

Klimaatverandering en binnenvaart

Effecten op de binnenvaart van meer extreem lage (en hoge) waterstanden op de Rijn



Port Research Centre, Rotterdam-Delft

Klimaatverandering en binnenvaart. Effecten op de binnenvaart van meer extreem lage (en hoge) waterstanden op de Rijn, december 2005, C.G. Bosschieter

ISBN-10: 90-5638-142-3
ISBN-13: 978-90-5638-142-4

NUR-code: 950

© *Port Research Centre Rotterdam-Delft.*

Gebruik van gegevens en teksten is met bronvermelding vrijelijk toegestaan. Commercieel gebruik van deze gegevens is niet toegestaan.

Voor informatie over de publicaties neem contact op met het secretariaat van het Port Research Centre Rotterdam-Delft, dr.ir. R.M. Stikkelman, e-mail: r.m.stikkelman@tbn.tudelft.nl, of het Customer Service Center van het Havenbedrijf Rotterdam N.V., tel. + 31 10 252 1111.

Voorwoord

Voor u ligt het afstudeerverslag getiteld 'Klimaatverandering en binnenvaart'. Dit is het resultaat van mijn afstudeeronderzoek waarmee mijn studie Civiele Techniek aan de Technische Universiteit Delft (TUD) wordt afgerond. Dit onderzoek heeft plaats gevonden binnen de afstudeerrichting Havens en scheepvaartwegen van de sectie Waterbouwkunde.

Momenteel wordt veel aandacht besteed aan het effect van uitstootgassen afkomstig van de binnenvaart op klimaatverandering. Maar wat is het effect van klimaatverandering op de binnenvaart? Het Havenbedrijf Rotterdam (HbR), het Centraal Bureau voor de Rijn- en Binnenvaart (CBRB) en de TUD zien de noodzaak om hier meer inzicht in te krijgen. Zij hebben dit onderzoek dan ook gesteund en mogelijk gemaakt.

De leden van mijn afstudeercommissie wil ik danken voor de tijd die zij hebben vrijgemaakt om mij te begeleiden. De heer van Deursen wil ik danken voor zijn grote betrokkenheid en zijn adviezen. Tevens wil ik de schippers, die mij te woord hebben gestaan en informatie hebben gegeven, hartelijk danken voor de kennis, die ik heb opgedaan bij hen aan boord.

Caroline Bosschieter
Delft, december 2005

Technische Universiteit Delft
Faculteit Civiele Techniek
C.G. Bosschieter
Studienummer 9109604
Delft, december 2005

Leden van de afstudeercommissie:

Prof. Ir. H. Ligteringen	TU Delft
Ir. T. Vellinga	TU Delft / HbR
H. Luijendijk	HbR
Ing. M. van Helvoirt	CBRB
Ir. Ing. J.P. Noppen	TU Delft

Inhoudsopgave

Voorwoord	i
Samenvatting	v
1 Inleiding	1
2 Probleemanalyse	3
3 Binnenvaart en de afhankelijkheid van het afvoerregime van de Rijn	9
3.1 Binnenvaart.....	9
3.1.1 Vervoerstromen.....	9
3.1.2 Vervoersmodaliteiten.....	10
3.1.3 Goederensoorten	12
3.1.4 Actoren in de binnenvaartsector.....	13
3.1.5 Vloot.....	13
3.2 Rijnstroomgebied	15
3.2.1 Geografie.....	15
3.2.2 Afvoeren.....	16
3.2.3 Hoog- en laagwater in het verleden	18
3.3 Afhangelijkheid binnenvaart van het afvoerregime	20
3.3.1 Bevaarbaarheid van de Rijn.....	21
3.3.2 Laadvermogen van de vloot.....	21
3.3.3 Laadvermogen bij verschillende waterdieptes.....	23
4 Klimaatverandering en de invloed op het afvoerregime van de Rijn.....	25
4.1 Actuele kennis klimaatverandering.....	25
4.1.1 Klimaatverandering vindt plaats	25
4.1.2 Klimaatverandering algemeen.....	25
4.1.3 Seizoenen versus klimaatverandering	26
4.1.4 Kenmerkende jaren uit het verleden	26
4.1.5 Opgestelde klimaatscenario's.....	28
4.2 Gevolgen scenario's voor het afvoerregime van de Rijn.....	31
4.2.1 Het hydrologische model Rhineflow.....	31
4.2.2 Veranderingen van de afvoeren op de Rijn.....	32
4.2.3 Gevoeligheidsanalyse lage afvoeren.....	32
4.3 Betrouwbaarheid van analyse	39
5 Effecten van klimaatverandering op de binnenvaart.....	41
5.1 Effecten op de binnenvaart	41
5.1.1 Directe effecten	41
5.1.2 Indirecte effecten.....	47
5.2 Beleving zomer 2003	48
5.2.1 Is laagwater een probleem voor de binnenvaart?	48
5.2.2 Wanneer is laagwater een probleem?	49

5.3	Belangrijke ontwikkelingen	50
5.3.1	Vlootontwikkeling.....	50
5.3.2	Capaciteit modaliteiten	51
5.3.3	Politiek beleid.....	52
5.3.4	Conclusie.....	52
6	Maatregelen om effecten van laagwater te vermijden.....	53
6.1	Maatregelen wateroverlast.....	53
6.1.1	Achtergrond wateroverlast	53
6.1.2	Maatregelen om hoogwater te verlagen.....	54
6.1.3	Effecten RvR op de binnenvaart	56
6.2	Maatregelen watertekort.....	58
6.2.1	Typen maatregelen	58
6.2.2	Logistiek.....	59
6.2.3	Nieuwbouw van schepen	61
6.2.4	Vaarweginfrastructuur	64
6.2.5	Waterbeheer	69
6.3	Haalbaarheid maatregelen.....	71
6.3.1	Multi Criteria Evaluatie.....	71
6.3.2	Kosten	74
6.3.3	Evaluatie	76
7	Conclusies en Aanbevelingen.....	77
7.1	Conclusies.....	77
7.2	Aanbevelingen	78
	Literatuur.....	79
	Afkortingen	81
	Begrippen.....	83
	Figuren en Tabellen	85
	Bijlage 1 : Beschrijving van de Rijn.....	89
	Bijlage 2 : Waterdiepte.....	93
	Bijlage 3 : Vloot.....	97
	Bijlage 4 : Maatgevende jaren	109
	Bijlage 5 : Vermenigvuldigingsfactoren	117
	Bijlage 6 : Scenario's	119
	Bijlage 7 : Analyse 1989-2003	123
	Bijlage 8 : De zomer van 2003	135
	Bijlage 9 : SW-analyse.....	141
	Bijlage 10 : Waardering maatregelen.....	143

Samenvatting

De afgelopen tien jaar is gebleken dat de rivieren in Nederland, en met name de Rijn, een afvoerregime vertonen dat verandert, en dat er regelmatig extreem lage en hoge afvoeren zijn. De meest recente extreem lage waterstanden werden geregistreerd in 2003. In 1993 en 1995 werd Nederland geconfronteerd met overstromingen wegens extreem hoge waterstanden. De oorzaak van de extreem hoge en lage waterstanden wordt gelegd bij klimaatverandering. Voor de binnenvaart leiden extreem lage waterstanden tot afname van het inzetbare laadvermogen en extreem hoge waterstanden leiden tot vaarbepijning en eventueel tot een vaarverbod. Met het vooruitzicht op meer extreem lage en hoge waterstanden en de voorspelde toename van het goederenvervoer, kan de prestatie van de binnenvaart onder druk komen te staan.

Achtergrond

Het doel van dit onderzoek is inzicht te verkrijgen in de gevolgen van de klimaatverandering op het afvoerregime van de Rijn, in de negatieve effecten die deze gevolgen op de binnenvaart hebben, en in mogelijke maatregelen om die negatieve effecten te verminderen. Vroegtijdig anticiperen en nemen van maatregelen kan ertoe leiden dat de nadelige gevolgen van klimaatverandering voor de binnenvaart beperkt blijven.

Doelstelling

De binnenvaart is voor Nederland van groot belang. Van het binnenlands en achterlandvervoer neemt de binnenvaart 35% van de vervoerde tonnen voor haar rekening. De Rijn is de primaire transportas van Nederland en wordt ook wel de hoofdadere van de haven van Rotterdam genoemd. De bevaarbaarheid van de Rijn is zeer afhankelijk van de waterstanden. Onder invloed van klimaatverandering zijn deze aan verandering onderhevig.

