerder ingeschakeld. In feite exploiteert de railoperator één of meerdere shuttlediensten op vaste bestemmingen. Bekende intermodale railoperators in Nederland zijn Hupac Intermodal, Optimodal en European Rail Shuttle.

TERMINAL OPERATOR

Terminal operators vormen de overslagbedrijven gespecialiseerd in het verticaal overzetten van containers, wissellaadbakken en opleggers van en op treinen. Er bestaan openbare terminals (off dock) en terminals op het terrein van de stuwadoor (on dock). Daarnaast zijn er terminals speciaal voor containers (RSC - Rail Service Centra) en terminals speciaal voor chemie (RCC - Rail Chemical Centra).

2.2.2 BEHEERDERS

De beheerders creëren de randvoorwaarden voor een beheersbaar en bestuurbaar railproces. Zij hebben over het algemeen een indirect financieel belang en primair belang bij goed functionerende railprocessen en een level playing field voor alle partijen.

PRORAIL

ProRail is de railinfrabeheerder en tevens exploiteerder van het Nederlandse spoorwegennet. ProRail is verantwoordelijk voor zowel de aanleg als het onderhoud van het spoor. Tevens vervult zij de rol van capaciteitsmanager (het toedelen van rijwegen) en die van verkeersleider (het bedienen van seinen en wissels). De overheid is volledig aandeelhouder van ProRail.

KEYRAIL

KeyRail exploiteert de Betuweroute, de dedicated goederen spoorverbinding tussen de Rotterdamse haven en de Duitse grens nabij Zevenaar. KeyRail houdt zich bezig met het inplannen van capaciteit op de Betuweroute maar ook met het management van treinverkeer en infrastructuur. Het havenbedrijf Rotterdam (35%), het havenbedrijf Amsterdam (15%) en ProRail (50%) vormen gezamenlijk de aandeelhouders van KeyRail.

⁷ Zij mogen echter pas rijden als ze ook over een veiligheidsattest beschikken welke eveneens door IVW wordt afgegeven. Daarnaast dient er een toegangsovereenkomst te worden afgesloten met de beheerder van het Nederlandse spoornetwerk, ProRail (in geval van de Betuweroute is dit KeyRail).

HAVENBEDRIJF ROTTERDAM N.V.

Het Havenbedrijf Rotterdam (HbR) beheert namens de gemeente Rotterdam het Rotterdamse haven- en industriecomplex (HIC). Het HbR heeft een faciliterende rol in het scheppen van voldoende ruimte voor infrastructuur (dus ook spoor) en daarnaast bewaakt zij daar waar mogelijk de condities in het HIC waaronder de verschillende spelers (vervoerders en operators) werkzaam zijn.

2.3 MATERIEEL

In het railgoederenvervoer wordt een verscheidenheid aan materieel ingezet. De belangrijkste worden hieronder opgesomd.

CONTAINERS

In het railgoederenvervoer worden verschillende type containers en wissellaadbakken gebruikt. Meest bekend zijn de 20 en 40 voet containers maar hogere en langere containers en containers voor speciale doeleinden, bijvoorbeeld tankcontainers voor het vervoer van vloeistoffen en gassen en koelcontainers voor vervoer van bederfelijke producten, zijn ook gebruikelijk. Container capaciteit wordt uitgedrukt in TEU (Twenty Equivalent Unit) en een containertrein heeft gewoonlijk plaats voor 80 TEU. Behalve containers worden in het intermodale vervoer ook wissellaadbakken en opleggers vervoerd.

LOCOMOTIEVEN

Er wordt onderscheid gemaakt tussen diesellocomotieven (d loc) en - doorgaans sterkere - elektrische locomotieven (e-loc). Een diesel is niet afhankelijk van de bovenleiding die bij veel spooraansluitingen bij bedrijven vrijwel nooit aanwezig is. Ook op terminals is een bovenleiding onhandig omdat dat de overslag in de weg kan staan. Door het verschil in netspanning en veiligheidssystemen tussen de verschillende landen zijn de oudere locomotieven vaak gebonden aan één land.

WAGONS

Wagons zijn de ladingdragers binnen het railgoederenvervoer. Voor vrijwel elk soort goed is een geschikt wagontype beschikbaar. De vier belangrijkste groepen wagons zijn:

Containerdraagwagon - De containerdraagwagon is een platte 4 assige wagon die alleen wordt gebruikt voor vervoer van containers en wissellaadbakken van verschillende afmetingen. De wagon heeft een draagcapaciteit van 70 ton en kan 3 TEU aan laadeenheden vervoeren.

Schuifwandwagon - De schuifwandwagon wordt veelal gebruikt voor het vervoer van stukgoed dat door de gesloten wagon van weersinvloeden wordt beschermd. Elke wagon beschikt over schuifdeuren om te kunnen laden en lossen. De wagons hebben een draagcapaciteit van 63 ton of een volume capaciteit van 167 m³.

Ketelwagen – De ketelwagen wordt voornamelijk gebruikt voor het vervoer van vloeibare gassen (LPG) en chemische producten. De wagons hebben een draagcapaciteit van 59 ton en een inhoud van 116 m³. In veel

gevallen zijn ketelwagens particuliere wagens omdat deze vanwege de inhoud (schoonmaken bij productwissel) en regelgeving (omwille van publieke veiligheid) niet één op één inwisselbaar zijn.

Bulkwagon – De bulkwagon wordt voornamelijk gebruikt voor het vervoer van kolen en erts. Het is een open stortwagen omdat de goederen niet tegen weersinvloeden hoeven te worden beschermd. De bulk kan vaak eenvoudig worden gelost door middel van beweegbare kleppen. De wagons hebben een draagcapaciteit van 64,5 ton en een inhoud van 83 m³.

2.4 TREINCONCEPTEN

Figuur 5 geeft een overzicht van de verschillende railverbindingen naar het achterland. Momenteel bedient de Rotterdamse haven 40 achterlandbestemmingen. Verwacht wordt dat dit aantal zal stijgen naar 90 in het jaar 2033. Voor het spoorvervoer naar het achterland is een aantal treinconcepten ontwikkeld, vergelijkbaar met het personenvervoer (waarbij onderscheid wordt gemaakt in stoptreinen, sneltreinen en intercity treinen).

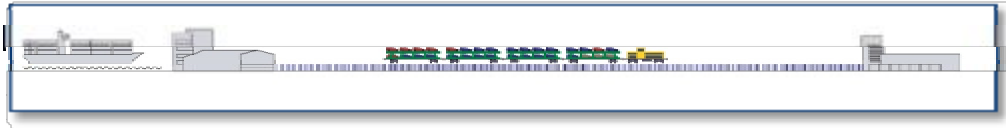


FIGUUR 5: RAILVERBINDINGEN ACHTERLAND (BRON: RAILCARGO)

De concepten die naar het achterland rijden zijn grofweg in vier treinmodellen onder te brengen waarbij onderscheid wordt gemaakt tussen het rijden met enkele wagons, het rijden met treindelen of het rijden met hele treinen.

IDEAALSHUTTLE

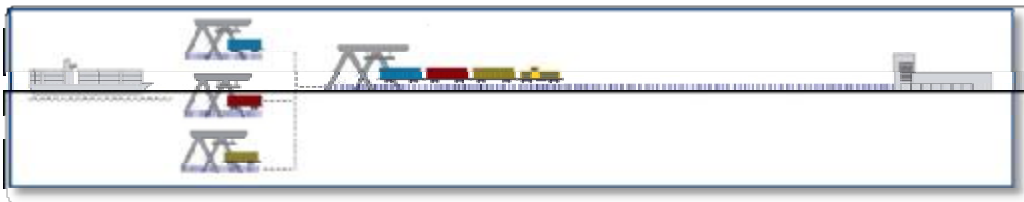
De ideaalshuttle is het meest eenvoudige concept, namelijk een complete trein die voor één klant rijdt. De goederen gaan direct van de producent naar de afnemer, die beiden over een eigen aansluiting op het spoor beschikken (zie Figuur 6). Er hoeft niet te worden gerangeerd en er is geen voor- of natransport over de weg nodig. De treinen worden vaak zo lang en zwaar mogelijk beladen.



FIGUUR 6: IDEAALSHUTTLE (BRON: RAILCARGO, BEWERKT DOOR STIVE)

OPSTAPSHUTTLE

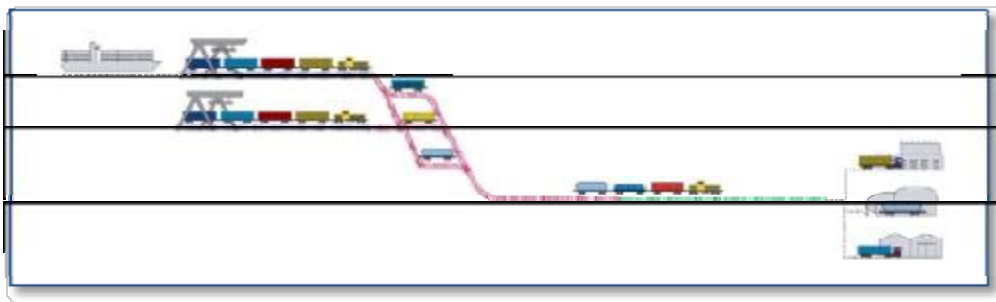
Opstapshuttles zijn goederentreinen die op vaste tijden tussen twee punten rijden, meestal met containers. De opstapshuttle is vergelijkbaar met het reizigersmodel voor personenvervoer waarbij de trein in zijn geheel een terminal aandoet en laadeenheden kunnen 'opstappen' en 'afstappen' (zie Figuur 7). De aanbieders van deze shuttlediensten zijn niet de railgoederenvervoerders, maar intermodale railoperators. Zij zijn in feite het 'boekingskantoor' voor de shuttletreinen. Dankzij het shuttleconcept is het intermodaal vervoer naar buitenlandse bestemmingen de laatste jaren enorm gegroeid.



FIGUUR 7: OPSTAPSHUTTLE (BRON: RAILCARGO, BEWERKT DOOR STIVE)

DEELTREIN

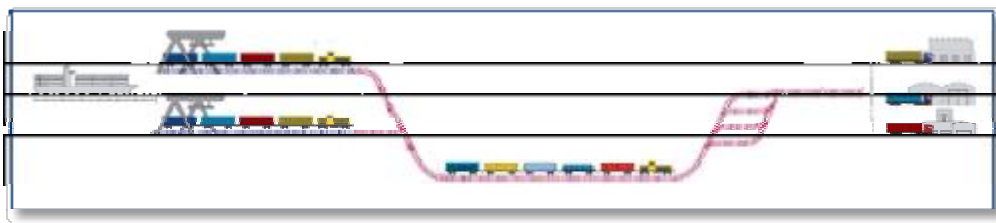
Bij deeltreinen vervoer wordt een trein in een aantal delen/wagensets opgeknipt en deze worden ieder apart naar hun bestemming gereden. In plaats van losse wagons worden delen van treinen aan elkaar gekoppeld (zie Figuur 8). Dit gebeurt ook in het personenvervoer, vergelijk de intercity Enschede - Rotterdam/Den Haag die in Utrecht wordt gesplitst in een deel Den Haag en een deel Rotterdam.



FIGUUR 8: DEELTREIN (BRON: RAILCARGO, BEWERKT DOOR STIVE)

BONTETREIN

Bij bonttreinen vindt het uitsorteerproces niet op de terminal plaats maar elders. Een treinlading met uiteenlopende bestemmingen wordt bij de klant opgehaald en elders op een rangeerterrein gesplitst in meerdere treinen die elk naar een bestemming in Europa rijden (zie Figuur 9).



FIGUUR 9: BONTETREIN (BRON: RAILCARGO, BEWERKT DOOR STIVE)

2.5 ONTWIKKELINGEN SPOORVERVOER

Het railgoederenvervoer is de afgelopen tien jaar sterk in ontwikkeling geweest. Deze ontwikkelingen hebben er mede voor gezorgd dat het spoorvolume al jaren achter elkaar met 10% per jaar groeit (Kennisinstituut voor Mobiliteitsbeleid, 2007) maar zijn tevens debet aan de turbulentie binnen de spoormarkt van de afgelopen jaren. Enkele belangrijke ontwikkelingen zijn:

- Door de Europese liberalisering is naast een verdubbeling van het vervoer per spoor (in tonnen) in de afgelopen 10 jaar ook het aantal spoorvervoerders flink toegenomen. Zo zijn er eind 2007 10 spoorvervoerders en 18 spooroperators actief in Nederland. Ter vergelijking, tot 2002 waren er slechts 2 spoorvervoerders actief (Railcargo Information Services, 2007 b).
- De bestaande infrastructuur ontwikkelt zich minder snel dan de markt. Er bestaan nog steeds verschillen tussen landen in spoorbreedte, bovenleidingspanning, maximum aslasten, beveiligingssystemen en opleidingseisen van het personeel.
- De Betuweroute is in 2007 in gebruik genomen en de exploitatiemaatschappij KeyRail is in 2006 opgericht. Met de komst van KeyRail is naast ProRail een tweede partij verantwoordelijk geworden voor verkeersleiding, infrabeheer en capaciteitsmanagement.

- De komst van de tweede Maasvlakte zorgt naast meer goederenstromen ook voor een groter aandeel (modal split) van het spoor. Vanuit het HbR is contractueel vastgelegd dat de overslagbedrijven die zich op de tweede Maasvlakte vestigen slechts 45% van het achterlandvolume per weg mogen vervoeren; het merendeel zal dus via spoor en binnenvaart moeten verlopen.
- Een duidelijke toename in invloed van expediteurs is merkbaar en de scheiding tussen marktpartijen vervaagt. Enkele voorbeelden hiervan zijn: Railterminals die integreren met stuwadoors (bijvoorbeeld ECT/APMT op RSC Maasvlakte). Vervoerders die een RSC bezitten (RSC Rotterdam is een volledige dochter van Railion). APM terminals wil steeds meer grip op de hele keten (is zelf reder en stuwadoos en vervoerder).

2.6 SAMENVATTING

De spoormarkt heeft de laatste jaren een sterke groei (jaarlijks +10%) laten zien en is continu in ontwikkeling. Met name het aantal containertreinen zal in de toekomst fors toenemen. Verwacht wordt dat in het jaar 2033 80% van de treinen die de Maasvlakte aandoen containertreinen zijn en 14% bulktreinen.

Door de liberalisering van de spoormarkt hebben verschillende partijen zich op deze groeimarkt gestort met als gevolg dat er anno 2007 10 spoorvervoerders en 18 operators actief zijn in Nederland. De spoormarkt is een strak gereguleerde markt waarbij KeyRail en ProRail een belangrijke rol spelen als beheerders.

Met het oog op de groeiprognoses van de tweede Maasvlakte zal het aandeel dat via het spoor wordt vervoerd alleen maar toenemen. Het havenbedrijf zet in op een spooraandeel van 20% voor de Maasvlakte in het jaar 2033. Om dit aandeel naar het achterland te vervoeren zijn verscheidene treinconcepten geïntroduceerd die de verschillende bestemmingen bedienen. Het komende hoofdstuk (H3) gaat in op de afhandeling van spoorgoederen in het Rotterdamse havengebied, specifiek op de Maasvlakte (zowel nu als in de toekomst).

3. SPOORAFHANDELING HAVEN ROTTERDAM

Dit hoofdstuk richt zich specifiek op de spoorafhandeling in de Rotterdamse haven. Het HbR heeft een actief spoorbeleid, hiervan wordt in Paragraaf 3.1 een korte beschrijving gegeven. Vanwege de groei van het spoorvervoer en de komst van de tweede Maasvlakte worden verschillende studies uitgevoerd naar de spoorafhandeling in het Rotterdamse havengebied. Een overzicht van lopende projecten en studies wordt gegeven in Paragraaf 3.2. De rest van het hoofdstuk richt zich op de verschillende treinprocessen in de haven. In de paragrafen 3.3 en 3.4 worden respectievelijk de spoorprocessen op de havenspoorlijn en de Maasvlakte besproken. Vervolgens wordt dieper ingegaan op de processen op en rondom de emplacementen (paragraaf 3.4) en de terminals (paragraaf 3.5).

3.1 SPOORBELEID HBR

Het HbR zet in het bedrijfsplan onder andere zijn toekomstvisie uit. In het 'Havenplan 2020' is een aantal speerpunten gedefinieerd waarop in de toekomst wordt ingezet. Op basis van bestaande ontwikkelingen, uitgangspunten en strategie vormt het HbR een spoorbeleid. Dit beleid is er primair op gericht dat marktpartijen goed kunnen functioneren (HbR, 2004 a).

Het doel van het spoorbeleid is het verbeteren van de kwaliteit voor zowel de klanten als de gebruikers door:

- Ruimte creëren en uitgeven in bestaand gebied en het verbeteren van de openbare infrastructuur.
- Het veilig stellen van achterlandverbindingen door hoge frequentie achterlandverbindingen.
- Een substantiële verschuiving in de modal split van weg naar rail.

Ter ondersteuning van het spoorbeleid 2007-2010 wordt in Tabel 2 een SWOT analyse van het spoorvervoer in Rotterdam gegeven.

Sterktes	Zwaktes
Schaalvoordelen Rotterdam Consolidatie maritieme en continentale lading Concurrentie (9 railgoederenvervoerders)	Kwaliteit afhandeling treinen voldoet niet (inefficiënt) Bereikbaarheid HIC over gemengde net is sterk afhankelijk reizigerstreinen Lage inzet spoorwegmaterieel, hoge kosten
Kansen	Bedreigingen
Ontwikkeling Maasvlakte 2 Exploitatie Betuweroute Spoorvervoer gestimuleerd vanuit milieu en leefbaarheidontwikkeling Nieuwe concepten spoorafhandeling	Toegankelijkheid gemengde net voor gevaarlijke goederen Overbelast verklaring emplacementen Beperkte marktconforme voorzieningen (onderhoud en tanken) Beperkte voortgang liberalisering België en Frankrijk

TABEL 2: SWOT ANALYSE SPOORVERVOER ROTTERDAM (HBR, 2007 A)

Het Havenbedrijf stimuleert vanuit een voorwaardenscheppende verantwoordelijkheid (al dan niet samen met ProRail en KeyRail) een effectief en efficiënt gebruik van railinfra en middelen. Daarnaast creëert het Havenbedrijf ruimte voor groei en bewaakt en beïnvloedt actief waar mogelijk de condities in het HIC waaronder spelers werkzaam zijn. Sturing vanuit het HbR is noodzakelijk om in de toekomst met relatief minder emplacementen meer volume te vervoeren. Het HbR heeft in zijn spoorbeleid als doelstelling gesteld om in 2033 minimaal 20% van het containertransport van en naar het achterland via het spoor te laten verlopen (momenteel is dit 11%).

Om deze doelstelling van 20% modal split in 2033 te halen zet het havenbedrijf in op:

- Efficiënter gebruik van de bestaande sporen (betrouwbaarheid, tijd en kosten).
- Minimalisatie van het ruimtebeslag in het havengebied.
- Uitgiftebeleid en contractvoorwaarden (denk aan Maasvlakte 2 uitgiftebeleid en voorwaarden).
- Een neutrale positie HbR: broker rol (combinaties vormen van partijen die elkaar niet kunnen vinden).
- Sturing van de markt door financiële middelen (bijvoorbeeld stimulansregeling, incentives) en beïnvloeding van de overheid.

3.2 LOPENDE SPOORSTUDIES

Het HbR probeert vraag en aanbod bij elkaar te brengen, schept condities en is initiator van diverse projecten. De algemene tendens binnen de spoorwereld is dat het toch anders zal moeten gaan in de toekomst⁸. Resultaten, inzichten en uitkomsten uit eerdere en nog lopende projecten vormen onder andere de input voor dit onderzoek, een overzicht is op zijn plaats.

SPOORSLAG 2004, 2005, 2006, 2008

In het kader van het overkoepelende masterplan Maasvlakte 2 is voor de spoorafhandeling en spoorontsluiting het project 'Spoorslag' geïnitieerd. In 2004 is de eerste studie van Spoorslag uitgevoerd. In de eindrapportage is de verwachte ontwikkeling van het railgoederentransport op Maasvlakte 1 en 2 beschreven en vertaald naar hoeveelheid infrastructuur (lees: emplacementruimte). Spoorslag is destijds als uitgangspunt gehanteerd voor de ontwikkeling van het masterplan voor Maasvlakte 2. In 2005 en 2006 is Spoorslag geactualiseerd op basis van nieuwe inzichten (nieuw masterplan en prognoses). Doel van Spoorslag 2008 is het, op basis van de nieuwste inzichten, vaststellen van het toekomstig ruimtebeslag voor de afwikkeling van het spoorvervoer op de Maasvlakte.

⁸ Dit blijkt onder ander uit interviews gehouden met relevante partijen uit de goederen spoorwereld in het kader van de Spoorslagstudies, (uitgevoerd door Independent International, juni 2007).

COÖRDINATIE OP HET HAVENSPOOR ACTP

Het project 'Coördinatie op het havenspoor' vormt een onderdeel van het HbR Spoorprogramma 2007 – 2008 en wordt uitgevoerd onder auspiciën van ACTP⁹ in samenwerking met ProRail. Het project heeft een lange termijn focus gericht op structurele ontwikkelingen en is conceptueel van aard. Het beoogde projectresultaat bestaat uit één of meerdere uitgewerkte logistieke besturingsmodellen, ten aanzien van de toekomstige afhandeling van spoorlading in de haven en spoortransport naar het achterland, eventueel gebaseerd op mogelijk nieuwe logistieke concepten.

INTEGRALE VERKENNING PRORAIL

Het project 'Integrale verkenning ProRail' wordt door het HbR en ProRail uitgevoerd en heeft tot doel om knelpunten in de railinfrastructuur in het Rotterdamse Haven en Industrie Complex (HIC) te benoemen, oplossingsrichtingen te ontwikkelen en deze oplossingen te kapitaliseren. In vervolg hierop kunnen de ruimtelijke consequenties in kaart worden gebracht. Resultaten van deze studie worden in het 1^e kwartaal van 2009 verwacht

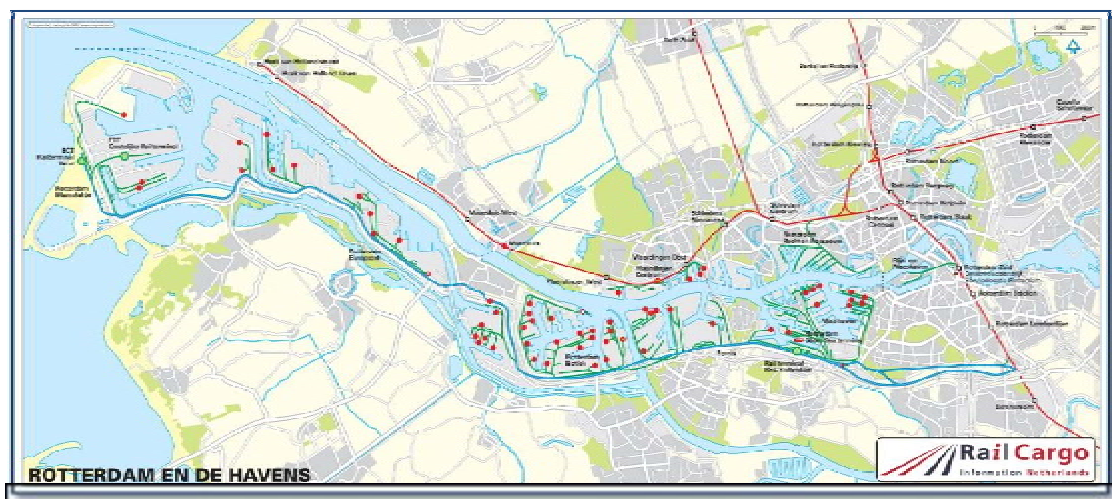
KEYRAIL PILOT KETENREGIE

Door KeyRail is eind 2007 een pilot project gestart dat gericht is op verbetering van betrouwbaarheid, voorkoming van kosten inefficiëntie en optimale benutting van de havenspoorlijn. Het project is gericht op het realiseren van 'snelle resultaten' voor op de korte termijn en heeft vooral een operationeel karakter.

3.3 HAVENSPOORLIJN

Figuur 10 geeft een overzicht (situatie 2008) van de havenspoorlijn (blauwe lijn) en de vertakkingen naar de bedrijfsterreinen en emplacementen (groene lijn). De haven bestaat uit vijf deelgebieden (van oost naar west gezien) Waalhaven – Pernis - Botlek – Europoort – Maasvlakte. In werkelijkheid is de spoorinfrastructuur een stuk gecompliceerder. Zo bestaat de Waalhaven uit enkele tientallen emplacementen, zijsporen en bedrijfssporen. De havenspoorlijn is sinds 2003 overal dubbel spoor en (op enkele stukken na) geëlektrificeerd. De havenspoorlijn is gebouwd op een capaciteit van 10 12 treinen per uur.

⁹ Academic Centre TransPORT, virtueel kenniscentrum dat de dagelijkse havenpraktijk verbindt met expertise uit kennisinstituten.



FIGUUR 10: HAVENSPOORLIJN (BRON: RAILCARGO)

Jaarlijks vraagt de railgoederenvervoerder bij ProRail capaciteit aan op de railinfrastructuur. ProRail legt alle aanvragen (samen met de aanvragen van het reizigersvervoer en die van de aannemers belast met het onderhoud van het spoor) naast elkaar en verdeelt de beschikbare capaciteit onder de aanvragers. Indien zich conflicten voordoen in de aanvragen, bijvoorbeeld meerdere partijen die op hetzelfde tijdstip capaciteit aanvragen, is het ProRail die beslist. Het recht op het gebruik van emplacementen dient ook via een capaciteitsaanvraag te verlopen.

De capaciteit op het spoornetwerk wordt verdeeld via zogeheten treinpaden. Deze drukken de capaciteit uit die nodig is om een trein in een bepaald tijdvak tussen twee plaatsen te laten rijden; er zijn reizigerspaden en goederenpaden. Voor het vervoer per spoor vragen de vervoerders paden aan, dit houdt in dat zij het recht kopen om een trein over een bepaald traject te laten rijden. De railoperators kopen deze paden vervolgens van de vervoerders en proberen een volle trein in het gekochte pad te laten rijden. Dit doen ze door (delen van) de paden door te verkopen aan derden (rederijen, expediteurs, verladers, logistiek dienstverleners etc). Voor het laten rijden van een trein over een traject (of het bezet houden van een emplacementspoor) dient een verbruiksvergoeding te worden betaald aan ProRail.

In Nederland en de Europese Unie geldt een algemene maximale lengte van goederentreinen van 700 meter en op sommige trajecten iets langer (750 m). Deze maximale lengte wordt voornamelijk bepaald door de lengte van de inhaalsporen, dit zijn zijsporen waar goederentreinen doorgaans wachten op (vaak sneller rijdende) reizigerstreinen.

Het spoorwegennet moet anders dan het wegennet strikt gereguleerd worden. De dagelijkse leiding wordt verzorgd door de verkeersleiding van ProRail. Deze organisatie geeft machinisten toestemming om een bepaald traject op te rijden en stuurt bij in geval van storingen. Voor de belading van containertreinen wordt gebruik gemaakt van een terminaloperator. Deze draagt zorg voor het ontvangen, opslaan en overslaan van laadeenheden.

De haven van Rotterdam heeft anno 2008 de beschikking over twee Rail Service Centra (RSC) die vaak het centrale aankomst- en vertrekpunt vormen van treinen. De RSC bevinden zich in de nabijheid van de grote containerterminals en zijn 24 uur per dag operationeel. Voor het vervoer van chemicaliën zijn twee Rail Chemical Centers (RCC) beschikbaar (vergelijkbaar met RSC). Daarnaast beschikken de grote zeeterminals vaak over eigen railterminals (on dock terminals). Verspreid door de haven liggen meerdere grote emplacements waar gerangeerd kan worden en net buiten Rotterdam tussen Barendrecht en Zwijndrecht in, ligt Nederlands grootste rangeerterrein Kijfhoek, gesitueerd op 50 hectare grond met de beschikking over 43 verdeelsporen.

Momenteel vertrekken er wekelijks vanuit Rotterdam zo'n 150 containertreinen naar bestemmingen door heel Europa. In 2033 zullen dit er naar alle waarschijnlijkheid 100 per dag zijn. In principe komt een trein nooit leeg aan in de haven er is er altijd een retourstroom, een uitzondering hierop vormen de bulktreinen, deze komen leeg aan.

3.4 MAASVLAKTE 2

In het jaar 2033 zullen naar alle waarschijnlijkheid de eerste en tweede Maasvlakte samen meer dan 8 terminals en 72 emplacementsporen (verdeeld over drie grote emplacements) herbergen, allen verbonden met de havenspoorlijn via minimaal 2 parallel lopende sporen (zie Bijlage B).

Naar verwachting zal in 2013 de eerste container op Maasvlakte 2 worden overgeslagen. De twee containerterminals die dan operationeel worden zijn APMT (onderdeel van Maersk) en RWG (onderdeel van DP World). Beide terminaloperators hebben ambitieuze groeiplannen afgegeven. Ook de Euromax terminal zal in 2020 deels het terrein ten westen van de huidige terminal in gebruik hebben genomen. Rondom het Distripark zijn de emplacements gesitueerd. Ze vormen hiermee het kloppende hart van de tweede Maasvlakte.

De goederentreinen worden doorgaans door een elektrische (goedkoper per kilometer en meer kracht) locomotief de haven binnen getrokken. Een trein komt aan vanaf de havenspoorlijn en nadat een rijweg is ingesteld rijdt de trein het juiste emplacementspoor op. Na aankomst op het emplacementspoor wordt de e loc ontkoppeld. Er wordt een rijweg aangevraagd en ingesteld om de e loc af te voeren naar een ander spoor waar reeds een trein op hem staat te wachten of naar een aparte loc opstelplaats. Voor het verdere vervoer over de Maasvlakte wordt gebruik gemaakt van de diesellocomotief. Een d loc wordt opgeroepen, een rijweg wordt aangevraagd en ingesteld en de d-loc koppelt aan de voorkant van de trein aan. Na het keren van de rijrichting en het uitvoeren van een kleine remproef¹⁰ wordt gewacht op een terminalsloot richting de gewenste railterminal en de verbindingssporen ernaartoe. Zodra de betreffende railterminal de trein kan ontvangen wordt de rijweg ingesteld en wordt toestemming gegeven om naar een bepaald spoor van de betreffende terminal te rijden. De trein rijdt getrokken naar de betreffende terminal.

¹⁰ De remmen van de wagons werken op lucht. De remleiding tussen de wagons dient op druk te zijn zodat de remmen goed functioneren. Normaliter zorgt de locomotief voor deze druk; indien deze niet voor de wagons staat kunnen de wagons onder druk worden gehouden middels de zogenoemde remkasten. De remproef dient om te controleren of alle wagons onder voldoende druk staan en of alle remmen werken. Indien de wagons langer dan twee uur zonder druk hebben gestaan dient een grote remproef uitgevoerd te worden. Alle wagons worden dan nagelopen om te controleren of de remmen onder druk staan. Bij korter dan twee uur volstaat een kleine remproef waarbij alleen de achterste wagon gecontroleerd hoeft te worden.

Een uitzondering vormen de deeltreinen. Na aankomst van een deeltrein koppelt de loc af en wordt de trein gesplitst in maximaal 3 wagensets (dit is een aanname uit Spoorslag). Na aanvraag en instellen van de rijweg wordt een d-loc aangevoerd en aangekoppeld aan de 1^e wagenset (treindeel 1). Er wordt rijrichting gekeerd, een kleine remproef uitgevoerd, de rijweg wordt ingesteld en het 1^e treindeel rijdt naar de betreffende terminal. Hier wordt de loc ontkoppeld, deze voert de juiste procedures uit, rijdt terug naar het emplacement en stelt zich bij wagenset 2 op. Het proces herhaalt zich totdat alle 3 de wagensets bij de juiste terminals staan.

De handelingen voor het vertrek vanaf de Maasvlakte richting de havenspoorlijn (Suurhofbrug – Europoort en verder) zijn hetzelfde als de aankomsthandelingen met dien verstande dat er eventueel een grote remproef en een uitgebreide technische controle uitgevoerd dient te worden. Hierbij wordt de trein geheel doorlopen, waarbij de wagons visueel worden geïnspecteerd en wordt gecontroleerd of alle wagons zelfstandig kunnen remmen en de lading juist op de trein staat.

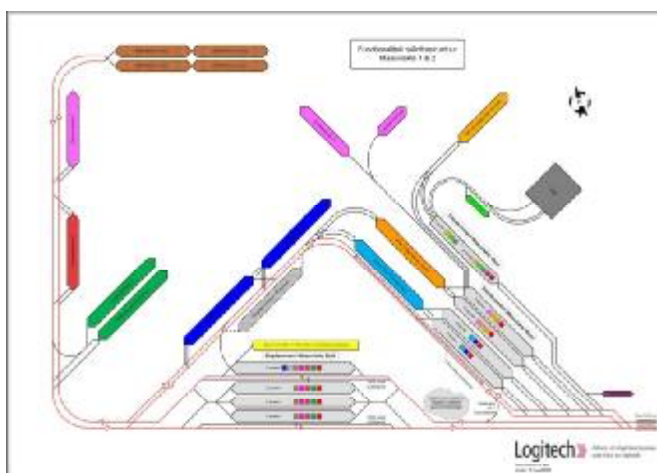
De Figuren 11-13 geven een indicatie van de inrichting van de tweede Maasvlakte zoals deze in het masterplan (versie 3.3.1) is opgenomen. Deze inrichting dient tevens als uitgangspunt voor dit onderzoek. In Bijlage A en Bijlage B is van Figuur 11 respectievelijk Figuur 13 een groot formaat afbeelding toegevoegd.



FIGUUR 11: MASTERPLAN TWEEDE MAASVLAKTE VERSIE 3.3.1 (BRON: HBR)



FIGUUR 12: ARTIST IMPRESSION MAASVLAKTE IN HET JAAR 2033 VANUIT C2 KNOOP BEKEKEN (BRON: HBR)



FIGUUR 13: FUNCTIONALITEIT RAILINFRASTRUCTUUR MAASVLAKTE IN HET JAAR 2033 (BRON: LOGITECH)

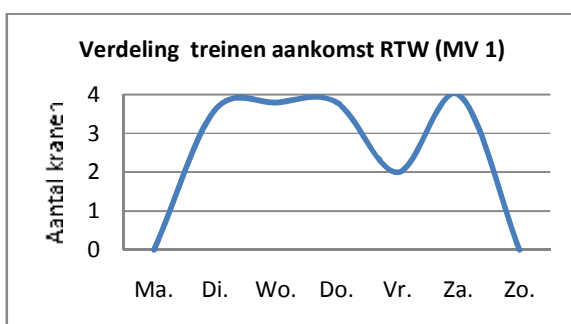
3.5 TERMINALS

Op de Maasvlakte (1+2) bevinden zich in volgorde van spoorlading grootte de volgende terminals: Euromax, APMT, RWG, T2, RTW 1, ORT, RTW 2 en T3. Terminal T2 en T3 zijn voornamelijk bedoeld voor grootschalige chemie overslag, de overige terminals voornamelijk voor containeroverslag.

Aangekomen bij de railterminal rijdt de trein één van de beschikbare terminalsporen op. Afhankelijk van de te verwachten bedieningstijd bij de terminal en de vervolgroute van de wagons kiest de loc een vervolgproces. Indien de trein door moet naar een volgende terminal (opstapshuttle) wacht de loc na het lossen van de juiste wagons op een plek op de volgende terminal en de verbindingssporen ernaartoe. Zodra beide beschikbaar zijn wordt de rijweg ingesteld en rijdt de trein naar de volgende terminal. Indien er bij een terminal zowel geladen als gelost moet worden blijft de loc meestal niet wachten maar vertrekt de loc en neemt eventueel gereedstaande wagons mee terug.

Op de terminal is het veelal wachten op kraancapaciteit. Tijdens het wachten begint de terminal assistent met het stellen van de pennen¹¹ aan de hand van de container/wagenplanning. Indien er kraancapaciteit beschikbaar is haalt de kraan een bepaalde container vanuit de stack, een chassis of vanaf de grond en zet deze op de juiste plaats op de trein (dit wordt een move genoemd). Na het laden van alle containers volgt de technische controle, hierbij wordt gecontroleerd of alle containers juist op de wagons zijn geplaatst en of de wagons technisch in orde zijn. De trein is nu gereed voor vertrek.

Ook op de terminals komen de treinen verspreid binnen. Niet alleen is er spreiding binnen de dag zelf, - de meeste treinen komen in de ochtend binnen en vertrekken aan het einde van de dag - maar ook is er spreiding binnen de week. Figuur 14 geeft een overzicht van de spreiding op de RTW terminal anno 2008. Hierbij is het aantal terminalkranen dat wordt ingezet voor het laden en lossen uitgezet tegenover de dag van de week. Deze spreiding is voornamelijk het gevolg van de werktijden in het achterland. Hoewel de meeste processen in de haven volcontinu zijn, 24 uur per dag 7 dagen in de week, werkt men in het achterland in het algemeen niet op de zondag en vaak ook niet op de zaterdag.



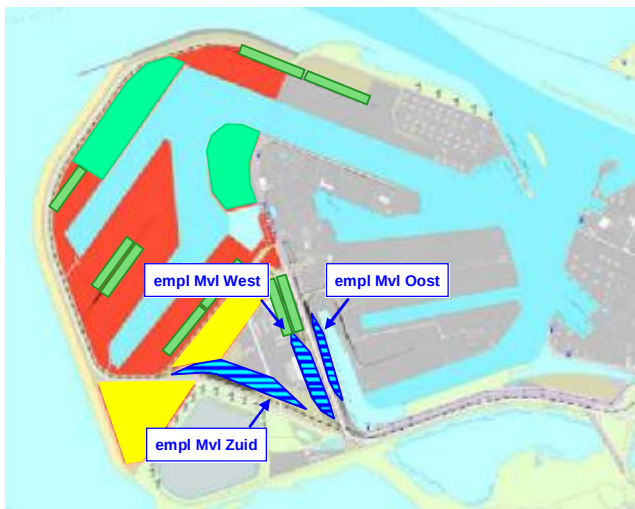
FIGUUR 14: VERDELING AANKOMST TREINEN RTW TERMINAL ANNO 2008 (BRON: ECT)

¹¹ Containers staan op zogenaamde pennen die op variabele afstanden op de wagon geplaatst kunnen worden. Dit maakt het mogelijk om verschillende formaat containers met één en dezelfde type wagon te vervoeren.