Binnenvaart

Klimaatverandering is beschreven aan de hand van een viertal scenario's (laag, midden, hoog en droog scenario) voor het klimaat omstreeks 2050. Deze scenario's bestaan uit neerslag- en temperatuurveranderingen. In de winter neemt de afvoer van de Rijn toe als gevolg van toenemende neerslag in het stroomgebied. In de zomer neemt de afvoer af. Dit komt door verminderde afvoer van smeltwater wegens afname van de sneeuwvoorraad in de winter en door toenemende verdamping, beide als gevolg van temperatuurverhoging. Zeer laagwater is vaker voorgekomen in het verleden en was langer van duur dan hoogwater. Om deze reden ligt de focus in dit rapport op laagwater. Uit de gevoeligheidsanalyse voor 2050 blijkt het volgende. Lage waterstanden worden lager door klimaatverandering, perioden van laagwater komen frequenter voor en de gemiddelde duur wordt langer. Het aantal perioden dat de afvoer bij Lobith lager is dan $1000 \text{ m}^3/\text{s}$ neemt toe van de huidige 17 perioden naar 25 perioden in het midden scenario respectievelijk 60 perioden in het droge scenario. Dit aantal perioden vindt plaats in een tijdsbestek van 14 jaar. De gemiddelde duur van een afvoer bij Lobith lager dan $1000 \text{ m}^3/\text{s}$ neemt toe van 10 dagen naar 12 dagen in geval van het midden scenario respectievelijk 28 dagen in geval van het droge scenario. Een jaar met extreem lage waterstanden gelijk aan die van het jaar 2003 zal in het droge scenario omstreeks 2050 jaarlijks voorkomen.

Klimaatverandering

Directe effecten van klimaatverandering op de binnenvaart zijn de afname van het inzetbare laadvermogen, de toename van de kosten per ton te vervoeren goederen en de afname van de betrouwbaarheid. In het midden scenario zal omstreeks 2050 voor een jaar met dezelfde kans van voorkomen als 2003 (eens in de tien jaar) het verlies aan theoretisch laadvermogen van de vloot in vergelijking met het jaar 2003 12 miljoen ton zijn (4%). Om dit laadvermogen op te vangen zullen 12 duwbakken of 528 wagons of 1317 vrachtwagens per dag moeten worden ingezet. Logistieke en technische effecten die zich voordoen bij extreem laagwater zijn afname

Effecten

van vlotheid op de vaarweg, toename van wacht- en servicetijden en tekorten aan wacht- en ligplaatsen, doordat in perioden van laagwater meer schepen ingezet zullen worden om dezelfde vracht te vervoeren. Evenals toenemend verschil tussen de waterlijn en kadehoogte er toe leidt dat het juiste materieel beschikbaar moet zijn voor laden en lossen. Een indirect effect van klimaatverandering op de binnenvaart is modal shift naar weg of spoor. Een tweede indirect effect is de toename van maatschappelijke kosten doordat de tarieven voor het binnenvaartgoederenvervoer stijgen in perioden van extreem laagwater. Gezien de klimaatscenario's zal de prestatie van de binnenvaart onder druk komen te staan. Dit probleem wordt versterkt door huidige ontwikkelingen. Ten eerste door de vlootontwikkeling. De zeer aannemelijke, voortgaande schaalvergroting van de vloot leidt er toe, dat schepen meer hinder ondervinden van laagwater. Ten tweede door de ontwikkeling van de capaciteit van de modaliteiten. De modaliteiten spoor en weg hebben nauwelijks mogelijkheden om hun capaciteit te vergroten waardoor de druk om goederen via de binnenvaart te vervoeren toeneemt. Ten derde door politiek beleid. Momenteel is het waterbeleid Ruimte voor de Rivier gericht op het afvlakken van hoogwater door water meer de ruimte te geven. De voorgenomen maatregelen kunnen negatieve effecten hebben op de waterdiepte in het zomerbed.

Maatregelen

Maatregelen om effecten te beperken zijn onder te verdelen in logistiek, nieuwbouw, vaarweginfrastructuur en waterbeheer. De haalbaarheid van de volgende maatregelen is bekeken: in de vaart nemen van meer laadvermogen, tijdens laagwaterperioden incidenteel volcontinue varen, informatiemanagement, nieuwbouw van schepen, kanaliseren van de waterweg, retentiegebieden aanleggen, kribben aanpassen, baggeren, debiet reguleren en gebruik van bestaande opslagruimte. De aanleg van een retentiegebied ter beperking van wateroverlast en watertekort is ten eerste wegens verschil in aanbod van en vraag naar water op korte termijn niet haalbaar. Ten tweede is het waterbeleid gericht op veiligheid. Retentiegebieden die worden gebruikt om water te bergen om vervolgens het water vast te houden om te gebruiken in tijden van watertekort, kunnen geen veiligheid bieden in tijden van wateroverlast. Ten derde is niet direct grond beschikbaar voor de aanleg van retentiegebieden. Kanaliseren van een deel van de Rijn is niet haalbaar omdat het waterbeleid zich richt op de ruimte voor de rivier; bij kanaliseren wordt de rivier juist beperkt. Verder leiden wachttijden bij de sluizen tot oponthoud van de binnenvaart. Uit de haalbaarheidsanalyse blijkt dat op korte termijn de logistieke maatregel informatiemanagement, aan de hand van waarde en kosten, de meest haalbare maatregel is. Onder informatiemanagement wordt verstaan het verzamelen, vastleggen, in beeld brengen en delen van informatie over actuele waterstanden, meerdaagse voorspellingen van waterstanden en goederenvervoer, zodat beter geanticipeerd kan worden op extreem lage waterstanden.

Aanbevelingen

Er wordt aangeraden de kans te benutten om informatiemanagement door middel van RIS (River Information Services) invulling te geven. Evenals het monitoren van veranderingen op het afvoerregime onder invloed van klimaatverandering, effecten op de binnenvaart en te anticiperen op beleid dat wordt ontwikkeld voor andere riviergebonden functies. Bij uitbreiding of vervanging van de vloot moet rekening gehouden worden met klimaatscenario's.

1 Inleiding

Aanleiding

De haven van Rotterdam zorgde in 2002 voor een toegevoegde waarde van 13,8% (RWS, 2004¹) van het Nederlands bruto nationaal product. Jaarlijks komt zo'n 350 miljoen ton (RWS, 2004²) goederen aan in de haven en in de toekomst zal dit alleen maar toenemen. Van de goederen die in de haven aankomen wordt ongeveer 50% (HbR, 2003) met de binnenvaart van en naar haven getransporteerd via het achterland. Mede door de goede achterlandverbinding heeft de Rotterdamse haven zo groot kunnen worden als ze nu is.

De afgelopen tien jaar is gebleken dat de rivieren in Nederland, en met name de Rijn, een afvoerregime vertonen dat verandert, en dat er regelmatig extreem lage en hoge afvoeren zijn. De meest recente lage waterstanden waren in 2003. In 1993 en 1995 werd Nederland geconfronteerd met overstromingen wegens extreem hoge waterstanden. De oorzaak van de extreme waterstanden wordt gelegd bij klimaatverandering. Voor de binnenvaart leiden extreem lage waterstanden tot afname van het inzetbare laadvermogen, en extreem hoge waterstanden leiden tot vaarbepalingen en eventueel tot een vaarverbod. Met het vooruitzicht op meer extreem lage en hoge waterstanden en de voorspelde toename van het goederenvervoer kan de prestatie van de binnenvaart onder druk komen te staan. Inzicht in klimaatverandering, de effecten daarvan op de binnenvaart en in mogelijke maatregelen om de negatieve effecten te beperken, zijn van belang. Vroegtijdig anticiperen kan eraan bijdragen dat tijdig maatregelen genomen worden, zodat negatieve gevolgen van klimaatverandering voor de binnenvaart beperkt blijven.

Vervoer van goederen over water is van belang voor de haven van Rotterdam. Als de modaliteit binnenvaart onder druk komt te staan als gevolg van klimaatverandering, kan dit de bereikbaarheid en infrastructuur van de Rotterdamse haven beïnvloeden.

Doel

Het doel van dit onderzoek is om aan te geven welke veranderingen in het afvoerregime van de Rijn worden verwacht ten gevolge van klimaatverandering en welke effecten deze (veranderingen) hebben op de binnenvaart. Verder wordt geanalyseerd welke mogelijke maatregelen getroffen kunnen worden om de negatieve effecten te beperken.

Rapport opbouw

De opbouw van dit rapport is als volgt: Hoofdstuk 2 beschrijft de probleemanalyse. In hoofdstuk 3 wordt ingegaan op de binnenvaart en de afhankelijkheid daarvan van het afvoerregime van de Rijn. De invloed van klimaatverandering op het afvoerregime van de Rijn is beschreven in hoofdstuk 4. In hoofdstuk 5 wordt inzicht verschaft in de effecten van klimaatverandering op de binnenvaart. De droge zomer van 2003 en de impact van een aantal belangrijke ontwikkelingen komen hierbij aan bod. In hoofdstuk 6 worden mogelijke maatregelen beschreven om de negatieve effecten die de binnenvaart ondervindt te beperken en wordt de haalbaarheid van de maatregelen getoetst. Tenslotte volgen in hoofdstuk 7 de conclusies en de aanbevelingen.

2 Probleemanalyse

Aanleiding

In Nederland zal klimaatverandering leiden tot lagere en hogere waterstanden op de Rijn. De extreem lage afvoeren van 2003 hebben ertoe geleid dat de binnenvaart minder vracht per schip kon vervoeren. Het hoogwater in 1995 leidde in Duitsland tot een vaarverbod. Met het vooruitzicht op meer extreem lage en hoge waterstanden vraagt men zich af wat de effecten zullen zijn op de binnenvaart.

Probleemstelling

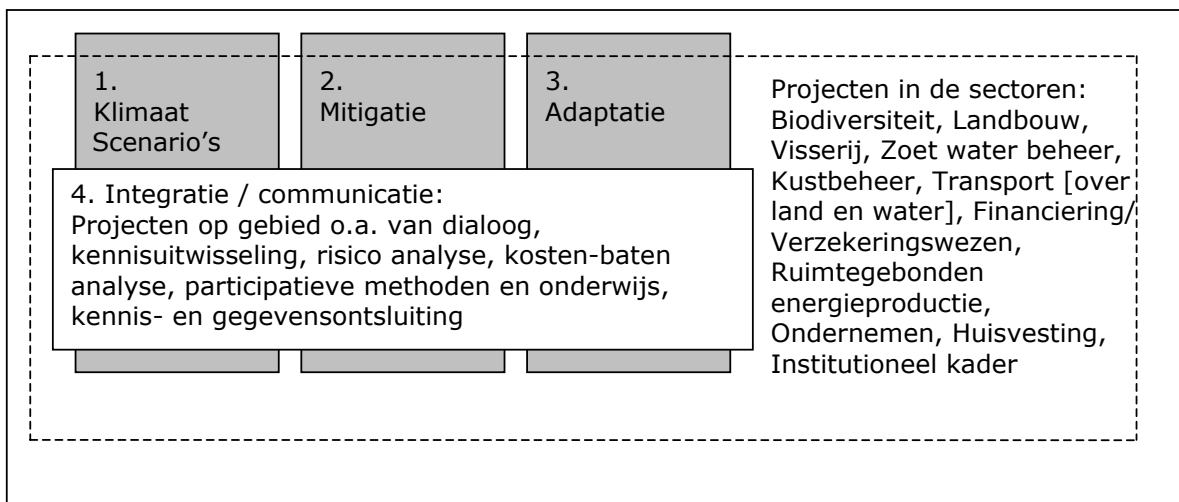
Er worden meer extreem lage en hoge waterstanden verwacht onder invloed van klimaatverandering, waardoor de prestatie van de binnenvaart onder druk komt te staan.

Doelstelling

Inzicht in de gevolgen van klimaatverandering op het afvoerregime van de Rijn, in de negatieve effecten die deze gevolgen op de binnenvaart zullen hebben, en in mogelijke maatregelen om negatieve effecten te verminderen.

Kader

Om de negatieve gevolgen van klimaatverandering tegen te gaan zullen er maatregelen moeten worden getroffen tegen de snelheid en omvang van de verandering. Dat betreft zogenaamde mitigerende maatregelen. Verder kan vroegtijdig anticiperen nadelige effecten beperken; dat zijn zogenaamde adaptieve maatregelen. Dit onderzoek sluit aan bij het onlangs opgestarte onderzoeksprogramma genaamd 'Klimaat voor Ruimte'. Zie figuur 2-1 voor de vier aspecten van het programma.



Figuur 2-1 De vier aspecten van het onderzoeksprogramma 'Klimaat voor Ruimte'

Eerder onderzoek

Onderzoek naar klimaatverandering en de effecten op de binnenvaart is niet nieuw. Tabel 2-1 geeft een overzicht van eerdere onderzoeken. De lijst is niet uitputtend. Een groot aantal van deze onderzoeken viel onder het onderzoeksprogramma genaamd Nationaal Onderzoek Programma luchtverontreiniging en klimaatverandering (NOP).

Tabel 2-1 Eerder onderzoek

Nr.	Titel	Auteur
1	Het goederen transport op de Rijn in relatie tot klimaatverandering	Timmermans [1995]
2	De invloed van klimaatveranderingen op de bevaarbaarheid van de Rijn	Nomden [1996]
3	Een peiling van aanpassingen in de binnenvaart bij extreme waterstanden	Van Geenhuizen et al. [1996]
4	Een goed klimaat voor de binnenvaart	Nomden [1997]
5	Invloed klimaatverandering op vervoer over water	Frederick Harris [1997]
6	Invloed van klimaatverandering op binnenscheepvaart	Deursen [1998]
7	The impact of climate change on inland navigation on the river Rhine	Middelkoop [1999]

De meest relevante conclusies en aanbevelingen uit deze rapporten zijn hieronder opgesomd, teneinde de lezer een goed overzicht te geven van de ontwikkelingen en hiaten in de problematiek. De letter [C] verwijst naar een conclusie en de letter [A] verwijst naar een aanbeveling. Het cijfer na de letter verwijst naar het rapport uit tabel 2-1. Voor meer informatie over de achtergrond van onderstaande conclusies en aanbevelingen wordt verwezen naar de rapporten.

[C1.1]

Het introduceren van het fenomeen klimaatverandering en de gevolgen op het hydrologische riviersysteem moeten vanaf nu een vast onderdeel gaan uitmaken in de vorm van het (rivier)beleid. Het verleden maar ook de hedendaagse ontwikkelingen tonen aan dat het klimaat niet als constante kan worden beschouwd.
(Timmermans, 1995)

[A2.1]

Voorspellen van de duur van periodes met een waterstand onder een kritische waterstand. Dergelijke voorspellingen zijn gedaan voor Lobith op basis van gemiddelde maandelijkse afvoeren (...). Met een probabilistische benadering is het mogelijk schattingen te verkrijgen van aaneengesloten aantal dagen onder een kritische afvoer. (Nomden, 1996)

[C3.1]

Empirisch onderzoek onder direct betrokken actoren (rederij en verladers) heeft aan het licht gebracht dat het probleembesef ten aanzien van extreme waterstanden in de Rijn niet groot is. De hoeveelheid hinder neemt men voor lief, naast andere bronnen van hinder en onzekerheid welke eigen zijn aan de bedrijfstak, zoals bijvoorbeeld stakingen. Er bestaat momenteel voldoende rek in de gebruikte logistieke systemen en er is voldoende flexibiliteit om de problemen op te lossen. De betrokken verladers nemen genoeg met eventuele vertragingen als gevolg van extreme waterstanden.
(Geenhuizen, 1996)

[A3.2]

Oplossingen liggen in het beïnvloeden van het waterpeil in de Rijn. Volgens een directe aanpak (waterbouwkundige werken) zou de waterafvoer bijvoorbeeld gereguleerd kunnen worden middels bassins (natuurlijke en aan te leggen) in de midden- en bovenloop van de rivier waarin een teveel aan water wordt opgevangen en van waaruit een tekort aan water wordt aangevuld. Een indirecte aanpak zou neerkomen op verbetering van de 'sponswerking' van de bodem in het stroomgebied van de Rijn. (Geenhuizen, 1996)

[A3.3]

Hard maken dat in de loop der jaren het aantal vaardagen significant is afgenomen en dat het hier zou gaan om een permanente verandering in de waterafvoer van de Rijn. (Geenhuizen, 1996)

[A4.1]