3.6 EMPLACEMENTEN

De belangrijkste functie van emplacementen op de Maasvlakte is de ontkoppeling tussen de terminal- en bedrijfsprocessen en de internationale treinpaden op de Havenspoorlijn en verder. De los- laadoperatie op een railterminal sluit lang niet altijd aan op de dienstregeling van de Havenspoorlijn of op de planning van een andere railterminal (in geval van opstapshuttles). In het wegverkeer wordt een ontkoppeling tussen terminal en hoofdweg gerealiseerd door opstel mogelijkheden voor/op de terminal (pre gate genoemd); ook wordt file (vorm van bufferen) op de hoofdweg getolereerd. Bij het streng gereguleerde spoorvervoer is file op de hoofdbaan om veiligheids- en logistieke redenen niet mogelijk. Opstel mogelijkheden op emplacementen is de enige optie.

De Maasvlakte (1+2) kent 3 grote emplacementen: emplacement West, emplacement Zuid en emplacement Oost. Figuur 15 geeft de ligging van de verschillende emplacementen weer.



FIGUUR 15: OVERZICHT EMPLACEMENTEN MAASVLAKTE (HBR, 2008)

Het bestaande emplacement Maasvlakte West heeft 18 sporen. Door het verwijderen van de landschapsinpassing aan de westzijde van het bestaande emplacement, ontstaat extra ruimte voor 14 emplacementsporen en 2 doorgaande sporen. Emplacement Maasvlakte West heeft een verbinding met de ORT (ECT), RTW-1 en RTW 2, de stukgoedterminal van DFDS Tor Line, Lyondell, het aansluitende chemiecluster op Maasvlakte 1 en met de zuidelijke railterminal van APMT op Maasvlakte 2. Uiteraard kunnen alle andere railterminals op Maasvlakte 2 ook via emplacement Maasvlakte West bereikt worden, maar daar ligt het meer voor de hand om van emplacement Maasvlakte Zuid gebruik te maken. Voor het nog te realiseren emplacement Maasvlakte Zuid is in 2006 een definitieve locatie vastgelegd, met een breedte van 200 meter, dat met name de terreinen van Maasvlakte 2 bedient, zoals de noordelijke railterminal op APMT en de overige terminals langs de buitencontour (T1, T2, RWG en Euromax).

De emplacementen op de Maasvlakte worden gebruikt als ontkoppelpunt in het primaire bedrijfsproces. Deze ontkoppelfunctie leidt tot de volgende activiteiten op emplacementen:

- | | |
|---------------------------------------|--|
| • Opstellen van materieel | • Samenstellen van treinen |
| ▪ Controleren van lading | ▪ Controleren van trein (remproef en technisch) |
| ▪ Wisselen van locomotief | ▪ Klein onderhoud uitvoeren |
| • Tanken | • Wisselen van machinist |
| • Reinigen | • Wachten op slot havenspoorlijn |
| ▪ Parkeerplaats op zon- en feestdagen | ▪ Opstellen van locomotieven |
| • Aannemerssporen (infrastructuur) | • Onderhoudssporen (klein onderhoud rollend materieel) |
| • Opstellen defect materieel | |
| ▪ Wachten tot terminal kan ontvangen | ▪ Kop maken ¹² |

Vanwege de verscheidenheid aan functies wordt onderscheid gemaakt in sporen voor het operationele proces (processporen), sporen voor het opstellen van materieel (stand by sporen) en servicesporen zoals het langdurig opstellen en parkeren op zon- en feestdagen. Met het oog op de strakke planning van het spoorproces is het gewenst om op strategische plaatsen materieel op te stellen. Deze reserves kunnen gebruikt worden om in te zetten in plaats van defect of in onderhoud zijnde materieel; het stand by staan voor het opvangen van vertragingen; of als werkvoorraad fungeren in afwachting van nieuw vervoer. Spoorslag 2008 houdt rekening met 6 stand-by sporen op de Maasvlakte en 8 service sporen voor diverse activiteiten. Indien deze sporen gelijkmatig over emplacement Zuid en emplacement West worden verdeeld dan blijven er feitelijk $32 - 7 = 25$ processporen over op beide emplacementen. Ter verduidelijking, in dit onderzoek zijn met name de processporen van belang, er wordt geen rekening gehouden met stand by en servicesporen.

Anno 2007 blijkt het tot dusver niet mogelijk de logistieke systemen zo in te zetten dat treinen op tijd vertrekken. De twee grootste oorzaken hiervan zijn enerzijds de onbetrouwbaarheid (onnodig capaciteit aanvragen, langdurig stallen van materieel) van de diverse schakels in de intermodale keten en anderzijds het slecht aansluiten van de dienstregelingen op de terminal slots. Het gevolg is dat er gebufferd wordt door zowel terminaloperators als door de vervoerders om deze variabiliteit op te vangen. Een ander probleem vormen de omlopen - het traject Rotterdam achterland en weer terug - van de goederentreinen. Indien een operator een dagelijkse verbinding met een achterlandbestemming garandeert dan is een omloop van 24 uur een stuk gunstiger dan een omloop van 28 uur. Bij een omloop van 28 uur is namelijk een extra set wagons inclusief locomotief noodzakelijk om een dagelijkse verbinding te garanderen. Evenmin ontstaat de noodzaak tot het creëren van korte omlopen; bij een omloop van 20 uur zal de overige 4 uur toch ergens doorgebracht moeten worden. Met name de treinen die niet dagelijks rijden zorgen voor lange bezettingstijden; een wagenset die niet dagelijks rijdt moet ergens worden gestald, een locatie dichtbij een terminal is dan vanzelfsprekend. Het

¹² De locomotief afkoppelen en aan de andere kant van de trein weer aankoppelen. Op deze wijze kunnen treinen van rijrichting wisselen terwijl de wagons altijd getrokken door een locomotief worden verplaatst.

toenemende aantal vervoerders heeft tot gevolg dat de beschikbare capaciteit suboptimaal benut wordt doordat iedere vervoerder zijn eigen proces optimaliseert.

Analyse uit Spoorslag leert verder dat op stille dagen een opstelbehoefte kan ontstaan van zo'n 175 wagensets. Al zouden alle terminals en emplacementen vol worden gezet dan is er nog steeds een tekort aan sporen. Binnen Spoorslag wordt aangegeven dat dit opstelvraagstuk in samenhang met de landelijke (of wellicht Europese) opstelproblematiek bestudeerd en opgelost dient te worden. Hier wordt in dit onderzoek dan ook geen rekening mee gehouden.

3.7 SAMENVATTING

Het havenbedrijf Rotterdam streeft een actief spoorbeleid na met als doel het verbeteren van de kwaliteit van het spoorproduct voor zowel klanten als gebruikers. Het HbR brengt hierbij vraag en aanbod bij elkaar, schept condities en is initiator van diverse projecten.

De Spoorslagstudies vormen de belangrijkste input voor dit onderzoek. Hierin is ook een ontwerp opgenomen over de ligging van de verschillende terminals en emplacementen op de tweede Maasvlakte, het zogenaamde masterplan. Dit masterplan wordt in dit onderzoek beschouwd als de definitieve lay-out van de Maasvlakte. In het jaar 2033 zullen er naar alle waarschijnlijkheid 8 terminals en 3 emplacementen op de Maasvlakte in gebruik zijn.

De belangrijkste functie van de emplacementen is de ontkoppeling tussen de primaire processen. De processen op en rondom de emplacementen en terminals zijn van belang in dit onderzoek.

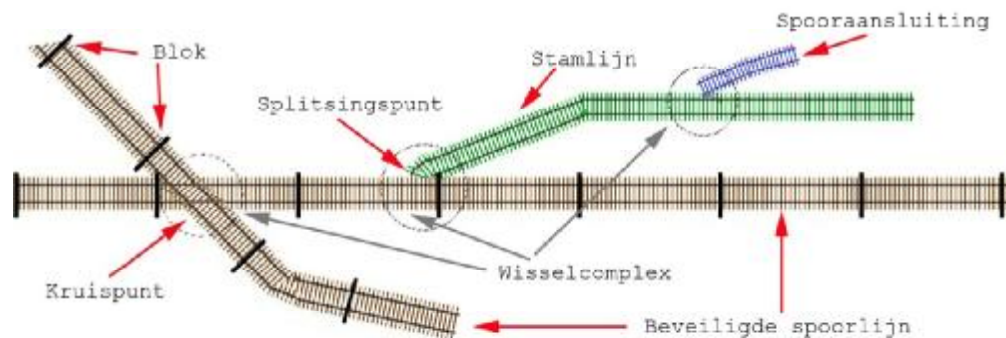
Omdat het aantal spoorcontainers in de toekomst alleen maar zal toenemen, is inzicht in de capaciteit van de railinfrastructuur op de Maasvlakte noodzakelijk. Hoofdstuk 4 maakt een begin met het beantwoorden van enkele capaciteitsvraagstukken op de tweede Maasvlakte.

4. CAPACITEIT RAILINFRASTRUCTUUR MAASVLAKTE

In de voorgaande hoofdstukken is een beschrijving gegeven van het railgoederenvervoer in het algemeen (H2) en de afhandeling hiervan specifiek in de Rotterdamse haven (H3). Beide hoofdstukken zijn beschrijvend van aard. Het komende hoofdstuk is meer technisch van aard en gaat in op de capaciteit van railinfrastructuur aan de hand van capaciteitsvraagstukken zoals deze zich op de Maasvlakte voordoen. Hiervoor wordt de infrastructuur op de Maasvlakte in verschillende infraeenheden (zie Figuur 16) opgedeeld en worden de begrippen belasting en capaciteit geïntroduceerd (paragraaf 4.1). In de daarop volgende paragrafen wordt analytisch de capaciteit bepaald van losse infraeenheden op de Maasvlakte en worden de productie uitgangspunten¹³ genoemd die van invloed zijn op de uiteindelijke capaciteit. De hieruit verkregen inzichten worden gecombineerd om zodoende een eerste uitspraak te doen over de totale capaciteit (in termen van doorzet) van de gehele Maasvlakte.

4.1 RAILINFRASTRUCTUUR EENHEDEN

Railinfrastructuur kan in verschillende infraeenheden (zie Figuur 16) worden opgedeeld. Prorail hanteert geen eenduidige definitie ten aanzien van een infraeenheid. In feite betreft een infraeenheid een 'op zichzelf staand' deel van de infrastructuur.



FIGUUR 16: RAILINFRASTRUCTUUR EENHEDEN

Alvorens in te gaan op de infraeenheden die in dit onderzoek worden onderscheiden wordt eerst aan de hand van Figuur 16 de railinfrastructuur op de Maasvlakte besproken. In feite bestaat de infrastructuur op de Maasvlakte uit een beveiligde spoorlijn (dit is de huidige havenspoorlijn die wordt doorgetrokken op de tweede Maasvlakte) met op verschillende punten aftakkingen richting emplacement- of terminalsporten. Een dergelijke

¹³ Twee uitgangspunten worden onderscheiden. Technische productie uitgangspunten zijn zaken als beveiliging, civiele lay out en materieelkarakteristieken. Exploitatie uitgangspunten zijn zaken als de te behalen servicegraad, de mix tussen treinsoorten en het gebruik van een dienstregeling.

aftakkende lijn wordt officieel een stamlijn genoemd. Aparte sporen die verbonden zijn met bedrijven (en niet direct naar een emplacement of terminal leiden), worden spooraansluitingen genoemd.

Het gedeelte waar een enkel stuk spoor zich splitst in twee spoorlijnen is een splitsingspunt en het gedeelte waar twee spoorlijnen elkaar kruisen een kruispunt. Iedere aftakking, aansluiting of kruispunt is voorzien van één of meerdere wisselcomplexen die de overloop naar de verschillende sporen regelen.

In dit onderzoek wordt niet naar spooraansluitingen gekeken (te gedetailleerd niveau) en wordt er geen onderscheid gemaakt tussen stamlijnen en beveiligde spoorlijnen, vanaf nu gewoonweg spoorlijnen genoemd.

De volgende vijf infraeenheden worden nader bestudeerd:

1. Spoorlijn
2. Wisselcomplex
3. Kruispunt
4. Emplacement
5. Terminal

Een vaste capaciteit voor railinfrastructuur (uitgedrukt in treinen per tijdseenheid) bestaat niet. Het is een waarde die sterk afhankelijk is van veel, vaak niet exact bekende parameters. Deze parameters, ook wel productie uitgangspunten genoemd bepalen de capaciteit van de railinfrastructuur. Denk hierbij aan het soort trein en aantal treinen dat gebruik maakt van de infrastructuur eenheid, de civiele lay out van de infrastructuur, de materieelkarakteristieken, het gebruikte beveiligingssysteem, de dienstregeling etc.

Er is dan ook een aanzienlijk aantal capaciteitverhogende maatregelen mogelijk voor één en hetzelfde railsysteem. Voorbeelden zijn meer sporen en inhaal mogelijkheden, minder conflictpunten in wisselcomplexen, meer vrije kruisingen, kortere opvolgtijden, snellere aanzet en kortere remweg van het materieel. In de praktijk zijn er veelal beperkingen (op planologisch gebied, financieel gebied of servicegraad) die een groot aantal oplossingen uitsluiten.

Om het begrip capaciteit te kwantificeren wordt eerst het begrip belasting geïntroduceerd. De belasting (B) van een infraeenheid wordt door ProRail gedefinieerd als de verhouding tussen de minimaal benodigde tijd om een reeks trein- en rangeerbewegingen uit te voeren (t_{ben}) en de beschikbare tijd (T) voor dit proces. In formule:

$$B = \frac{t_{ben}}{T} \times 100\% \quad (1)$$

De technische capaciteit wordt vervolgens gedefinieerd als die capaciteit die alleen bepaald wordt door de technische productie uitgangspunten. In dit geval is de maximale toelaatbare belasting 100% en spelen de exploitatie uitgangspunten geen beperkende factor (Railned, 1996).

Naast de technische capaciteit definieert ProRail de theoretische capaciteit van een infraeenheid als de capaciteit waarbij het maximum aantal treinen, gegeven de productie uitgangspunten (zowel technisch als

exploitatie), de infraeenheid kan passeren in een bepaalde tijd bij een belasting van 100%. Strikt genomen is de technische capaciteit > theoretische capaciteit > werkelijke (gemiddelde) capaciteit.

In de praktijk is het gebruikelijker om met de minimum opvolgtijd te werken in plaats van de benodigde tijd. De minimum opvolgtijd $t_{\min}$ is de verhouding tussen de minimaal benodigde tijd om een reeks trein- en rangeerbewegingen uit te voeren en het aantal treinen per beschikbare tijd (Railned, 1996). In formule:

$$t_{\min} = \frac{t_{\text{ben}}}{n} \quad (2)$$

Dor (2) te substitueren in (1) kan voor de belasting (B) ook worden geschreven:

$$B = \frac{n \times t_{\min} \times 100\%}{T} \quad (3)$$

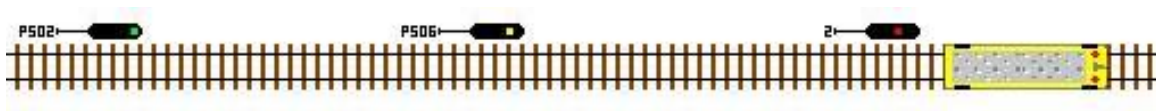
Uit de context moet blijken welke minimale opvolgtijd wordt bedoeld. Er bestaat een minimale opvolgtijd op de vrije baan (spoorlijn), een minimale opvolgtijd bij vertrek/aankomst van een emplacement/terminal, een minimale opvolgtijd op wisselcomplexen, splitsingspunten etc. De Formules (1)-(3) worden in de komende paragrafen toegepast om de capaciteit te bepalen van de verschillende infraeenheden op de Maasvlakte.

4.2 CAPACITEIT SPOORLIJN

De snelheid (en hieraan verbonden de veilige tussenafstand) waarmee treinen over een spoorlijn rijden is voor een groot deel bepalend voor de capaciteit van de spoorlijn. In dit onderzoek wordt de Maasvlakte als een integraal 40 km/u gebied beschouwd. Dit betekent dat treinen niet harder dan 40 km per uur zullen rijden. Hoewel dit niet volledig overeenkomt met de te verwachten praktijk (rond de buitencontour van de Maasvlakte kan 80 km/u worden gereden) is het een betrouwbare aanname voor het 'rondje Distripark'.

Alvorens in te gaan op de capaciteit van een spoorlijn is het van belang om kennis te hebben van het seinestelsel. Het huidige seinestelsel in Nederland is grotendeels gebaseerd op de remkarakteristieken van de slechtst remmende trein en op de mogelijkheid om op de vrije baan een opvolging van treinen te realiseren met standaard seinbeeld relatie. Een standaard seinbeeld relatie betekent een opvolging van drie seinen die respectievelijk rood – geel – groen branden. De betekenis van rood is stop, geel betekent vertraag naar 40 km/u en groen geeft aan dat de naderende trein door mag rijden met de maximale snelheid van de op dat gedeelte van de spoorlijn geldende snelheid.

Een spoorlijn is veelal in blokken ingedeeld waarbij aan het begin van elk blok een sein is geplaatst. Indien een trein zich in een blok bevindt dan is het sein voorafgaand aan dat blok rood. Het blok voor het bezette blok geeft een oranje sein (houd rekening met een rood sein verderop) en het blok daarvoor geeft een groen sein (ongehinderde doorgang). Figuur 17 geeft deze relatie grafisch weer.



FIGUUR 17: STANDAARD SEINRELATIES SPOORLIJN

Uit kostenoverweging enerzijds en veiligheid anderzijds wordt door ProRail een minimale bloklengte van 400 meter aangehouden met een maximum van 1800 meter. De blokindeling is van invloed op de treinopvolging; er bestaat een optimum tussen de gekozen blokindeling en de bepalende productie uitgangspunten.

Omdat snelheid en aanzet van treinen van invloed is op de capaciteit wordt voor de treimbewegingen op de Maasvlakte een eenparig versnelde rechtlijnig beweging verondersteld¹⁴. Deze veronderstelling maakt het mogelijk om gebruik te maken van de volgende formules uit de mechanica:

$$\bar{a} = \frac{\Delta v}{\Delta t} \quad (4)$$

$$v(t) = v(0) + at \quad (5)$$

$$x(t) = x(0) + v(0)t + \frac{1}{2}at^2 \quad (6)$$

Hierin is a de versnelling, v de snelheid, t de tijd en x de afgelegde weg. Indien de treinen een lengte hebben van 650 meter (dit komt overeen met Spoorslag) en treinen niet harder dan 40 km/u rijden en niet dichters dan 1000 meter tussen elkaar rijden is $t_{\min}$ voor een dergelijke spoorlijn gelijk aan $1650/11 = 150$ seconde. Dit betekent dat in een dergelijke situatie de capaciteit van de spoorlijn gelijk is aan $3600/150 = 24$ treinen per uur.

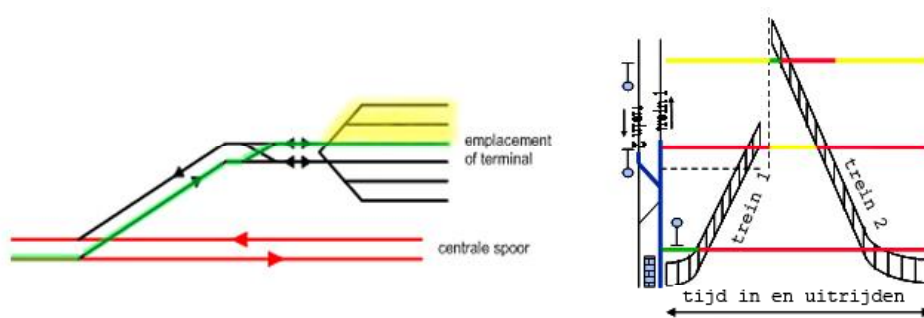
De zojuist berekende capaciteit betreft de technische capaciteit. Een betrouwbaarder beeld geeft de theoretische capaciteit waarbij rekening wordt gehouden met productie uitgangspunten zoals kruisende treinen, treinen die op de spoorlijn moeten afremmen voor het afslaan naar een emplacement etc. Verstoringen als deze kunnen ervoor zorgen dat de theoretische capaciteit slechts 50% van de technische capaciteit blijkt te zijn. Samenvattend, de werkelijke capaciteit van een spoorlijn is afhankelijk van verscheidene productie factoren (zoals snelheid, aanzet, remkarakteristieken, blokindeling, opvolgtijden, conflictsituaties en belasting).

4.3 CAPACITEIT WISSELCOMPLEX

Voor de overgang tussen spoorlijnen en terminal- of emplacementsporen wordt gebruik gemaakt van wisselcomplexen. In Figuur 18 is een wisselcomplex (het zwarte kruis in het linker plaatje) weergegeven. De wissel kan drie standen aannemen: (1) De wissel staat 'open' voor beide richtingen (in- en uitgaand verkeer, er wordt niet van spoor gewisseld). (2) De wissel staat 'open' voor een overloop van de ingaande stroom. (3) De

¹⁴ In werkelijkheid heeft elk type materieel haar eigen specifieke aanzet en remcurven die slechts bij benadering lineair zijn.

wissel staat 'open' voor een overloop van de uitgaande stroom. De groene lijn in Figuur 18 geeft optie 2 aan, waarbij een trein vanaf het centrale spoor richting het emplacement/terminal rijdt en van spoor wisselt vanwege de ligging van het spoor dat voor de betreffende trein bestemd is. Statistisch gezien zal in de helft van de gevallen een inrijdende trein via het kruis moeten rijden waardoor deze de wissel bezet houdt voor alle overige treinen. Dit is het geval wanneer een inrijdende trein één van de geel gearceerde sporen als bestemming heeft. Deze 'hinder' is rechts in Figuur 18 weergegeven in een tijdweg diagram. Hierin rijdt op $t=0$ trein 1 een emplacementspoor af en op $t=t$ is trein 2 dit emplacementspoor opgereden. Het verschil tussen $t=0$ en $t=t$ is de tijd die nodig is om een trein een spoor te laten verlaten en een andere trein dit spoor te laten bezetten. Voor een metro is deze tijd ongeveer 2 min, voor een gewone passagierstrein 4 min en voor een goederentrein kan deze tijd wel oplopen tot 7 min (Bovenlander, 1996).

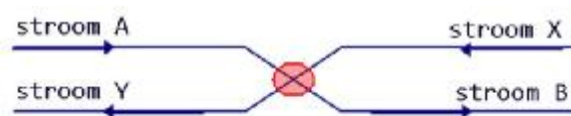


FIGUUR 18: WISSELCOMPLEX (LINKS) CONFLICTERENDE TREINBEWEGING (RECHTS)

De snelheid op een emplacement- of terminalspoor bedraagt hoogstens 15 km/u in verband met de veiligheid (personeel loopt tussen de sporen). Bij een snelheid van 15 km/u bezet een trein een wisselcomplex 156 seconden waardoor de capaciteit van de wissel gelijk is aan 23 treinen per uur in beide richtingen samen (indien bij vrijgeven wissel meteen een nieuwe trein de wissel gebruikt).

4.4 CAPACITEIT KRUISPUNT

Figuur 19 is een schematische weergave van een kruispunt. Om de capaciteit van een kruispunt te berekenen is de tijd die een trein het kruispunt bezet houdt nodig (vergelijk de bezettingstijd van een wisselcomplex).



FIGUUR 19: SCHEMATISCHE WEERGAVE KRUISPUNT

Als in Figuur 19 treinen alleen van stroom A naar stroom B rijden dan is de capaciteit van de kruising (bij baanvaknelheid 40 km/u en tussenafstand 1000 meter) gelijk aan die van het baanvak AB namelijk 24 treinen per uur (vergelijk capaciteit spoorlijn). Wat wordt nu de capaciteit als treinen ook van stroom X naar stroom Y rijden?

Verondersteld wordt dat treinen precies om en om het kruispunt kruisen, een opvolging AB-XY-AB-XY in Figuur 19. Als treinen op maximale snelheid kunnen kruisen is de capaciteit van het kruispunt maximaal. Stel verder dat op $t=0$ de voorkant van een trein zich op het kruispunt bevindt met snelheid 11 m/s. Op $t=59$ heeft de trein (650 meter) het kruispunt volledig verlaten. Een trein vanuit stroom XY dient op dat moment nog 1000 meter (91 seconden) van het kruispunt verwijderd te zijn. Op $t=209$ heeft deze trein het kruispunt verlaten en op $t=300$ komt de tweede trein uit stroom AB op het kruispunt aan. Hieruit volgt dat om in volledige tegenfase en op volle snelheid te kunnen kruisen, treinen op beide baanvakken met een tussentijd van 300 sec dienen te rijden. De capaciteit van de baanvakken is hiermee 12 treinen per uur en die van het kruispunt 24 treinen per uur, evenveel in het geval dat de treinen niet kruisen. Zodra treinen niet in perfecte tegenfase rijden neemt de capaciteit af aangezien treinen elkaar op het kruispunt hinderen en voor elkaar moeten afremmen.

Om het aantal conflictsituaties beperkt te houden wordt er in het spoorvervoer veelal met dienstregelingen gewerkt (denk aan het reizigersvervoer). Bij de analyse van gelijkvloerse kruispunten maakt ProRail gebruik van zogenaamde oversteekkansen, een maat voor de mate waarop treinen uit richting x ongehinderd treinen uit richting y kunnen kruisen. Een oversteekkans van 75% zegt eigenlijk zoveel als dat het mogelijk is om een realistische dienstregeling te bouwen waarbij in 75% van de gevallen de treinen uit richting x en y elkaar niet hinderen bij het kruisen. Bij de berekening wordt een uur ingedeeld in n tijdvensters. Hierin is een tijdvenster de tijd waarin een kruising bezet/gereserveerd is door een trein. Deze tijd bestaat uit de werkelijke tijd dat een trein het kruispunt bezet + de tijd die nodig is om de wissel om te zetten + een veiligheidsmarge. Voor goederentreinen wordt door ProRail veelal een bezettingsgraad van 3 min aangehouden. Van de n tijdvensters worden b vensters bezet door treinen uit richting x . Vervolgens wordt de kans p dat een trein uit richting y de stroom uit richting x ongehinderd kan oversteken gegeven door (bron: ProRail):

$$p = \frac{\text{aantal beschikbare tijdvensters}}{\text{aantal mogelijke aankomsten}} = \frac{n-b}{n} \quad (7)$$

De kans dat ook een tweede trein uit richting y de stroom uit richting x kan oversteken gegeven de oversteek van de eerste trein is gelijk aan (bron: ProRail):

$$p - \frac{(n-b)}{n} \cdot \frac{(n-b-1)}{n-1} \quad (8)$$

Voor alle k treinen uit stroom y geldt dus dat de kans gelijk is aan (bron ProRail):

$$p = \prod_{k=0}^{a-1} \frac{(n-b-k)}{(n-k)} \quad (9)$$

In Tabel 3 (bron: ProRail) is voor verschillende aantallen treinen uit twee richtingen (a en b), gegeven een bezettingsgraad van 2 minuten, de kans p berekend.

a	b	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1		97	93	90	87	83	80	77	73	70	67
2		93	87	81	75	69	63	58	53	48	44
3		90	81	72	64	57	50	44	38	33	28
4		87	75	64	55	46	39	32	27	22	18
5		83	69	57	46	37	30	24	18	14	11
6		80	63	50	39	30	23	17	13	9	7

TABEL 3: OVERSTEEKKANSEN MET BEZETTINGSGRAAD 2 MIN (RAILNED, 1996)

Vervolgens hanteert ProRail de volgende vuistregel¹⁵: Een oversteekkans van 75% en hoger wordt gezien als acceptabel, tussen de 50% - 75% als kritiek en onder de 50% als onacceptabel. In Tabel 3 zijn de kansen < 50% gearceerd en aldus ProRail onacceptabel. Bij meer dan 4 treinen per uur per richting ligt een kritiek omslagpunt waarbij slechts een vrije kruising (ongelijkvloers) uitkomst biedt. Voor kritieke kansen kunnen wachtpoelen eventueel uitkomst bieden. Voor de Maasvlakte betekent dit concreet dat inzicht verkregen moet worden in het aantal kritieke/onacceptabele kruisingen, hoofdstuk 6 gaat hier dieper op in.

4.5 CAPACITEIT EMPLACEMENTEN EN TERMINALS

Emplacementsporen en terminalsporen zijn de sporen behorende bij een emplacement of terminal, vergelijkbaar met de stationssporen uit het reizigersvervoer. De capaciteit van de emplacementen en terminals op de Maasvlakte wordt bepaald door de tijd dat een trein een emplacement- of terminalspoor bezet houdt. Voor stationssporen bestaat een niet bindende Europese norm die stelt dat de maximale toelaatbare gemiddelde stationspoor belasting 75% mag bedragen. Deze norm geldt slechts als advies omdat uit ervaring blijkt dat bij een belasting van 75% het stationspoor als 'vol' beschouwd mag worden. In de Spoorslagstudies wordt echter uitgegaan van een bezetting van maximaal 90% op de emplacementsporen in de piekuren.

De bezettingstijd van een trein wordt gedefinieerd als de tijd vanaf het moment dat een spoor is gereserveerd voor een trein tot het moment waarop dit spoor wordt vrijgegeven. Ter illustratie, een treinbeweging van een terminal naar een emplacement kan pas ingezet worden als er plek is op het emplacement. Zodra op het emplacement plek is wordt één van de emplacementsporen gereserveerd voor de betreffende trein. Op dat moment bezet de trein dus zowel een terminalspoor als een emplacementspoor. Hiermee wordt zeker gesteld dat een rijdende trein op de Maasvlakte altijd ontvangen kan worden op zijn bestemming en dus niet stil komt te staan op het spoor en de doorstroming verstoord.

EMPLACEMENTEN

Op de emplacementen vindt een aantal processen plaats (zie hoofdstuk 3 voor een overzicht) die gezamenlijk de gemiddelde procestijd voor een trein op een emplacement bepalen. In de Spoorslagstudies wordt uitgegaan van een bezettingstijd op een emplacementspoor van 90 minuten 'heen' en 120 minuten 'terug' voor zowel idealtreinen als opstapshuttles.

¹⁵ Het gaat hierbij om een norm op basis van ervaringscijfers.

Een grove en snelle manier om de capaciteit van een emplacement (C_{empl}) te berekenen is om het aantal emplacementsporen (n) te delen door de gemiddelde bezettingstijd (t_{ben}) van een trein en vervolgens te vermenigvuldigen met de gemiddelde bezettingsgraad (B) van het emplacement.

$$C_{empl} = \frac{n}{t_{ben}} \times B \quad (10)$$

Zowel emplacement Zuid als West bestaan ieder uit 32 sporen (op basis van het masterplan), waarbij voorlopig wordt verondersteld dat alle 32 sporen als processporen gebruikt worden. Door uit te gaan van een bezettingsgraad van 90% (aanne Spoorslag) en een gemiddelde bezettingstijd voor idealtreinen van 1,75 uur ($\frac{90+175}{2}$) wordt de capaciteit van het emplacement ($\frac{32}{1,75} \times 90\%$) 16 treinen per uur in beide richtingen samen. Voor de Maasvlakte betekent dit concreet dat indien er alleen idealtreinen op de Maasvlakte worden afgehandeld, met een gemiddelde bezettingstijd van 1,75 uur, de emplacementen West en Zuid samen over een capaciteit beschikken van 16 treinen per uur per richting; meer dan voldoende gezien de aantallen die door Spoorslag worden verwacht.

TERMINALS

De bezettingstijd van treinen op terminalsporen is afhankelijk van het aantal te laden en/of te lossen containers plus het aantal terminalkranen dat hiervoor beschikbaar is. Bij een gemiddelde duur van 2 minuten per move¹⁶, een belading van 52 containers per idealtrein, een terminal met 4 kranen, 90% bezetting per kraan, wordt de capaciteit van de terminal gegeven door:

$$\frac{30 \{ \text{moves per kraan per uur} \} \times 4 \{ \text{aantal kranen} \} \times 90\% \{ \text{bezetting terminal} \}}{52 \times 2 \{ \text{totaal aantal moves per trein} \}} = \frac{108}{104} \approx 1 \text{ trein per uur} \quad (11)$$

Hierbij wordt verondersteld dat alle procestijden en aankomsttijden deterministisch zijn. In werkelijkheid speelt variabiliteit een wezenlijke rol in capaciteitsvraagstukken en zullen er onverhoopt wachtrijen optreden. Paragraaf 4.6 gaat hier dieper op in.

4.6 CAPACITEIT MAASVLAKTE

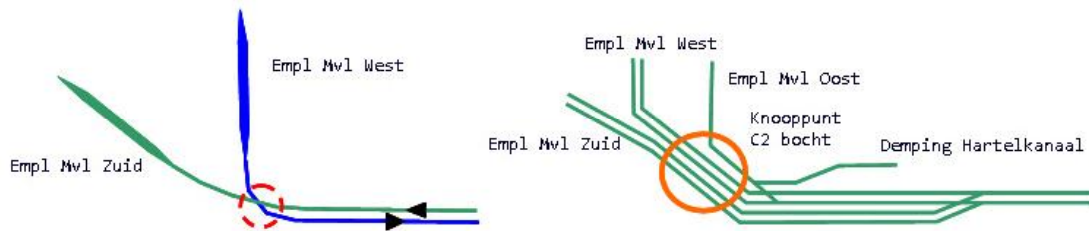
In het komende hoofdstuk wordt een begin gemaakt met het bepalen van de capaciteit van de gehele Maasvlakte. Hierbij wordt de capaciteit van de C2 knoop apart bekeken.

4.6.1 CAPACITEIT C2 KNOOP

Ingenieursbureau Movares (<http://www.movares.nl>) heeft in opdracht van de projectorganisatie Maasvlakte 2 een studie gedaan naar de railinfrastructuur van de C2 knoop; het verkeersknooppunt aan het begin van de Maasvlakte waar al het verkeer van Maasvlakte 1 en 2 samenkomt. Naast het bedenken van een ruimtelijk plan is onderzoek gedaan naar de maximaal haalbare capaciteit van treinen in de C2 knoop per richting in een

¹⁶ Hierbij wordt een move beschouwd als die beweging waarbij een container van een trein af wordt gehaald of op een trein wordt gezet.

drietal scenario's. In scenario 1 wordt de havenspoorlijn doorgetrokken richting Maasvlakte 2 en takken zowel emplacement Oost, emplacement West en emplacement Zuid in op een dubbelsporige havenspoorlijn (Figuur 20, links). In scenario 2 is de havenspoorlijn uitgebreid naar 4 sporig in de C2 knoop waarbij het verkeer van emplacement Zuid later intakt op de tweesporige havenspoorlijn (Figuur 20, rechts). Scenario 3 gaat uit van een volledig vrije kruising tussen het verkeer van emplacement West en emplacement Zuid waarbij het verkeer vanaf de EMO later intakt.



FIGUUR 20: C2 KNOOP, LINKS SCENARIO 1, RECHTS SCENARIO 2 (BRON: LOGITECH)

Met behulp van een dynamische simulatiestudie waarbij een vooraf opgestelde dienstregeling wordt gesimuleerd is de capaciteit van de C2 knoop bepaald. Uit de simulatie resultaten blijkt de capaciteit van de C2 knoop gelijk te zijn aan 7 treinen per uur per richting indien de havenspoorlijn wordt doorgetrokken naar Maasvlakte 2, 11 treinen per uur per richting indien de C2 knoop viersporig wordt en 14 treinen per uur indien een vrije kruising wordt aangelegd. Het gaat hierbij om de theoretische capaciteit, met andere woorden een bezetting van 100%.

De uitkomst van deze studie is weergegeven in Tabel 4 waarbij het aantal treinen per richting per scenario is aangegeven.

Scenario	EmWest	EmZuid	EMO	Totaal
1	3	3	1	7
2	5	5	1	11
3	6.5 ¹⁷	6.5	1	14
Spoorlijn				15 ¹⁸

TABEL 4: TREINAANTALLEN PER SCENARIO VASTE DIENSTREGELING (MOVARES B.V., 2008)

Er is voor gekozen om de resultaten uit scenario 2 als uitgangspunt voor deze studie te nemen. Dit betekent dat treinen met een basis uurpatroon de Maasvlakte op en afrijden waardoor op basis van de uitkomsten van Spoorslag 2008 een goede match wordt bereikt. Hiermee is in feite meteen een bovengrens op de capaciteit van de Maasvlakte gezet. Ongeacht de prestaties van de treinen op de Maasvlakte, is de totale capaciteit van de Maasvlakte gemeten in treinen per uur nooit meer dan 10 containertreinen en 1 bulktrain per uur. Alle treinen moeten immers via de C2 knoop de Maasvlakte verlaten.

¹⁷ 6 treinen vanaf emplacement West en 7 vanaf emplacement Zuid of omgekeerd.

¹⁸ Gebaseerd op 4 minuten tussen twee goederentreinen op een spoorlijn.

4.6.2 CAPACITEIT VAN EEN SYSTEEM

Tot nog toe is er vanuit gegaan dat er sprake is van deterministische proces- en aankomsttijden. In werkelijkheid is er zowel sprake van variabiliteit in proces- als in aankomsttijden, hetgeen een deterministische benadering negeert omdat deze alleen werkt met gemiddelde waarden. Om een betrouwbaardere uitspraak over de capaciteit van terminals/emplacementen en andere railinfra te doen zal enige mate van variabiliteit moeten worden toegevoegd. In geval van een analytische benadering biedt de wachtrijtheorie uitkomst.

Een wachtsysteem wordt gewoonlijk beschreven in termen van klanten die een bediening vragen bij een server. Hiervoor is het noodzakelijk om het aankomstproces van de klanten (verdeling tussenaankomsten), de structuur (aantal servers, mogelijkheid tot bufferen) en de bedieningsprocedure (wijze waarop klanten worden bediend) te weten.

Als verondersteld wordt dat de prioriteitsregel voor bediening in volgorde van binnenkomst is (FCFS), een lege server meteen een nieuwe klant bedient, een server één klant tegelijk bedient en de bedieningsduren onderling onafhankelijk zijn, dan is een wachtsysteem veelal te beschrijven via 4 vaste parameters, in de wachtrijtheorie beter bekend als de Kendall notatie. De Kendall notatie wordt als volgt genoteerd: A|B|C|N.