Het maken van een inventarisatie van logistieke en/of financiële consequenties van klimaatverandering aan de hand van studie cases. (Nomden, 1997)

[A4.2]

Het verder onderzoeken naar mogelijkheden om de waterstandproblematiek op te lossen (...) waterbouwkundige ingrepen. (Nomden, 1997)

[C5.1]

Het laadvermogen van de vloot (grotere motorschepen en duwbakken) neemt af door de daling van de waterstand bij lage rivierafvoeren. Deze afname bedraagt bijna 350.000 ton laadvermogen bij overeengekomen lage afvoer (OLR) op de Benedenrijn, dit is 6% van het laadvermogen bij onbeperkte diepgang. (Frederic Harris, 1997)

[C5.2]

De vervoersbetrouwbaarheid neemt af door een toename van het aantal en/of de duur van hoogwaterstremmingen en door een afname van stiptheid. (Frederic Harris, 1997)

[A7.1]

In a next step of a climate impact study measures must be considered within integrated framework of socio-economic and climate perspectives. (Middelkoop, 1999)

Klimaatverandering is een proces dat in de aankomende 50 tot 100 jaar merkbaar wordt. Onderzoek naar de effecten van klimaatverandering op de binnenvaart is daardoor nooit afgerond. Om de zoveel jaar zal getracht moeten worden aan de hand van bestaande en nieuwe kennis inzichten te krijgen in de problematiek. In dit rapport is specifiek aandacht besteed aan de duur en aantal perioden van laagwater, waterbouwkundige ingrepen en sociaal-economisch perspectieven (aanbevelingen A2.1, A3.2, A4.2 en A7.1).

Uitgangspunten

Rijnstroomgebied

Het Rijnstroomgebied is bekeken omdat het grootste deel van het goederentransport van en naar de haven van Rotterdam wordt getransporteerd over de Rijn naar Duitsland. De belangrijke Nederlandse rivier de Maas wordt niet meegenomen in dit onderzoek omdat het aantal tonnen goederenvervoer veel minder is dan over de Rijn (Raadgever, 2004). Het deel van de Rijn waar naar gekeken wordt strekt van Rotterdam tot Bazel. De invloed van klimaatverandering is bekeken aan de hand van de afvoermetingen bij Lobith. Lobith is gekozen, omdat de afvoeren op dat punt bekend zijn en omdat Lobith vlakbij de peilschaal Ruhrort ligt, waarop binnenvaart haar inzetbare laadvermogen voor de Benedenrijn afstemt. Kaub is de peilschaal waarop de binnenvaart haar inzetbare laadvermogen voor de Midden- / Bovenrijn afstemt. De waterafvoeren bij Kaub zijn niet geanalyseerd in dit onderzoek. De belangrijke zijrivieren van de Rijn zoals de Moezel, Main en Neckar zijn kort beschreven om aan te geven wat hun aandeel is in de afvoer op de Rijn.

Klimaatscenario's

In dit onderzoek is aangenomen dat klimaatverandering voordoet aankomende eeuw. De gebruikte scenario's, afkomstig van het KNMI, zijn verwoord in de 'Nota waterbeleid 21^{ste} eeuw' (WB21).

Extreem lage en hoge afvoeren en waterstanden

Zowel de lage als hoge afvoeren zullen meer extreem worden door klimaatveranderingen. Effecten op de binnenvaart door hoge afvoeren worden niet nader bekeken. De reden hiervoor is dat lage afvoeren vaker en langer voorkomen dan hoge afvoeren. Verder blijkt uit de praktijk dat de binnenvaart minder hinder ondervindt van hoge dan van lage waterstanden.

Rivierprofielen

Rivierprofielen zijn continu aan verandering onderhevig door erosie en sedimentatie. De veranderingen van de profielen aankomende tientallen jaren zijn moeilijk te voorspellen. De rivierbodem daalt ongeveer twee centimeter per jaar. In berekeningen wordt aangenomen dat de profielen door de jaren heen gelijk zijn gebleven en blijven.

Klasse schepen

In dit onderzoek is gekeken naar typen en klassen schepen en niet naar binnenvaartschepen per goederensoort. Bij de laagwaterproblematiek ligt de beperking niet in het soort goederen maar in het aantal tonnen. Focus ligt op duwvaart klasse V en motorvrachtschepen klasse V. De reden is dat de duwvaart een groot aandeel heeft in het vervoer van droge bulkgoederen over de Rijn en dat deze schepen vanwege hun grote diepgang zeer gevoelig zijn voor laagwater. Wegens de snelle groei van containervaart wordt gekeken naar motorvrachtschepen.

Tijdshorizon

Voor de toekomstverkenning is gekozen voor een focus op een termijn van 50 jaar. Hierbij is rekening gehouden met verschillende tijdsperiodes. De klimaatscenario's richten zich veelal op 2050 en 2100. De beleidsperiode van verladers en rederijen is 3 à 5 jaar. Vlootvernieuwing kan zich voordoen binnen de afschrijvingstermijn van schepen, die rond de 10-30 jaar ligt. Bestuurlijke besluitvorming en realisatie van infrastructurele werken heeft een doorlooptijd van ongeveer 20 jaar. Verkeer en Waterstaat kijkt zelfs meer dan 20 tot 30 jaar vooruit vanwege de grote investeringen die gepaard gaan met veiligheid en de voorbereidingstijd die nodig is om projecten te kunnen uitvoeren. Bij de aanleg van een dijk wordt meer dan 50 jaar vooruit gekeken en voor kunstwerken 100 jaar.

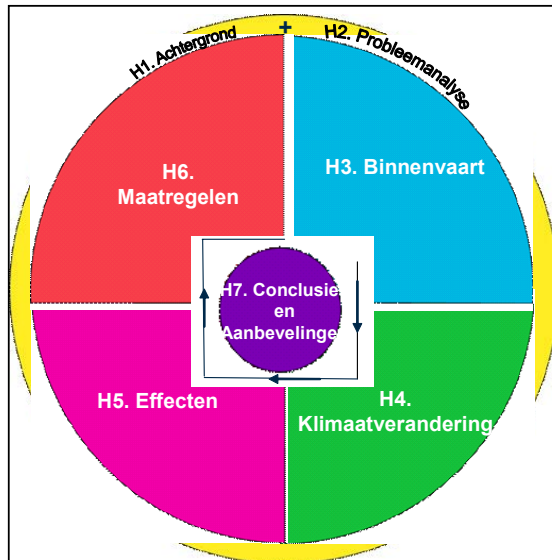
Overige opmerkingen

Afvoer versus waterstand

Op elke locatie in de rivier kan een relatie worden opgesteld tussen afvoer (Q) en waterstand (h). Deze relatie wordt de Q-h relatie genoemd en is afhankelijk van het rivierprofiel. Als de afvoer op een meetlocatie bekend is, kan met behulp van een opgestelde Q-h relatie de waterstand bepaald worden en vice versa.

Om de invloed van klimaatverandering aan te geven wordt gekeken naar veranderingen in afvoeren. De binnenvaart spreekt over waterstanden. Zowel verandering in afvoer en optredende bodemdaling hebben invloed op de waterstand die in Nederland beschreven wordt ten opzichte van het Normaal Amsterdams Peil (NAP). In dit onderzoek wordt afhankelijk van de context het woord 'afvoer' of 'waterstand' gebruikt.

Leeswijzer



Figuur 2-2 Leeswijzer

3 Binnenvaart en de afhankelijkheid van het afvoerregime van de Rijn

In dit hoofdstuk is uiteengezet in welke mate de binnenvaart afhankelijk is van het afvoerregime van de Rijn. In het hoofdstuk hierna is beschreven welke invloed klimaatverandering hierop heeft. Uiteindelijk is in hoofdstuk 5 beschreven wat de effecten van klimaatverandering zijn op de binnenvaart.

In paragraaf 3.1 is de binnenvaart beschreven waarbij het goederenvervoer in beeld wordt gebracht en waarbij het belang van de binnenvaart en de rivier de Rijn naar voren komt. Vervolgens is in paragraaf 3.2 een omschrijving gegeven van het Rijnstroomgebied. Paragraaf 3.3 gaat in op de bevaarbaarheid van de Rijn.

3.1 Binnenvaart

3.1.1 Vervoerstromen

De binnenvaart vervoert enorm veel goederen. Van de 877 miljoen ton aan binnenlands en achterlandvervoer in 2002 nam de binnenvaart 35% (315 miljoen ton) van de vervoerde tonnen en 45% van de tonkilometers voor haar rekening (AVV, 2005). De nationale binnenvaart heeft 20% vervoersaandeel ten opzichte van weg en spoor [1].

Een belangrijk deel van het totale internationale goederenvervoer van en naar Nederland vindt plaats per binnenschip over de Rijn. Over de Waal gaat per jaar gemiddeld zo'n 150 miljoen ton van en naar Duitsland. De Waal is dan ook de meest bevaren rivier in West-Europa. Het vervoerde aantal tonnen over de Rijn is driemaal zo groot als het aantal tonnen dat in Nederland wordt vervoerd (tabel 3-1 en 3-2).

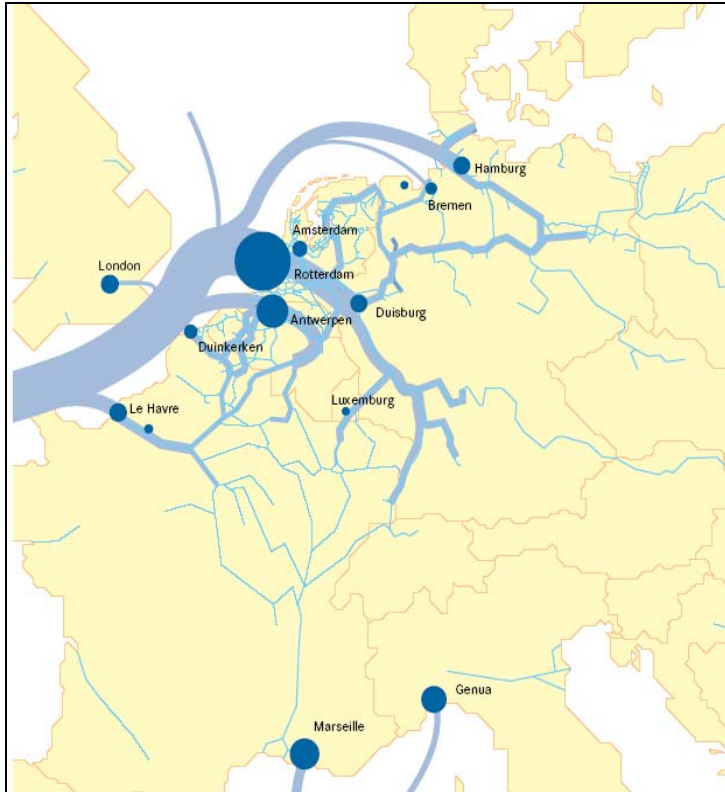
Tabel 3-1 Binnenvaart op de Rijn (Bron: CCR, 2002)

Jaar	Tonnen (x1000)
1998	301.405
1999	293.678
2000	317.604
2001	317.060
2002	310.681

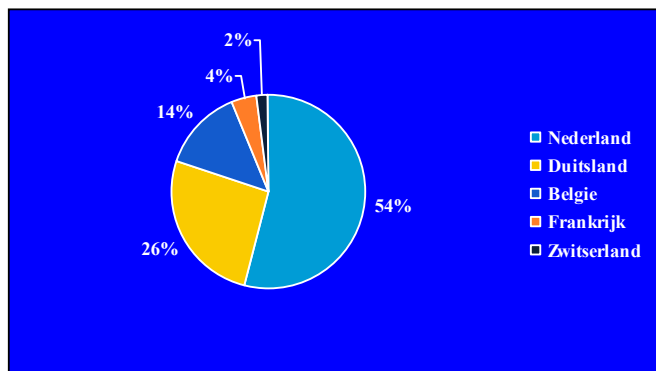
Tabel 3-2 Binnenvaart in Nederland (Bron: CBS, 2002)

Jaar	Tonnen (x1000)
1998	98.587
1999	99.062
2000	102.029
2001	108.914
2002	101.769

Ruim 60% van het binnenvaartvervoer vanuit de haven van Rotterdam passeert bij Lobith de grens (HbR, 1999). De Rijn is de primaire transportas van Nederland en wordt ook wel de hoofdadere van Rotterdam genoemd. In figuur 3-1 is te zien dat goederenvervoerders de haven van Rotterdam kiezen als toegangspoort tot Europa. De dikte van de stroomlijn is een maat voor de hoeveelheid goederen die wordt vervoerd over verschillende trajecten. Droge lading wordt het meest over de Rijn vervoerd. Figuur 3-2 geeft aan welk aandeel verschillende landen hebben in droge tonnen over de Rijn. Van de scheepvaart op de Rijn varen de meeste schepen onder de Nederlandse vlag.



Figuur 3-1 Toegangspoorten Europa en grootte van vervoersstromen (Bron: BvB, 2004)



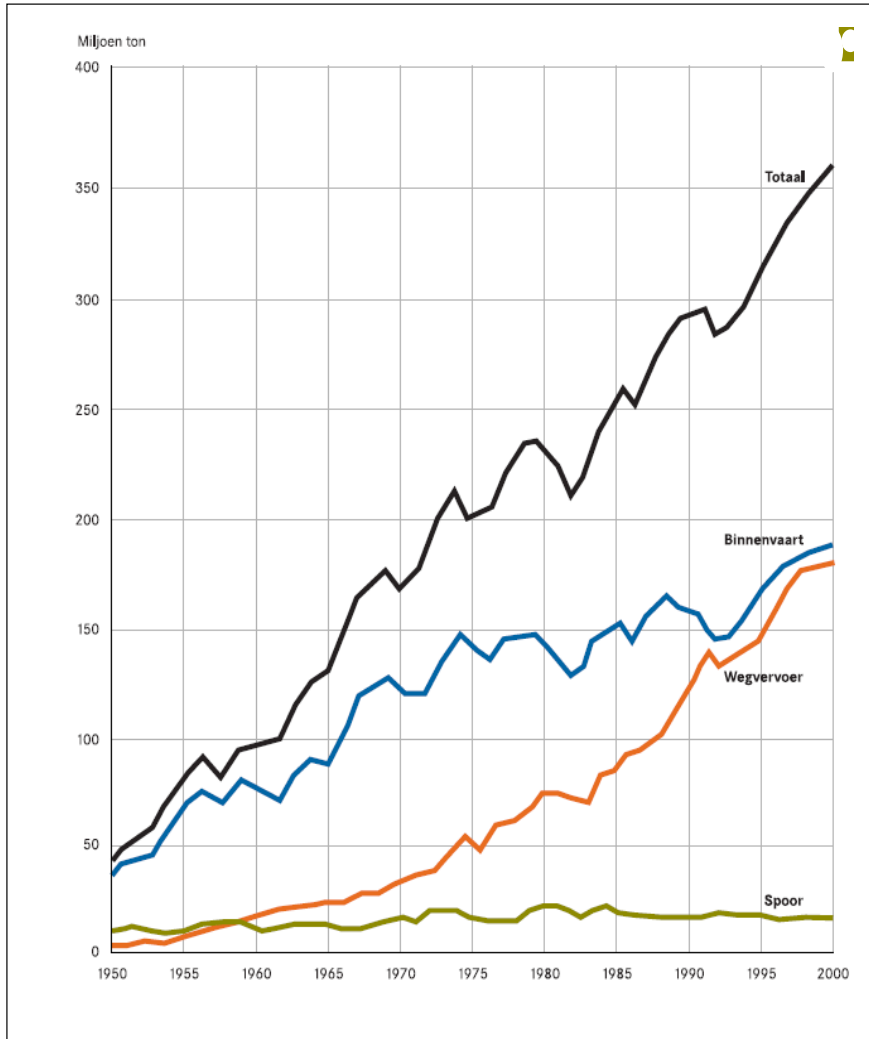
Figuur 3-2 Landaandeel in droge tonnen over de Rijn in 1990 (Bron: HbR, 1999)

3.1.2 Vervoersmodaliteiten

Het goederenvervoer in Nederland vindt plaats via de binnenvaart, het wegvervoer, het spoor en pijpleidingen. Elke modaliteit neemt een bepaald deel van het goederenvervoer voor haar rekening. Welk aandeel van de te vervoeren goederen door elk van de modaliteiten wordt vervoerd is afhankelijk van de volgende factoren: geografie, goederensoort en marktmechanisme. Sterke punten van de binnenvaart zijn: laag energieverbruik, grote vervoerscapaciteit, milieuvriendelijkheid, relatief weinig hinder veroorzakend en zeer veilig.