De letter A karakteriseert de aankomstinterval verdeling, B de bedieningsduur verdeling, C het aantal parallelle servers en N het maximale aantal klanten dat zich in de wachtruimte kan bevinden. Een wachtsysteem met één server waarbij zowel de aankomsten als de bedieningsduren exponentieel verdeeld zijn (weergegeven door de letter M vanwege de Markov eigenschap) en een oneindige bufferruimte wordt genoteerd met M/M/1/ ∞ veelal afgekort tot M/M/1.

Door te veronderstellen dat de aankomsttijden en procestijden exponentieel verdeeld zijn is het mogelijk om een eenvoudig systeem analytisch te benaderen. De volgende variabelen worden hiervoor geïntroduceerd:

L = gemiddeld aantal klanten present in het systeem

L_q = gemiddeld aantal klanten in de wachtrij

L_s = gemiddeld aantal klanten dat wordt bediend

W = gemiddelde tijd die een klant in het systeem doorbrengt

W_q = gemiddelde tijd die een klant in de wachtrij doorbrengt

W_s = gemiddelde tijd die een klant wordt bediend

λ = gemiddeld aantal arriverende klanten per tijdseenheid

μ = gemiddeld aantal klanten dat een server per tijdseenheid kan afhandelen

s = het aantal servers

ρ = aankomstintensiteit

π_j = evenwichtstoestand met j klanten (de kans dat zich j klanten in het systeem bevinden)

De indices q , s en j staan respectievelijk voor de woorden queue (wachtrij), service (in bediening) en jobs (aantal klanten). De aankomstintensiteit λ wordt gegeven door $\lambda = \lambda_s / \mu$. In het geval dat $\rho < 1$ wordt verondersteld dat het systeem zich na verloop van tijd in een evenwichtstoestand bevindt. Er geldt nu:

$$\pi_0 = \frac{1}{\sum_{i=0}^{s-1} \frac{(s\lambda)^i}{i!} + \frac{(s\lambda)^s}{s!(1-\rho)}} \quad (12)$$

$$\pi_j = \frac{(s\lambda)^j \pi_0}{j!} \quad (j = 1, 2, \dots, s) \quad (13)$$

$$\pi_j = \frac{(s\lambda)^j \pi_0}{s! s^{j-s}} \quad (j = s+1, s+2, \dots) \quad (14)$$

$$P(j \geq s) = \frac{(s\lambda)^s \pi_0}{s!(1-\rho)} \quad (15)$$

$$L_q = \frac{P(j \geq s) \lambda}{1 - \rho} \quad (16)$$

$$W_q = \frac{L_q}{\lambda} = \frac{P(j \geq s)}{s\lambda(1-\rho)} \quad (17)$$

$$L = L_q + \frac{\lambda}{\mu} \quad (18)$$

$$W = \frac{L}{\lambda} \quad (19)$$

Door gebruik te maken van de Formules 12-19 kan een systeem waarvan de procestijden, aankomstintensiteiten en server capaciteit bekend zijn analytisch worden benaderd, geïllustreerd in het volgende voorbeeld.

Een fictieve railterminal heeft als doelstelling gemiddeld 1200 moves per dag te maken. De terminal beschikt verder over 2 kranen en 8 sporen. Veronderstelt wordt dat zowel de aankomstintervallen als de bedieningsduren exponentieel verdeeld zijn. In feite is er dus sprake van een M/M/2/8 systeem. Stel verder dat de terminal slechts twee soorten treinen afhandelt: opstaptreinen en ideaaltreinen, in gelijke hoeveelheden. Een opstaptrein heeft 30 moves nodig (laden en lossen) en een ideaaltrein 70 moves. Gemiddeld genomen heeft een trein $(30+70)/2 = 50$ moves nodig om gelost en weer geladen te zijn.

De terminal handelt gemiddeld per dag $1200/50 = 24$ treinen af. De duur van een move is gemiddeld 2 minuten en verder wordt verondersteld dat de treinen gemiddeld één keer per uur binnenkomen. Een enkele kraan heeft $50 * 2 = 100$ minuten nodig om een trein af te handelen (laden en lossen). De capaciteit van deze kraan uitgedrukt door $\mu = 60/100 = 0,6$ treinen per uur. De terminal heeft een capaciteit van $s\mu = 1,2$ treinen per uur

ofwel 28,8 treinen per dag, hetgeen voldoende zou moeten zijn om de geplande 24 treinen per dag af te handelen. Dit komt overeen met een bezetting/belasting van 83%. Samengevat $s = 2$, $s_j^{\text{max}} = 1,2$ en $\rho = 0,83$.

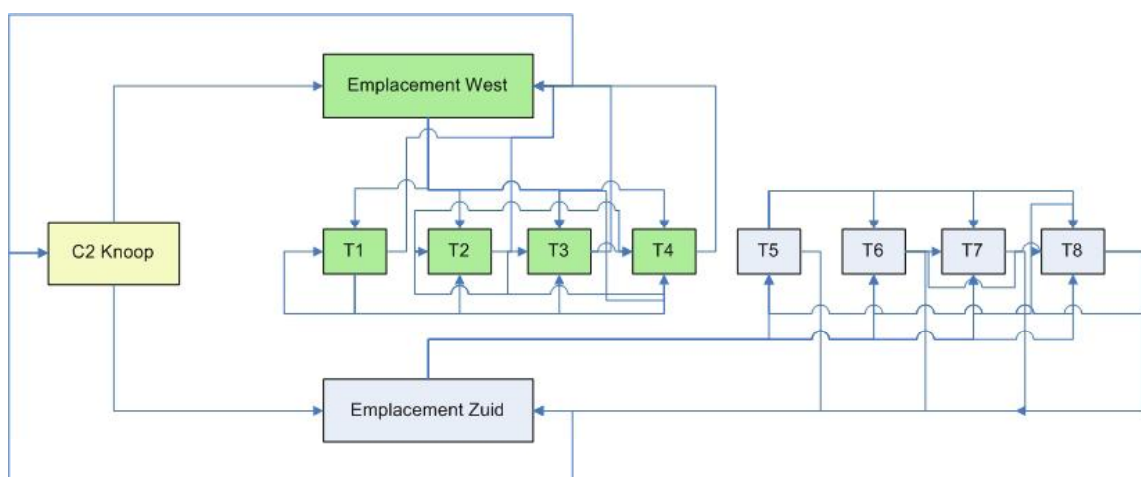
Formule 10 berekent de kans dat een binnenkomende trein beide kranen bezet aantreft, deze kans $P(j>s) = 0,75$. Met andere woorden in 75% van de gevallen kan de trein niet meteen afgehandeld worden en zal deze moeten plaatsnemen in de wachtrij L_q en wachten op kraancapaciteit.

Na toepassing van de Formules 15-18 blijkt dat er gemiddeld 3,76 treinen staan te wachten op kraancapaciteit, een trein gemiddeld 5,5 uur op de terminal staat waarvan 3 uur en drie kwartier uit wachten bestaat. Door het veranderen van proces- en aankomsttijden van deterministisch naar exponentieel is de wachttijd opgelopen van 0 naar 3,75 uur en de wachtrij van 0 naar 3,76 treinen.

Indien de terminal over 4 kranen beschikt in plaats van 2 dan neemt de totale wachttijd af naar drie kwartier en is een trein gemiddeld ruim 2 uur op de terminal. Het aantal bezette sporen neemt af van 5,5 in de oude situatie naar 2,13 in de nieuwe situatie.

De invloed van zowel procesvariabiliteit als de impact van hoge bezettingsgraden wordt hiermee duidelijk gemaakt. Hoe hoger de variabiliteit in de proces- en aankomsttijden hoe meer het proces wordt verstoord en hoe langer de doorlooptijden en wachttijden.

Om de capaciteit van de gehele Maasvlakte te bepalen dienen bovenstaande berekeningen voor alle relaties tussen terminals en emplacementen uitgevoerd te worden. In Figuur 21 zijn deze relaties gedeeltelijk weergegeven. Elke relatie zorgt voor extra variantie in de stromen van treinen. Daarnaast hebben verschillende treinen verschillende procestijden en verschilt de capaciteit van de terminals onderling. Het is onmogelijk om met behulp van eenvoudige analytische methoden een uitspraak te doen over de capaciteit, de wachtrijen en bezetting van de terminals en emplacementen. Simulatie biedt hier uitkomst.



FIGUUR 21: RELATIES EMPLACEMENTEN TERMINALS MAASVLAKTE

4.7 SAMENVATTING

Er zijn verschillende productie uitgangspunten van invloed op de capaciteit van rail infrastructuur. Te denken valt aan de beveiliging, civiele lay-out, opvolgtijden, veiligheid, materieelkarakteristieken, toegestane belasting, soorten treinen, en besturingssystemen.

Middels voorbeelden is gedeeltelijk inzicht gegeven in de capaciteit van de verscheidene rail infraeenheden op de Maasvlakte waarbij deterministische tijden zijn verondersteld (geen variantie). Met name de baanvaksnelheden, rem- en aanzetkarakteristieken, treinlengten, en blokindeling inclusief veiligheidsmarges spelen een grote rol op de capaciteit.

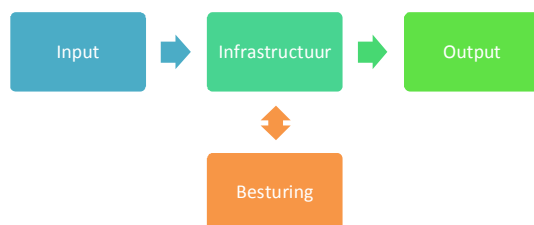
Met behulp van de wachtrij literatuur is een analytische berekening gemaakt van de proceskarakteristieken van een fictieve terminal en is de impact die variabiliteit hierop heeft gekwantificeerd. Vanwege de complexiteit van de processen op de Maasvlakte is het haast onmogelijk om dergelijke berekeningen voor de Maasvlakte als één geheel te maken.

5. MODELFORMULERING

Uit hoofdstuk 4 is gebleken dat de aanwezigheid van meerdere onderling afhankelijk maar autonoom opererende terminals op de tweede Maasvlakte in combinatie met strenge capaciteit restricties, verscheidene logistieke concepten en stochastische relaties, het systeem bijzonder complex maakt. Pogingen tot het gebruik van analytische modellen voor dergelijke problemen veronderstellen een grote hoeveelheid versimpelingen waardoor de oplossingen vaak inferieur of niet toereikend zijn voor implementatie (Winston, 1993). Met name bij knooppunten waar meerdere spoorlijnen, emplacementsporen of terminalsporen en wisselcomplexen bij elkaar komen, neemt de mogelijkheid af om met relatief eenvoudige methoden een uitspraak te doen over de capaciteit, simuleren is veelal de enige uitkomst.

Ook in dit onderzoek is gekozen voor simulatie. Er wordt gebruik gemaakt van een geaggregeerde aanpak, waarbij vanuit een hoog aggregatie niveau naar de spoorprocessen op de tweede Maasvlakte wordt gekeken. De Maasvlakte wordt als één systeem beschouwd waarin optimalisatie van het gehele systeem wordt nagestreefd. Winston (1993) verstaat onder een systeem *een vereniging entiteiten die los en onderling opereren om een gezamenlijk logisch doel te behalen*. De processen op de Maasvlakte worden beschreven via een *discrete-event simulation* model, gebruikmakend van het simulatiepakket Tecnomatix Em plant versie 7.0.

Om het simulatiemodel te beschrijven wordt gebruik gemaakt van de relatie die er bestaat tussen de input en output van het simulatiemodel, zoals weergegeven in de vier kwadranten in Figuur 22.



FIGUUR 22: RELATIE MODELONTWERP

De modelinput wordt gevormd door de parameters die het systeem vastleggen, denk aan aantal treinen, snelheid treinen, soort trein etc. Paragraaf 5.1 gaat dieper in op de verschillende inputparameters die in het simulatiemodel worden onderscheiden. In hoofdstuk 3 is de lay out van de Maasvlakte gegeven, waarbij het masterplan versie 3.3.1 (zie ook bijlage A) als uitgangspunt wordt genomen. Paragraaf 5.2 geeft aan hoe de vertaalslag is gemaakt van de lay out in het masterplan naar de uiteindelijke infrastructurele lay out in het simulatiemodel.

De regels die bepalen wanneer een trein toestemming krijgt om te rijden en wanneer welk sein op rood of groen springt vallen onder de besturing van het model. Welke besturingsregels precies worden onderscheiden wordt in paragraaf 5.3 besproken.

Om de prestatie van het systeem te kwantificeren en verschillende productie uitgangspunten onderling te vergelijken, dienen prestatiecriteria opgesteld te worden. Deze prestatiecriteria vormen de output van het systeem en worden in paragraaf 5.4 besproken

5.1 INPUTPARAMETERS

In het model worden twee soorten inputparameters onderscheiden, vaste en variabele parameters. De vaste inputparameters zijn de parameters zoals snelheid, aanzet en lengte van treinen maar ook bijvoorbeeld de lengte van de blokken die de spoorlijn opdelen. De variabele parameters zijn de parameters waarvan de gevoeligheid verder dient te worden onderzocht.

VASTE PARAMETERS

ProRail hanteert in haar dienstregelingen veelal een minimum opvolgtijd van 4 min tussen goederentreinen op een spoorlijn. Dit komt overeen met $60/4 = 15$ treinen per uur (bij een belasting van 100%) met een opvolgafstand (afstand tussen twee treinen) van ongeveer 5 km (gegeven een baanvaksnelheid van 40 km/u). Een dergelijke opvolgafstand op de Maasvlakte zou onnodige capaciteitsbeperkingen opleggen. Voor de Maasvlakte wordt daarom uitgegaan van een minimum opvolgafstand tussen de 1000 en 1200 meter¹⁹ (hiermee wordt nog steeds ruimschoots voldaan aan de wettelijke eis). Concreet betekent dit dat de lengte van de blokken tussen de 1000 en 1200 meter zijn.

Voor alle treinen in het model wordt gebruik gemaakt van een vaste lengte van 650 meter; deze lengte is een benadering voor de verwachte gemiddelde lengte van de treinen in het jaar 2033. Verder hebben alle treinen uit het model een versnelling van $0,2 \text{ (m/s}^2\text{)}$ en een remvertraging van $0,5 \text{ (m/s}^2\text{)}$. Beide waarden representeren wederom de gemiddelde waarden van wat verwacht kan worden in het jaar 2033. Bijlage C geeft de aanzet en remkarakteristieken van 3 verschillende treinen weer van waaruit de gemiddelde $0,2 \text{ (m/s}^2\text{)}$ en $0,5 \text{ (m/s}^2\text{)}$ zijn

Doordat de Maasvlakte beschouwd wordt als een integraal 40 km/u gebied wordt er gewerkt met een vaste snelheid van maximaal 11 (m/s) op de spoorlijnen en een snelheid van maximaal 3 (m/s) op de terminals en emplacementen. Er wordt geen gebruik gemaakt van 'oranje seinen' aangezien treinen nooit harder dan 40 km/u rijden, hetgeen de oranje seinen overbodig maakt.

VARIABELE PARAMETERS

De gevoeligheid van de variabele parameters dient nader te worden onderzocht. Binnen de Spoorslagstudie is veel onderzoek gedaan naar deze variabele inputparameters. Vooralsnog wordt volstaan met het opsommen van de variabele inputparameters. Hoofdstuk 6 gaat verder in op de daadwerkelijk kwantificering hiervan. De variabele inputparameters zijn:

¹⁹ Spoorslag doet geen uitspraak over de te hanteren blok lengte. Er is gezocht naar een lengte die een compromis vormt tussen enerzijds veiligheid (lange blokken) en anderzijds capaciteit (zo kort mogelijke blokken).

1. Verdeling lading over de verschillende treinconcepten.
2. Route van de verschillende treinconcepten over de Maasvlakte.
3. Belasting tijdens normaal uur en in een piek uur (aantal treinen).
4. Procestijden op de emplacementen en terminals (per treinsoort).
5. Besturingsmodel voor het interne verkeer.

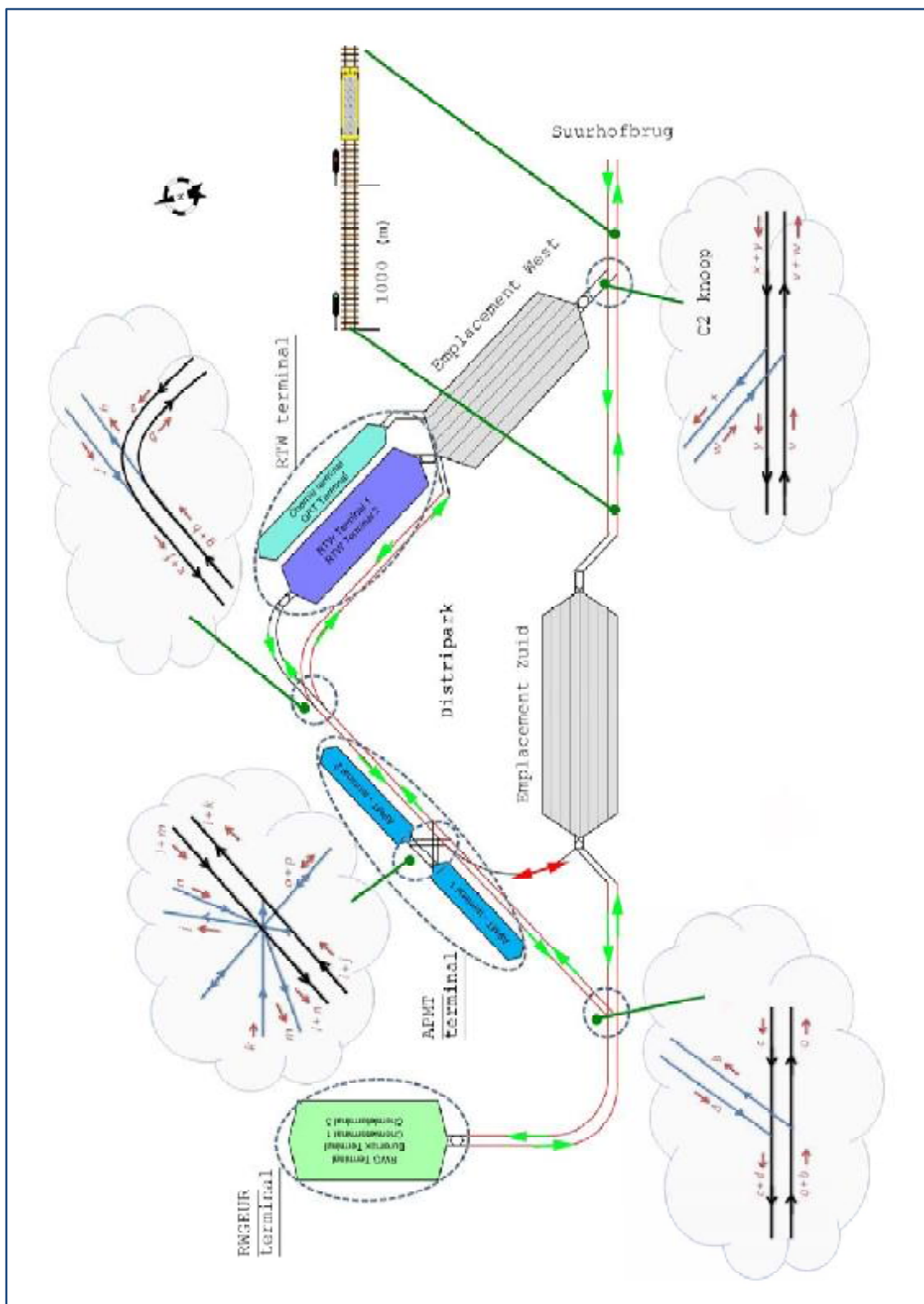
5.2 INFRASTRUCTUUR

Voor de spoorinrichting en ligging van de emplacementen en terminals vormt het masterplan 3.3.1 (zie Bijlage A) het uitgangspunt in dit onderzoek. Bij een volledig bebouwde en benutte Maasvlakte zullen er naar alle waarschijnlijkheid 12 terminals op de Maasvlakte in gebruik zijn (zie Bijlage B). Een aantal van deze terminals wordt niet meegenomen in de simulatiestudie. De EMO terminal wordt niet meegenomen omdat de erts en kolentreinen via een eigen emplacement ‘emplacement Oost’ rijden. Een aantal kleine stukgoed terminals gelegen boven emplacement West worden niet meegenomen vanwege hun beperkte ladingomvang. Een eventueel te plannen ‘common railterminal’ (openbare railterminal) wordt ook niet meegenomen in de studie aangezien inzicht in de ladingstromen en exacte ligging van de terminal ontbreken.

De terminals worden als ‘blackbox’ beschouwd en treinstromen uit meerdere terminals worden samengevoegd tot één stroom (hoog aggregatie niveau). De knooppunten waar meerdere treinstromen samenkomen leveren het meeste inzicht op in de dynamiek van de spoorprocessen. Hierdoor kunnen de treinstromen afkomstig van verschillende terminals samengevoegd worden zonder al te veel afbreuk te doen aan het model. De terminals RTW 1 en RTW 2 zijn samengevoegd tot de RTW terminal. De lading afkomstig van de chemieterminal en de ORT terminal wordt meegenomen in de RTW lading stroom. In feite bestaat de RTW terminal uit respectievelijk de terminals RTW 1, RWT 2, ORT en chemie (zie Bijlage B). In het model wordt rekening gehouden dat stuwadoor APM Terminals haar railbundels in tweeën splitst en twee bundels in het verlengde van elkaar legt. Noodzakelijk hiervoor is dat APMT van twee richtingen bereikbaar is. De terminals Rotterdam World Gateway (RWG), Euromax en de twee chemieterminals (T2 en T3) aan de buitencontour van de Maasvlakte worden tevens samengevoegd tot één terminal (RWGEUR). In feite zijn de 8 terminals nu samengevoegd tot 3 (RWGEUR, RTW en APMT) terminals in het model.

Het model bestaat verder uit 2 emplacementen Zuid en West, elk met 32 sporen verdeeld over meerdere bundels. Een trein doet zowel bij aankomst als bij vertrek altijd één van beide emplacementen aan.

De spoorlijnen die de terminals en emplacementen met elkaar verbinden zijn overal tweesporig op het stuk spoor tussen emplacement Zuid en de APMT terminal na. Dit stuk is enkelsporig maar is als enige stuk spoor in beide richtingen toegankelijk. Ook de C2 knoop in het model is tweesporig. De bulktreinen bestemd voor de EMO worden niet in het model meegenomen, hierdoor hoeven de ingewikkelde wachtsporen en zijsporen niet gesimuleerd te worden en kan worden volstaan met het overnemen van de dienstregeling zoals Movares die heeft opgesteld.



FIGUUR 23: VERTAALSLAG SPOORLAY OUT NAAR SIMULATIEMODEL

In feite heeft Movares de capaciteit al bepaald en kan deze capaciteit in het model worden overgenomen. De capaciteit van de C2 knoop blijft maximaal 11 treinen per uur (10 containertreinen en 1 bulktrain) per richting (100% belasting).

Figuur 23 vormt de vertaalslag van het masterplan inclusief de zojuist hierboven genoemde vereenvoudiging naar de infrastructuur lay-out zoals gebruikt in het simulatiemodel. In Bijlage G is Figuur 23 als uitvouw te vinden zodat bij het lezen van de resultaten de model lay out erbij gehouden kan worden.

5.3 BESTURING

Het spoorvervoer is net als het luchtvervoer strikt gereguleerd, met als belangrijkste reden veiligheid. De besturing van het simulatiemodel dient in eerste instantie de veiligheid te garanderen, met andere woorden zorg dragen dat treinen niet met elkaar in conflict raken (botsing) en voldoende tussenaafstand houden. Naast de veiligheid zorgt de modelbesturing ervoor dat de doorstroom van treinen optimaal verloopt.

Onder de besturing van het model wordt verstaan alle regels die bepalen wanneer treinen mogen rijden en wanneer ze moeten stoppen. In feite betreft het de regels voor het instellen van rijwegen en het juist zetten van de seinen. De besturingsregels fungeren als een soort van verkeersleiding, ook wel treindienstleiding genoemd. Alvorens dieper in te gaan op de gehanteerde besturing in het model wordt hieronder kort beschreven wat de rol van de treindienstleiding in de praktijk is.

Een machinist communiceert met de treindienstleider²⁰ via GSM R²¹. De machinist geeft de eindbestemming op en de treindienstleider stelt een pad²² in. De wissels en seinen worden automatisch in de juiste stand gezet, als dat tenminste niet wordt belemmerd door spoorbezetting of een conflicterende rijweg die eerder is ingesteld. Bij het gebruik van een dienstregeling kan het instellen van rijwegen volledig automatisch verlopen via een computer. Aan de hand van de dienstregeling worden de juiste wissels omgezet en de seinen op de juiste kleur gezet. Hiervoor wordt momenteel gebruik gemaakt van het systeem Automatische Rijweg Instelling (ARI) dat gebruik maakt van planregels uit een vooraf ingesteld procesplan. Op het moment dat de dienstregeling is verstoord of een trein een pad aanvraagt dat niet is opgenomen in het procesplan dient de treindienstleider handmatig de juiste rijwegen in te stellen.

Het aankomst- en vertrekproces van treinen van en naar de Maasvlakte verloopt middels een strak gereguleerde dienstregeling (zoals onderzocht door Movares). In principe kan hierbij gebruik worden gemaakt van een systeem zoals ARI, waarbij alleen in het geval van storingen bijgestuurd dient te worden. De besturing voor het aankomst- en vertrekproces is hiermee vastgesteld. Een apart besturingsmodel dient nu opgesteld te worden voor het interne treinverkeer op de Maasvlakte.

²⁰ De treindienstleider bedient de verschillende seinen en wissels vanuit de verkeersleidingpost en is tevens aanspreekpunt in geval van storingen.

²¹ Een internationale UIC standaard voor mobiele communicatie tussen machinist en treindienstleider.

²² De infracapaciteit die nodig is om een trein in een bepaald tijdvak tussen twee plaatsen te laten rijden.

Een goed besturingsmodel zorgt ervoor dat treinen zo min mogelijk hinder van elkaar ondervinden, het proces beheersbaar blijft en op een efficiënte en veilige wijze aan de marktvrage wordt voldaan. De veiligheid wordt gegarandeerd door gebruik te maken van een blokindeling van minimaal 1000 meter, niet meer dan één trein tegelijk in een blok toe te staan, een maximale snelheid van 11 m/s op de spoorlijnen en 3 m/s op de terminals en emplacementen te hanteren en regels die bepalen dat seinen pas op groen springen nadat kruisende treinen ruimschoots het knooppunt hebben verlaten. Voor een vlotte en efficiënte afhandeling van treinen zijn tal van besturingsregels denkbaar, denk bijvoorbeeld aan het verlenen van voorrang aan bepaalde treinen op kruispunten of op terminals. Deze regels moeten dan wel tot gevolg hebben dat de doorzet van het gehele systeem hoger of stabiel (beter voorspelbaar, dus beter te plannen) is dan wanneer de regel niet wordt toegepast.

Uit hoofdstuk 4 is bekend dat variabiliteit bijna altijd ten koste gaat van de prestatie van een systeem. Besturingsregels die de variabiliteit naar beneden brengen hebben in theorie een positief effect op de output van het systeem. Als bijvoorbeeld het aantal bezette emplacementsporen als output criterium wordt gebruikt, dan zou een regel die de variantie waarmee treinen emplacementen bezoeken omlaag brengt, een positief effect hebben op de bezetting van de emplacementen. Dit kan bijvoorbeeld bewerkstelligd worden door een regel die de doorzet van de terminals beïnvloedt, door per tijdseenheid een beperkt aantal treinen richting de emplacementen te laten vertrekken (specifieke slottijden per terminal) zodat hier geen pieken (minder spreiding) ontstaan waardoor dus minder emplacementsporen nodig zijn. Er worden voor het interne verkeer 3 beslispunten in de tijd onderscheiden.

1. Het uit laten rijden van treinen vanaf emplacementen richting een terminal.
2. Het uit laten rijden van treinen vanaf een terminal richting een emplacement of andere terminal.
3. Het laten oversteken van/invoegen op spoorlijnen door treinen.

Twee verschillende besturingsmodellen worden onderzocht. Het meest eenvoudige besturingsmodel is een model waarbij overall het principe FCFS wordt toegepast. Elke keer dat één van bovenstaande drie beslismomenten zich aandoet wordt op basis van het principe FCFS²³ een beslissing genomen. Het tweede model tracht de variabiliteit waarmee treinen de emplacementen bezoeken te verlagen. Dit kan door voor beslispunt 2 te werken met slottijden zodat het aantal treinen dat richting een emplacement vertrekt veel geleidelijker verloopt in plaats van met pieken. Dit zou een lagere emplacementbehoefte tot gevolg moeten hebben.

Om deze slottijden op voorhand op te stellen is inzicht in het aantal treinbewegingen tussen de terminals en emplacementen noodzakelijk. Dit aantal is hoogstwaarschijnlijk onderhevig aan schommelingen door de verschillende treinmodellen en adhoc treinbewegingen die op de Maasvlakte plaatsvinden. Dergelijke slots kunnen pas worden opgesteld na verdere analyse van het interne verkeer in het model waarbij gebruik wordt gemaakt van het eerste besturingsmodel.

²³ First Come First Serve, een bedieningspolitiek die klanten afhandelt in de volgorde dat deze arriveerden zonder specifieke prioritering.

5.4 OUTPUT

Om de prestatie van het systeem (output) te kwantificeren en verschillende productie uitgangspunten onderling te kunnen vergelijken, dienen prestatiecriteria opgesteld te worden die de output meetbaar maken. Er is voor gekozen om gebruik te maken van 4 prestatiecriteria:

- Analyse van de verkeersstromen op en rondom de belangrijke knooppunten (aantal conflictsituaties²⁴ per uur per kruising, aantal keer dat treinen moeten remmen, aantal treinen dat per uur passeert etc.)
- Analyse van de WIP (aantal treinen op de terminals/emplacementen/sporen)
- Analyse van de CT (wachttijd, procestijd, rijtijd)
- Analyse van de TH (doorzet per terminal/baanvak/emplacement/gehele systeem)

VERKEERSSTROMEN RONDOM KNOOPPUNTEN

Om inzichtelijk te maken welke knooppunten in het model kritiek zijn, worden de belangrijkste knooppunten en de bijbehorende verkeersstromen in het model continu geanalyseerd. Deze knooppunten zijn tevens in Figuur 23 weergegeven. De blauwe lijnen vormen de sporen van en naar de terminals en de zwarte lijnen de doorgaande sporen. Analyse van deze knooppunten maakt inzichtelijk hoe de verschillende treinstromen zich in het model gedragen en waar zich eventueel problemen voordoen.

WIP, CYCLUSTIJD EN DOORZET

De WIP, een afkorting voor *work in process* (afkomstig uit de productiemanagement literatuur) is het aantal eindproducten gereed of in bewerking maar nog niet verzonden. Toegepast op de Maasvlakte, het aantal treinen dat zich in het gehele systeem bevindt, (op de emplacementen, terminals en overige sporen). De cyclustijd of doorlooptijd (CT, afkomstig van het Engelse *cycle time*) is de tijd vanaf het moment dat de trein het systeem binnenkomt tot het moment dat de trein het systeem verlaat, met andere woorden de tijd dat een trein als WIP in het systeem doorbrengt. De doorzet (TH, afkomstig van het woord *throughput*) is het gemiddelde aantal treinen dat per tijdseenheid wordt afgehandeld. WIP wordt in aantallen treinen gemeten, cyclustijd in tijd (veelal uren) en doorzet in aantallen per tijd (veelal treinen per uur). De verwachtingswaarde van deze prestatiecriteria samen met een aantal afgeleide waarden zoals de standaarddeviatie, het minimum, het maximum en betrouwbaarheidsintervallen zijn voldoende om antwoord te geven op de deelvragen uit hoofdstuk 1, die betrekking hebben op de output.

²⁴ Onder een conflictsituatie wordt een situatie verstaan waarbij treinen elkaar hinderen. Met andere woorden een situatie waarbij een trein moet afremmen of wachten voor een andere trein.

WET VAN LITTLE

Als de Maasvlakte als één geheel wordt beschouwd dan is de maximale WIP een gegeven, er is eenvoudig weg slechts plaats voor een beperkt aantal treinen op de Maasvlakte. Een belangrijke relatie tussen de WIP, CT en TH is weergegeven in (20), beter bekend als de wet van little (Spearman & Hopp, 2000). Deze wet stelt dat voor alle productielijnen (onafhankelijk van de variabiliteit) de WIP gelijk is aan de cyclustijd maal de doorzet.

$$WIP = CT \cdot TH \quad (20)$$

Uit hoofdstuk 4 is bekend dat variabiliteit van invloed is op de cyclustijd (denk aan de wachtrijen en wachttijden die ontstaan bij meer procesvariantie). Omdat zowel de WIP als de cyclustijd in dit systeem uit praktische overwegingen niet exponentieel kunnen stijgen, er is maar beperkt ruimte op de Maasvlakte en beperkte tijd om te laden en lossen, is het noodzakelijk dat de CT zo laag mogelijk blijft waardoor de TH maximaal is. In tegenstelling tot bijvoorbeeld het vervoer op autosnelwegen is het aantal klanten dat in een wachtrij mag staan wegens ruimte beperkingen dan wel veiligheidsrestricties in verhouding klein. Voor een hoge doorzet in combinatie met een lage wip en korte cyclustijden (dit levert maximale efficiency op) is het noodzakelijk om de versturende bronnen van variabiliteit aan te pakken (Spearman & Hopp, 2000). Deze verstoringen dienen inzichtelijk gemaakt te worden door zowel het monitoren van de knooppunten als het meten van de WIP, CT en TH in het systeem.

5.5 TECHNISCHE MODEL SPECIFICATIE

Het simulatiemodel bestaat uit 7 frames en ruim 140 methoden. Een enkele run levert 80 MB aan data op en duurt 12 minuten (runlengte 320 dagen) op een Pentium 2,8 GHz. Op de bijgeleverde DVD-rom staat een kopie van het model samen met de data uit de verschillende runs. Alle methoden zijn van commentaar voorzien waardoor de code (geschreven in SimTalk, gebaseerd op C++) voor geïnteresseerden begrijpelijk is.

Het model is opgebouwd uit 5 tracks²⁵ die de spoorlijnen weerspiegelen. De tracks hebben een vaste lengte en zijn in blokken van 1000 en 1200 meter opgedeeld. De verplaatsing van de treinen is op de spoorlijnen een eenparig versnelde rechtlijnige beweging met een maximale snelheid van 11 (m/s). De dienstregeling waarmee de treinen de Maasvlakte op- en afrijden is deterministisch verdeeld en wordt strak gereguleerd. De terminals en emplacementen zijn onderling onafhankelijk gemodelleerd maar maken allemaal gebruik van dezelfde procedure voor vertrekkende treinen richting terminals en emplacementen. Een aparte procedure is er voor treinen die de Maasvlakte verlaten. Het model houdt geen rekening met de beschikbaarheid van machinisten en of de juiste locomotief voor de trein staat. De bedieningsduren op de emplacementen en terminals zijn stochastisch/deterministisch verdeeld afhankelijk van de modelinstellingen. In het model wordt (tenzij anders vermeld) uitgegaan van het principe *first come first serve* (FCFS).

25 Bouwsteen uit het programma, vergelijkbaar met een weg waarbij lengte, snelheid, capaciteit en rijrichting ingesteld kunnen worden.

Via het initialisatie frame worden de variabele inputparameters ingesteld samen met de model specifieke instellingen zoals de warmuptijd²⁶ en de batchlengte²⁷.

Voor de creatie van treinen wordt gebruik gemaakt van de Multiple Linear Congruence Generator (MLCG) van em Plant, waardoor een random trekking binnen de ingestelde frequenties ontstaat. Voor de verdeling met betrekking tot de routes van de opstapshuttles wordt gebruik gemaakt van een trekking uit een uniforme verdeling. Iedere trein krijgt bij zijn creatie twee matrices mee als attribuut waarin de route en de procestijden worden opgeslagen.

De sporen (tracks) op de Maasvlakte zijn in blokken ingedeeld en aan het begin en einde van elk blok is een sensor geplaatst die registreert of een trein zich al dan niet in het betreffende blok bevindt. De blokken zijn zo ingedeeld dat deze altijd overgaan in een nieuw blok van 1000 of 1200 meter of precies eindigen op een kruispunt of splitsingspunt. Een stilstaande trein kan slechts in één blok tegelijk stilstaan. Honderdvijftig meter voor het einde van elk blok is een sensor geplaatst die aan de hand van de bestemming van de naderende trein en de situatie in het volgende blok (of op het te naderen knooppunt) bepaalt of de trein wel of niet het volgende blok in mag. Uitgangspunt hierbij is dat er maar één trein tegelijk in een blok mag staan en dat treinen op knooppunten niet met elkaar in conflict raken. Vervolgens doet zich één van twee situaties aan: Ofwel de trein kan ongehinderd het volgende blok inrijden, ofwel het sein wordt op rood gezet en de trein moet afremmen. Een afremmende trein remt per definitie af tot stilstand. De stilstaande trein begint weer met rijden op het moment dat de verkeerssituatie dit toelaat. Een trein die zich eenmaal op een spoorlijn bevindt rijdt van sensor naar sensor totdat deze zijn bestemming heeft bereikt.

Treinen die zich nog niet op de spoorlijnen bevinden, met andere woorden een bewerking ondergaan op een emplacement of terminal, of hiermee klaar zijn en wachten om te vertrekken, communiceren met drie methoden te weten de 'verkeersleider', de 'planner', en de 'dienstregeling'. De dienstregeling zorgt ervoor dat vertrekkende treinen vanaf de Maasvlakte op de juiste tijden vertrekken richting Suurhofbrug. De planner en de verkeersleider handelen het interne verkeer af. De planner stelt een lijst samen met beschikbare treinen die klaar zijn voor vertrek richting terminal en stuurt deze lijst door naar de verkeersleider. De verkeersleider bepaalt aan de hand van de systeemstatus (is er plek op de bestemming, staan de juiste seinen op groen) of de trein mag vertrekken. Indien de betreffende trein niet kan vertrekken wordt voor de volgende trein in de lijst bekeken of de systeemstatus een vertrek toelaat. Dit proces herhaalt zich totdat een trein toestemming heeft om te vertrekken of tot de lijst met gereedstaande treinen is doorlopen. Een verandering in de systeemstatus (een trein die klaar is, een sein dat op groen springt) triggert de planner waardoor het gehele proces opnieuw wordt doorlopen.