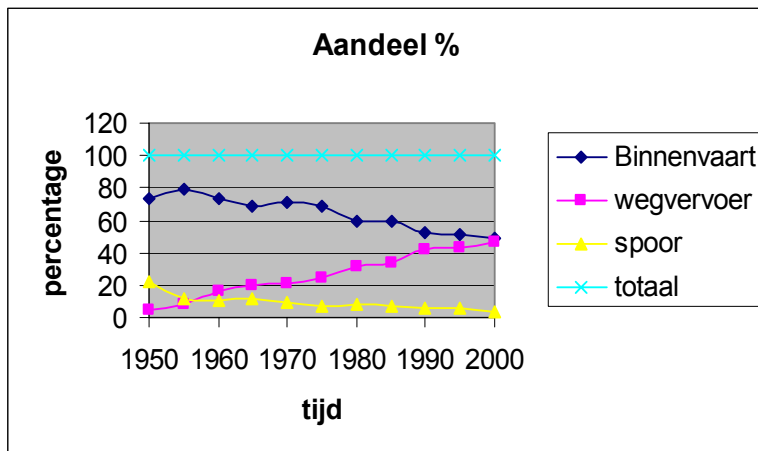
Vervoersaandeel van de modaliteiten

De binnenvaart neemt 50% van het grensoverschrijdend goederenvervoer voor haar rekening. Onder het grensoverschrijdend goederenvervoer wordt verstaan het goederenvervoer dat de Nederlandse grens bij België en Duitsland overgaat.



Figuur 3-3 Grensoverschrijdend (België en Duitsland) achterlandtransport (Bron: BvB, 2004)

In figuur 3-3 is te zien dat zowel de binnenvaart als het wegvervoer is meegegroeid met de toename van het grensoverschrijdende goederenvervoer. Het grensoverschrijdende goederenvervoer is in de periode van 1950 tot 2000 meer dan verzevenvoudigd, daarbij is het aandeel van de binnenvaart verdrievoudigd van 50 naar 180 miljoen ton. De binnenvaart heeft door de jaren heen echter wel aan percentage verloren en de laatste jaren zelfs een relatieve daling in de groei doorgemaakt (figuur 3-4). Verklaring van de groei van het goederentransport via de binnenvaart valt niet binnen dit onderzoek.



Figuur 3-4 Grensoverschrijdend vervoer per modaliteit

3.1.3 Goederensoorten

De goederensoorten die vervoerd worden door de binnenvaart zijn te verdelen in vier groepen, te weten droge bulk, natte bulk, containers en overige goederen. De eerste drie worden hieronder kort beschreven.

Droge bulk

Onder droge bulk vallen de goederengroepen agribulk, ertsen, kolen, zand, grind en mineralen. Het vervoer van droge bulk domineert met 60% het binnenvaartvervoer [2]. In het vervoer van droge bulk vanuit de haven van Rotterdam naar het achterland heeft de binnenvaart een dominante positie en is zij goed voor circa 85% van het achterland vervoer (HbR, 2003). Voor een groot deel van het internationale vervoer van droog massagoed worden duwbotten en duwbakken ingezet. De rest wordt vervoerd met motor(vracht)schepen.

Natte bulk

Tot het vloeibare massagoed behoren olieproducten en chemicaliën. Circa 30% van het binnenvaartvervoer is natte bulk. Het aandeel van de binnenvaart in natte bulk vanuit de haven is 35% (HbR, 2003). De natte bulk wordt met duwbotten en duwbakken maar vooral met motor(tank)schepen vervoerd.

Containers

Het wereldwijde containervervoer is sterk gegroeid, en verwacht wordt dat deze groei zich zal voortzetten. Het binnenvaart containervervoer is pas sinds de tweede helft van de zeventiger jaren op gang gekomen. Het binnenvaart containervervoer is inmiddels verdrievoudigd en heeft een aandeel van 30% in het achterlandvervoer. Jaarlijks is dit zo'n 2,5 miljoen TEU. Ongeveer 60% van de vervoerde containers bestaat uit 40-voets containers.

In tabel 3-3 en tabel 3-4 is aangegeven hoeveel van de goederensoorten droge bulk, natte bulk en containers over de verschillende trajecten van de Rijn worden vervoerd.

Droge en natte bulk wordt vooral naar de Benedenrijn gebracht en containers vooral naar de Middenrijn/Bovenrijn.

Tabel 3-3 Vervoerd gewicht per vaargebied (Bron: CBS, 1996)

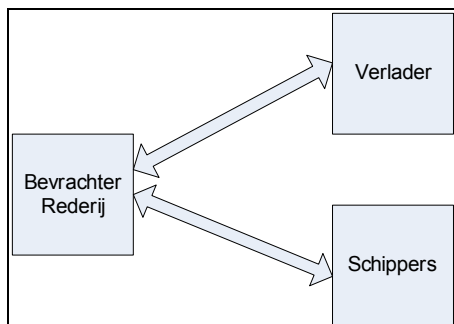
Vervoerd gewicht per vaargebied/traject van en naar Rijnmond (x1000 ton) 1995			
	Benedenrijn	Middenrijn	Bovenrijn
Droge bulk	35.178	5.347	
Natte bulk	9.050	7.245	

Tabel 3-4 Vervoerde TEU's per vaargebied (Bron: NEA, 1995)

Vervoerde TEU's van Rijnmond naar vaargebied 1994			
	Beneden Rijn	Middenrijn	Bovenrijn
Container (TEU)	80.000	395.000	

3.1.4 Actoren in de binnenvaartsector

De binnenvaart opereert in een groot netwerk. Een omschrijving van de verschillende actoren in de binnenvaartsector is gegeven in de begrippenlijst van dit rapport. Veel voorkomende samenwerkingsverbanden in de binnenvaart zijn die van verlader-bevrachter of verlader-rederij, en bevrachter-schipper of rederij-schipper (figuur 3-5). Deze relaties komen veel voor bij het bulkgoederenvervoer. De uiteindelijke afspraken tussen partijen verschillen per opgesteld contract.



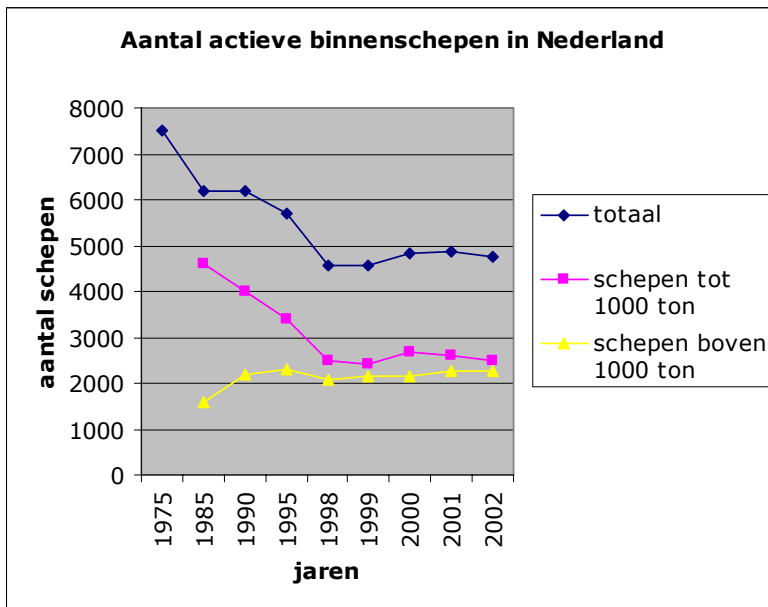
Figuur 3-5 Samenwerking actoren

3.1.5 Vloot

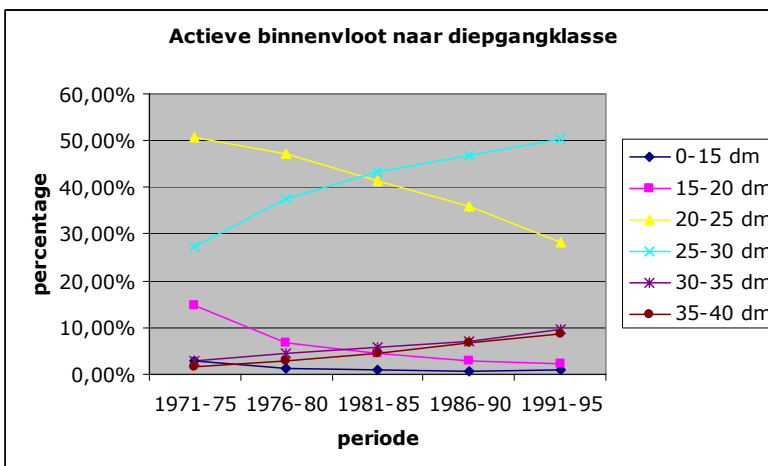
De huidige vrachtvoerende vloot bestaat uit een grote verscheidenheid aan motorschepen en duwbakken (tabel 3-5). Het grootste deel van de vloot is in handen van particuliere eigenaren. Zij exploiteren vaak één of enkele schepen. De vloot heeft zich door de jaren heen ontwikkeld en aangepast in een interactie met de afmetingen van de vaarweg, doorvaarthoogte bij bruggen en sluizen, marktmechanisme en economische ontwikkelingen. Figuur 3-6 laat zien dat het aantal grote schepen (laadvermogen boven 1000 ton) is toegenomen in de afgelopen 25 jaar. Al decennia lang is de aanhoudende trend een vermindering van het aantal schepen bij een gemiddeld groeiend laadvermogen. Figuur 3-7 laat zien dat de gemiddelde diepgang is toegenomen. Verklaring van de ontwikkelingen van de vloot in het verleden valt niet binnen dit onderzoek.

Tabel 3-5 Scheepklasse indeling volgens CEMT

Klasse	Type	Lente(m)	Breedte(m)	Diepte(m)	Lading(t)
I	Spits	38	5.0	1.8-2.2	300
II	Kempenaar	50	6.6	2.5	600
III	Dortmund-Eemscanal	67	8.2	2.5	1000
IV a	Rijn-Herne	80	9.5	2.5	1350
IV b	1 duwbak	85	9.5	2.5-2.8	1250-1450
Va	Groot Rijn schip	95	9.5	2.5-2.8	3000
	1 duwbakken	95-110	11.4	2.5-4.5	1600-3000
Vb	2 duwbakken(lengte)	170-185	11.4	2.5-4.5	3200-6000
VI 6	2 duwbakken(breedte)	95-110	22.8	2.5-4.5	3200-6000
	Motorboot		15.0	3.2-3.5	3300-3600
VI b	4 duwbakken	185-195	22.8	2.5-4.5	6400-12000
VI c	6 duwbakken(lengte)	270-280	22.8	2.5-4.5	9600-18000
	6 duwbakken(breedte)	193-200	34.2	2.5-4.5	9600-18000



Figuur 3-6 Ontwikkeling laadvermogen Nederlandse binnenvaartvloot (Bron: CBS)



Figuur 3-7 Actieve binnenvloot naar diepgangklasse (Bron: AVV)

3.2 Rijnstroomgebied

3.2.1 Geografie

De Rijn is met een gemiddelde afvoer van ongeveer 2200 m³/s aan de Duits-Nederlandse grens de grootste rivier van West-Europa. De Rijn heeft een lengte van 1320 km. Het stroomgebied heeft een oppervlakte van 185.000 km², waarvan 25.000 km² in Nederland, en strekt zich uit over meerdere landen: Zwitserland, Liechtenstein, Oostenrijk, Duitsland, Frankrijk, Luxemburg, België en Nederland. De breedte varieert van circa 3 meter in de Alpen en 70 meter ten noorden van Bazel tot ruim 500 meter ter hoogte van Worms. De bronrivieren van de Rijn zijn de Vorderrhein en de Hinterrhein. Deze rivieren ontspringen in de Zwitserse Alpen. Na hun samenkomst stroomt de Rijn als Alpenrhein langs de Zwitsers-Liechtensteinse en Zwitsers-Oostenrijkse grens en mondt uit in de Bodensee. Als Hochrhein stroomt de Rijn vervolgens naar Bazel. Het deel van de Rijn dat in Duitsland ligt is verdeeld in drie trajecten (bijlage 1). Op deze trajecten mondt een aantal zijrivieren uit, met grote invloed op de waterstanden van de Rijn. De Rijn voert achtereenvolgens de volgende benamingen (figuur 3-8):

- Oberrhein (Bovenrijn), tussen Bazel en Bingen
- Mittelrhein (Middenrijn), tussen Bingen en Bonn
- Niederrhein (Benedenrijn), tussen Bonn en Rotterdam

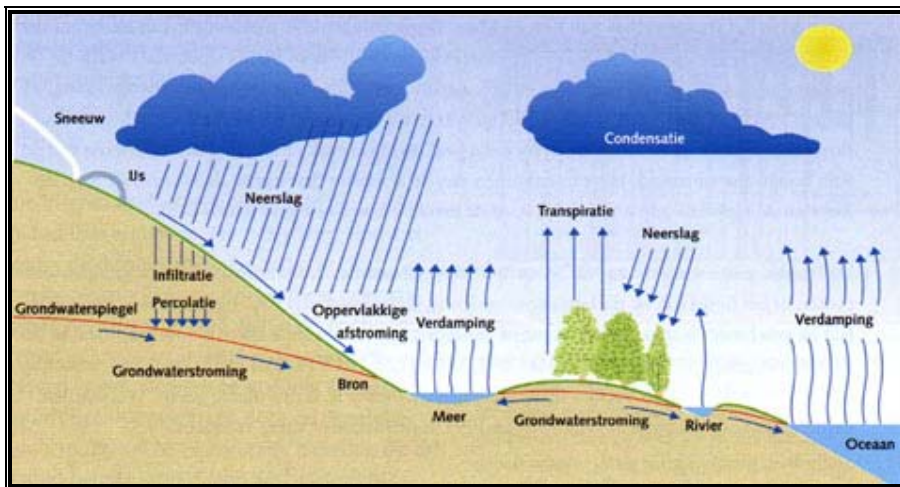


Figuur 3-8 Overzichtsplaatje Rijnstroomgebied

3.2.2 Afvoeren

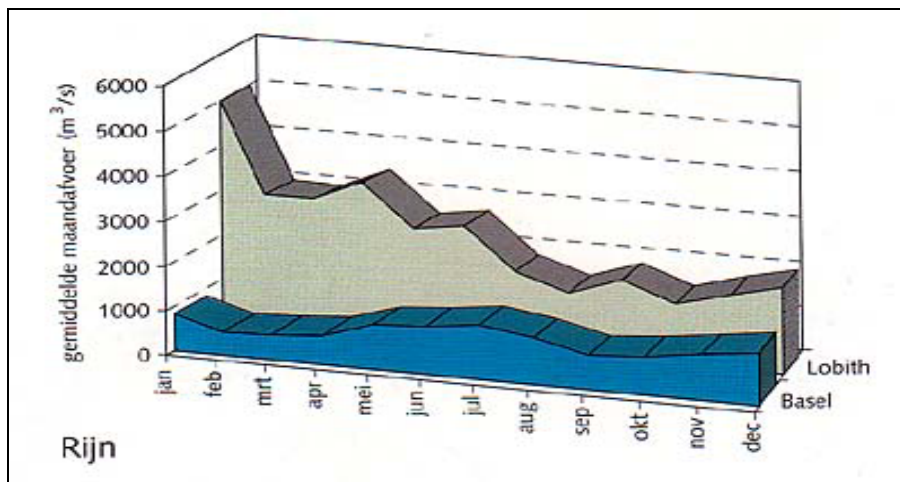
Seizoenen

Afvoeren in een rivier komen tot stand door een veelvoud van processen. In figuur 3-9 is aangegeven hoe de waterkringloop verloopt. De afvoeren bestaan uit de componenten oppervlakte afvoer en toestroming van grondwater. De toestroming van grondwater kan worden gesplitst in een langzame component die voor de basisafvoer van de rivier zorgt en een snellere component.



Figuur 3-9 Waterkringloop

De Rijn is een rivier met een gecombineerd smeltwater- en regenregime. Het aandeel smelt- of regenwater is afhankelijk van het seizoen. Bovenstrooms van Bazel wordt de afvoer bepaald door het smeltwater, met een duidelijke jaarlijkse afvoerpiek in de zomer. Benedenstrooms van Bazel wordt de afvoer van de Rijn bepaald door menselijk ingrijpen, door de grote invloed van regen en door de afvoeren van de zijrivieren van de Rijn. Hierdoor is er een afvoermaximum in de winter. De sneeuw die in de winter is opgeslagen smelt het meest af in de zomermaanden. In die periode is het neerslagoverschot laag en is de verdamping hoog. Dit leidt tot een afvoerminimum in de zomer (figuur 3-10).