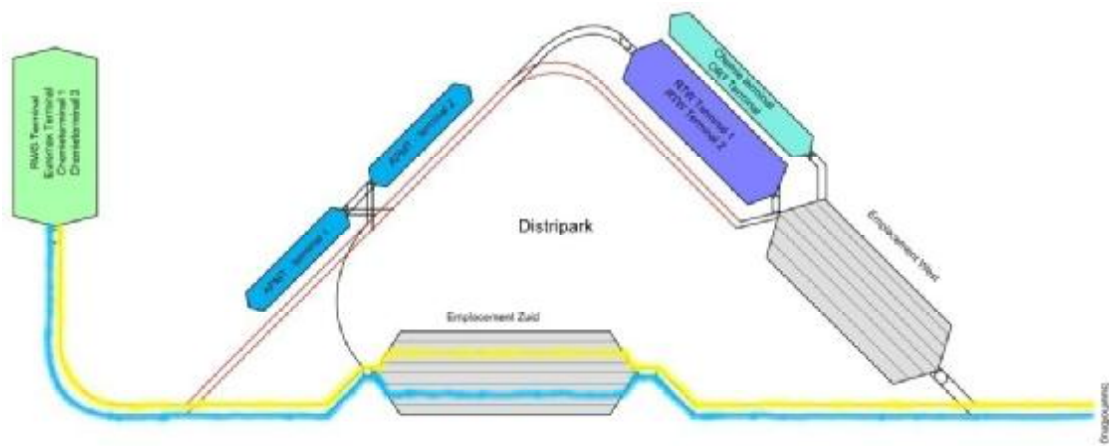
Het model maakt onderscheid tussen ideaaltreinen, opstapshuttles, bontetreinen en deeltreinen. Alle treinen doen zowel bij aankomst als bij vertrek van de Maasvlakte een emplacement aan. De bontetreinen en

²⁶ Tijd nodig om systeemevenwicht te bereiken, zie verder H7.

²⁷ Lengte van simulatie run, zie verder H7.

ideaaltreinen bezoeken slechts één terminal. Een deeltrein wordt op het emplacement in maximaal 3 delen geknipt en ieder deel gaat naar een andere terminal. Vervolgens worden verschillende treindelen afkomstig van de terminals op de emplacementen weer samengevoegd tot één deeltrein²⁸.

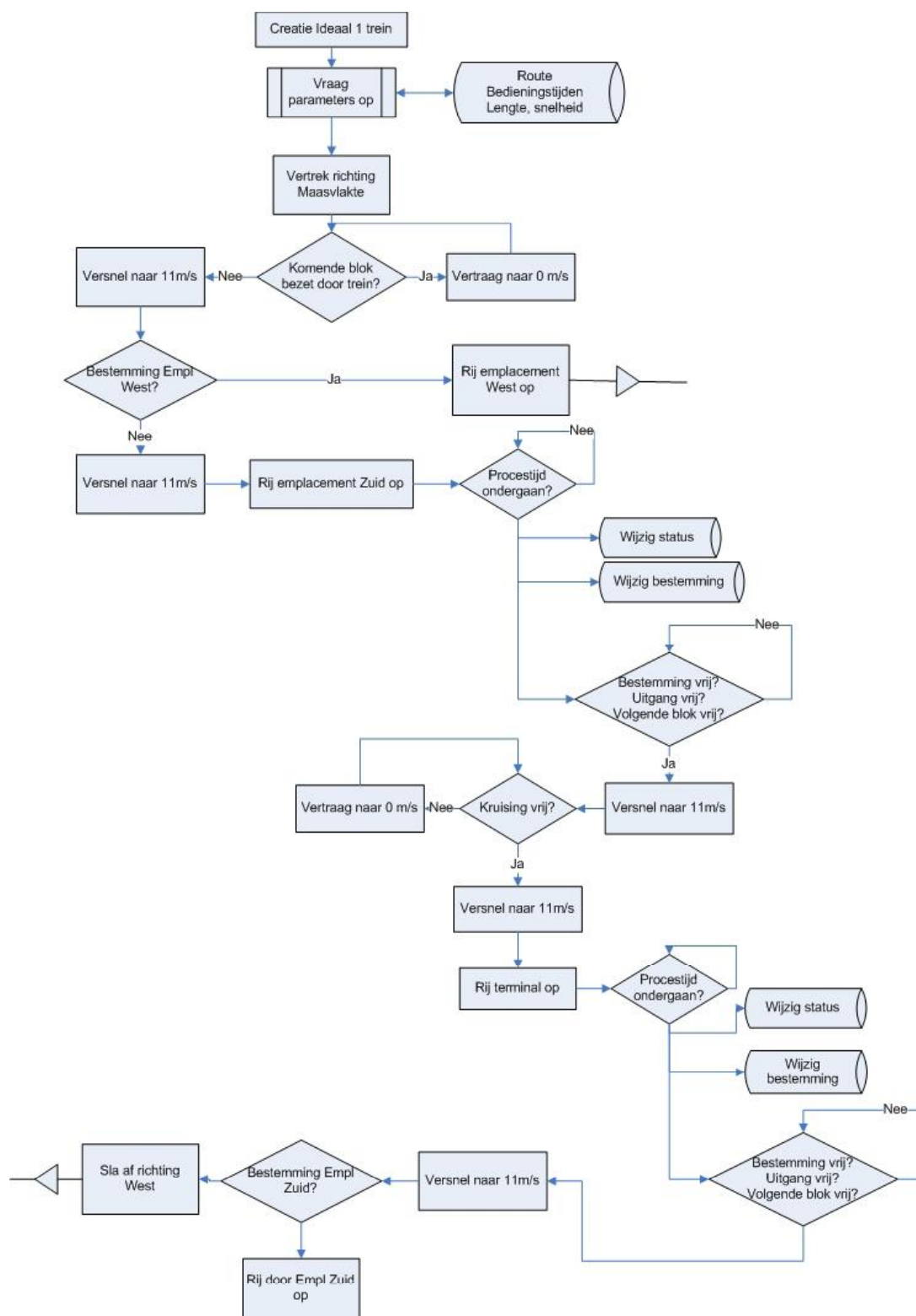
Een opstapshuttle doet meerdere terminals aan en kan ook meerdere keren diverse emplacementen aandoen. Elke trein heeft een vooraf (bij initialisatie) vastgestelde route over de Maasvlakte (afhankelijk van het soort trein). Figuur 24 geeft de route van een ideaaltrein weer die als bestemming RWGEUR heeft, hierin is met geel de 'heen route' weergegeven en met blauw de 'terug route'.



FIGUUR 24: ROUTE IDEEAALTREIN MET BESTEMMING RWGEUR

Een trein wisselt met verschillende methoden informatie uit aangaande bestemming, snelheid, route, emplacementtijd etc. In Figuur 25 is aangegeven hoe deze informatie uitwisseling plaatsvindt tussen een ideaaltrein met bestemming RWGEUR en de diverse methoden en objecten uit het model.

²⁸ Omdat het vrij lastig programmeren is om een trein in 3 delen te splitsen naar 3 aparte terminals te laten rijden en op een terminal een volledige trein weer uit 3 lossen deeltreinen te combineren wordt dit proces in het model vereenvoudigd. Een deeltrein doet in het model in zijn geheel 3 maal dezelfde terminal aan waarbij gedurende deze tijd de deeltrein altijd één emplacementspoor bezet houdt. Deze versimpeling heeft nauwelijks invloed op de modeloutput.



Figuur 25: Communicatie methoden en objecten

5.6 MODEL VALIDATIE

Met de validatie van een model wordt bepaald of het model een nauwkeurige representatie van de werkelijkheid geeft. Een niet of slechts gedeeltelijk valide model levert onbetrouwbare resultaten. Robinson (1994) onderscheidt een drietal manieren om de validiteit te controleren.

1. De uitkomst/opzet van de studie aan experts voorleggen.
2. De uitkomst/opzet van de studie met historische data vergelijken.
3. De uitkomst/opzet van de studie met een mathematisch model vergelijken.

In dit onderzoek is ervoor om (voor zo ver mogelijk) gebruik te maken van alle drie de methoden. Zowel experts intern (HbR) als extern (ECT, Railion) hebben de modelinstellingen getoetst en de uitkomsten gevalideerd. Door een volledig deterministische simulatie (geen variabiliteit in procestijden) te draaien is het mogelijk om de uitkomsten te vergelijken met berekeningen uit de Spoorslagstudie. Voor het juist instellen van de verschillende modelparameters is een aantal metingen verricht op Kijfhoek en op de ECT delta terminal. Verscheidene gevoeligheidsanalyses geven meer inzicht in het effect dat verschillende parameters en inputvariabelen op de modeluitvoer hebben.

Bij de interpretatie van de resultaten dient in het achterhoofd te worden gehouden dat het model slechts een benadering en deels vereenvoudiging van de werkelijkheid is. Een aantal zaken stroken niet (geheel) met de werkelijkheid. De veronderstelde eenparig versnelde rechtlijnige beweging van treinen is in werkelijkheid niet lineair (elke loc heeft eigen aanzetkarakteristieken die slechts bij benadering lineair zijn). In werkelijkheid hoeven treinen ook niet altijd tot stilstand af te remmen bij het zien van een rood sein (als het sein bijvoorbeeld tijdens het remmen weer op groen springt). De communicatie tussen de machinist en de verkeersleider neemt in het model geen tijd in beslag terwijl dit in de praktijk soms wel 10 minuten kan duren. Verder wordt verondersteld dat er altijd een loc en machinist beschikbaar zijn en worden locbewegingen zowel op en rondom het emplacement genegeerd evenals de invloed van mogelijke externe storingen; terwijl het spoorvervoer anno 2008 nog gemiddeld 40%/45% van de tijd wordt verstoord (Raillion, 2008).

5.7 SAMENVATTING

Aan de hand van Figuur 22 is de modelopbouw besproken en de interactie tussen de input, infrastructuur, besturing en output weergegeven. De modelinput wordt gevormd door vaste parameters zoals treinlengte, bloklengte, snelheid, aanzet en remcurven en variabele parameters zoals de verdeling tussen de verschillende treinconcepten (ideaalshuttle, opstapshuttle, deeltrein, bontetrein) en de trein aantallen (piek uur normaal uur). De infrastructuur zoals neergelegd in het masterplan 3.3.1 wordt als uitgangspunt genomen en op modelniveau vereenvoudigd zoals weergegeven in Figuur 23.

De prestatie van het systeem wordt gemeten via vier prestatiecriteria: (1) de treinstromen op en rondom de knooppunten, (2) het aantal (WIP) treinen op de emplacementen en terminals, (3) analyse van de cyclustijd (CT) en wachttijd van de treinconcepten en (4) analyse van de doorzet (TH) van het systeem. Een technische specificatie van het model is te vinden in paragraaf 5.5, voor een gedetailleerde beschrijving van de verschillende methoden wordt verwezen naar de bijgevoegde DVD rom.

6. EXPERIMENTEEL ONTWERP

In hoofdstuk 5 is de opzet van het simulatiemodel gegeven en zijn de infrastructuur, de besturing en de verschillende modelparameters vastgesteld. In dit hoofdstuk worden de variabele inputparameters uit hoofdstuk 5 gekwantificeerd en worden de verschillende modelinstellingen samengevoegd in een enkel experiment, ook wel run genoemd. Een run is een set van modelinstellingen (parameters, infra, besturing, productie uitgangspunten) die worden gesimuleerd. In paragraaf 6.1 wordt de opzet van de experimenten besproken en in paragraaf 6.2 wordt de modelinput (inputparameters) gekwantificeerd. De verschillende scenario's die worden gedraaid worden in paragraaf 6.3 besproken. Van enkele inputparameters wordt slechts de gevoeligheid ten opzichte van de output onderzocht, welke parameters dit zijn wordt in paragraaf 6.4 uiteengezet. Tot slot wordt in paragraaf 6.5 ingegaan op de validatie van de output.

6.1 MODELOPZET

Aan de hand van Figuur 26 wordt de opzet van de experimenten besproken. In het kader van de Spoorslagstudies zijn schattingen gemaakt over de verwachte hoeveelheid lading die over het spoor naar het achterland wordt vervoerd in het jaar 2033. Verwacht wordt dat 2,4 miljoen TEU wordt doorgezet op de eerste en tweede Maasvlakte samen. Deze hoeveelheid lading wordt in dit onderzoek als een vast gegeven beschouwd. Omgerekend naar laadeenheden (in beide richtingen samen!) en gebruik makend van een TEU factor²⁹ van 1,7 komt dit overeen met 2.844.544 laadeenheden. Deze laadeenheden worden 'verwerkt' door 8 terminals op de Maasvlakte.

Binnen de Spoorslagstudies is onderzoek gedaan naar de verdeling van deze lading over de 8 terminals (zie ook Bijlage D en E). Ook deze verdeling wordt in dit onderzoek als een vast gegeven beschouwd en niet nader onderzocht. Voor het simulatiemodel wordt deze verdeling verdisconteerd naar de 3 terminals die in dit onderzoek worden onderscheiden (naar ratio). Om de lading van deze 3 terminals via de trein naar het achterland en weer terug te vervoeren wordt gebruik gemaakt van 5 treinmodellen, deze zijn tevens in Figuur 26 weergegeven.

Een belangrijk punt in dit onderzoek is hoe deze lading wordt verdeeld over de verschillende treinmodellen. Deze verdeling inclusief de overige inputparameters (zoals de gehanteerde procestijden op de emplacementen, het aantal treinen in een piek uur) vormen uiteindelijk een simulatie scenario (run) dat verder wordt onderzocht.

²⁹ Rekenfactor waarmee het aantal TEU per container wordt uitgedrukt.

Werkelijke situatie in 2033:



Verwachte container
doorzet in 2033 voor
MV 1+2 = 4.100.000 TEU



Gelijk aan 2.844.544
laadeenheden
(aanname Spoorslag)

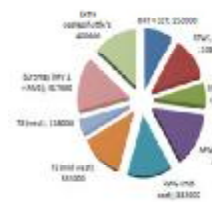


Deze laadeenheden zijn
verdelingd over 8 ter-
minals op MV 1+2

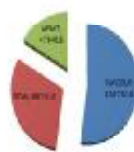


Per spoor vervoerd
naar 90 achterland
bestemmingen

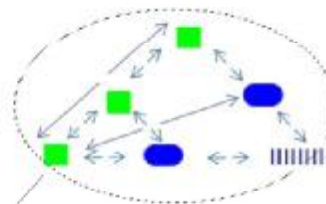
Verdeling in model:



2,8 miljoen laad-
eenheden verdeeld
over 8 terminals

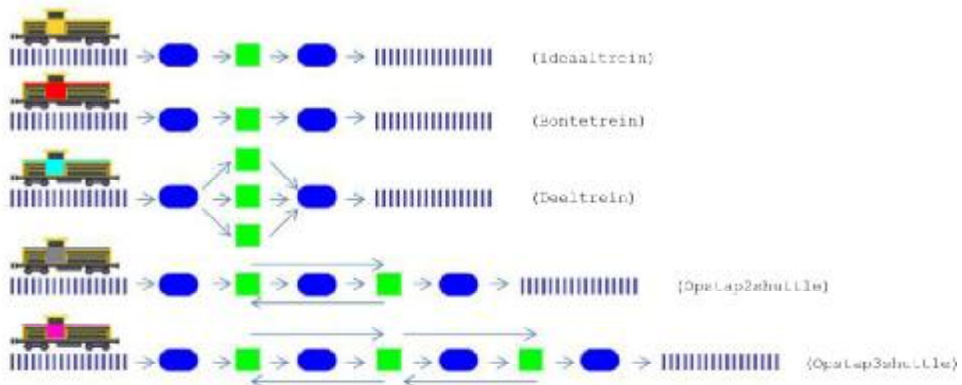


Verdisconteerd naar
de 3 terminals die
in het model worden
onderscheiden

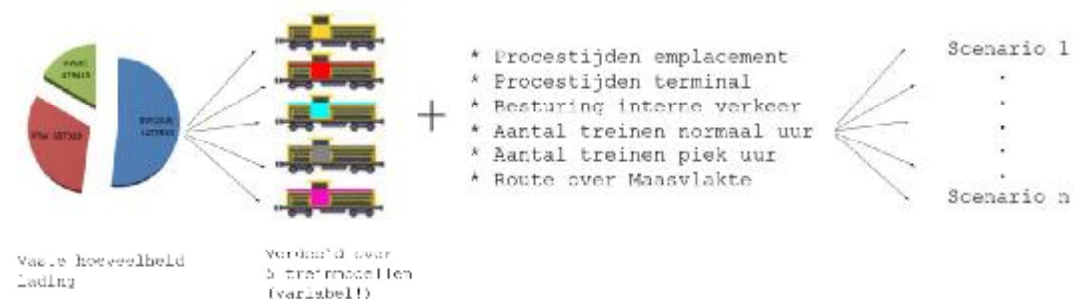


Vervoerd per spoor over de Maasvlakte
met behulp van verschillende trein-
modellen richting het achterland

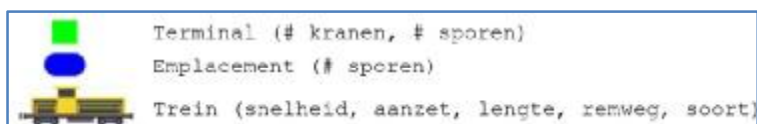
Onderscheiden 5 treinmodellen



Simulatie scenario's:



FIGUUR 26: OPZET SIMULATIERUNS



FIGUUR 27: LEGENDA BEHORENDE BIJ FIGUUR 25

6.2 MODELPARAMETERS

Door de inputparameters van het model te wijzigen ontstaan meerdere simulatie scenario's die na simulatie meer inzicht in het systeem geven. De variabele inputparameters zoals vastgesteld in hoofdstuk 5 zijn:

1. Verdeling lading over de verschillende treinconcepten.
2. Route van de verschillende treinconcepten over de Maasvlakte.
3. Belasting tijdens normaal uur en in een piek uur (aantal treinen).
4. Procestijden op de emplacementen en terminals (per treinsoort).
5. Besturingsmodel voor het interne verkeer.

In de komende paragraaf worden bovenstaande parameters gekwantificeerd. Om het aantal simulatie scenario's niet oneindig groot te laten worden, worden voor elke inputparameter ten hoogste 2 of 3 verschillende instellingen onderzocht.

6.2.1 VERDELING LADING

De verwachte hoeveelheid lading die via de Maasvlakte per spoor naar het achterland wordt vervoerd in het jaar 2033, wordt verdeeld over de 5 geïntroduceerde treinconcepten. Er wordt gebruik gemaakt van ideaaltreinen, opstaptreinen, deeltreinen en bontetreinen.

Binnen de Spoorslagstudies is veel onderzoek gedaan naar de verwachte lading verdeling over de verschillende treinconcepten. Spoorslag gaat hierbij uit van twee verwachte scenario's, namelijk een verwacht 'Hoog' en een verwacht 'Laag' scenario. Voor het bepalen van de ondergrens van de infrastructuurbehoefte (Laag scenario) wordt uitgegaan van een scenario waarin het containervervoer verdeeld wordt over ideaalshuttles en opstapshuttles en de bestemmingen met een kleine omvang bont op een trein worden geladen. Dit scenario is er op gericht om met een zo gering mogelijk aantal treinen en emplacementsporen te werken. Voor het bepalen van de bovengrens (Hoog scenario) van de infrastructuurbehoefte wordt uitgegaan van een scenario waarin het containervervoer verdeeld wordt over ideaalshuttles, opstapshuttles en kleine bestemmingslading per deeltrein wordt vervoerd (HbR, 2008). Tabel 5 geeft de verdeling van de lading omvang over de verschillende treinconcepten per dag in beide richtingen samen weer³⁰.

³⁰ Hierin zijn de bulktreinen niet meegenomen omdat deze via emplacement Oost rijden en niet gesimuleerd worden. Verwacht wordt dat naast de containertreinen 1 ketelwagon trein en 7 stukgoedtreinen per dag de Maasvlakte aandoen. Ook deze worden buiten beschouwing gelaten.

Bonte treinen			'het Lage scenario'		
Beide richtingen samen			# treinen [per dag]	# treinen [9% piekuur]	
Containertreinen:					
Ideaal			83	8	
Opstap			77	7	
Bont			8	1	
Totaal (afgerond)			168	16	

Deeltreinen			'het Hoge scenario'		
Beide richtingen samen			# treinen [per dag]	# treinen [9% piekuur]	
Containertreinen:					
Ideaal			82	8	
Opstap			78	7	
Deeltrein			14	1	
Totaal (afgerond)			174	16	

TABEL 5: TREINAANTALLEN HOOG EN LAAG SCENARIO (BRON: SPOORSLAG 2008)

Voor de uitgangspunten die aan het Hoge en Lage scenario ten grondslag liggen wordt verwezen naar de Spoorslag 2008 studie (HbR, 2008) en het Spoorslagrekenmodel in Bijlage D en E.

Naast de verdeling uit Spoorslag is binnen de ACTP studie een meer theoretische verdeling tot stand gekomen. De ACTP studie heeft als resultaat onder andere een verdeling waarbij alleen opstapshuttles worden ingezet en een verdeling waarbij alleen ideaaaltreinen worden ingezet³¹. Zowel de verdeling uit Spoorslag (Hoog en Laag) als de meer theoretische verdeling uit de ACTP studie (100% opstapshuttles/100% ideaaaltreinen) worden beide onderzocht. Hierbij wordt de volgende verdeling aangehouden:

1. Alle lading gaat via **ideaaaltreinen** (de opstaptreinen, deeltreinen en bonttreinen uit Tabel 5 worden 'vertaald' naar ideaaaltreinen).
2. Alle lading gaat via **opstaptreinen** (de ideaaaltreinen, deeltreinen en bonttreinen uit Tabel 5 worden 'vertaald' naar opstaptreinen) waarbij de helft 2 en de andere helft 3 terminals bezoekt.
3. De verdeling uit Tabel 5 **Hoge scenario** wordt aangehouden waarbij zowel gebruik wordt gemaakt van opstaptreinen die 3 terminals (50%) aandoen als opstaptreinen die 2 terminals aandoen (50%).
4. De verdeling uit Tabel 5 **Lage scenario** wordt aangehouden waarbij zowel gebruik wordt gemaakt van opstaptreinen die 3 terminals (50%) aandoen als opstaptreinen die 2 terminals aandoen (50%).

In het scenario alleen ideaaaltreinen (1) wordt gewerkt met 78 treinen per dag per richting en in het scenario alleen opstapshuttles (2) met 90 treinen per dag per richting. In het Hoge scenario (3) wordt gewerkt met 88 treinen per dag per richting en in het Lage scenario (4) met 84 treinen per dag per richting. Een vertaalslag van deze verdeling over de verschillende treinen in het model is te vinden in Bijlage F.

³¹ Een resultaat van de ACTP studie zijn 4 kansrijke railscenario's met bijbehorende besturingsmodellen voor containertreinen in het Rotterdamse havengebied. Één van deze scenario's is een havenbrede opstap, met andere woorden alle lading gaat via opstapshuttles. Van de overige 3 scenario's gaan 2 scenario's uit van een hub buiten de haven waardoor in feite alleen maar directe hubtreinen rijden, hetgeen gesimuleerd kan worden door alle lading via ideaaaltreinen te vervoeren.

6.2.2 ROUTE

In het simulatiemodel wordt onderscheid gemaakt in 5 treinmodellen (zie Figuur 26) en binnen elk treinmodel bestaan verschillende type treinen. Elk treintype heeft een eigen unieke route over de Maasvlakte. Deze route bepaalt de te bezoeken terminals en emplacementen en in welke volgorde dit plaatsvindt. De route die de treinen over de Maasvlakte rijden wordt bepaald door het soort trein (ideaalshuttle, opstapshuttle, deeltrein, bontetrein) en de bestemming van de trein (terminal). In het geval van opstapshuttles spelen de volgende extra variabelen een rol:

- Het aantal terminals (2 of 3) dat deze trein bezoekt.
- Het feit of deze shuttle bij elk terminal bezoek zowel lost als laadt of dit apart doet.
- Het feit of deze tussen de terminal bezoeken door via het emplacement rijdt.

De ideaaltreinen, deeltreinen³² en bontetreinen komen aan op de Maasvlakte en bezoeken elk één van beide emplacementen (Zuid of West). Vervolgens doen zij één van de drie terminals aan om via hetzelfde emplacement als bij aankomst de Maasvlakte te verlaten.

Een opstapshuttle doet meerdere terminals (2 of 3) aan die in verschillende volgordes bezocht kunnen worden. De opstapshuttle gaat na zijn eerste terminal bezoek door naar de volgende terminal al dan niet via een emplacement. Op basis van de ligging van de terminals en de prognoses uit het Spoorslag rekenmodel (zie Bijlage D en E) zijn 4 type ideaal, deel- en bontetreinen gedefinieerd en 7 type opstapshuttles. Binnen de opstapshuttles bestaan shuttles die 2 terminals aandoen (opstap2shuttle) en shuttles die 3 terminals aandoen (opstap3shuttle). De bijbehorende routes zijn te vinden in de tabellen 6,7 en 8.

	Route				
Ideaal1/Deel1/Bonte1	HS	Ezuid	RWGEUR	Ezuid	HS
Ideaal2/Deel2/Bonte2	HS	Ewest	RTW	Ewest	HS
Ideaal3/Deel3/Bonte3	HS	Ewest	APMT	Ewest	HS
Ideaal4/Deel4/Bonte4	HS	Ezuid	APMT	Ezuid	HS

TABEL 6: ROUTES IDEAAAL /DEEL /BONTETREINEN

	Route									
Opstap21	HS	Emwest	RTW	Emwest	APMT	Emwest	HS	RTW	Emwest	HS
Opstap22	HS	Emzuid	APMT	Emwest	RWGEUR	Emzuid	HS	APMT	Emzuid	HS
Opstap23	HS	Emwest	RTW	Emwest	RWGEUR	Emwest	HS	RTW	Emwest	HS
Opstap24	HS	Emzuid	RWGEUR	Emzuid	RWGEUR	Emzuid	HS	RWGEUR	Emzuid	HS

TABEL 7: ROUTES OPSTAP2SHUTTLE

³² De route van de deeltreinen is in het model vereenvoudigd. Een deeltrein doet in het model bij aankomst op de Maasvlakte een emplacement aan en vervolgens driemaal dezelfde terminal terwijl het emplacement bezet wordt gehouden door dezelfde deeltrein via een lokale variabele. Zie ook voetnoot 28.

	Route						
Opstap31	HS	Emwest	RTW	Emwest	APMT	Emwest	RWGEUR
Opstap32	HS	Emzuid	RWGEUR	Emzuid	RWGEUR	Emwest	RTW
Opstap33	HS	Emzuid	RWGEUR	Emzuid	RWGEUR	Emwest	APMT
	Emzuid	HS	APMT	Emwest	RTW	Emwest	HS
	Emwest	HS	RWGEUR	Emzuid	RWGEUR	Emzuid	HS
	Emwest	HS	RWGEUR	Emzuid	RWGEUR	Emzuid	HS

TABEL 8: ROUTES OPSTAP3SHUTTLE

Omdat de RWGEUR terminal in werkelijkheid uit 4 terminals bestaat die relatief ver van elkaar af liggen, is een opstapshuttle geïntroduceerd die twee maal de RWGEUR terminal aandoet. In het model betekent dit dat deze trein na vertrek van de terminal (voor de eerste keer!) al dan niet via emplacement Zuid weer de terminal bezoekt.

De ideaal-/deel-/bontetreinen doen alle emplacementen en terminals aan in de volgorde zoals in Tabel 6 weergegeven. Dit geldt niet voor de opstapshuttles uit Tabel 7 en Tabel 8. De route van een opstapshuttle is afhankelijk van twee modelinstellingen die de uiteindelijke route vastleggen. Een opstapshuttle kan bij een terminal zowel laden en lossen of alleen laden/lossen³³. Indien een opstapshuttle tegelijk laadt en lost bij een terminal dan doet een opstap2shuttle slechts 2 maal een terminal aan. Indien eerst alle lading wordt gelost en dan pas geladen, zal een opstap2shuttle drie maal een terminal aandoen: lossen op terminal 1, lossen op terminal 2 en weer laden op terminal 2, laden op terminal 1. Naast de instelling of een opstapshuttle gelijktijdig lost en laadt bestaat de mogelijkheid dat de opstapshuttle tussen twee terminal bezoeken in via het emplacement rijdt³⁴.

Een Opstap23shuttle die niet via het emplacement gaat maar wel eerst alle lading lost en vervolgens pas laadt krijgt bij zijn creatie de matrix mee zoals weergegeven in Figuur 28. Aan de hand van deze matrix weet het model welke route de betreffende trein aflegt. De getallen komen overeen met de kolomnummers uit Tabel 7.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
WAAR	WAAR	WAAR	ONWAAR	WAAR	ONWAAR	ONWAAR	WAAR	WAAR	WAAR

FIGUUR 28: MATRIX OPSTAP23SHUTTLE

De volgende route instellingen worden in dit onderzoek onderscheiden (in totaal 6):

1. Een deel van de opstapshuttles laadt en lost tegelijk (0%, 50% en 100%)
2. Een deel van de opstapshuttles gaat via het emplacement (0%, 50% en 100%)

³³ Een opstapshuttle heeft lading bij zich bestemd voor verschillende terminals. Een volgeladen opstapshuttle die bij zijn eerste terminal bezoek 10 containers moet lossen en 15 laden komt 5 containerplekken tekort waardoor de shuttle eerste alle lading lost en vervolgens pas laadt.

³⁴ De plannings van de terminals sluiten lang niet altijd op elkaar aan. Een opstapshuttle die nog niet ontvangen kan worden op zijn volgende terminal terwijl deze wel de huidige terminal dient te verlaten om plaats te maken voor andere treinen zal via het emplacement moeten.

6.2.3 BELASTING

Idem als in het weg- en luchttransport is een fundamenteel punt in het spoortransport het kunnen omgaan met piekfactoren (Hall, 2003). In tegenstelling tot het vervoer op autosnelwegen is het aantal klanten (in dit geval treinen) dat in een wachtrij mag staan wegens ruimte beperkingen dan wel veiligheidsrestricties in verhouding klein. Dit betekent dat het aanbod van treinen zo constant mogelijk dient te zijn en pieken in het aanbod afgevlakt moeten worden. Spoorslag gaat uit van een maximale piekbelasting van 9%. Dit betekent dat in een uur maximaal 9% van het dagtotaal aan treinen binnenkomt. In een normaal uur komt $100/24 = 4,17\%$ van het dagtotaal binnen. Dit betekent dat in een piekuur 2,2 keer zoveel treinen binnenkomen als dat er in een normaal uur binnenkomen. In de simulatie worden zowel normale uren als piek uren gesimuleerd.

6.2.4 PROCESTIJDEN

De verschillende treinconcepten hebben verschillende procestijden op zowel de emplacementen als op de terminals. Procestijden op een terminal zijn afhankelijk van het aantal laadeenheden dat geladen of gelost moet worden, waarbij als uitgangspunt wordt genomen dat een move (het verplaatsten van een container op/van een trein) gemiddeld 2 minuten kost. Voor ideaaltreinen wordt gerekend met 52 laadeenheden, opstapshuttles 45 laadeenheden (verdeeld over 2 of 3 terminals), bontetreinen gemiddeld 40 laadeenheden en deeltreinen gemiddeld 24 laadeenheden (verdeeld over 3 terminals). Hieruit volgt dat een ideaaltrein gemiddeld $52 \times 2 \times 2 = 208$ minuten op een terminal verblijft.

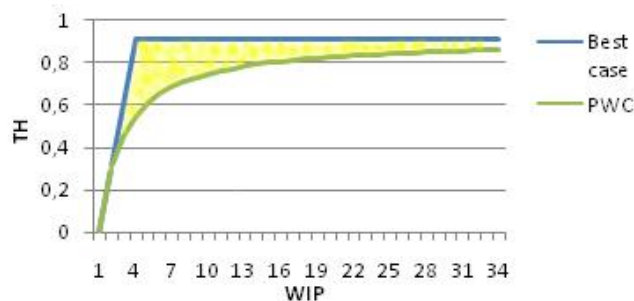
De tijd die een opstapshuttle op een emplacement doorbrengt in het geval deze tussen twee terminalbezoeken in via het emplacement rijdt is in de praktijk sterk wisselend. Een opstapshuttle gaat alleen via het emplacement als deze niet op de volgende terminal ontvangen kan worden en om wat voor reden de huidige terminal dient te verlaten. Het emplacement wordt dan gebruikt als ontkoppelpunt. In het model wordt uitgegaan van een gemiddelde van één uur.

De verwachte procestijden zoals gedefinieerd in de Spoorslag 2008 studie voor de verschillende processen zijn:

- Ideaaltrein/Opstapshuttle/Bontetrein emplacementtijd aankomst Maasvlakte gemiddeld 1,5 uur
- Ideaaltrein/Opstapshuttle/Bontetrein emplacementtijd vertrek Maasvlakte gemiddeld 2 uur
- Deeltrein emplacementtijd aankomst en vertrek Maasvlakte gemiddeld 4 uur
- Procestijd op een terminal laden lossen: aantal moves $\times$ gemiddeld 2 minuten
- Procestijd op een emplacement opstapshuttle als ontkoppeling: gemiddeld 1 uur

Uit hoofdstuk 4 is bekend dat variantie in de procestijden een negatieve invloed heeft op zowel de WIP, de cyclustijd als de doorzet. Hoe minder variantie in een systeem, hoe constanter de cyclustijden, doorzet en WIP van het systeem zullen zijn. In de praktijk blijken slechts weinig systemen volledig deterministisch beschouwd te mogen worden. Veelal bevatten systemen een vorm van variantie. Om deze variantie in het onderzoek niet te negeren wordt gebruik gemaakt van verschillende statistische verdelingen die de variantie in de procestijden weerspiegelen. Hierbij is de verwachtingswaarde van deze verdelingen gelijk aan de verwachte procestijden zoals juist beschreven.

Hoewel deterministische procestijden niet realistisch lijken maakt een dergelijke veronderstelling het mogelijk een bovengrens te bepalen voor de prestatie van het systeem. Dit wordt geïllustreerd in Figuur 29, waarin de relatie is weergegeven tussen de WIP en de doorzet bij verschillende vormen van procesvariantie.



FIGUUR 29: RELATIE WIP EN DOORZET BIJ VERSCHILLENDE PROCESVARIANTIE (SPEARMAN & HOPP, 2000)

In dit voorbeeld wordt een wachtrijsystemen met 3 parallelle servers verondersteld. Uitgangspunt is een netto bewerkingstijd (T_0) van 3,3 uur, een bezetting (r_b) van 90% op de servers en een kritieke WIP (W_0) van 3. De kritieke WIP is de minimale WIP nodig om op een productielijn zonder variabiliteit maximale doorzet te behalen in combinatie met een minimale cyclustijd. Hierbij geldt: $W_0 = r_b T_0$. Twee scenario's worden in de grafiek getoond: Een Best case scenario (geen variabiliteit) en een Practical Worst case scenario (maximale variabiliteit, negatief exponentieel³⁵ verdeelde tussenaankomsttijden).

Het Best case scenario geeft een goede bovengrens voor de maximale doorzet in het geval dat er nul variantie is in aankomst- en procestijden. Een volledig deterministisch systeem presteert per definitie altijd beter dan hetzelfde systeem dat onderhevig is aan procesvariantie (Spearman & Hopp, 2000). De Practical worst case geeft een goede ondergrens van de systeemprestaties; de negatief exponentiële verdeling wordt beschouwd als een verdeling waarbij maximale willekeur (randomness) ontstaat (Spearman & Hopp, 2000). In werkelijkheid presteert geen enkel systeem gelijk aan het Best case scenario, er is altijd enige vorm van variantie aanwezig. Als streefwaarde wordt veelal getracht om het systeem zo in te richten dat deze zich in het geel gearceerde gebied bevindt in Figuur 29.

De volgende instellingen worden onderzocht:

1. Alle bedieningstijden (zowel op de emplacementen als op de terminals) zijn volkomen deterministisch, met verwachtingswaarde uit de Spoorslagstudie.
2. Alle bedieningstijden (zowel op de emplacementen als op de terminals) zijn negatief exponentieel verdeeld, met verwachtingswaarde uit de Spoorslagstudie.

³⁵ De kansdichtheid van een negatief exponentieel verdeelde stochast met verwachtingswaarde β en variantie β^2

ziet er als volgt uit: $f(x) = \frac{1}{\beta} e^{-\frac{x}{\beta}}$

6.2.5 BESTURING INTERNE VERKEER

In hoofdstuk 5 is uitgebreid aan de orde gekomen welke besturingsmodellen worden onderscheiden en wat de taak van een dergelijk besturingsmodel is. De twee besturingsmodellen die worden onderzocht zijn:

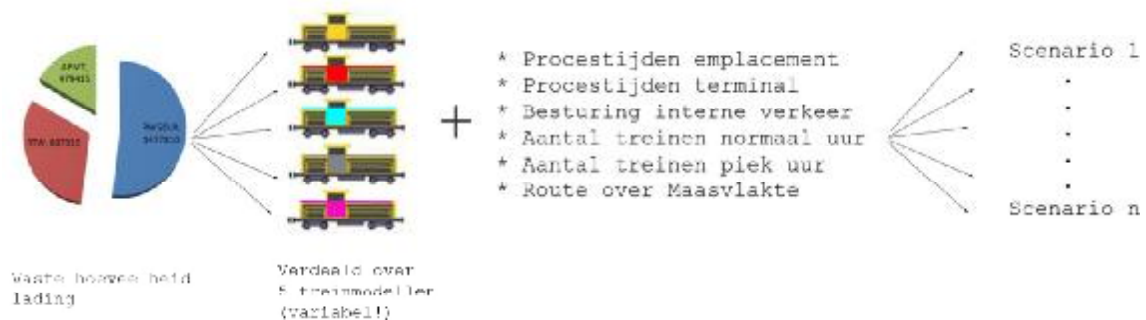
1. Besturingsmodel dat overal gebruik maakt van de prioriteringsregels FCFS.
2. Besturingsmodel dat de variantie in doorzet van de terminals richting de emplacementsen tracht te verminderen door met specifieke slottijden voor de terminals te werken.

Deze slottijden worden opgesteld op basis van de analyse van de verkeersstromen gebruikmakend van het eerste besturingsmodel. Indien blijkt dat zich in het model ergens opstoppen of bottlenecks ontstaan kan gekeken worden naar extra prioriteringsregels die de doorstroom moeten verbeteren. Deze regels zijn echter op voorhand lastig te bepalen.

6.3 SIMULATIE SCENARIO'S

Op basis van de verschillende instellingen genoemd in paragraaf 6.2 dient per scenario een set van instellingen (modelparameters) gekozen te worden die een simulatie run vormen. Gekozen kan worden uit 4 (verdeling lading) $\times$ 6 (verschillende routes) $\times$ 2 (piek uur/normaal uur) $\times$ 2 (procestijden) $\times$ 2 (besturing) = 192 verschillende scenario's om te onderzoeken. Om niet alle mogelijke scenario's te hoeven simuleren is een selectie gemaakt van de meest interessante scenario's.

Simulatie scenario's:



FIGUUR 30: OPZET SIMULATIE SCENARIO'S

In Figuur 30 wordt wederom de opzet van de simulatie scenario's getoond. Er worden uiteindelijk 8 scenario's gesimuleerd, de zogenaamde basis scenario's. Naast deze 8 scenario's wordt de gevoeligheid van 6 inputparameters individueel onderzocht.

Voor de treinverdeling in het basis scenario wordt de verdeling uit de Spoorslagstudies gebruikt, te weten het Hoog scenario en het Laag scenario (deze scenario's representeren de op dit moment meest realistische verdeling die in 2033 verwacht kan worden).

De opstapshuttles zijn hierbij gelijkmatig (50%-50%) verdeeld tussen opstapshuttles die 2 terminals (opstap2shuttle) aandoen en opstapshuttles die 3 terminals (opstap3shuttle) aandoen.

Voor de procestijden op de emplacements en terminals worden de gemiddelde waarden uit paragraaf 6.1.4 gebruikt. Hierbij wordt onderscheid gemaakt in 2 verdelingen: een deterministische verdeling en een exponentiële verdeling. De deterministische verdeling wordt gebruikt om een ondergrens voor de emplacementbehoefte te bepalen (een systeem met zo min mogelijk variabiliteit presteert altijd beter dan een systeem met hoge variabiliteit bij gelijke gemiddelden (Spearman & Hopp, 2000)). Voor een bovengrens op de emplacementbehoefte wordt gebruik gemaakt van een exponentiële verdeling (een exponentiële verdeling heeft een standaarddeviatie ter grootte van de verwachtingswaarde, oftewel een relatief hoge variantie).

Voor de besturing wordt in het basis scenario overal gebruik gemaakt van de FCFS regel, waardoor in feite een random proces ontstaat.

Voor de belasting (trein aantallen) worden twee instellingen onderzocht, namelijk het aantal treinen in een normaal uur (4,2% van het dagtotaal) en het aantal treinen in een piek uur (9% van het dagtotaal).

De route over de maasvlakte is voor de ideaaltreinen, deeltreinen en bontetreinen vastgesteld in paragraaf 6.1.3. Voor de opstapshuttles vormt het uitgangspunt in het basis scenario dat de opstapshuttles niet via het emplacement gaan tussen de terminal bezoeken in en dat de opstapshuttles eerst alle lading lossen en vervolgens pas laden.

In Figuur 31 wordt de keuze tot de uiteindelijke 8 basis scenario's grafisch weergegeven. In het zwart geschreven staat achter elk scenario de afkorting waarmee in de rest van dit verslag naar het betreffende scenario wordt gerefereerd.



FIGUUR 31: BASIS SCENARIO'S SIMULATIE

6.4 GEVOELIGHEIDSANALYSE

Van een deel van de instellingen zoals genoemd in paragraaf 6.1 wordt alleen de gevoeligheid op de output onderzocht. Bij een gevoeligheidsanalyse is het belangrijk dat de overige parameters zo constant mogelijk worden gehouden zodat de output onderling vergelijkbaar is. Er is daarom gekozen om de gevoeligheidsanalyses in eerste instantie alleen uit te voeren op het Laag_Norm_Det scenario of op het Laag_Piek_Det scenario, afhankelijk van de te onderzoeken gevoeligheid. Alleen indien deze gevoeligheid aanleiding geeft tot verder onderzoek wordt de gevoeligheid ook op andere scenario's onderzocht. De volgende gevoeligheden worden onderzocht:

1. Een deel van de opstapshuttles laadt en lost tegelijk (0% en 100%).
2. Een deel van de opstapshuttles gaat via het emplacement (50% en 100%).
3. Alle lading wordt verdeeld over opstaptreinen.
4. Alle lading wordt verdeeld over ideaaltreinen.
5. Besturingsmodel waarin met vaste terminal slottijden wordt gewerkt.

6.5 VALIDATIE OUTPUT

Het doel van de experimenten is een voorspellende waarde; een indicatie van de te verwachten proceskarakteristieken bij verschillende modelinstellingen. Doordat de uitkomsten van de simulatie zelf ook willekeur bevatten is enige voorzichtigheid geboden bij het trekken van conclusies. Het uitvoeren van statistische analyses op de verkregen data zal hieraan vooraf dienen te gaan (Robinson, 1994). Afhankelijk van het soort model en type simulatie dient de juiste analyse te worden gekozen. Voor een overzicht van soorten simulaties en de verschillende analyses die hierop kunnen worden toegepast wordt verwezen naar Law en Kelton (1991).

De Maasvlakte wordt als een non terminating, steadystate systeem beschouwd. Dit betekent dat verwacht wordt dat het systeem zich na verloop van tijd in een evenwicht bevindt (vergelijk wachtrij modellen uit hoofdstuk 4). Voorafgaand aan dit evenwicht bevindt zich een transitie fase. De resultaten uit deze fase zijn onbetrouwbaar en dienen niet in de analyse meegenomen te worden. De periode tussen de transitie fase en de evenwichtfase in wordt de warmup periode van het model genoemd. Deze dient eerst bepaald te worden. Hiervoor wordt gebruik gemaakt van een methode die bekend staat als *Welch's method* (Law & Kelton, 1991). Het model wordt voor een periode van k dagen gerund waarbij k groot genoeg wordt gekozen zodat met enige zekerheid k groter is dan de warmup periode. Vervolgens wordt het voortschrijdend gemiddelde (moving average) berekend voor de belangrijkste prestatiecriteria die onderzocht worden. Hierbij worden steeds tijdvensters van verschillende lengte gekozen. Het voortschrijdende gemiddelde wordt als volgt berekend:

$$\text{voortschrijdend gemiddelde}_i = \begin{cases} \frac{\sum_{s=i-1}^i \text{Gemiddelde}_{i,s}}{2i-1} & \text{als } i=1, \dots, w \\ \frac{\sum_{s=w}^i \text{Gemiddelde}_{i,s}}{2w+1} & \text{als } i=w+1, \dots, m-w \end{cases} \quad (21)$$

Hierin is i de periode waarover het voortschrijdende gemiddelde wordt berekend, m het aantal perioden in een run, en w het aantal perioden in het tijdvenster. Door de uitkomsten uit (22) in een grafiek te plotten is grafisch af te leiden op welk punt het model zich stabiliseert (evenwicht is bereikt).

De warmup periode geeft inzicht in het moment vanaf wanneer het model zich stabiel gedraagt. Vervolgens kan met behulp van betrouwbaarheidsintervallen worden onderzocht hoe betrouwbaar de gevonden model resultaten zijn. De resultaten vormen de output van het model (zoals in paragraaf 5.4 vastgesteld). Deze output wordt veelal uitgedrukt in gemiddelden. Een gemiddelde bezettingstijd op een emplacement zegt meer dan een tabel met de bezettingstijden van alle treinen (meer dan 20 duizend) gedurende een simulatierun.

De verwachting (ν) van het gemiddelde ook wel genoteerd met $\nu = E(Y)$ - waarbij de output wordt gevormd door de parameters $Y_1, Y_2, \dots$ - wordt gedefinieerd als:

$$\nu = \lim_{l \rightarrow \infty} E(Y_l) \quad (22)$$

Law en Kelton (1991) geven een aantal procedures aan om de betrouwbaarheid van deze gemiddelden te onderzoeken. Om een goede balans te vinden tussen de complexiteit van de procedure en de gewenste betrouwbaarheid van de uitkomsten is gekozen om gebruik te maken van de *method of batch means*. De methode werkt als volgt: Er wordt een simulatie run van lengte m gedraaid waarbij de observaties $Y_1, Y_2, \dots, Y_m$ worden opgedeeld in n batches van lengte k (veronderstel $m = nk$). Hiervoor wordt $\bar{Y}(n, k)$ gebruikt als schatter voor ν . Indien k groot genoeg is gekozen mag verondersteld worden dat de $\bar{Y}_j(k)$'s bij benadering ontecorreleerd zijn en normaal verdeeld, waaruit volgt dat de $\bar{Y}_j(k)$'s onderling onafhankelijk zijn. Dit betekent dat het geoorloofd is om de $\bar{Y}_j(k)$'s te beschouwen alsof zij onderling onafhankelijk identiek gedistribueerde normaal verdeelde variabelen zijn met verwachting ν ³⁶.

Nu kan het aantal runs worden onderzocht waarbij het 90% betrouwbaarheidsinterval (gebruik makend van de Student verdeling) voor de verwachting van de prestatie criteria (μ) een relatieve fout heeft van maximaal

³⁶ Als schatter voor ν wordt gebruik gemaakt van $\bar{X}(n) = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n}$ met variantie $S^2(n) = \frac{\sum_{i=1}^n [X_i - \bar{X}(n)]^2}{n-1}$ en een betrouwbaarheid van 100(1- α) gegeven door $\bar{X}(n) \pm t_{n-1, 1-\alpha/2} \sqrt{\frac{S^2(n)}{n}}$.

10%. Anders gezegd, het aantal runs dat gesimuleerd moet worden waarbij de uitkomsten 90% betrouwbaar zijn.

6.6 SAMENVATTING

De modelparameters en de verschillende instellingen van deze parameters zijn in dit hoofdstuk besproken. De verwachte ladingstromen in het jaar 2033 zijn verdeeld over 17 treintypes in het model.

Er worden 8 scenario's onderzocht die een specifieke set van modelinstellingen simuleren. In deze scenario's wordt onderscheid gemaakt tussen het Hoge en het Lage Spoorslag scenario, de belasting tijdens een normaal uur en een piek uur en de invloed van deterministische bedieningstijden en exponentiële bedieningstijden op de emplacementen en terminals. Hierbij wordt verondersteld dat de verdeling tussen de opstap2shuttles en de opstap3shuttles gelijk aan elkaar is en dat de opstapshuttles nooit via het emplacement rijden tussen twee terminal bezoeken in.

Van een aantal parameters wordt alleen de gevoeligheid onderzocht en vergeleken met de resultaten afkomstig van de basis scenario's.

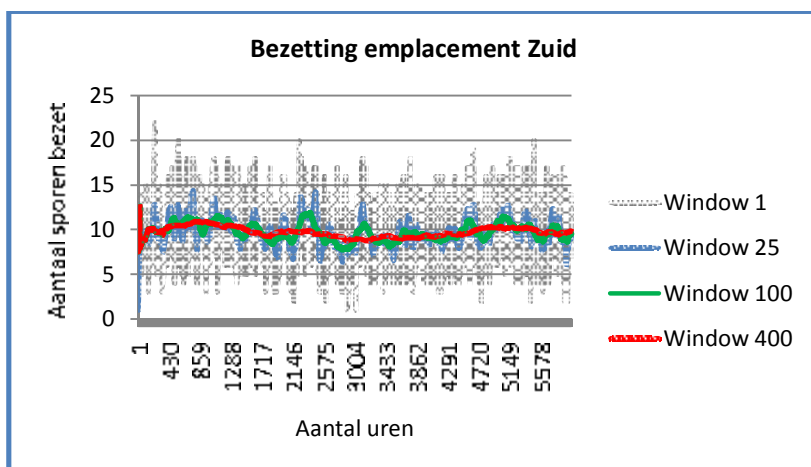
7. RESULTATEN

In het komende hoofdstuk worden de belangrijkste resultaten besproken. Vanwege de grote hoeveelheid aan data (sommige tabellen bevatten meer dan 26 duizend rijen aan gegevens) wordt niet alle data in detail besproken. Voor de lezer geïnteresseerd in resultaten die niet expliciet in dit hoofdstuk worden genoemd, wordt verwezen naar de bijgevoegde DVD rom waarop de data van alle runs is te vinden.

In paragraaf 7.1 worden de simulatie specifieke instellingen besproken waarmee het model is gesimuleerd (warmup periode, runlengte en aantal replicaties). Paragraaf 7.2 gaat in op de opzet (wijze van verslaglegging) van de resultaten. In de daaropvolgende paragrafen worden de resultaten getoond van de verschillende basis scenario's. Hierbij wordt achtereenvolgens besproken: de emplacementbehoefte (paragraaf 7.3), de analyse van de terminals (paragraaf 7.4), het gedrag rondom de verkeersknooppunten (paragraaf 7.5) en de verschillende doorloop- en wachttijden (paragraaf 7.6). Hierbij wordt steeds dezelfde opzet gehanteerd zoals in paragraaf 7.2 vastgesteld. De gevoeligheid op de output van het model van de overige parameters (zoals opgesomd in hoofdstuk 6) wordt in paragraaf 7.7 getoond.

7.1 SYSTEEM INSTELLINGEN

De warmup periode voor het model is bepaald aan de hand van de methode zoals besproken in paragraaf 6.3. In Figuur 32 is de bezetting (uitgedrukt in aantal bezette emplacementsporen) op emplacement Zuid weergegeven over een periode³⁷ van 235 dagen bij verschillende time windows (tijdvensters). Een window (tijdvenster) is de waarde van w in Formule 22 in hoofdstuk 6.



FIGUUR 32: BEPALING WARMUP PERIODE

³⁷ Hierbij is uitgegaan van exponentiële bedieningstijden, Hoog scenario uit Spoorslag voor een normaal uur (Hoog_Norm_Det).

Duidelijk is te zien hoe wisselvallig de emplacementbezetting is, waarbij het aantal treinen op emplacement Zuid van uur tot uur varieert tussen de 5 en 15 treinen. Pas bij een tijdvenster ter grootte van 400 wordt een redelijke rechte lijn verkregen, hetgeen betekent dat er evenwicht is bereikt en dat de output constant is. Door de warmup periode op 500 uur te zetten (20 dagen) is met zekerheid te zeggen dat het model zich in evenwicht bevindt en uit de transitie fase is. Na 320 dagen precies, stopt de simulatie, de reportages van het laatste uur worden dan weggeschreven en de output wordt opgeslagen in tekstbestanden die voor verdere analyse in een spreadsheet programma geopend kunnen worden. Het model kent geen cooldown periode, omdat er sprake is van een non terminating simulatie.

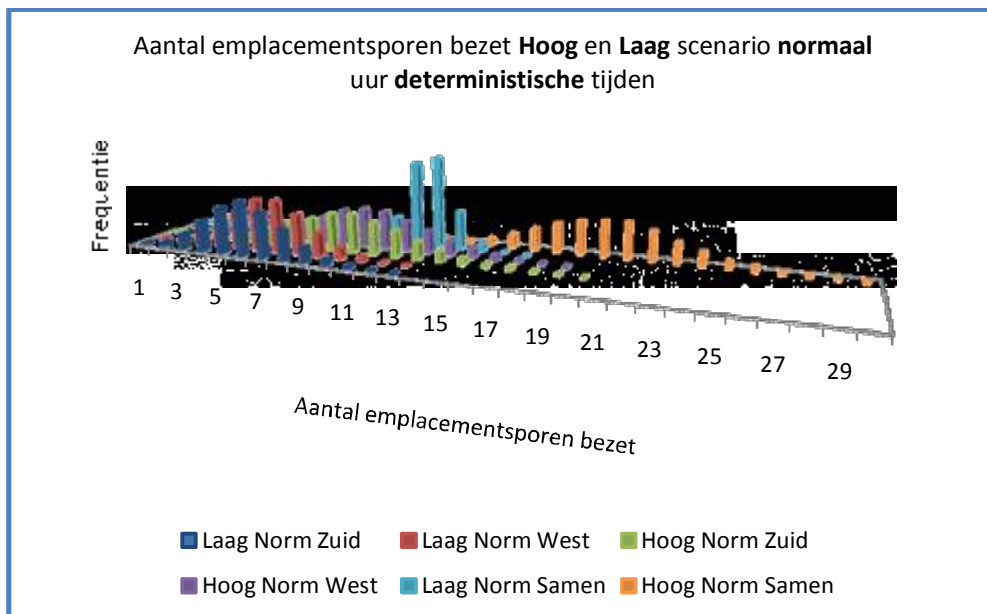
Naast de warmup periode is middels de *method of batch means* (zoals besproken in paragraaf 6.3) het aantal replicaties en de runlengte bepaald. Door voor alle simulaties een runlengte te kiezen van 300 dagen en de resultaten hieruit verkregen op te delen in 10 gelijke batches met lengte 30 dagen ontstaan 10 onderling onafhankelijke replicaties. Dit is voldoende om een minimaal betrouwbaarheidsinterval op te stellen van 90% voor de output van het model. Samengevat zijn de systeeminstellingen als volgt:

- Warmup: 20 dagen
- Totale runlengte: 320 dagen
- Batchlengte: 30 dagen (10 replicaties)

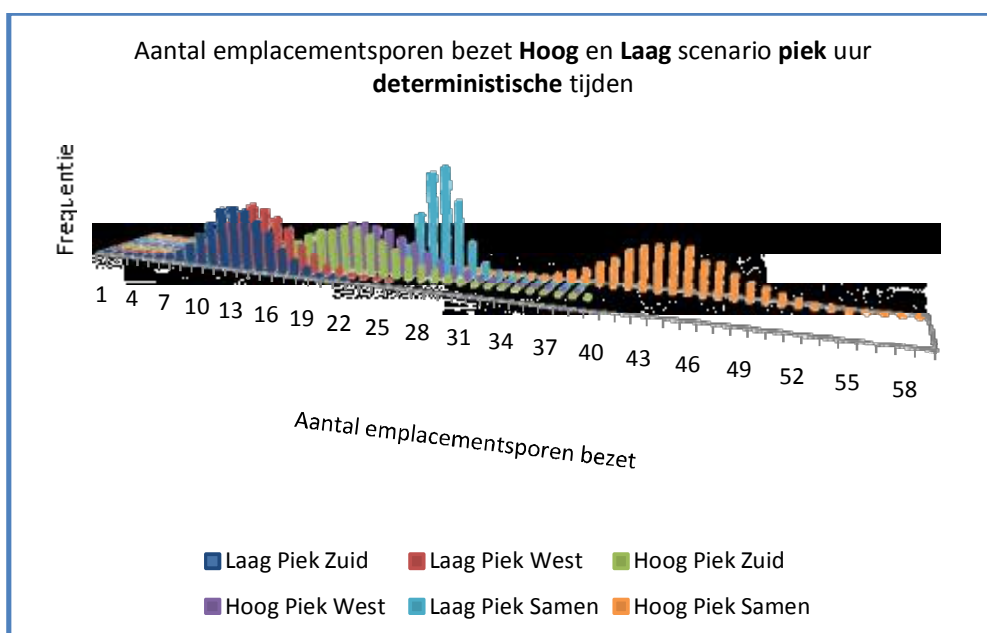
7.2 OPZET RESULTATEN

Om de veelheid aan data op een overzichtelijke manier te tonen wordt gebruik gemaakt van tabellen en grafieken. Hierbij worden eerst de belangrijkste resultaten in een grafiek of tabel getoond en vervolgens tekstueel verder toegelicht. De belangrijkste criteria zoals de doorzet per terminal, het aantal bezette emplacementsporen en het gedrag rondom de belangrijkste verkeersknooppunten wordt per onderwerp getoond voor de verschillende basis scenario's. Omdat er een veelheid aan data beschikbaar is, is het onmogelijk om alle resultaten te tonen, geïnteresseerden wordt verwezen naar de bijgevoegde DVD rom voor alle simulatiedata.

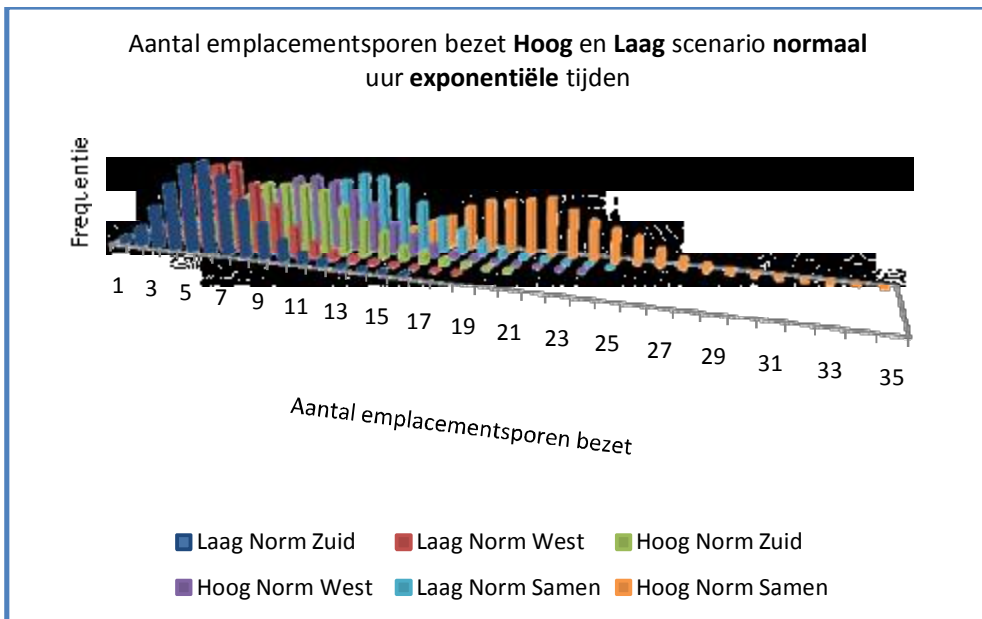
7.3 EMPLACEMENTBEHOEFTE



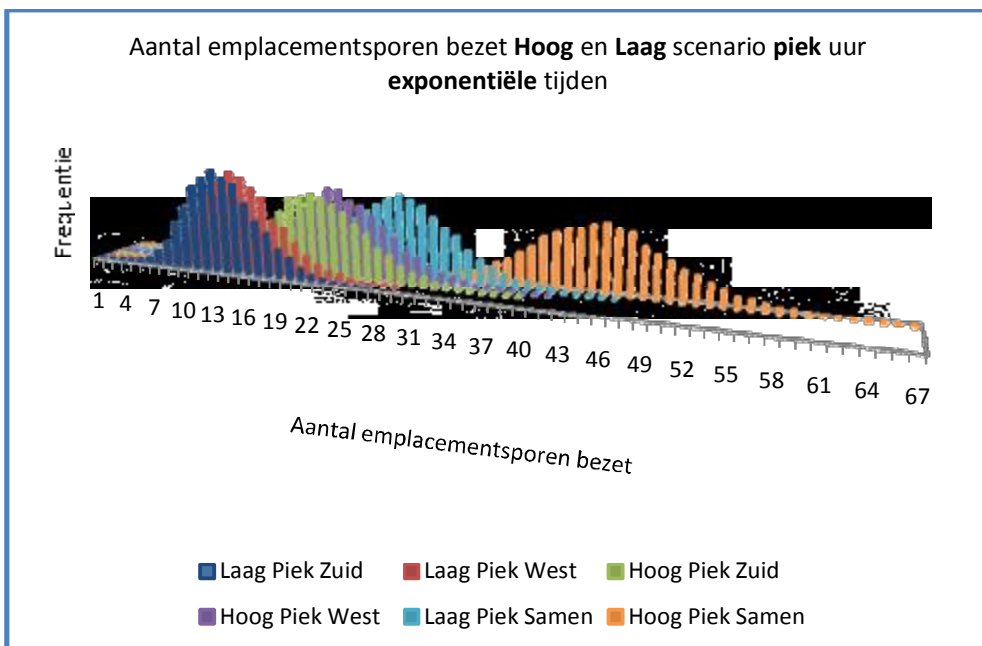
FIGUUR 33: BEZETTING EMPLACEMENTEN LAAG_NORM_DET EN HOOG_NORM_DET (BASIS SCENARIO)



FIGUUR 34: BEZETTING EMPLACEMENTEN LAAG_PIEK_DET EN HOOG_PIEK_DET (BASIS SCENARIO)



FIGUUR 35: BEZETTING EMPLACEMENTEN LAAG_NORM_EXP EN HOOG_NORM_EXP (BASIS SCENARIO)



FIGUUR 36: BEZETTING EMPLACEMENTEN LAAG_PIEK_EXP EN HOOG_PIEK_EXP (BASIS SCENARIO)

ANALYSE EMPLACEMENTEN

In Tabel 9 en Tabel 10 is de bezetting (uitgedrukt in aantal bezette sporen) van zowel de emplacementen West als Zuid apart, alsmede het aantal bezette sporen van zowel emplacement West als Zuid samen weergegeven. Naast de gemiddelde bezetting (Gem.) wordt het aantal sporen getoond dat minimaal aanwezig dient te zijn om in (minimaal) 90% van de gevallen alle treinen te kunnen afhandelen (<90%). In rood is voor de piekuren het maximaal aantal sporen weergegeven dat ten tijde van een simulatierun bezet is geweest; het aantal sporen dat nodig is om te allen tijde plek te kunnen bieden aan treinen op de emplacementen.

	Laag_Norm_Det		Laag_Piek_Det		Hoog_Norm_Det		Hoog_Piek_Det	
	Gem.	< 90%	Gem.	< 90%	Gem.	< 90%	Gem.	< 90%
Zuid	6,0	8	13,3	17 (22)	9,7	13	21,2	26 (39)
West	6,6	9	14,4	18 (25)	10,4	14	22,6	27 (38)
Samen	12,6	14	27,7	30	20,1	24	43,8	49

TABEL 9: SAMENVATTING EMPLACEMENT BEZETTING BASIS SCENARIO'S DETERMINISTISCHE TIJDEN

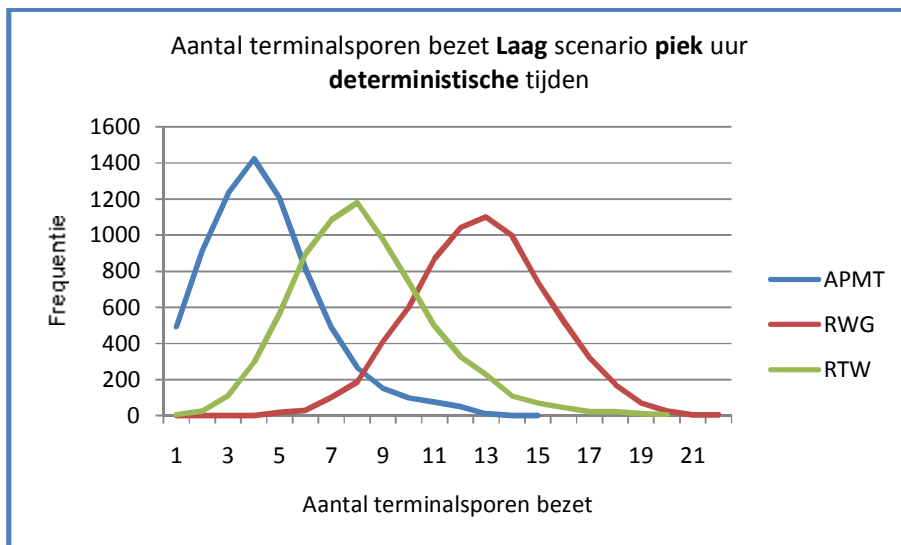
	Laag_Norm_Exp		Laag_Piek_Exp		Hoog_Norm_Exp		Hoog_Piek_Exp4	
	Gem.	< 90%	Gem.	< 90%	Gem.	< 90%	Gem.	< 90%
Zuid	6,1	9	13,6	18 (27)	9,8	14	21,5	27 (39)
West	6,6	10	14,8	19 (29)	10,4	14	23,2	29 (41)
Samen	12,7	16	28,4	34	20,2	25	44,7	52

TABEL 10: SAMENVATTING EMPLACEMENT BEZETTING BASIS SCENARIO'S EXPONENTIELE TIJDEN

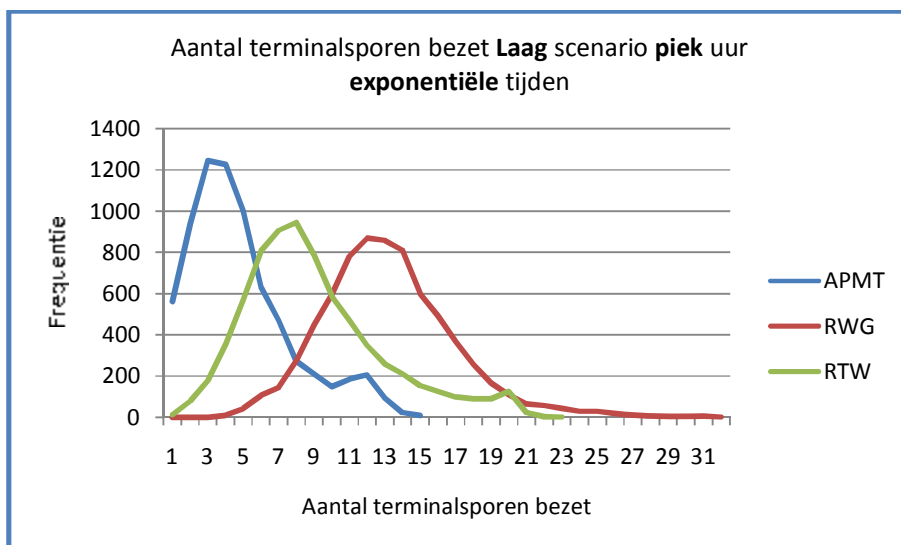
Vanwege de fluctuaties in de bezetting van de emplacementsporen en de onafhankelijkheid van beide emplacementen dient elk emplacement over voldoende emplacementsporen te beschikken om deze fluctuaties in de bezetting op te vangen. Dit betekent dat de emplacementen West en Zuid elk afzonderlijk, bij elkaar opgeteld, over meer sporen dienen te beschikken dan dat er gezamenlijk op een willekeurig tijdstip aan sporen bezet is. Anders gezegd, als naar het Laag_Norm_Det scenario wordt gekeken dan dient Zuid over 8 en West over 9 sporen te beschikken om in 90% van de gevallen plaats voor een trein te kunnen bieden. Dit is gelijk aan 17 sporen terwijl in 90% van de gevallen nooit meer dan 14 sporen op beide emplacementen tegelijk bezet zijn.

De vier Spoorslag Hoge scenario's leveren een significant hogere emplacementbehoefte op ten opzichte van de Lage Spoorslag scenario's. Het verschil tussen de emplacementbehoefte (uitgangspunt minimaal 90%) tussen de scenario's waarin met deterministische tijden is gesimuleerd ten opzichte van de exponentiële tijden is minder groot dan aanvankelijk op basis van de theorie verwacht mag worden (vergelijk hoofdstuk 4 wachtrij theorie). De spreiding in het laatste kwartiel van de data is wel groter, waardoor de emplacementbehoefte significant hoger is (tot 20%) indien een 90% betrouwbaarheidsinterval in plaats van een 100% betrouwbaarheidsinterval gehanteerd wordt.

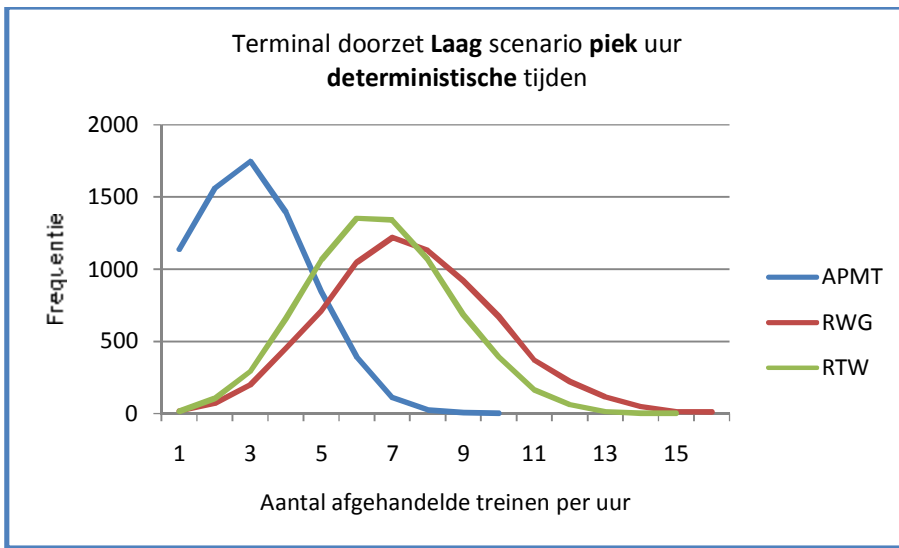
7.4 ANALYSE TERMINALS



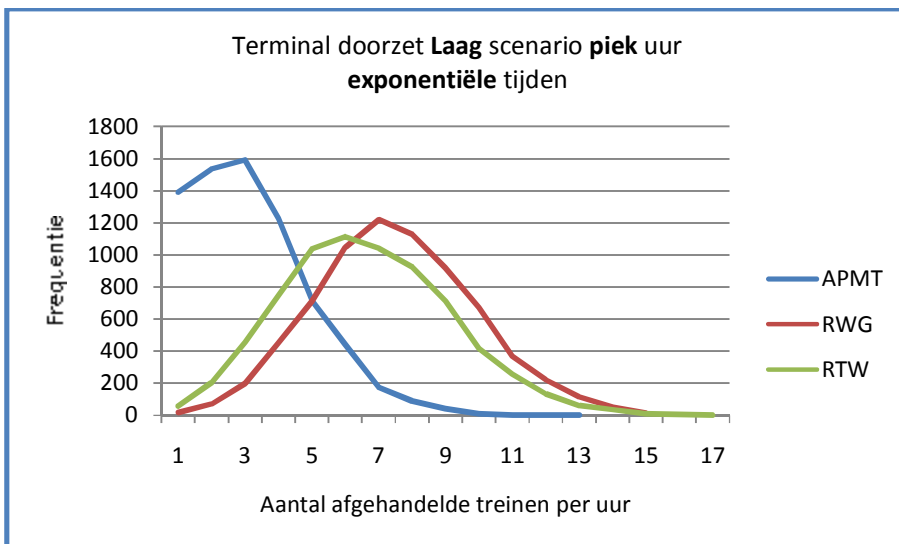
FIGUUR 37: BEZETTING TERMINALS LAAG_PIEK_DET (BASIS SCENARIO)



FIGUUR 38: BEZETTING TERMINALS LAAG_PIEK_EXP (BASIS SCENARIO)



FIGUUR 39: DOORZET TERMINALS LAAG_PIEK_DET (BASIS SCENARIO)



FIGUUR 40: DOORZET TERMINALS LAAG_PIEK_EXP (BASIS SCENARIO)

ANALYSE TERMINALS

Voor de analyse van de terminals worden alleen de resultaten getoond uit het Lage scenario piek uur met zowel deterministische (Laag_Piek_Det) als exponentiële (Laag_Piek_Exp) tijden. Uit Figuur 39 en Figuur 40 kan worden afgeleid dat de route die de opstapshuttles rijden voor een groot deel bepalend is voor de uiteindelijke doorzet (gemeten in treinen per uur) van de terminals. Omdat in de basis scenario's de opstapshuttles nooit tegelijk laden en lossen, bezoeken de shuttles minimaal 3 en maximaal 5 keer een terminal. Vanwege de ligging van de RTW terminal (direct achter emplacement West) wordt in het model de RTW terminal veelal als eerste terminal bezoek gepland, waardoor automatisch de RTW terminal ook als laatste wordt bezocht. Dit uit zich in een hogere doorzet in vergelijking tot wat verwacht mag worden op basis van de oorspronkelijke lading verdeling.

In Tabel 11 is het aantal bezette terminalsporen en het aantal in gebruik zijnde terminalkranen weergegeven voor de scenario's Laag_Piek_Det en Laag_Piek_Exp. Van links naar rechts wordt getoond: de naam van de terminal; het aantal spoorlaadeenheden dat deze terminal per jaar verwerkt; het aantal kranen dat de terminal in het model bezit; het aantal sporen dat de terminal in het model bezit; het gemiddelde/het 90% interval/het 100% interval voor zowel het aantal bezette sporen als het aantal bezette kranen. In Tabel 12 zijn de waarden uit Tabel 11 omgerekend naar bezettingsgraden van zowel de kranen als de terminalsporen.

	Aantal Laadeenheden	Aantal Kranen	Aantal Sporen	Aantal kranen (links) en aantal sporen (rechts) bezet Laag_Piek_Det. [gem./<90%/100%]		Aantal kranen (links) en aantal sporen (recht) bezet Laag_Piek_Exp. [gem./<90%/100%]	
APMT	479415	6	12	4.0/6/6	4.4/7/15	4.0/6/6	4.8/9/15 ³⁸
RTW	887319	10	20	7.7/10/10	8.2/12/20	7.6/10/10	8.9/14/23
RWGEUR	1477810	17	34	12.6/16/17	12.8/16/22	12.5/17/17	13.2/18/32

TABEL 11: BEZETTING KRANEN EN TERMINALSPOREN LAAG_PIEK_DET EN LAAG_PIEK_EXP (BASIS SCENARIO)

	Laag_Piek_Det		Laag_Piek_Exp	
	Kranen	Sporen	Kranen	Sporen
APMT	66%	30%	66%	32%
RTW	77%	41%	76%	45%
RWGEUR	74%	37%	74%	38%

TABEL 12: BEZETTINGSGRADEN TERMINALKRANEN EN TERMINALSPOREN LAAG_PIEK_DET EN LAAG_PIEK_EXP (BASIS SCENARIO)

³⁸ Feitelijk staan er te veel treinen op de terminal. De verkeersleider in het model controleert aan de hand van het werkelijke aantal treinen op een terminal of er nog plek is voor andere treinen. Zo lang dit het geval is geeft de verkeersleider aan alle treinen die opvragen of er nog plek is op de terminal een bevestigend antwoord. De fout zit hem in het feit dat de verkeersleider na elk positief antwoord verzuimd een spoor te reserveren voor de betreffende trein op de terminal. Indien er nog één plek is op een terminal en 3 treinen vragen gelijktijdig of er nog plek is dan krijgt iedere trein een positief antwoord. Pas op het moment dat de treinen daadwerkelijk op de terminal arriveren wordt de inhoud van de terminal opgehoogd waardoor de terminal voor andere treinen vol is (maar op dat moment meer treinen op de terminal heeft staan dan sporen aanwezig). Het reserveren van een spoor op het moment dat een trein checkt of een terminal sporen vrij heeft is verzuimd te programmeren. Dit is bij de emplacementen wel gedaan. De fout heeft verder praktisch geen invloed op de output van het model aangezien er in de run van 300 dagen slechts 7 maal te veel treinen op de APMT en RTW terminal hebben gestaan.

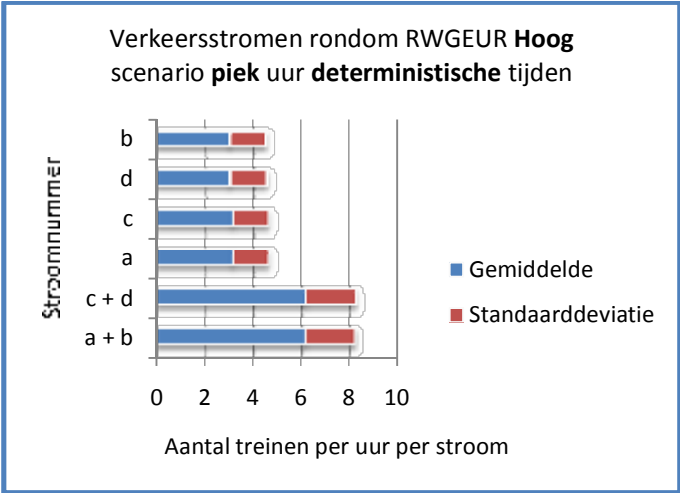
Net als bij de emplacementen fluctueert de bezetting op de terminals van uur tot uur sterk. Op basis van Tabel 12 blijkt dat de kraanbezettingen op de RTW en de RWGEUR terminal praktisch aan elkaar gelijk zijn, de bezetting van de kranen op de APMT terminal is 10% lager. Het aantal kranen is zo gekozen dat met 90% zekerheid gesteld kan worden dat een arriverende trein een 'vrije' terminalkraan aantreft. Indien bijvoorbeeld de kraanverdeling 5-9 16 zou bedragen (in plaats van 6 10 17) voor respectievelijk APMT, RTW en RWGEUR dan is er in 25%, 27% en 14% van de gevallen geen kraan beschikbaar voor de treinen die arriveren in het deterministische scenario en in 30%, 33% en 15% van de gevallen in het exponentiële scenario. Vanwege de grote fluctuaties in aanbod van treinen (evenals bij de emplacementen) dienen de terminals over voldoende kraan capaciteit te beschikken om deze fluctuaties op te kunnen vangen. Hierdoor bedraagt de totale bezettingsgraad van de kranen 'slechts' 75%.

De bezetting van de terminalsporen is aan de lage kant. Om het aantal terminalsporen te bepalen is uitgegaan van een vuistregel die het aantal kranen met 2 vermenigvuldigd om het aantal sporen te bepalen. Op basis van de modeluitkomsten is deze vuistregel wat aan de ruime kant en zou de bezetting van de sporen omhoog mogen richting de 75%. Dit kan wel gevolgen hebben voor het aantal benodigde emplacementsporen, paragraaf 7.7 gaat hier dieper op in.

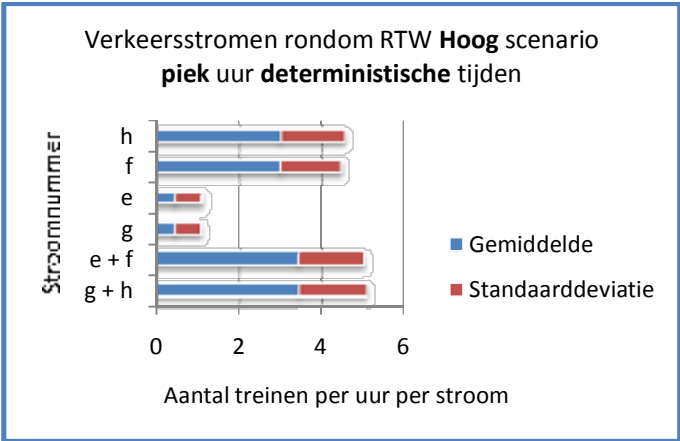
Het verschil tussen het scenario met deterministische tijden en het scenario met exponentiële tijden is evenals bij de emplacementen absoluut gezien niet bijzonder groot maar relatief ontstaat een extra behoefte van tussen de 13% en 28% meer terminalsporen.

.

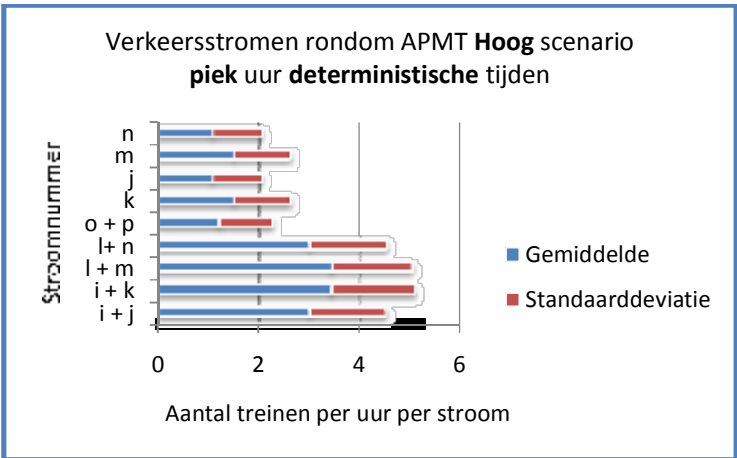
7.5 VERKEERSKNOOPPUNTEN



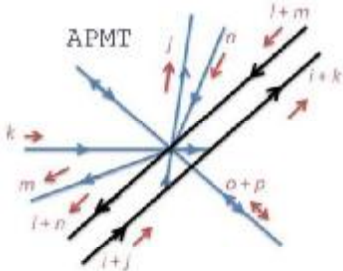
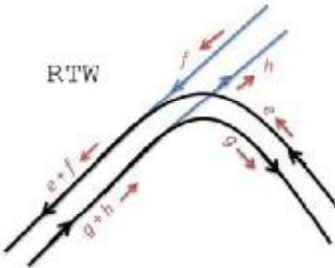
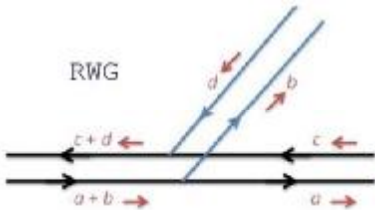
FIGUUR 41: VERKEERSSTROMEN RONDON RWGEUR HOOG_PIEK_DET (BASIS SCENARIO)

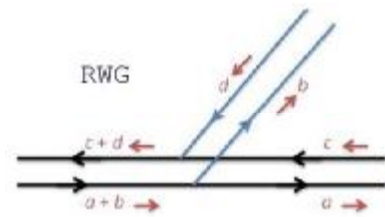
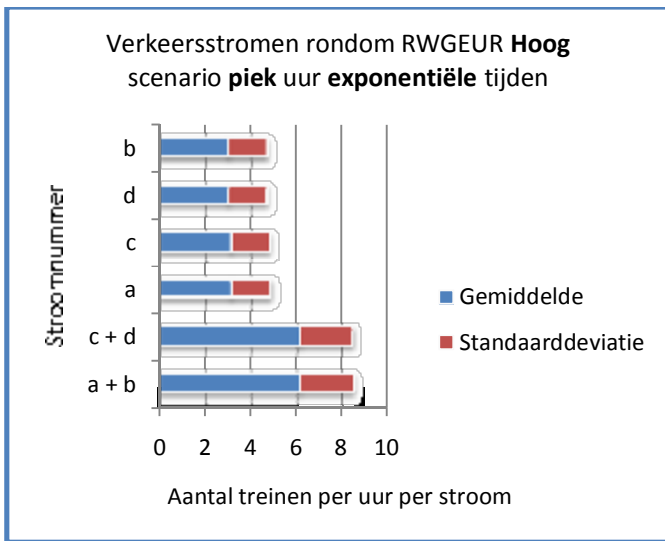


FIGUUR 42: VERKEERSSTROMEN RONDON RTW HOOG_PIEK_DET (BASIS SCENARIO)

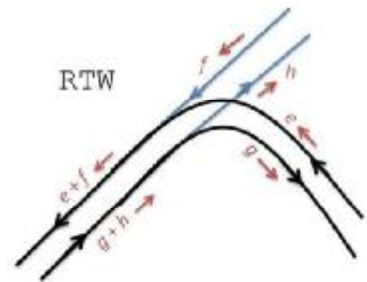
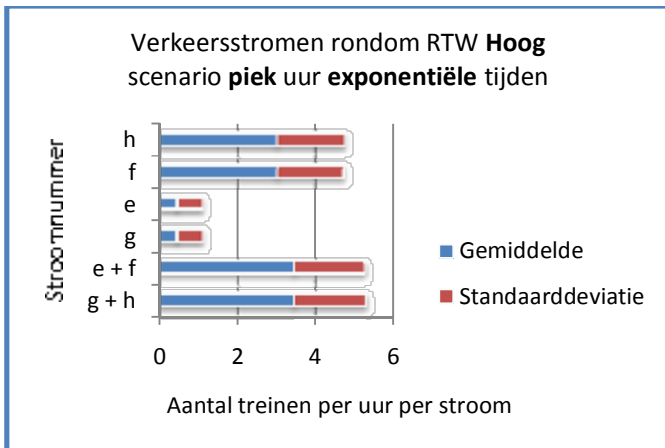


FIGUUR 43: VERKEERSSTROMEN RONDON APMT HOOG_PIEK_DET (BASIS SCENARIO)

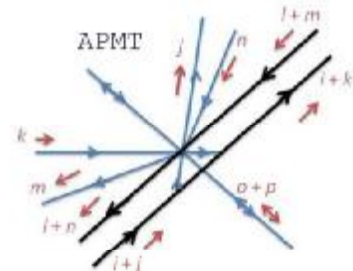
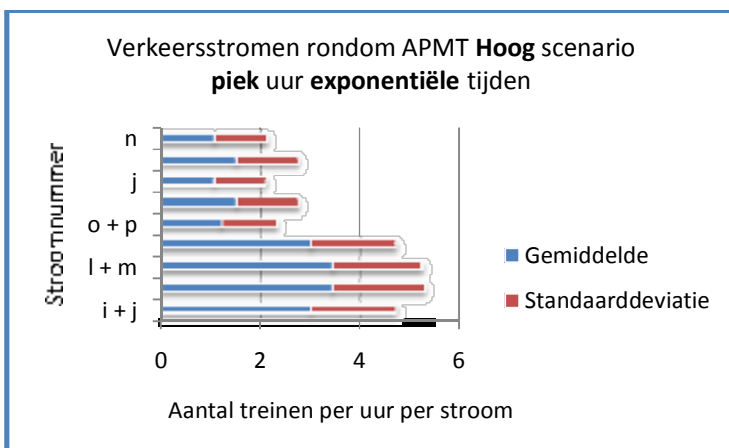




FIGUUR 44: VERKEERSSTROMEN RONDOM RWGEUR HOOG_PIEK_EXP (BASIS SCENARIO)



FIGUUR 45: VERKEERSSTROMEN RONDOM RTW HOOG_PIEK_EXP (BASIS SCENARIO)



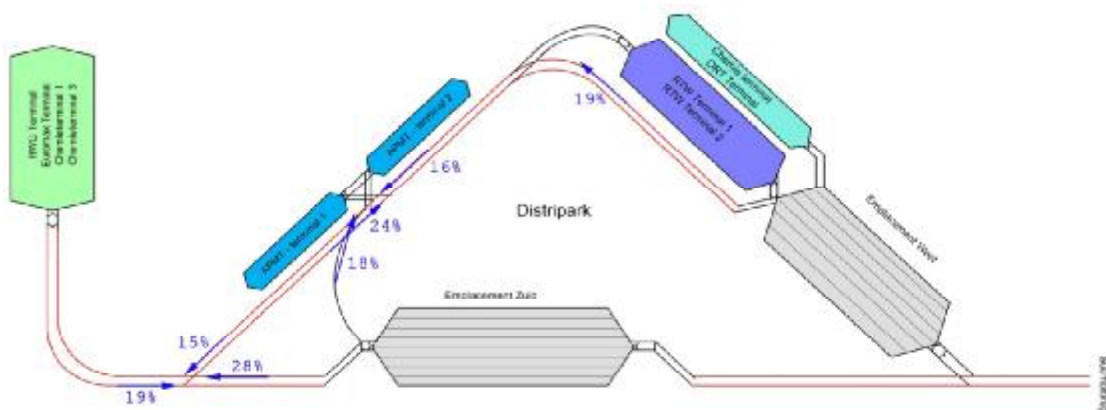
FIGUUR 46: VERKEERSSTROMEN RONDOM APMT HOOG_PIEK_EXP (BASIS SCENARIO)

ANALYSE VERKEERSSTROMEN RONDOM BELANGRIJKE KNOOPPUNTEN

De drukte op de knooppunten lijkt op het eerste gezicht mee te vallen, met name de ‘gemiddelde’ drukte. Desalniettemin is de spreiding in het aantal treinen per verkeersstroom aanzienlijk; zo is de standaarddeviatie van een groot deel van de stromen rondom de APMT terminal gelijk aan het gemiddelde.

Door gebruik te maken van de centrale limietstelling kan grofweg worden gesteld dat binnen 2 standaarddeviaties vanaf het gemiddelde, 95% van alle waarden in dat bereik liggen, dit geldt ook voor de Figuren 40-45. Als bijvoorbeeld naar de stromen rondom het RWGEUR knooppunt wordt gekeken in het scenario Hoog_Piek_Exp dan is het maximale aantal treinen in een simulatierun dat in een uur uit richting *b* komt 11 en het maximale aantal treinen dat uit richting *c* komt 10. Stroom *b* en *c* kruisen elkaar en stroom *d* takt enkele meter verderop in op stroom *c*. Het maximale aantal treinen uit beide richtingen samen (*b* en *c*) was 17 (9 en 8 treinen uit beide richtingen) met nog eens 5 intakkende treinen uit stroom *d*! Er is duidelijk sprake van piekverkeer, echter in 99.3% van de gevallen zijn er nooit meer dan 12 kruisingen gezamenlijk (in beide richtingen samen) per uur en in 90% van de gevallen nooit meer dan 9. Ook het aantal intakkende treinen uit stroom *d* is in 90% van de gevallen nooit meer dan 5.

Uit hoofdstuk 4 is bekend dat kruispunten verstorend kunnen werken. Om inzicht te krijgen in hoe vaak treinen nu daadwerkelijk hinder ondervinden (moeten remmen) is in het Laag_Piek_Det scenario bijgehouden hoeveel procent van de treinen op de knooppunten moeten remmen voor seinen die op rood staan. In Figuur 47 is dit grafisch weergegeven. De percentages behorende bij de pijlen geven aan welk deel van de treinen in die stroom moet remmen voor het naderende knooppunt wegens een rood sein.



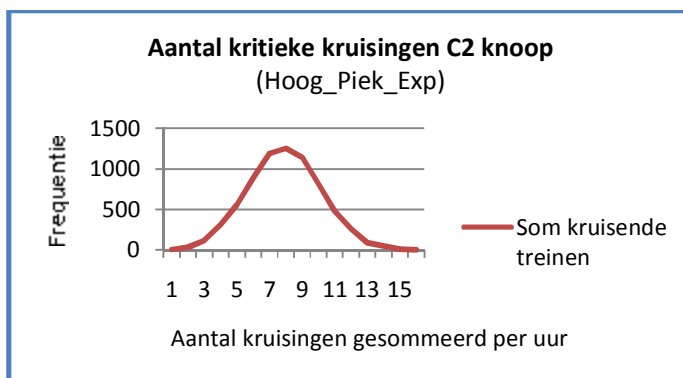
FIGUUR 47: PERCENTAGE TREINEN DAT MOET REMMEN LAAG_PIEK_DET (BASIS SCENARIO)

Het blijkt in de praktijk mee te vallen hoeveel procent van de treinen daadwerkelijk moet afremmen. De percentages liggen gemiddeld zo rond de 20%, hetgeen betekent dat 4 van de 5 treinen ongehinderde doorgang hebben op de grote verkeersknooppunten. Zelfs de treinen die van emplacement Zuid richting de APMT terminal rijden en daar dus 2 doorgaande spoorlijnen volledig moeten kruisen, hoeven slechts in 18% van de gevallen voor een rood sein te wachten, waarbij de gemiddelde wachttijd (voor alle wachtende treinen) voor dat kruispunt 6 minuten en 30 seconde bedraagt.

De scenario's waarin met exponentiële tijden wordt gesimuleerd hebben weinig invloed op de interne verkeersstromen. De spreiding in de standaarddeviatie is minimaal en varieert van 0% tot 15% hoger ten opzichte van de scenario's met deterministische tijden.

Naast de getoonde verkeersstromen in de Figuren 40-45 is de C2 knoop geanalyseerd. Het model maakt namelijk gebruik van een dienstregeling uit de Movares studie. De Movares studie heeft aangetoond dat de capaciteit van de C2 knoop 11 treinen (10 containertreinen, 1 bulktrain) per uur per richting bedraagt in het geval dat de treinen richting emplacement Zuid om en om kruisen met vertrekkende treinen vanaf emplacement West. Dit betekent dat de dienstregeling alleen dan toegepast kan worden indien er niet meer dan 10 kritieke kruisingen per uur voorkomen. De kruisingen tussen de vertrekkende stroom treinen vanaf emplacement West en de aankomende treinen richting emplacement Zuid worden als kritiek beschouwd. In het model kunnen exact 10 treinen per uur de Maasvlakte verlaten (ongeacht vanaf welk emplacement). Omdat in de praktijk de treinen richting de Maasvlakte niet exact om en om binnenkomen (eerst een trein met bestemming West en dan een trein met bestemming Zuid) ontstaan er mogelijk situaties waarbij het aantal kritieke kruisingen het maximale aantal van 10 overschrijden.

Gemiddeld genomen komen er exact 8 treinen per uur de Maasvlakte oprijden (in een piek uur) en vertrekken er dus ook gemiddeld 8 (met een maximum van 10). Om dit te onderzoeken is het aantal kritieke kruisingen per uur bijgehouden en in Figuur 48 weergegeven.



FIGUUR 48: AANTAL KRITIEKE KRUISINGEN PER UUR C2 KNOOP HOOG_PIEK_EXP (BASIS SCENARIO)

In precies 87% van de gevallen zijn er maximaal 10 kritieke kruisingen per uur in een piek uur in het Hoge Spoorslag scenario. In 13% van de gevallen ontstaat een situatie waardoor de Movares dienstregeling verstoord kan raken. Zo doet zich meerdere malen het scenario voor waarbij 6 treinen in een uur de Maasvlakte aandoen met bestemming emplacement Zuid en 8 treinen per uur de Maasvlakte verlaten vanaf emplacement West. Dit is weliswaar in het simulatiemodel mogelijk maar kan in de praktijk voor problemen zorgen.

7.6 CYCLUSTIJDEN EN WACHTTIJDEN

In Tabel 13 en Tabel 14 zijn de cyclustijden en wachttijden (inclusief de standaarddeviaties) per treinconcept in de basis scenario's weergegeven. Alle tijden zijn in uren:minuten.

		Cyclustijd gemiddeld	Cyclustijd standaarddeviatie	Wachttijd gemiddeld	Wachttijd standaarddeviatie
Laag_Norm_Det/ Laag_Piek_Det	Ideaal	7:20 / 7:30	0:03 / 0:17	0:19 / 0:24	0:03 / 0:10
	Opstap	7:05 / 7:22	0:03 / 0:23	0:27 / 0:34	0:03 / 0:12
	Bonte	6:30 / 6:36	0:03 / 0:11	0:16 / 0:20	0:03 / 0:08
Hoog_Norm_Det/ Hoog_Piek_Det	Ideaal	7:21 / 7:32	0:03 / 0:20	0:20 / 0:26	0:03 / 0:13
	Opstap	7:06 / 7:25	0:03 / 0:27	0:27 / 0:36	0:03 / 0:15
	Deel	25:58 / 26:10	0:03 / 0:19	0:19 / 0:25	0:03 / 0:12

TABEL 13: SAMENVATTING CYCLUS EN WACHTTIJDEN (BASIS SCENARIO'S DETERMINISTISCHE TIJDEN)

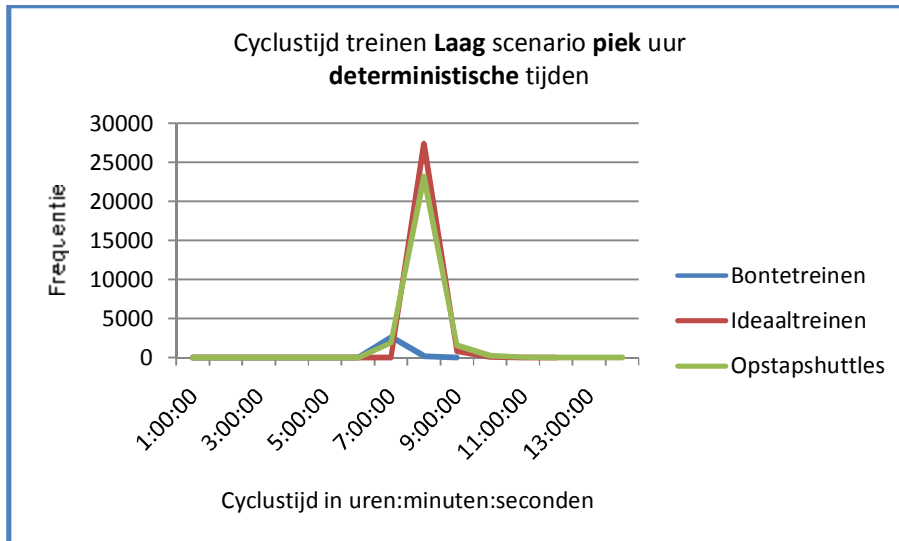
		Cyclustijd gemiddeld	Cyclustijd standaarddeviatie	Wachttijd gemiddeld	Wachttijd standaarddeviatie
Laag_Norm_Exp/ Laag_Piek_Exp	Ideaal	7:23 / 7:43	4:21 / 4:21	0:21 / 0:31	0:05 / 0:23
	Opstap	7:08 / 7:46	3:01 / 3:13	0:28 / 0:44	0:05 / 0:28
	Bonte	6:21 / 6:39	3:20 / 3:34	0:16 / 0:25	0:04 / 0:17
Hoog_Norm_Exp/ Hoog_Piek_Exp	Ideaal	7:24 / 7:48	4:24 / 4:25	0:21 / 0:33	0:05 / 0:27
	Opstap	7:10 / 7:49	3:01 / 3:14	0:28 / 0:46	0:05 / 0:31
	Deel	26:27 / 26:47	17:08 / 16:52	0:20 / 0:31	0:05 / 0:23

TABEL 14: SAMENVATTING CYCLUS- EN WACHTTIJDEN (BASIS SCENARIO'S EXPONENTIELE TIJDEN)

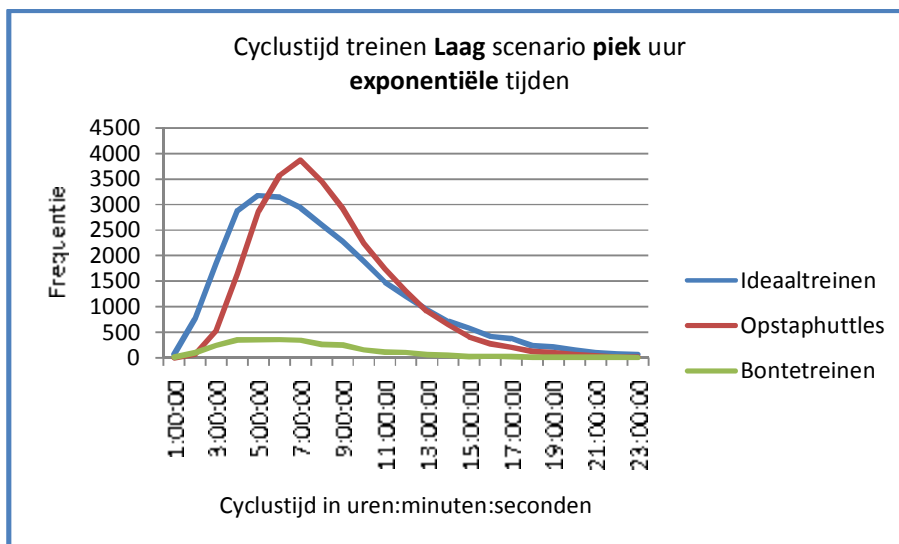
De gemiddelde cyclustijden over de verschillende scenario's zijn vrij constant. In een piek uur neemt de gemiddelde cyclustijd per treintype toe met 6 tot 40 minuten op een gemiddelde van ruim 7 uur (ten opzichte van een normaal uur). De variantie in de cyclustijd en in de wachttijd uit Tabel 13 in de scenario's met een piekbelasting van 4,2% (normaal uur) zijn minimaal. Zodra de piek toeneemt naar 9% nemen ook alle standaarddeviaties flink toe, in sommige gevallen met een factor 9!

Zoals op basis van de theorie verwacht mag worden hebben de scenario's waarin met exponentiële tijden wordt gewerkt een grote impact op de standaarddeviaties van zowel de cyclustijden als de wachttijden (in vergelijking tot deterministische tijden). De standaarddeviaties van de cyclustijden nemen toe van enkele minuten naar enkele uren en bij de wachttijden nemen ze toe met een factor 2. Vreemd is dat de gemiddelde wachttijd in een piekuur bij de exponentiële tijden met 20% stijgt ten opzichte van de deterministische tijden, terwijl deze in de normale uren nagenoeg gelijk blijven.

Om meer inzicht te geven in de cyclustijden per treinconcept zijn in Figuur 49 en in Figuur 50 de cyclustijden uitgezet in het Lage Spoorlag scenario met piek belasting voor zowel deterministische tijden als exponentiële tijden. Duidelijk zichtbaar is het verschil tussen het gebruik van deterministische tijden en het gebruik van exponentiële tijden (veel minder spreiding).



FIGUUR 49: CYCLUSTIJD TREINEN LAAG_PIEK_DET (BASIS SCENARIO)



FIGUUR 50: CYCLUSTIJD TREINEN LAAG_PIEK_EXP (BASIS SCENARIO)

7.7 GEVOELIGHEIDSANALYSE

In de komende paragraaf wordt de gevoeligheid van een aantal parameters onderzocht. Uit hoofdstuk 6 is bekend dat de volgende gevoeligheden worden onderzocht:

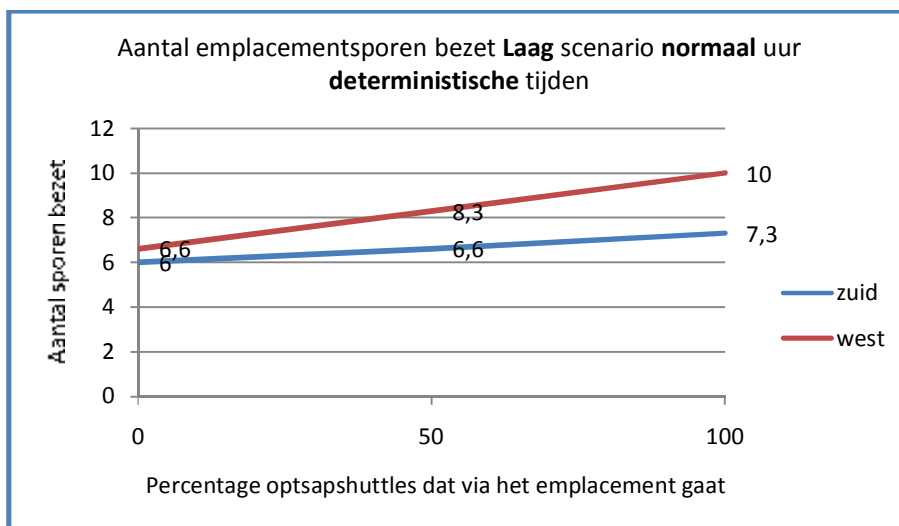
1. Een deel van de opstapshuttles laadt en lost tegelijk (0% en 100%).
2. Een deel van de opstapshuttles gaat via het emplacement (50% en 100%).
3. Alle lading wordt verdeeld over opstapshuttles.
4. Alle lading wordt verdeeld over ideaaltreinen.
5. Besturingsmodel waarin met vaste terminal slottijden wordt gewerkt.

LADEN EN LOSSEN OPSTAPSHUTTLES GELIJKTIJDIG

In het basis scenario Laag_Norm_Det zijn twee simulaties gedraaid waarbij de opstapshuttles in 50% van de gevallen tegelijk laden en lossen en een scenario waarbij alle opstapshuttles tegelijk laden en lossen. Zoals verwacht neemt hierbij de doorzet van de RTW terminal af omdat de opstapshuttles deze terminal nog maar 1 keer bezoeken. De verkeersstromen in het model nemen iets af en ook de cyclustijd en wachttijd van de opstapshuttles neemt af. De instelling heeft geen impact op de emplacementbezetting. In feite levert deze gevoeligheid geen nieuwe inzichten op, vandaar dat er hier niet dieper op in wordt gegaan.

OPSTAP VIA EMPLACEMENT

In Figuur 51 is de gevoeligheid uitgezet, gemeten in het aantal bezette emplacement sporen (vertikaal), tegen het percentage opstapshuttles uit het Spoorslag Laag scenario dat tussen twee terminal bezoeken in via het emplacement gaat (horizontaal).

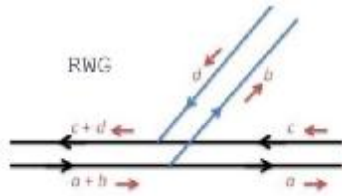
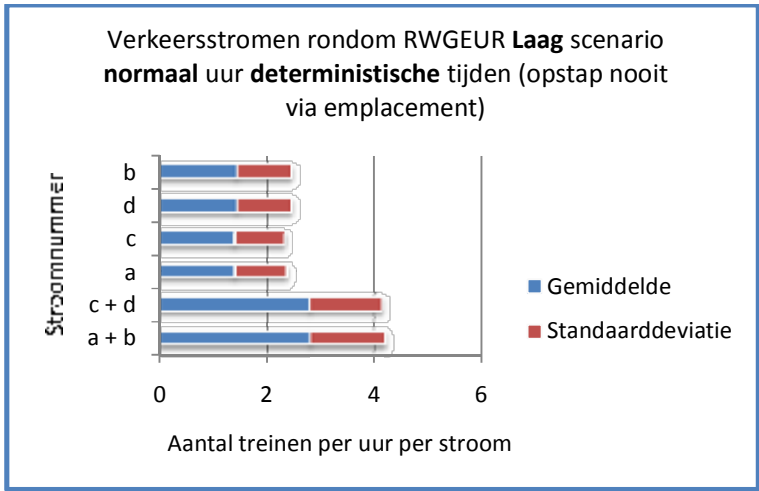


FIGUUR 51: GEVOELIGHEID EMPLACEMENTSPOREN OPSTAPSHUTTLES VIA EMPLACEMENT

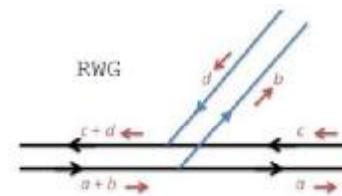
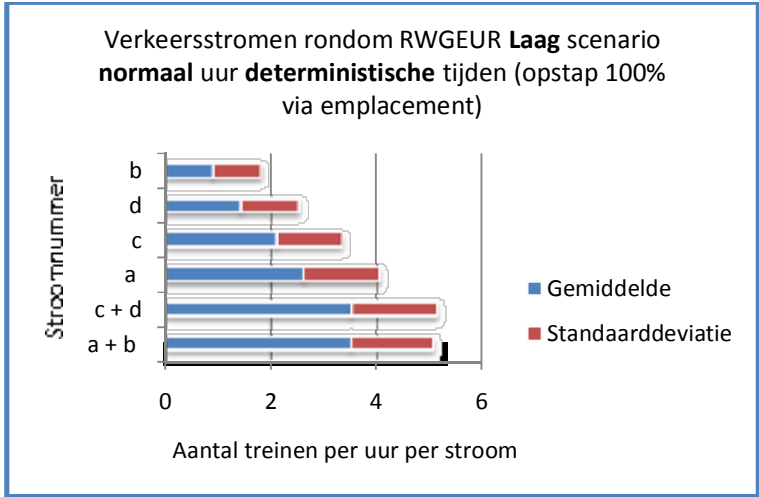
De bezetting op emplacement West neemt in verhouding steiler toe dan op Zuid, dit is het gevolg van de vele opstapshuttles waarbij de RTW terminal (en hieraan gekoppeld emplacement West) als vertrek en eindlocatie geldt.

Indien alle opstapshuttles in het Lage Spoorslag scenario tussen twee terminal bezoeken in via het emplacement gaan, dan levert dit een extra emplacementbehoefte op van 50% voor emplacement West en 20% voor emplacement Zuid. Dit betekent dat als deze gevoeligheidsanalyse representatief is voor de scenario's waarin met deterministische tijden wordt gewerkt, alle getallen uit Tabel 9 met 50% voor Emplacement West en 20% voor emplacement Zuid vermenigvuldigd mogen worden.

Doordat de opstapshuttles per definitie via het emplacement rijden levert dit andere verkeersstromen op dan in de basis scenario's. In Figuur 52 zijn de verkeersstromen rondom RWGEUR weergegeven in het Laag_Norm_Det scenario en in Figuur 53 zijn voor hetzelfde scenario de treinstromen weergegeven met als extra instelling dat de opstapshuttles via het emplacement rijden.



FIGUUR 52: GEVOELIGHEID TREINSTROMEN RONDOM RWGEUR 100% OPSTAPSHUTTLES NOOIT VIA EMPLACEMENT (LAAG_NORM_DET)



FIGUUR 53: GEVOELIGHEID TREINSTROMEN RONDOM RWGEUR 100% OPSTAPSHUTTLES ALLES VIA EMPLACEMENT (LAAG_NORM_DET)

ALLE LADING VIA OPSTAPSHUTTLES / ALLE LADING VIA IDEAAISHUTTLES

Het scenario waarin alle lading via opstapshuttles wordt vervoerd is een interessant scenario om te onderzoeken omdat dit scenario de meeste treinbewegingen op de Maasvlakte genereert. Het aantal treinbewegingen is direct van invloed op de output van het systeem omdat dit een hogere belasting geeft op de verkeersknooppunten.

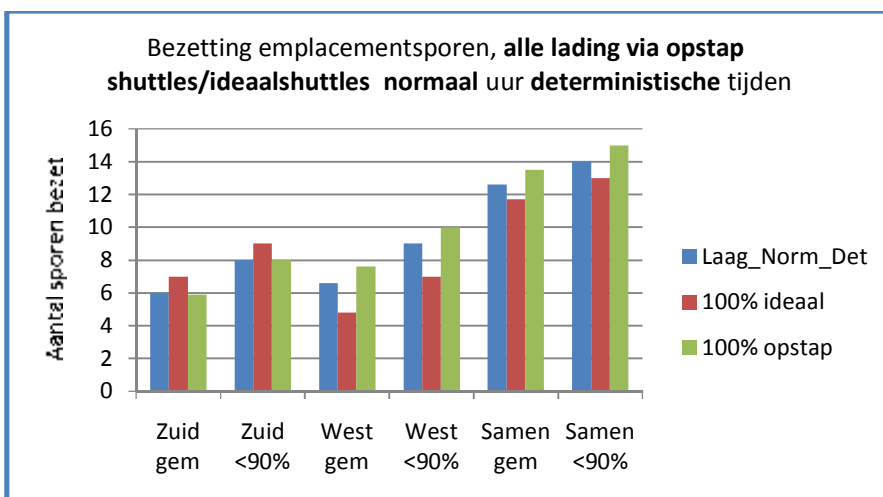
Figuur 54 toont de gevoeligheid ten opzichte van het benodigde aantal emplacementsporen, indien alle lading via opstapshuttles wordt vervoerd en indien alle lading via ideaalshuttles wordt vervoerd. Ter vergelijking is in de grafiek de bezetting op beide emplacement West en Zuid uit het basis scenario Laag_Norm_Det weergegeven.

Indien er alleen maar opstapshuttles worden ingezet heeft dit geen invloed op de bezetting van emplacement Zuid in vergelijking tot het Laag_Norm_Det scenario. Voor emplacement West heeft dit in een normaal uur tot gevolg dat er gemiddeld 1 spoor extra bezet is in vergelijking tot het Laag_Norm_Det scenario. Indien er alleen maar ideaaltreinen worden ingezet dan heeft dit op emplacement West tot gevolg dat er 2 tot 3 sporen minder nodig zijn in vergelijking tot het Laag_Norm_Det scenario en het 100% opstap scenario. Voor emplacement Zuid is de bezetting juist hoger indien er alleen maar ideaaltreinen worden ingezet. De verschillen tussen emplacement West en Zuid zijn voornamelijk te wijten aan de routes die de opstaptreinen en ideaaltreinen in het model rijden. Een betere vergelijking is mogelijk als gekeken wordt naar het aantal bezette sporen gezamenlijk. Hieruit blijkt dat het scenario 'alle lading via ideaaltreinen' de minste belasting heeft op de emplacementen en dat 'alle lading via opstapshuttles' de meeste belasting voor de emplacementen oplevert. In vergelijking tot het Laag_Norm_Det scenario levert het 100% opstap scenario 7% meer emplacementbehoefte op en het 100% ideaal scenario 8% minder emplacementbehoefte.

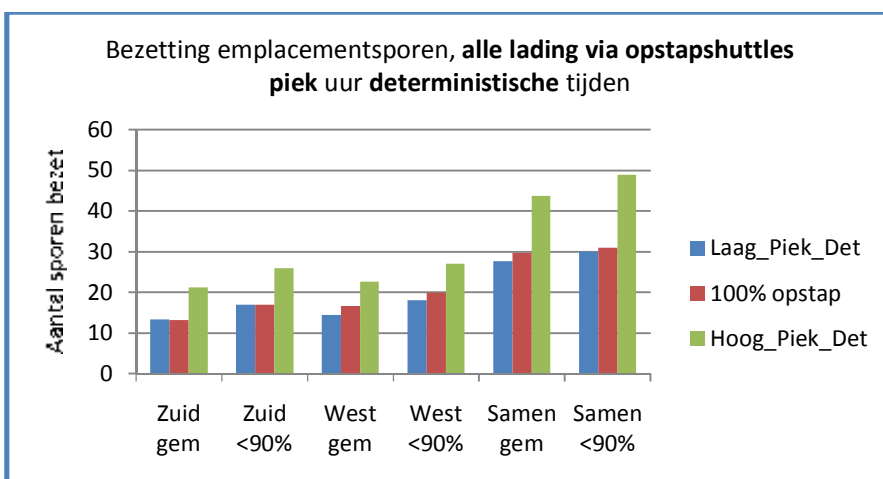
In Figuur 55 wordt voor het scenario waarin alleen opstapshuttles worden ingezet de emplacementbehoefte getoond. Ter vergelijking worden uit de basis scenario's zowel de Laag_Piek_Det als Hoog_Piek_Det als referentie getoond. De bezetting op de emplacementen is in verhouding niet toegenomen ten opzichte van een normaal uur (lage piek belasting). Het scenario 'alle lading via opstapshuttles' levert een iets hogere belasting op voor emplacement West ten opzichte van het Laag_Piek_Det scenario. Deze belasting is nog steeds aanzienlijk minder dan de belasting die het Hoog_Piek_Det scenario heeft op zowel emplacement West als op emplacement Zuid.

Om zicht te krijgen op wat voor invloed deze extra opstapshuttles hebben op de terminals, is in Figuur 56 de bezetting van de terminalsporen weergegeven in het geval dat alle lading via opstapshuttles verloopt. De verschillen ten opzichte van het basis scenario Laag_Piek_Det zijn minimaal.

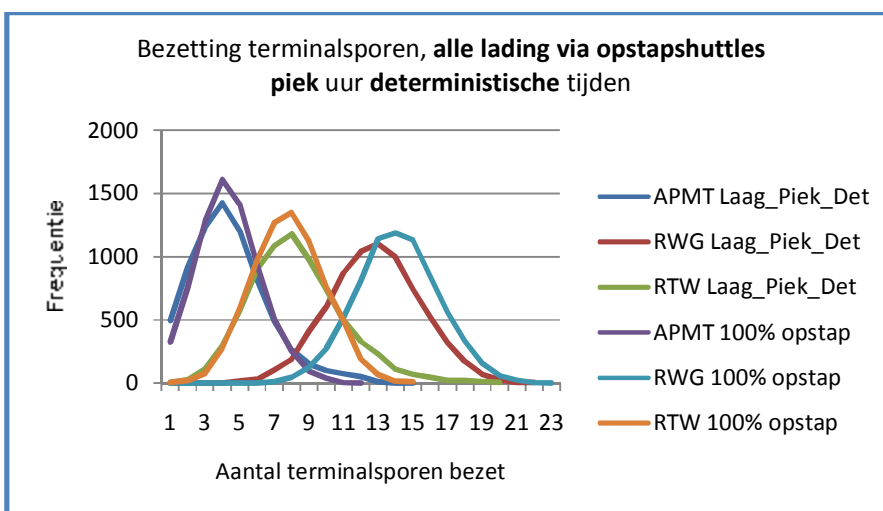
Als laatste gevoeligheid worden de verkeersstromen rondom de belangrijkste knooppunten in het model getoond in de Figuren 56-58. De uitkomsten hiervan worden besproken op bladzijde 91.



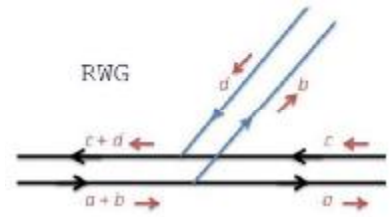
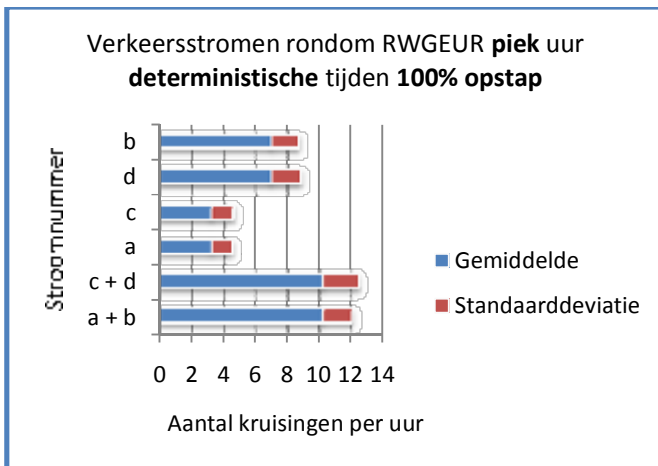
FIGUUR 54: GEVOELIGHEID AANTAL BEZETTE EMPLACEMENTSPOREN 100% OPSTAPSHUTTLES EN 100% IDEAAISHUTTLES (NORMAAL UUR)



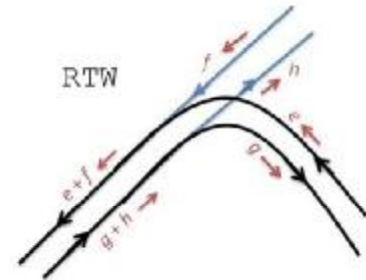
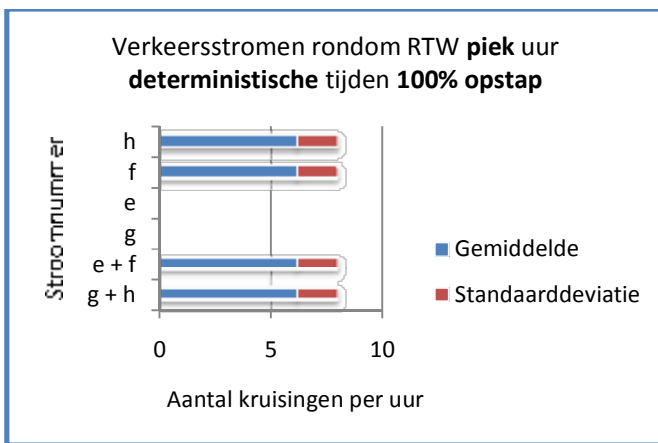
FIGUUR 55: GEVOELIGHEID AANTAL BEZETTE EMPLACEMENTSPOREN 100% OPSTAPSHUTTLES (PIEK UUR)



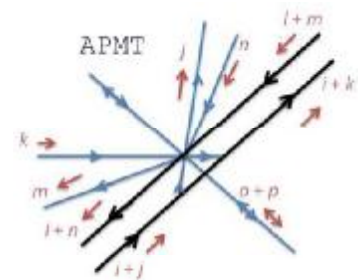
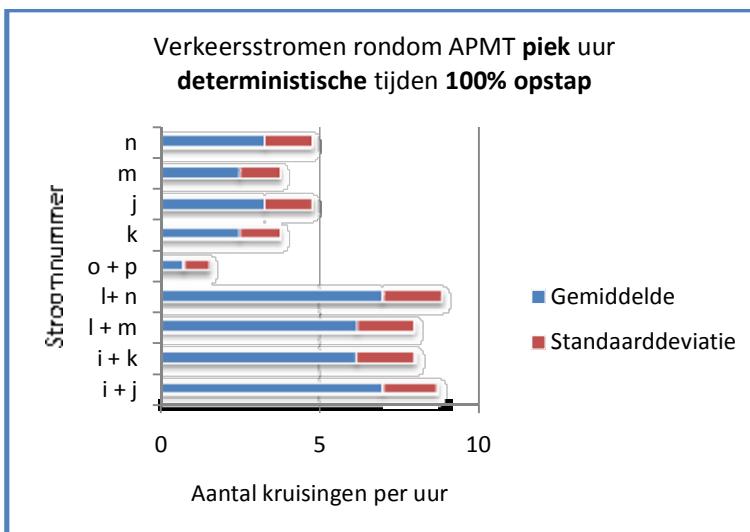
FIGUUR 56: GEVOELIGHEID AANTAL BEZETTE TERMINALSPOREN 100% OPSTAPSHUTTLES (PIEK UUR)



FIGUUR 57: GEVOELIGHEID VERKEERSSTROMEN RONDOM RWGEUR 100% OPSTAPSHUTTLES (PIEK UUR)



FIGUUR 58: GEVOELIGHEID VERKEERSSTROMEN RONDOM RTW 100% OPSTAPSHUTTLES (PIEK UUR)



FIGUUR 59: GEVOELIGHEID VERKEERSSTROMEN RONDOM APMT 100% OPSTAPSHUTTLES (PIEK UUR)

Kijkend naar de verkeerstromen in de Figuren 56 tot 58, zijn in vergelijking tot de basisscenario's, de verkeersintensiteiten rondom de belangrijke knooppunten flink toegenomen. Om te onderzoeken of deze toegenomen verkeersintensiteiten impact hebben op de cyclustijden en wachttijden van de opstapshuttles is in Tabel 15 de cyclustijd en de wachttijd van de opstapshuttles uitgezet tegen de cyclustijd en wachttijd uit het Laag_Piek_Det scenario. De gemiddelde tijden uit het Laag_Piek_Det scenario gesommeerd over alle opstapshuttles samen wordt weergegeven in de eerste rij. De tweede rij toont de gemiddelde tijden gesommeerd over alle opstapshuttles samen uit het scenario waarin alle lading via opstapshuttles verloopt. De derde rij toont uit het scenario '100% opstapshuttles' de gemiddelde tijden voor de opstap3shuttles, oftewel gesommeerd over alle opstapshuttles die 3 terminals aandoen. Alle tijden zijn in uren:minuten.

Statistieken Opstap-shuttle	Cyclustijd gemiddeld	Cyclustijd standaarddeviatie	Wachttijd gemiddeld	Wachttijd standaarddeviatie
Opstapshuttle uit Laag_Piek_Det	7:22	0:23	0:34	0:12
Opstapshuttle uit '100% opstapshuttles'	7:22	0:12	0:33	0:09
Opstap3shuttle uit '100% opstapshuttles'	7:34	0:14	0:39	0:11

TABEL 15: CYCLUS EN WACHTTIJDEN 100% OPSTAPSHUTTLES

Te zien is dat de gemiddelde cyclustijd en wachttijd gelijk is gebleven ten opzichte van het Laag_Piek_Det scenario maar dat de standaarddeviaties lager zijn (bijna 50% in het geval van de cyclustijd). Zelfs de standaarddeviatie van de opstap3shuttle is lager dan de standaarddeviatie van het gemiddelde van alle opstapshuttles uit het Laag_Piek_Det scenario. Het gebruik van één en hetzelfde type trein blijkt een positieve invloed op de spreiding van de cyclustijd en wachttijd te hebben.

ANALYSE BESTURINGSMODELLEN

Het gedrag van het model bij het gebruik van het FCFS besturingsmodel is in de afgelopen paragrafen duidelijk geworden. In de komende sectie worden speciale slottijden voor de terminals opgesteld; noodzakelijk om een simulatie te draaien waarbij gebruik wordt gemaakt van het ‘terminal slottijden’ besturingsmodel. Hiervoor is allereerst gedetailleerd inzicht nodig in de doorzet van de verschillende terminals. Een analyse van deze doorzet is te vinden in Tabel 16 en Tabel 17 voor de scenario’s Laag_Norm_Det en Laag_Piek_Det.

TH RWG		TH APMT		TH RTW	
Gemiddelde	2.79712	Gemiddelde	1.450492	Gemiddelde	3.0914
Standaardfout	0.016365	Standaardfout	0.013039	Standaardfout	0.016794
Mediaan	3	Mediaan	1	Mediaan	3
Modus	3	Modus	1	Modus	3
Standaarddeviatie	1.390599	Standaarddeviatie	1.107989	Standaarddeviatie	1.427067
Steekproefvariantie	1.933765	Steekproefvariantie	1.227639	Steekproefvariantie	2.03652
Kurtosis	-0.08115	Kurtosis	0.15848	Kurtosis	-0.05169
Scheefheid	0.306701	Scheefheid	0.628638	Scheefheid	0.276619
Minimum	0	Minimum	0	Minimum	0
Maximum	8	Maximum	7	Maximum	9
Som = totale doorzet	20198	Som	10474	Som	22323
Aantal uur gemeten	7221	Aantal	7221	Aantal	7221
Betrouwbaarheidsniveau(95.0%)	0.032079	Betrouwbaarheidsniveau(95.0%)	0.02556	Betrouwbaarheidsniveau(95.0%)	0.032921

TABEL 16: ANALYSE DOORZET PER TERMINAL LAAG_NORM_DET (BASIS SCENARIO)

TH RWG		TH APMT		TH RTW	
Gemiddelde	5.994738	Gemiddelde	3.109542	Gemiddelde	6.647971
Standaardfout	0.023488	Standaardfout	0.018774	Standaardfout	0.024336
Mediaan	6	Mediaan	3	Mediaan	7
Modus	6	Modus	3	Modus	6
Standaarddeviatie	1.995903	Standaarddeviatie	1.595369	Standaarddeviatie	2.067997
Steekproefvariantie	3.983629	Steekproefvariantie	2.545201	Steekproefvariantie	4.276613
Kurtosis	0.11208	Kurtosis	0.09302	Kurtosis	0.09166
Scheefheid	0.133858	Scheefheid	0.327497	Scheefheid	0.158154
Minimum	0	Minimum	0	Minimum	0
Maximum	14	Maximum	10	Maximum	15
Som = totale doorzet	43288	Som	22454	Som	48005
Aantal uur gemeten	7221	Aantal	7221	Aantal	7221
Betrouwbaarheidsniveau(95.0%)	0.046043	Betrouwbaarheidsniveau(95.0%)	0.036803	Betrouwbaarheidsniveau(95.0%)	0.047706

TABEL 17: ANALYSE DOORZET PER TERMINAL LAAG_PIEK_DET (BASIS SCENARIO)

Enkele interessante waarden zijn gearceerd zoals het gemiddelde, de standaarddeviatie, de kurtosis en het maximum. De doorzet van de terminals in de piekuren is exact 2,15 maal zo hoog als in een normaal uur en de standaarddeviaties zijn in de piekuren grofweg 44% hoger in vergelijking met een normaal uur. De lage kurtosis wijst op een platte verdeling, hetgeen betekent dat de variantie voornamelijk wordt veroorzaakt door een groter deel minder extreme waarden. Desalniettemin doen zich geregeld extreme situaties voor, het bewijs hiervoor is te vinden in de hoge maxima per terminal, in het geval van de APMT terminal een maximum ter grootte van 5 maal de verwachtingswaarde.

Op basis van een analyse van Tabel 16 en Tabel 17 is het mogelijk om verschillende slottijden voor de terminals afzonderlijk op te stellen, die de spreiding waarmee de terminals treinen 'weg sturen' trachten te beperken. Dit zou in theorie een positieve invloed moeten hebben op bijvoorbeeld het aantal benodigde emplacementsporen. Minder spreiding betekent namelijk minder variabiliteit, waardoor minder emplacementsporen noodzakelijk zijn.

Er worden slottijden voor zowel een normaal uur als een piek uur opgesteld. Voor de piekuren zijn op basis van Tabel 17 de volgende 'slots' opgesteld:

1. Piek uur: RWGEUR 6 treinen per uur, APMT 4 treinen per uur en RTW 7 treinen per uur.
2. Piek uur: RWGEUR 7 treinen per uur, APMT 4 treinen per uur en RTW 8 treinen per uur.
3. Piek uur: RWGEUR 20 treinen per 3 uur, APMT 11 treinen per 3 uur en RTW 21 treinen per 3 uur.

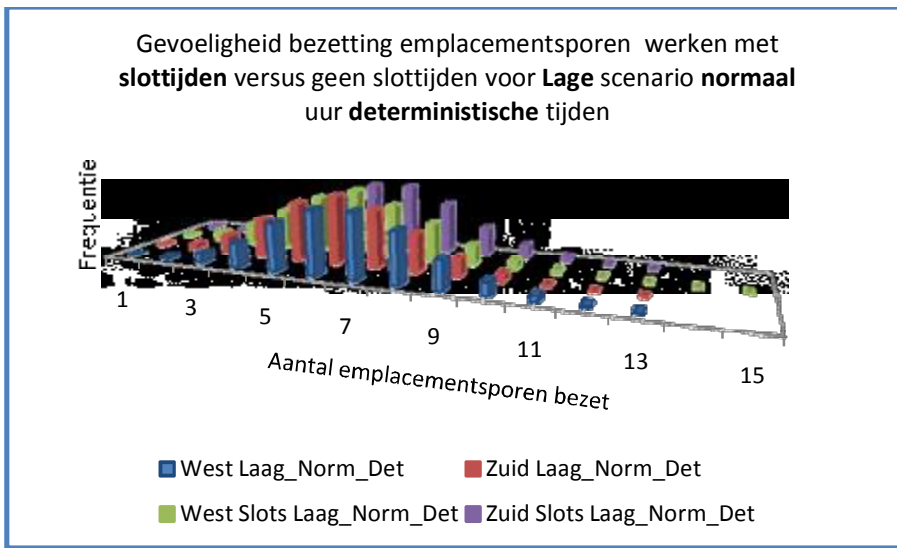
Voor een normaal uur zijn op basis van Tabel 16 de volgende 'slots' opgesteld:

1. Normaal uur: De terminals mogen precies het gemiddelde plus een halve standaard deviatie aan treinen per uur los laten.
2. Normaal uur: Via trial en error is een zo strak mogelijke verdeling gezocht waarbij RWGEUR 1 trein per 680 seconden mag loslaten, RTW 1 trein per 850 seconden en APMT 1 trein per 1350 seconden. Hiermee wordt voorkomen dat aan het einde van het uur alle treinen tegelijk vrij worden gegeven. Maximaal komen er dus 5.2 treinen per uur vanaf RWGEUR, 2.6 treinen per uur vanaf APMT en 4.2 treinen per uur vanaf de RTW terminal.

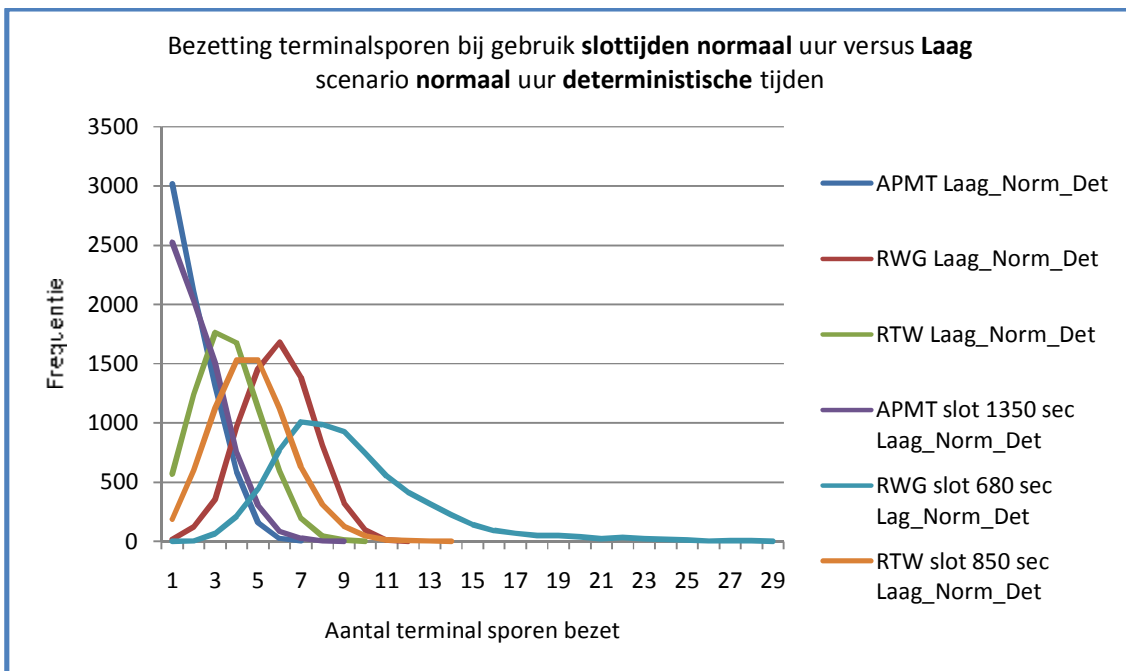
De uitkomsten van deze runs zijn allerm minst verbazend. In de runs waarbij een piek uur is gesimuleerd zorgt optie 1 ervoor dat de RWGEUR terminal problemen ondervindt met het 'verwerken' van de treinen waardoor het model op een gegeven moment vastloopt doordat alle emplacementsporen en terminalsporen bezet zijn. In feite zijn de slottijden te nauw, met als gevolg dat het aantal treinen op de terminal oploopt waardoor de terminalsporen en vervolgens de emplacementsporen overbelast raken. De opties 2 en 3 zijn wel 'levensvatbaar' maar leveren verder geen verbeteringen op in emplacementbehoefte in vergelijking tot het laag_Piek_Det scenario dat gebruik maakt van het FCFS besturingsmodel.

Optie 1 in het 'normaal uur' scenario zorgt er wederom voor dat de terminalsporen en emplacementsporen overbelast raken en het model 'vol' loopt. De slottijden zijn te strak afgesteld en laten geen ruimte voor de noodzakelijke spreiding. De tweede optie³⁹ in het normale uur scenario laat voldoende ruimte over voor de spreiding waarmee treinen de terminals verlaten maar levert geen significante verbetering op in emplacementbehoefte. De optie levert echter wel een significante verslechtering op voor de bezetting op de terminals! In Figuur 60 is te zien dat de emplacementbehoefte nauwelijks is veranderd. Uit Figuur 61 blijkt duidelijk dat het aantal bezette sporen op de terminals sterk is toegenomen door het gebruik van slottijden.

³⁹ Deze optie is ook gesimuleerd voor het Laag_Piek_Exp scenario en hierbij liep het model wederom vol. In feite zijn slottijden nog lastiger te hanteren in het geval de fluctuaties in output heftiger zijn, zoals in het exponentiële scenario.



FIGUUR 60: GEVOELIGHEID BEZETTING EMPLACEMENTSPOREN SLOTTIJDEN VERSUS FCFS BESTURING (LAAG SCENARIO NORMAAL UUR)

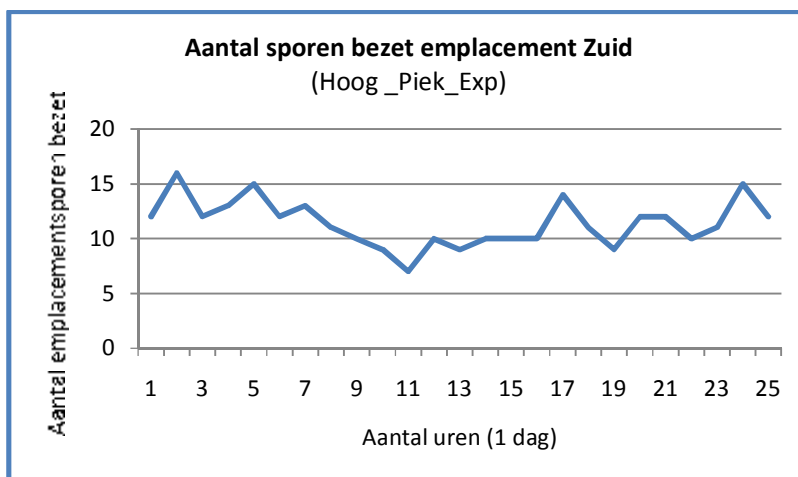


FIGUUR 61: GEVOELIGHEID BEZETTING TERMINALSPOREN SLOTTIJDEN VERSUS FCFS BESTURING (LAAG SCENARIO NORMAAL UUR)

7.8 INZICHTEN

In de komende paragraaf worden de belangrijkste inzichten besproken die uit de simulatie resultaten naar voren komen. Er wordt getracht om een verklaring te geven voor de wijze waarop het simulatiemodel zich gedraagt.

Er is een grote spreiding waarneembaar in de bezetting op zowel de emplacementen als op de terminals. Het aantal treinen dat op een emplacement staat fluctueert sterk van uur tot uur. In Figuur 62 is het aantal emplacementssporen op emplacement Zuid uitgezet in de loop van 24 uur voor het Hoog_Piek_Exp scenario.



FIGUUR 62: BEZETTING EMPLACEMENT ZUID OVER EEN DAG

De vraag rijst of er in werkelijkheid überhaupt een systeemevenwicht ontstaat. In het model is een tijdvenster van 400 uur (bijna 17 dagen) nodig om een stabiele evenwichtsituatie te bereiken. In werkelijkheid fluctueert het aanbod van treinen van dag tot dag en staat het treinverkeer op zondag praktisch stil. Een van de weinige oplossingen om deze fluctuaties op te kunnen vangen is voldoende emplacementssporen aanleggen.

Een mogelijke verklaring voor de sterk fluctuerende emplacementbezetting kan is dat het aanbod van treinen dermate stochastisch is, dat de stochastiek dominant wordt. Deze stochastiek wordt veroorzaakt door de verschillende treinconcepten, het wisselende aanbod van treinen tussen de emplacementen (dit is niet om en om gelijk verdeeld) en de wisselende procestijden. Extra variantie in de vorm van exponentiële bedieningstijden heeft dan nog slechts beperkte invloed op de toch al sterk wisselde emplacementbezetting. Het sturen van deze stochastiek blijkt lastig te zijn ondermeer omdat over de lange termijn genomen de bezetting op de emplacementen normaal verdeeld blijkt te zijn (centrale limietstelling). Met andere woorden, de spreiding op de lange termijn in de bezetting van de emplacementen is niet bijzonder groot. De statische slottijden uit het model dienen voldoende speling te bieden om deze spreiding op de lange termijn op te vangen. Hiermee schieten zij hun doel van spreiding reductie voorbij. Dynamische slottijden zouden betere resultaten kunnen opleveren, hoofdstuk 8 gaat hier verder op in.

Het verschil in modeloutput tussen het Spoorslag Hoog en Spoorslag Laag scenario's is de emplacementbehoefte. Het Spoorslag Hoog scenario heeft een significant hogere emplacementbehoefte dan het Spoorslag Laag scenario. Dit is vrijwel volledig te wijten aan de extra belasting die de deeltreinen op de emplacementsporen hebben. Een deeltrein verblijft gemiddeld 24 uur in de haven, waardoor elke deeltrein die de Maasvlakte bezoekt één volledig emplacementspoor opeist. De deeltreinen leveren weliswaar extra verkeer op ten opzichte van de bontetreinen maar dit is bijna niet terug te vinden in de modeloutput.

Het scenario 'alle lading via opstaptreinen' in een piek uur, laat duidelijk zien dat het model goed overweg kan met een hoog aantal treinbewegingen. Toch is een relatie met de wachtrij literatuur uit paragraaf 4.7 waarneembaar. In de drukke uren (meer dan 12 kruisingen en 8 intakkende treinen per uur) ontstaan bij de verkeersknooppunten wachtrijen van treinen, dit is ook te merken aan de standaarddeviaties van de wachttijden. Om deze wachtrijen te reduceren dient de variantie naar beneden te worden gebracht door bijvoorbeeld gebruik te maken van een dienstregeling. Op basis van Tabel 3 (oversteekkansen Railned) is een dienstregeling onmogelijk en biedt alleen een ongelijkvloerse kruising uitkomst. Uit de Movares studie blijkt tevens dat het niet mogelijk is om meer dan 7 treinen per uur per richting te laten kruisen zonder gebruik te maken van wachtsporen en extra parallelle sporen. Met andere woorden, de ontstane wachtrijen lijken onvermijdelijk en het gehanteerde besturingssysteem FCFS blijkt goed te functioneren.

Verwacht wordt dat in werkelijkheid de terminals slechter zullen presteren dan in het simulatiemodel. De terminals in het model zijn zo ingericht dat deze in feite nooit een bottleneck vormen en in 90% van de gevallen altijd voldoende kraancapaciteit en spoorcapaciteit hebben. Het gevolg is dat in 90% van de gevallen ten hoogste 1 trein op kraancapaciteit staat te wachten. Er treden bijna geen wachtrijen op voor de kranen met als gevolg dat er minder terminalsporen nodig zijn. Ook zijn de terminals in het model 'gegroepeerd' (meerdere terminals samengevoegd) terwijl deze in werkelijkheid uit meerdere onderling onafhankelijke terminals bestaan. De fluctuaties in aanbod van treinen wordt hierdoor opgevangen/gespreid over 1 grote terminal terwijl in werkelijkheid elke terminal zijn eigen fluctuaties moet opvangen. Vergelijk de fluctuaties in bezetting van de emplacementsporen, waarbij met minder sporen afgedaan kan worden als er gebruik wordt gemaakt van 1 groot emplacement in plaats van 2 kleine emplacementen. De cyclustijd van de treinen op de terminals zal hierdoor toenemen en uit Formule 23 is af te leiden dat de WIP hierdoor zal stijgen.

$$WIP = CT \times TH \quad (23)$$

Indien er voldoende terminalsporen aanwezig zijn kan de WIP toenemen zonder dat dit grote gevolgen heeft voor de rest van het systeem. Zodra een terminal geen plek meer heeft (alle terminalsporen staan vol) heeft dit direct invloed op de emplacementen en overige terminals. Een tweede punt van aandacht is dat in het simulatiemodel een terminalkraan slechts één trein tegelijk behandelt. In werkelijkheid is een kraan vaak met meerdere treinen tegelijk bezig, zowel laden als lossen. Dit betekent dat in de praktijk zowel de variantie in de doorzet van de terminals als de cyclustijden en standaarddeviaties van de cyclustijden hoger zijn dan uit het simulatiemodel blijkt.

7.9 SAMENVATTING

In het Spoorslag Laag scenario varieert de emplacementbehoefte tussen de 35 en 37 sporen. In het Spoorslag Hoog scenario is dit tussen de 53 en 56 sporen. Hierbij is een betrouwbaarheid van 90% aangehouden, het aantal noodzakelijke sporen stijgt met 30% tot 40% indien een betrouwbaarheid van 100% gewenst is. De bezetting van zowel de terminalsporen als de terminalkranen is aan de lage kant, verwacht wordt dat deze in werkelijkheid hoger is.

In het hele model doen zich nergens opstoppen voor, de doorstroming is zeer goed, zelfs met uitzonderlijk hoge treinaantallen. Gemiddeld dient 20% van de treinen die een knooppunt benaderen af te remmen. De cyclustijden van de verschillende treinmodellen is ongeveer rond de 7 uur met uitzondering van de deeltreinen die een cyclustijd hebben van 26 uur. De standaarddeviaties van de cyclustijden en wachttijden nemen in een piek uur fors toe in vergelijking tot een normaal uur.

Indien alle opstapshuttles tussen twee terminalbezoeken in via het emplacement gaan dan zijn 30% meer emplacementsporen nodig. De bezetting op de emplacementen fluctueert sterk van uur tot uur. Het is niet mogelijk om deze spreiding door middel van statische regels naar beneden te brengen. Verwacht wordt dat dynamische regels uitkomst kunnen bieden.

8. CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN

In dit hoofdstuk worden de belangrijkste conclusies en aanbevelingen besproken. Enkele conclusies van algemene aard worden gesteld waarna er steeds meer op detailniveau aanbevelingen worden gedaan.

8.1 CONCLUSIES

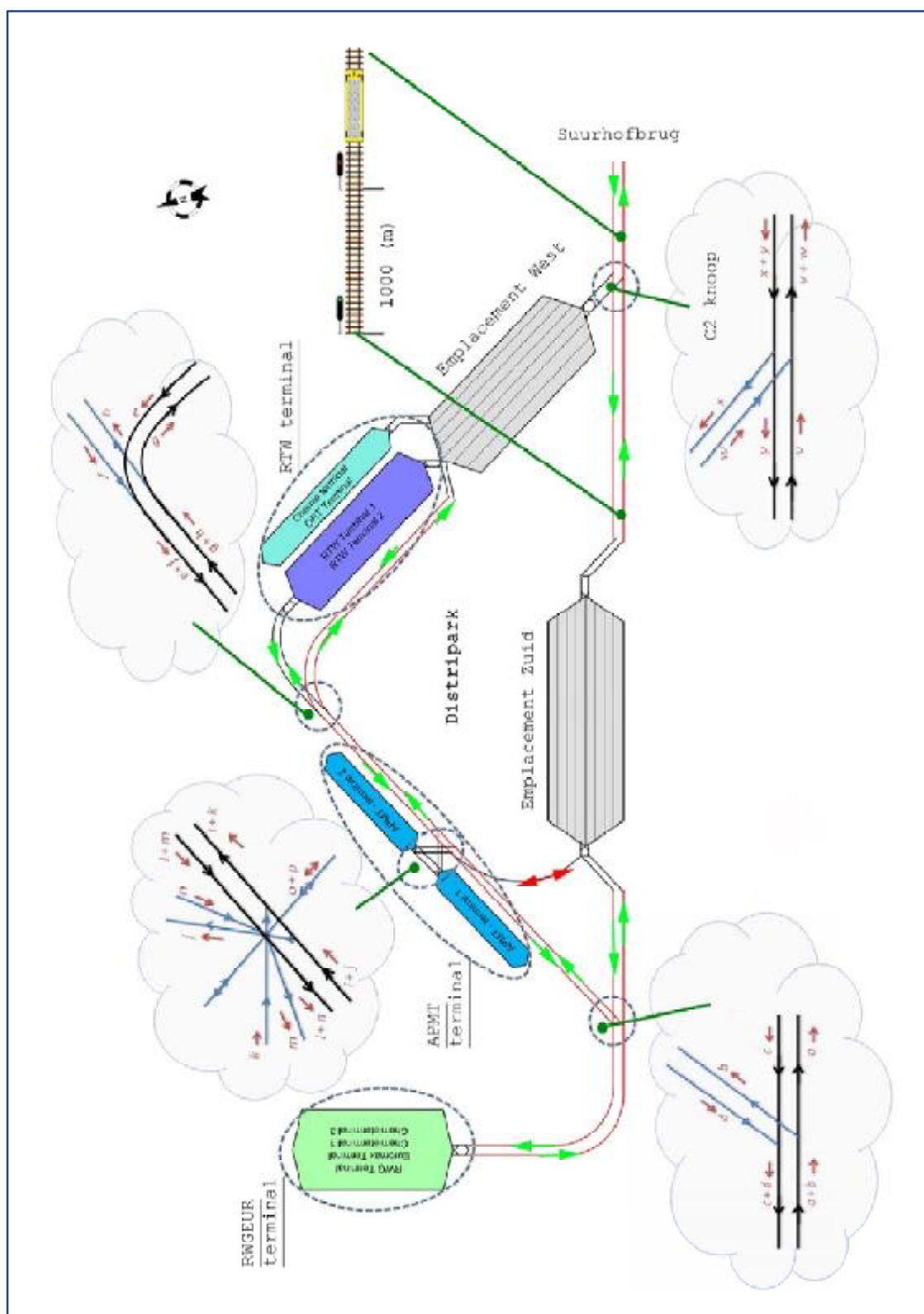
Centraal in dit onderzoek staat de vraag: *Onder welke voorwaarden beschikt de geplande railinfrastructuur op de tweede Maasvlakte over voldoende capaciteit om de verwachte volumes in treinaantallen in het jaar 2033 af te kunnen handelen?* Om hierop antwoord te geven dient inzicht verkregen te worden in de proceskarakteristieken van de verschillende treinmodellen (in termen van verblijftijden, doorlooptijden en bezetting op de emplacementen en terminals) bij gegeven input en gehanteerd besturingsysteem. Hiervoor zijn vier onderzoeksvragen gedefinieerd. De eerste twee onderzoeksvragen stellen de inputparameters van het simulatiemodel scherp en vormen de vertaalslag van de werkelijke spoorlay out naar een modellay out.

Om het systeem vast te leggen wordt gebruik gemaakt van vaste en variabele inputparameters. De vaste parameters zijn de treinlengte (650 meter), maximale snelheid spoorlijn (11 m/s), maximale snelheid op emplacementen/terminals (3 m/s), aanzet treinen ($0,2 \text{ m/s}^2$), remvertraging treinen ($0,5 \text{ m/s}^2$), blokafstand op spoorlijnen (1000 1200 meter). De variabele parameters vormen de parameters waarvan de impact op de modeluitvoer verder onderzocht dient te worden. Het betreft de wijze waarop de verwachte ladingomvang in het jaar 2033 verdeeld wordt over de vier geïntroduceerde treinconcepten (ideaaltreinen, opstapshuttles, bontetreinen en deeltreinen), de routes die de verschillende treinen over de Maasvlakte rijden, het aantal treinen dat in een piekuur en een normaal uur de Maasvlakte aandoet, de procestijden op de terminals en op de emplacementen.

Gebruik makend van de lay out zoals weergegeven in Figuur 64 (hierin is een vertaling gemaakt van de bestaande 8 terminals naar 3 terminals in het model) is door middel van 8 verschillende simulatie scenario's (zie Figuur 63) onderzocht wat de invloed van elk scenario is op modeloutput. Naast deze 8 basis scenario's is van enkele modelparameters apart de gevoeligheid onderzocht.



FIGUUR 63: BASIS SCENARIO'S SIMULATIEMODEL



FIGUUR 64: LAY OUT SIMULATIEMODEL

In geen enkel scenario doen zich hinderlijke opstoppen voor die grote invloed hebben op de modeloutput; de doorstroming is in feite goed tot zeer goed. Dit is voornamelijk te danken aan de maximaal toegestane snelheid van 40 km/u en de gekozen blokindeling van 1000 1200 meter, waardoor een goede balans ontstaat tussen veiligheid enerzijds en doorzet anderzijds. Aangenomen wordt dat de spoor lay out zoals deze in het masterplan is opgenomen met voldoende zekerheid het verwachte aantal treinen kan afhandelen dat in het jaar 2033 wordt verwacht. Er dient hierbij wel opgemerkt te worden dat twee extra modelveronderstellingen hier aan ten grondslag liggen: Het van blok naar blok rijden van treinen en de toepassing van de prioriteringsregels FCFS op alle beslismomenten. Meer hierover in paragraaf 8.2.

Eén van de belangrijkste prestatiecriteria is de emplacementbehoefte. Zowel het Spoorslag Hoog scenario (inzet van ideaaltreinen, opstapshuttles en deeltreinen) als het Spoorslag Laag scenario (inzet van ideaaltreinen, opstapshuttles en bontetreinen) leveren gemiddeld genomen bijna identieke emplacementbezettingen op ten opzichte van het Spoorslag rekenmodel (zie Bijlage D en E). Een tekortkoming van de Spoorslag berekeningen is dat deze analytisch zijn en geen rekening houden met de stochastiek die optreedt door de interactie tussen terminals en emplacementen. Deze stochastiek heeft tot gevolg dat het aantal benodigde emplacementsporen hoger uitkomt dan op basis van Spoorslag verondersteld wordt.

Tabel 18 geeft een overzicht van de emplacementbehoefte verkregen uit de simulatiestudie in vergelijking tot de resultaten uit de Spoorslagstudie. De resultaten uit het simulatiemodel tonen zowel het gemiddelde aantal bezette sporen, het aantal benodigde sporen indien minimaal 90% van de treinen afgehandeld kan worden en het aantal benodigde sporen indien er altijd een spoor beschikbaar is voor een trein (100%).

	Rekenmodel Spoorslag		Simulatiemodel (piek uur)			
	Laag scenario	Hoog scenario	Laag_Det [gem.<90<100]	Hoog_Det [gem.<90<100]	Laag_Exp [gem.<90<100]	Hoog_Exp [gem.<90<100]
Zuid	17	25	14/17/22	22/26/39	14/18/27	22/27/39
West	13	20	15/18/25	23/27/38	15/19/29	24/29/41

TABEL 18: EMPLACEMENTBEHOEFTE SPOORSLAG VERSUS SIMULATIEMODEL (PIEK UUR)

De geplande hoeveelheid emplacementsporen uit het masterplan biedt niet onder alle omstandigheden voldoende capaciteit om de verwachte hoeveelheid treinen af te kunnen handelen. In het huidige masterplan is ruimte gereserveerd voor 72 emplacementsporen in totaal, waarbij na aftrek van de stand by sporen, servicesporen, bulktrein sporen en stukgoedtrein sporen 43 sporen voor containertreinen overblijven. Het Lage Spoorslag scenario levert in het meest gunstige simulatiescenario een emplacementbehoefte op van 35 sporen en in het minst gunstige geval 37 sporen. Het Hoge Spoorslag scenario levert in het meest gunstige simulatiescenario een emplacementbehoefte op van 53 sporen en in het minst gunstige geval een behoefte van 56 sporen, waardoor een te kort van 10-13 sporen ontstaat. Met dit in het achterhoofd wordt aanbevolen om zo min mogelijk gebruik te maken van deeltreinen en wordt geadviseerd om de verblijftijden van de deeltreinen op de emplacementen drastisch in te korten.

Verwacht wordt dat de emplacementbehoefte resulterend uit de simulatiestudie aan de lage kant is. Er wordt geen rekening gehouden met losse locomotief bewegingen en met treinen vanaf de ORT terminal die via emplacement West naar de RTW terminal rijden. Tevens zal in de praktijk een deel van de opstapshuttles via het emplacement rijden tussen twee terminalbezoeken in. Dit levert een extra emplacementbehoefte van 35% op (indien alle opstapshuttles via emplacement gaan) en is niet meegenomen in Tabel 18.

Het aantal bezette emplacementsporen fluctueert van uur tot uur sterk zowel op Zuid als West. Indien de emplacementen elkaar ontlasten in de piekuren door treinen tussen beide emplacementen uitwisselbaar te maken, kan met 8% tot 20% minder emplacementsporen worden volstaan. Paragraaf 8.2 gaat hier verder op in.

Verwacht wordt dat de ideaaltreinen, opstaptreinen en bontetreinen gemiddeld 7 uur op de Maasvlakte doorbrengen waarbij de totale wachttijd tussen de 10 en 30 minuten bedraagt. Opstaptreinen hebben de langste totale wachttijd van alle treinconcepten. Opstapshuttles zijn het meest gevoelig voor verstoringen en verstoppingen in het systeem. Aanbevolen wordt om deze strak te reguleren.

In de piekuren nemen de standaarddeviaties van de cyclus- en wachttijden fors toe (met een factor 3 tot 9), terwijl de gemiddelde doorloop- en wachttijden slechts minimaal toenemen. Een lage cyclustijd variabiliteit is belangrijk; hoe minder spreiding, hoe strakker en betrouwbaarder er gepland kan worden. Om 'op tijd' te rijden dient bij het plannen extra *slack tijd* ingepland te worden om de standaarddeviaties in de cyclustijden op te vangen. In sommige gevallen zal deze extra tijd op de emplacementen worden doorgebracht, met als gevolg dat het aantal emplacementsporen verder zal toenemen. Uit Spoorslag blijkt dat elke 15 min extra verblijftijd op de emplacementen 4 extra emplacementsporen kost (HbR, 2008). Aanbevolen wordt om onderzoek te doen naar wat vanuit de markt acceptabele cyclus- en wachttijden zijn en welke mate van spreiding hierin wordt getolereerd. Uit de simulatie blijkt dat de standaarddeviaties aanzienlijk afnemen bij het gebruik van slechts 1 treinmodel.

Voor de C2 knoop wordt aanbevolen om de mogelijkheid te bieden om exact elke 6 minuten een trein van de Maasvlakte te laten vertrekken en niet meer dan 8 treinen per uur de Maasvlakte op te laten. Hiermee wordt voorkomen dat conflicten ontstaan tussen vertrekkende treinen vanaf emplacement West en aankomende treinen richting emplacement Zuid.

Om terug te komen op de centrale vraag onder welke randvoorwaarden beschikt de Maasvlakte over voldoende capaciteit. Daarvoor dient in ieder geval aan de volgende voorwaarden te worden voldaan:

- de inzet van deeltreinen wordt beperkt,
- de maximum snelheid is 40 km/u en treinen rijden van blok naar blok met bloklength 1000 meter,
- in alle conflictsituaties en beslismomenten wordt gebruik gemaakt van de FCFS regel,
- niet meer dan 8 treinen per uur rijden de Maasvlakte op en maximaal 10 per uur vertrekken,
- opstapshuttles rijden niet of slechts beperkt via het emplacement tussen twee terminal bezoeken in,
- de terminals vormen geen bottleneck,
- een betrouwbaarheid van 90% wordt als acceptabel geacht.

8.2 AANBEVELINGEN

Dit onderzoek geeft slechts aan wat de theoretische capaciteit van de Maasvlakte is, bij gegeven treinaantallen, treinconcepten, besturingsregels en gedrag van de treinen op de Maasvlakte. Het simulatiemodel geeft geen zicht in hoe het model presteert ten opzichte van een initiële planning zoals het Spoorboekje. De doorzet van het model kan nog zo hoog zijn maar als 30% van alle vertrekkende treinen zijn internationale treinpad niet haalt dan kwalificeert dat zich als een groot probleem. Aanbevolen wordt om onderzoek te doen naar de wijze waarop de terminalplanning, emplacementplanning en treinpadenplanning zo goed mogelijk op elkaar kunnen aansluiten. Onderzocht dient te worden welke regels noodzakelijk zijn om verstoringen in deze planningen daar waar mogelijk op te kunnen opvangen en wat hiervan de invloed is op de treinafhandeling op de Maasvlakte. Hierbij kan gebruik worden gemaakt van speciale (robuuste) planningsmethoden, kennis omtrent het portfolio effect (Universiteit Twente, 2005) en bijvoorbeeld speciale voorrangsregels voor treinen die hun pad dreigen te missen.

Een belangrijke veronderstelling in dit onderzoek is dat treinen van blok naar blok rijden. Het is in de praktijk ondoenlijk om voor ieder nieuw blok contact op te nemen met de verkeersleider om toestemming te vragen om het volgende blok in te rijden, de gehele Maasvlakte bestaat uit meer dan 40 blokken. Voorgesteld wordt om gebruik te maken van een systeem waarbij eenmalig door een machinist een rijwegaanvraag wordt gedaan. De verkeersleiding voert deze rijweg in het systeem in (eventueel met een prioriteit) en vanaf dat moment bedient het systeem alle seinen en wissels. In het geval van conflicten stuurt het systeem zelf bij. Onduidelijk is of een dergelijk systeem haalbaar is, aanbevolen wordt om hier nader onderzoek naar te doen.

In het simulatiemodel zijn alle treinbewegingen voor zover mogelijk gelijkmatig verdeeld over emplacement West en emplacement Zuid. Het model houdt echter geen rekening met stukgoedtreinen die ruim vier extra sporen (in een piekuur) claimen op emplacement West (HbR, 2008). Hierdoor ontstaat een onbalans tussen emplacement West en Zuid. Om dit op te vangen zouden meer containertreinen via emplacement Zuid kunnen rijden. Uit de simulatie blijkt verder dat het uitwisselbaar maken van treinen tussen emplacement West en emplacement Zuid een reductie tot 20% in benodigde emplacementsporen kan opleveren. Al deze extra treinbewegingen zijn slechts mogelijk via het enkelspoor tussen emplacement Zuid en de APMT terminal. In het simulatiemodel is het aantal bewegingen over dit stuk spoor beperkt, indien dit aantal wordt opgevoerd kan een bottleneck ontstaan. Aanbevolen wordt om nader onderzoek te doen naar het enkel stuk spoor tussen de APMT terminal en emplacement Zuid en eventuele andere mogelijkheden om verkeer tussen Zuid en West mogelijk te maken.

Uit het simulatiemodel is niet gebleken dat specifieke slottijden voor de terminals een positieve impact hebben op de emplacementbehoefte. Een verklaring hiervoor is gegeven in paragraaf 7.7. Dit betekent slechts dat de vaste slottijden niet in staat waren om de spreiding in het aanbod van treinen omlaag te brengen. Aanbevolen wordt om met dynamische regels de fluctuaties van de emplacementbezetting omlaag te brengen door de doorzet van de terminals te reguleren. Verwacht wordt dat dergelijke regels betere resultaten opleveren en de emplacementbehoefte naar beneden kunnen brengen.

Om de doorstroming in het model beter te laten verlopen kan gebruik worden gemaakt van specifieke regels die ervoor zorgen dat treinen minder vaak hoeven af te remmen. Het vertragen en weer versnellen van treinen kost minimaal 38% meer tijd dan wanneer een trein in één keer door kan rijden. Dit betekent dat de capaciteit van knooppunten omhoog kan als treinen minder vaak hoeven af te remmen. In het simulatiemodel is gebruik gemaakt van een FCFS politiek waardoor ongeveer 20% van de treinen op knooppunten moet afremmen naar 0 km/u. Onduidelijk is of er een politiek bestaat die zowel het aantal treinen dat moet afremmen als ook de tijd die deze treinen stil staan omlaag kan brengen in vergelijking tot de resultaten uit het model. Onderzoek hiernaar is met name interessant indien het van blok naar blok rijden in de praktijk niet haalbaar blijkt te zijn.

In dit onderzoek is geen rekening gehouden met verstoringen door kraanuitval, treinen die te laat binnenkomen, treinen die hun pad niet halen en treinen waarvoor tijdelijk geen plek is. De conclusies omtrent emplacementbehoefte en doorlooptijden uit het simulatiemodel zijn allen op basis van een 90% betrouwbaarheidsinterval. Dit betekent dat als deze grens wordt gehandhaafd 10% van alle treinen in een piekuur geen plek heeft op een emplacement. Dit vraagt om actieve bijsturing van de processen door de verkeersleiding. Onderzoek is gewenst naar de mogelijkheden die de verkeersleiding heeft om actief te sturen op de treinprocessen en welke informatie noodzakelijk is om de juiste beslissing te maken. Mogelijk ontstaan nieuwe contractstructuren tussen partijen en wordt een centrale regie met nieuwe bevoegdheden in het leven geroepen. De uitwisseling van informatie tussen de partijen dient op een efficiënte wijze plaats te vinden waardoor collaboratieve planningen tussen terminals, KeyRail en vervoerders en operators ontstaan. Geadviseerd wordt om (nieuwe) technologieën in te zetten om de samenwerking tussen partijen te versterken. Te denken valt aan GPS voor positie bepaling, RFID voor identificatie en HSDPA (mobiel internet) voor snelle informatie uitwisseling.

In een eventueel vervolg simulatie onderzoek wordt aanbevolen om externe verstoringen mee te nemen, terminals afzonderlijk te simuleren, initiële planningen te vergelijken met de output en piekuren en normale uren over de dag te variëren. Verwacht wordt dat de Maasvlakte alleen dan goed functioneert als er een evenwicht is tussen de terminals en de emplacementen die beide de natuurlijke en procesafhankelijke fluctuaties (variantie) in het aanbod van treinen opvangen.

REFERENTIES

Bos, C., & Eijkelenboom, A. (2003). *Spoorslag fase 1 marktinventarisatie railgoederenvervoer maasvlakte*. Logitech, Driebergen.

Bovenlander, H. (1996). Concurrentie op het spoor, exploitatieve en infrastructurele aspecten.

Bruins, H. (2007). *Intermodaal railgoederenvervoer in de Rotterdamse haven: Hollen of stilstaan?* onderzoek, Rotterdam.

(2003). Dictaat stochastische modellen in de operations management. In *Reader smom*. Universiteit Twente.

Eijkelenboom, A. (2000). Hoe distributie spoort. In K. v. Duijker, *Praktijkboek Magazijnen/Distributiecentra*. Deventer: Kluwer.

Eijkelenboom, A., & Bos, C. (2002). *Development rail terminal concept Euromax*. adviesrapport, Logitech, Driebergen.

(2003). Transportation Queueing. In R. W. Hall, *Handbook of transportation science* (second ed., pp. 113 153). Dordrecht: Kluwer.

HbR. (2005 a). *Bedrijfsplan 2006-2010*. Rapport, Rotterdam.

HbR. (2007 a). *De betuweroute voorbij, spoorbeleid 2007-2010*. Rapport intern, Rotterdam.

HbR. (2006 a). *Haven in cijfers*. Rotterdam.

HbR. (2004 a). *Havenplan 2020*. Rotterdam.

HbR. (2007 b). *Marketing & Information Services*. Opgeroepen op december 2007, van Kennisweb: Intranet HbR (niet vrij toegankelijk)

HbR. (2004 b). *Spoorslag*. Rotterdam.

HbR. (2005 b). *Spoorslag*. Rotterdam.

HbR. (2006 b). *Spoorslag*. Rotterdam.

HbR. (2008). *Spoorslag*. Rotterdam.

Horstmeier, Starre, v., & Zoeter. (2007, november 26). ECT. (F. Stive, Interviewer)

Jonkers, M. (2007, november 14). Railion. (F. Stive, Interviewer)

- Kennisinstituut voor Mobiliteitsbeleid. (2007). *Marktontwikkelingen in het goederenvervoer per spoor 1995-2020*. Rapport, Den Haag.
- Law, A. M., & Kelton, W. D. (1991). *Simulation modeling & Analysis* (international ed.). Singapore: McGraw-Hill.
- Mol, G. d. (2008, maart 27). KeyRail. (F. Stive, Interviewer)
- Movares B.V. (2008). *Railinfrastructuur C2 knoop, behoefte aan nieuwe sporen en ruimtelijk ontwerp*. Utrecht.
- National Geographic. (2007, augustus). Alles in het groot, de haven van Rotterdam. *National Geographic magazine*, pp. 102-133.
- Pinedo, M., & Chao, X. (1999). *Operations scheduling with applications in manufacturing and services*. New York: Irwin McGraw-Hill.
- ProRail. (2007 a). *Capaciteitsanalyse emplacementen*. Onderzoek, Rotterdam.
- Railcargo Information Services. (2007 b). *Spoor in cijfers 2007*. Rotterdam: Opzoeken.
- Raillion. (2008, juli). (F. Stive, Interviewer)
- Railned. (1996). *Capaciteit en belasting van het spoorwegnet*. Utrecht.
- Robinson, S. (1994). *Successful simulation: A practical approach to simulation projects*. New York: McGraw Hill.
- Spearman, M. L., & Hopp, W. J. (2000). *Factory Physics* (second ed.). New York: Irwin McGraw Hill.
- Transumo-project. (2007). *Coördinatie op het havenspoor - voorstel fase 2*. Rapport, Rotterdam.
- Universiteit Twente. (2005). *Advanced Production Planning* (Reader ed.). Enschede.
- van der Heijden, M. (2004). Simulatie van logistieke systemen. In *Reader simulatie Universiteit Twente*.
- Verschuren, P., & Doorewaard, H. (2005). *Designing a research project*. Utrecht: Lemma.
- WBC Consulting. (2007). *Verslag werksessie afhandeling goederen maasvlakte 2 per spoor*. Verslag, Rotterdam.
- Winston, W. L. (1993). *Operations Research, applications and algorithms* (third ed.). California: Duxbury Press.

BIJLAGEN

A

A: Ontwerp Masterplan 3.3.1 Maasvlakte 2..... I

B

B: Overzicht emplacements en sporen lay-out Maasvlakte..... III

C

C: Aanzet- en remkarakteristieken treinen Maasvlakte V

D

D: Spoorslag rekenmodel 2008 deeltreinen VII

E

E: Spoorslag rekenmodel 2008 bontetreinen VII

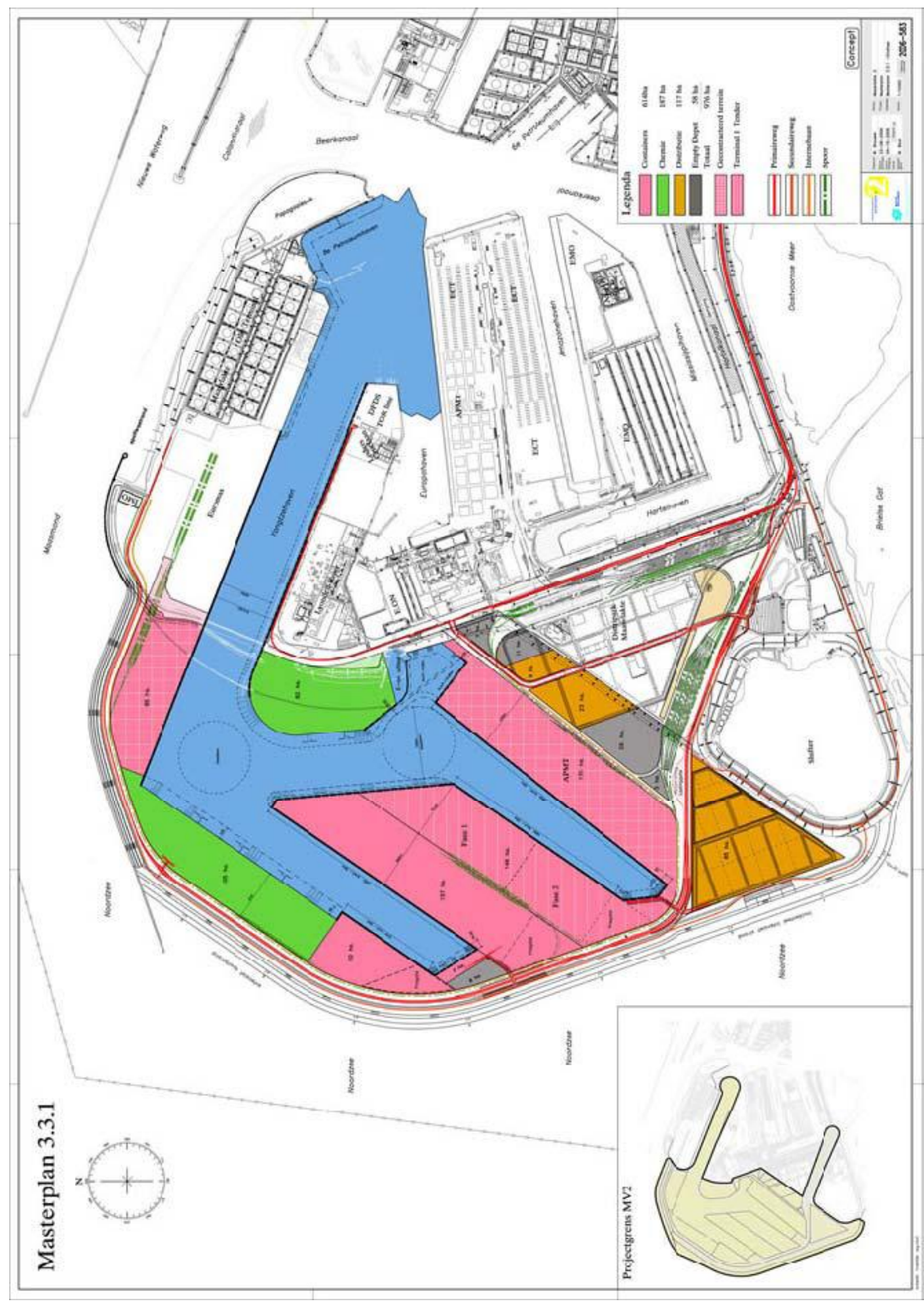
F

F: Verdeling lading omgerekend naar treinverdeling XIII

G

G: Spoorlay out simulatiemodel..... XV

A: ONTWERP MASTERPLAN 3.3.1 MAASVLAKTE 2



C: AANZET- EN REMKARAKTERISTIEKEN TREINEN MAASVLAKTE

E-loc 1640 + 2040 ton						
nummer	19					
bijzonderheden	Dons					
aanvangsrijtuig	0.46 m/s ²					
aangrijpslag	8 sec					
toeged	0.5 sec					
snelheid (km/h)	weg (m)	tijd (min)	a verl	gem aanzet tot snelheid	gem aanzet over afstand	
0	0	0				
10	40	0.50	0.29	0.08	0.08	
20	160	1.18	0.50	0.08	0.08	
30	456	1.80	0.83	0.08	0.08	
40	835	2.45	1.20	0.08	0.08	
50	1355	3.14	1.51	0.07	0.08	
60	2090	3.94	1.85	0.07	0.07	
70	3178	4.84	2.22	0.07	0.07	
80	4629	6.24	2.61	0.06	0.07	
85	6405	7.41	2.89	0.05	0.06	
0.05	0.26					
5247.10	103.76					
DE-loc + 800 ton						
nummer	20					
bijzonderheden	Dons					
aanvangsrijtuig	0.40 m/s ²					
aangrijpslag	8 sec					
toeged	0.1 sec					
snelheid (km/h)	weg (m)	tijd (min)	a verl	gem aanzet tot snelheid	gem aanzet over afstand	
0	0	0				
10	13	0.39	0.20	0.17	0.09	
20	53	0.44	0.28	0.21	0.15	
30	153	0.68	0.37	0.20	0.18	
40	359	1.03	0.49	0.18	0.19	
50	724	1.51	0.64	0.16	0.18	
60	1354	2.19	0.84	0.13	0.16	
70	2457	3.21	1.10	0.10	0.13	
80	4815	4.92	1.46	0.08	0.11	
90	11987	10.93	2.05	0.04	0.07	
0.04	0.37					
7527.50	143.17					
D x CE-loc + 2400 ton						
nummer	21					
bijzonderheden	Dons					
aanvangsrijtuig	0.40 m/s ²					
aangrijpslag	8 sec					
toeged	8.5 sec					
snelheid (km/h)	weg (m)	tijd (min)	a verl	gem aanzet tot snelheid	gem aanzet over afstand	
0	0	0				
10	18	0.22	0.11	0.21	0.21	
20	74	0.44	0.22	0.21	0.21	
30	208	0.75	0.34	0.18	0.20	
40	489	1.25	0.50	0.15	0.18	
50	1044	1.97	0.72	0.12	0.15	
60	2043	3.05	1.01	0.09	0.12	
70	4034	4.88	1.42	0.07	0.09	
80	10215	9.75	2.09	0.04	0.06	
3.0379061	3.0940855					
6500.11	125.72					

D: SPOORSLAG REKENMODEL 2008 HOOG SCENARIO

E: SPOORSLAG REKENMODEL 2008 LAAG SCENARIO

Uitgangspunten:												
Aantal werkdagen/jaar	312											
Aantal cagen per periode	8											
Aantal bestemmingen	90											
max. omvang kleine bestemmingen	15											
omvang te verplaatsen eenheden												
capaciteit idaalshuttle	52											
capaciteit opstapshuttle	52											
parameter verdeling	0,22											
bezettingstijden:												
ideaal en opstap	1,75											
tulk	3											
treindelen	4											
aandeel piek uur in dag totaal	9%											
toelaatbare belasting emplacementen	50%											
gevoeligheidsfactor containers	1											
	aantal eenheden per periode in één richting						aantal treinen per periode in één richting					
	ideaal	opstap	deeltre	percentage	ideaal	opstap	deeltre	ideaal	opstap	deeltre	percentage	
ORT = ECT	987	1472	85	26%	31%	3%	17	33	10	20%		
RTW1 = ECT + di & emp	2206	763	264	68%	24%	8%	42	17	30	47%		
RTW2 = APMT op (MV 1)	317	1116	55	23%	74%	4%	7	25	10	16%		
APMT oost op MV 2	2332	1431	84	57%	40%	3%	30	22	10	48%		
PVG (mid cost)	2379	1198	96	65%	33%	3%	46	27	13	53%		
T2 (mid west)	2206	1105	83	65%	33%	2%	42	25	13	53%		
T3 (west)	173	742	220	15%	35%	19%	3	17	23	6%		
Eurimax (MV 1 + MV2)	2552	1355	102	64%	34%	3%	49	30	13	52%		
extra cps/apshuttles	2379	1338	129	62%	35%	3%	46	30	13	52%		
totaal	15143	10523	1108	57%	39%	4%	231	235	136	44%		
			23775									
aantal sporen												
treinsoort	trein of	aandeel op	aantal treinen	vertrek tijdst.	totale	bezetting	aantal	aantal	aantal			
ideaal en opstap één richting												
ORT = ECT	8,3	0,09	0,7	1,8	1,3	0,90	1,45	2,89				
RTW1 = ECT + di & emp	0,6	0,06	0,9	1,8	1,8	0,90	1,74	3,47				
RTW2 = APMT op (MV 1)	5,3	0,09	0,5	1,8	0,8	0,90	0,22	1,85				
APMT oost op MV 2	11,3	0,09	1,1	1,8	1,9	0,90	2,37	4,14				
PVG (mid cost)	12,1	0,09	1,1	1,8	1,9	0,90	2,11	4,23				
T2 (mid west)	11,2	0,09	1,0	1,8	1,8	0,90	1,36	3,91				
T3 (west)	3,3	0,09	0,3	1,8	0,5	0,90	0,53	1,18				
Eurimax (MV 1 + MV2)	13,2	0,09	1,2	1,8	2,1	0,90	2,31	4,63				
extra cps/apshuttles	5,0	0,09	0,4	1,8	0,8	0,90	0,37	1,74				
totaal ideaal en opstapcontainer	60,1	0,09	7,2	1,8	12,6	0,90	14,31	26,03		26,03		
treindelen één richting												
ORT = ECT	1,7	0,09	0,2	4,0	0,8	0,90	0,39	1,38				
RTW1 = ECT + di & emp	5,1	0,09	0,5	4,0	1,8	0,90	2,33	4,06				
RTW2 = APMT op (MV 1)	1,7	0,09	0,2	4,0	0,8	0,90	0,39	1,38				
APMT oost op MV 2	1,6	0,09	0,1	4,0	0,6	0,90	0,35	1,23				
PVG (mid cost)	2,2	0,09	0,2	4,0	0,8	0,90	0,37	1,74				
T2 (mid west)	2,2	0,09	0,2	4,0	0,8	0,90	0,37	1,74				
T3 (west)	3,8	0,09	0,3	4,0	1,4	0,90	1,25	3,11				
Eurimax (MV 1 + MV2)	2,2	0,09	0,2	4,0	0,8	0,90	0,37	1,74				
extra cps/apshuttles		0,09	0,0	4,0	0,0	0,90	0,30	2,00				
totaal treindelen	20,6	0,09	1,8	4,0	7,4	0,90	8,22	16,44		16,44		
cage buktwee richtingen												
koler	19,8	0,09	1,8	3,0	5,4	0,90		5,98				
erts	10,4	0,09	0,9	3,0	2,8	0,90		3,12				
totaal	30,3	0,09	2,7	3,0	8,2	0,90		9,09		9,09		
chemie twee richtingen												
lokatie E + Lyondell op MV 1	2,0	0,09	0,2	4,0	0,7	0,90		3,80				
lokatie K MV 2 buitencontour	1,0	0,09	0,1	4,0	0,4	0,90		3,40				
totaal chemie	3,0	0,09	0,3	4,0	1,1	0,90				1,20		
stukgoed twee richtingen												
DFDS TCR line (treindelen)	8,5	0,09	0,8	4,0	3,1	0,90		3,39				
staalbrammen Steenweg 1355 I	4,2	0,09	0,4	6,0	2,3	0,90		2,50				
	7,0							5,89		5,9		
stand by										8		
service sporen										8,20		
totaal sporen										74,7		
totaal treinen	212											

Uitgangspunten: Aantal werkdagen/jaar: 312 Aantal dagen per periode: 6 Aantal bestemmingen: 90 max. omvang kleine bestemmingen: 15 omvang te verplaatsen eenheden: capaciteit: deels shuttle: 52 capaciteit: poststapshuttle: 52 Bezettingstijden: ideaal en opstap: 1,75 bulk: 3 treindelen: 4 aantal piekuren in dagtafel: 8% toelaatbare bezetting emplacement: 30% gewaagheidsfactor containers: 1															
	aantal eenheden per periode in één richting						aantal treinen per periode in één richting								
	ideaal	opstap	bonto tr	ideaal	opstap	bonto tr	ideaal	opstap	bonto tr	ideaal	opstap	bonto tr	ideaal	opstap	bonto tr
ORT = ECT	867	1472	65	35%	61%	3%	17	33	2	32%	64%	4%			
RTW1 = ECT + ci & erio	2053	613	264	73%	21%	9%	39	14	6	67%	23%	10%			
RTW2 = APMT op (MV'')	3/7	1118	55	23%	74%	4%	7	25	2	20%	74%	6%			
APMT oost op MV' 2	2374	1498	94	30%	38%	2%	46	33	2	57%	41%	2%			
RWG (mic oost)	2376	1138	96	35%	33%	3%	46	27	2	62%	36%	3%			
T2 (mid west)	2208	1125	83	35%	33%	2%	42	25	2	62%	36%	3%			
T3 (west)	1/3	747	270	15%	65%	19%	3	16	5	13%	66%	21%			
Euromax (MV 1 + MV2)	2553	1355	102	34%	34%	3%	49	30	3	60%	37%	4%			
extre opstapshuttle's	2379	1339	129	32%	35%	3%	46	30	3	58%	36%	4%			
totaal	15317	10424	1108	57%	39%	4%	205	232	27	63%	42%	5%			
aantal sporen															
treinsoort	treiner of	aandeelprijs	aantal	verbleftijd	totale	bezetting	aantal	aantal	aantal				zuid	west	
ideaal en opstap en bulk															
ORT = ECT	8,6	0,39	0,8	1,6	1,2	0,90	1,50	3,00						3,0	
RTW1 = ECT + ci & erio	9,8	0,39	0,9	1,6	1,0	0,90	1,71	3,42						3,4	
RTW2 = APMT op (MV'')	5,0	0,39	0,5	1,6	0,6	0,90	0,98	1,95						2,0	
APMT oost op MV' 2	13,5	0,39	1,2	1,6	2,1	0,90	2,36	4,72					2,4	2,4	
RWG (mic oost)	12,4	0,39	1,1	1,6	2,0	0,90	2,17	4,34					2,3		
T2 (mid west)	11,5	0,39	1,0	1,6	1,6	0,90	2,01	4,02					2,0		
T3 (west)	4,1	0,39	0,4	1,6	0,7	0,90	0,72	1,45					1,1		
Euromax (MV 1 + MV2)	19,7	0,39	1,2	1,6	2,2	0,90	2,40	4,79					2,2		
extre opstapshuttle's	5,0	0,39	0,4	1,6	0,6	0,90	0,87	1,73						1,7	
totaal deels en opstap en bulk	84,1	0,39	7,6	1,6	13,3	0,90	14,71	29,43							
treindelen															
ORT = ECT		0,39	0,0	4,0	0,0	0,90	0,00	0,00						0,0	
RTW1 = ECT + ci & erio		0,39	0,0	4,0	0,0	0,90	0,00	0,00						0,0	
RTW2 = APMT op (MV'')		0,39	0,0	4,0	0,0	0,90	0,00	0,00						0,0	
APMT oost op MV' 2		0,39	0,0	4,0	0,0	0,90	0,00	0,00						0,0	
RWG (mic oost)		0,39	0,0	4,0	0,0	0,90	0,00	0,00						0,0	
T2 (mid west)		0,39	0,0	4,0	0,0	0,90	0,00	0,00						0,0	
T3 (west)		0,39	0,0	4,0	0,0	0,90	0,00	0,00						0,0	
Euromax (MV 1 + MV2)		0,39	0,0	4,0	0,0	0,90	0,00	0,00						0,0	
extre opstapshuttle's		0,39	0,0	4,0	0,0	0,90	0,00	0,00						0,0	
totaal treindelen	0,0	0,39	0,0	4,0	0,0	0,90	0,00	0,00						0,00	
droge bulk															
kolien	19,9	0,39	1,8	3,0	5,4	0,90		5,98							
erts	10,4	0,39	0,9	3,0	2,8	0,90		2,12							
totaal bulk	30,3	0,39	2,7	3,0	8,2	0,90		8,09	8,09						
chemie															
lokatie E + Lyocell op MV 1	2,0	0,39	0,2	4,0	0,7	0,90		0,80						0,8	
lokatie K MV 2 buroconcur	1,0	0,39	0,1	4,0	0,4	0,90		0,40					0,4		
totaal chemie	3,0	0,39	0,3	4,0	1,1	0,90		1,20	1,20						
afgevoerd															
DFDS TOR line (treindelen)	3,5	0,39	0,8	4,0	3,1	0,90		3,39						3,4	
brammar/steal Steppen DSS	4,2	0,39	0,4	6,0	2,2	0,90		2,50							
totaal afgevoerd	7,0							5,89	5,9						
stand-by sporen															
service sporen										8,00			5,0	3,0	
totaal sporen											8,00		4,0	4,0	
totaal treindelen													2,4	23,7	

F: LADING OMGEREKEND NAAR TREINVERDELING

In onderstaande tabel wordt aangegeven hoe de lading over de verschillende treintypes is verdeeld in de verschillende simulatie scenario's en gevoeligheidsanalyses. De kolommen A en B representeren de verdeling uit de ACTP studie. De kolommen C-F vormen de gevoeligheid ten opzichte van de route van de opstapshuttles. De verdeling uit de kolommen G en H vormen de Spoorslag Hoog en Spoorslag Laag scenario's.

Shuttle	A	B	C	D	E	F	G	H
Ideaal1	51,4	0,0	25,8	27,1	25,8	27,1	25,8	27,1
Ideaal2	30,6	0,0	12,4	12,9	12,4	12,9	12,4	12,9
Ideaal3	9,0	0,0	4,5	4,7	4,5	4,7	4,5	4,7
Ideaal4	9,0	0,0	4,5	4,7	4,5	4,7	4,5	4,7
Opstap21	0,0	4,3	6,7	7,1	0,0	0,0	3,4	3,5
Opstap22	0,0	4,3	6,7	7,1	0,0	0,0	3,4	3,5
Opstap23	0,0	26,0	24,7	25,8	10,1	10,5	17,4	18,2
Opstap24	0,0	9,9	5,7	5,8	0,0	0,0	2,8	2,9
Opstap31	0,0	26,0	0,0	0,0	20,2	21,2	10,1	10,6
Opstap32	0,0	19,6	0,0	0,0	13,5	14,1	6,7	7,1
Opstap33	0,0	9,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Bonte1	0,0	0,0	0,0	2,4	0,0	2,4	0,0	2,4
Bonte2	0,0	0,0	0,0	2,4	0,0	2,4	0,0	2,4
Bonte3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Bonte4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Deel1	0,0	0,0	4,5	0,0	4,5	0,0	4,5	0,0
Deel2	0,0	0,0	3,4	0,0	3,4	0,0	3,4	0,0
Deel3	0,0	0,0	1,1	0,0	1,1	0,0	1,1	0,0
Deel4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
TOTAAL	100	100	100	100	100	100	100	100

1. Alle lading gaat via ideaaltreinen (de opstaptreinen, deeltreinen en bontetreinen uit Tabel 5 worden 'vertaald' naar ideaaltreinen) (A).
2. Alle lading gaat via opstaptreinen (de ideaaltreinen, deeltreinen en bontetreinen uit Tabel 5 worden 'vertaald' naar opstaptreinen) waarbij de helft twee en de andere helft 3 terminals bezoekt (B).
3. De verdeling uit Tabel 5 wordt aangehouden waarbij alleen gebruik wordt gemaakt van opstaptreinen die 2 terminals aandoen, voor zowel het hoge (C) als het lage scenario (D).
4. De verdeling uit Tabel 5 wordt aangehouden waarbij alleen gebruik wordt gemaakt van opstaptreinen die 3 terminals aandoen, voor zowel het hoge (E) als het lage scenario (F).
5. De verdeling uit Tabel 5 wordt aangehouden waarbij zowel gebruik wordt gemaakt van opstaptreinen die 3 terminals (50%) aandoen als opstaptreinen die 2 terminals aandoen (50%), voor zowel het hoge (G) als het lage scenario (H).

G: SPOORLAY-OUT SIMULATIEMODEL

Deze pagina vervangen dor flap

Deze pagina vervangen dor flap