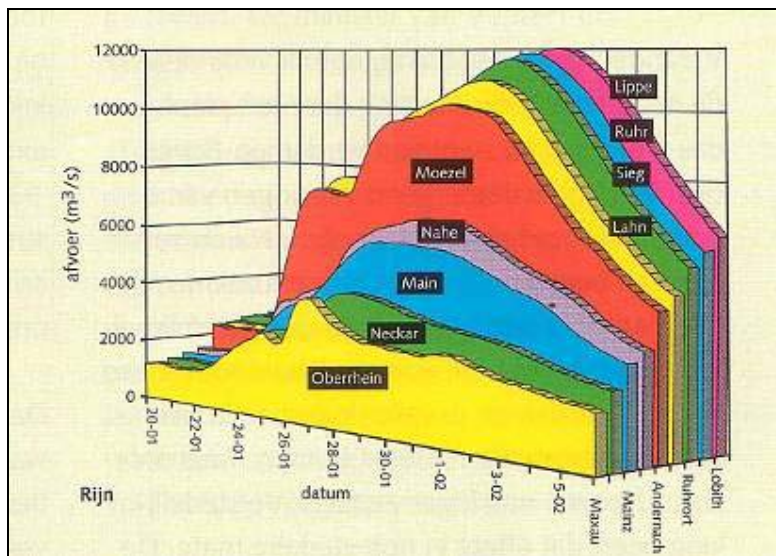


Figuur 3-10 Afvoerregime Bazel en Lobith

Jaarlijks is gemiddeld de helft van het Rijnwater bij Lobith afkomstig uit het Alpengebied (RIZA, 1993). In de zomer is dit aandeel ruim 70%, in de winter loopt het terug tot 30%.

Involed zijrivieren op de afvoer

De zijrivieren hebben hun eigen afvoeregimes. Deze zijn evenals die van de Rijn afhankelijk van gesmolten sneeuw alsmede van de neerslag in het gebied. In figuur 3-11 is zichtbaar hoe het verloop van elke rivier in de wintermaanden van het extreme jaar 1995 was. Door het samenvallen van piekafvoeren ontstonden hoge waterstanden op de Rijn. Deze piekafvoeren treden vaak op in de winter en ontstaan door veel neerslag en weinig verdamping. Dit leidde gedurende korte tijd tot een vaarverbod, een tot dan toe in Nederland onbekend probleem (AVV, 2005).



Figuur 3-11 Afvoeren 1995 in de winter van zijrivieren Rijn

In figuur 3-11 is duidelijk dat de lager (meer naar het noorden) gelegen rivieren het grootste aandeel hebben geleverd in de waterafvoer van de Rijn in 1995. Dit komt omdat deze rivieren een groter achterlandgebied hebben waardoor veel meer neerslag wordt opgevangen en afstroomt naar de Rijn.

Lage afvoeren van de Rijn treden meestal op aan het einde van de zomer en in het najaar. Lage afvoeren komen tot stand door droge warme zomers (nauwelijks neerslag en veel verdamping), waardoor de watervoorraad in het stroomgebied gering is.

3.2.3 Hoog- en laagwater in het verleden

In de literatuur zijn meerdere definities gegeven voor hoge afvoeren. Hoge afvoeren zijn gedefinieerd aan de hand van de kans van vóórkomen. Voor lage afvoeren is maar één definitie gegeven. De volgende definities van hoogwater en laagwater op de rivier de Rijn zijn van belang voor dit onderzoek [2,3]:

Hoogwaterpeil:

De waterstand behorende bij een afvoer die gemiddeld één dag per jaar wordt bereikt of overschreden bij Lobith. Dit is bij een debiet van 5000 m³/s bij Lobith.

Overeengekomen lage rivierwaterstand (OLR):

De waterstand die in 5% van de gevallen onderschreden wordt. Dit is bij een debiet van 1000 m³/s bij Lobith.

Uit de praktijk komen de volgende gegevens naar voren over hoog- en laagwater. Voor de binnenvaart in Nederland is niet gedefinieerd bij welke hoogwaterstand een vaarbepijking of vaarverbod geldt. Wel kan Rijkswaterstaat beperkingen (niet passeren, maximale snelheid) opleggen of besluiten tot vaarverbod. Voor zesbaksduwvaart zijn wél grenzen aangegeven. Van 9 m+NAP tot 13,5 m+NAP bij Lobith is varen toegestaan. Op verschillende plaatsen in Duitsland zijn hoogwaterstanden gedefinieerd waarbij vaarbepijking en vaarverbod geldt (bijlage 2). Een referentievlak voor laagwater is het hierboven genoemde OLR, in Duitsland genaamd Gleichwertige Wasserstand (GIW). Verder zijn er waterstanden gedefinieerd waarbij laagwatertoeslagen gelden voor de binnenvaart. Deze tegemoetkoming is opgesteld, omdat de schepen bij lage waterstanden slechts een deel van hun laadvermogen kunnen meenemen (bijlage 2).

Hieronder worden de volgende punten voor zowel hoog- als laagwater besproken:

1. Frequentie van voorkomen
2. Tijdsduur
3. Voorspelbaarheid

1. Frequentie van voorkomen

In tabel 3-6 en 3-7 is aangegeven hoe vaak hoge en lage afvoeren zijn voorgekomen in de periode 1989-2003. Als grensafvoeren zijn de toegestane afvoeren voor zesbaksduwvaart bij Lobith genomen.

Tabel 3-6 Hoger dan 5800 m³/s bij Lobith

	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003
1.	0	2	1	0	2	3	1	-	1	1	3	1	2	5	1
2.	-	5	5	-	2	13*	13	-	4	10	15	1	6	1	11
3.	-	4	-	-	10*	3	-	-	-	-	1	-	10	2	-
4.	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	3	-	-	11	-

*: samen periode rond jaarwisseling van 23 dagen

1. aantal hoogwaterperiodes
2. duur eerste hoogwaterperiode (dagen)
3. duur tweede hoogwaterperiode (dagen)
4. duur derde hoogwaterperiode (dagen)

Tabel 3-7 Lager dan 1780 m³ /S bij Lobith

	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003
1.	5	7	8	8	10	6	3	8	7	5	4	7	4	10	4
2.	47	25	35	26	21	20	18	32	21	33	24	5	10	4	66
3.	3	4	1	3	2	7	29	1	4	6	13	1	1	1	4
4.	114	104	112	93	65	49	41	51	121	84	34	7	25	11	194

1. aantal laagwaterperiodes
2. gemiddelde duur laagwaterperiode (dagen)
3. minimum aantal dagen per laagwaterperiode
4. maximum aantal dagen per laagwaterperiode

Uit de tabellen kan opgemaakt worden dat het aantal periodes lage afvoeren groter is dan het aantal periodes hoge afvoeren.

2. Tijdsduur

Uit tabel 3-6 en 3-7 komt naar voren dat de duur van lage afvoeren langer is dan die van hoge afvoeren. Hoogwater dat door sneeuw en/of regen in het zuiden van Duitsland is ontstaan doet er 4 à 5 dagen over voordat het de grens van ons land heeft bereikt. Vanaf Koblenz, waar de Moezel uitmondt in de Rijn, tot aan Lobith bedraagt de looptijd van een hoogwatergolf zo'n 2 dagen. In Nederland plant een hoogwatergolf zich veel trager voort dan in Duitsland, doordat het gebied veel vlakker is.

3. Voorspelbaarheid

De ernst van laagwater is goed voorspelbaar. Voorspellingen kunnen ongeveer vier dagen van te voren worden gemaakt. De ernst van hoogwater is iets minder goed voorspelbaar en kan twee à drie dagen van te voren worden voorspeld.

Uit de tabellen 3-6 en 3-7 kan geconcludeerd worden dat lage afvoeren veel vaker voorkomen en veel langer duren dan hoge afvoeren. In de praktijk blijkt ook dat de binnenvaart meer hinder ondervindt van lage afvoeren. Om deze reden is aangenomen dat het risico, gedefinieerd als het product van schade maal kans, voor de binnenvaart bij lage afvoeren groter is. In dit onderzoek ligt de focus daarom op lage afvoeren/waterstanden.

3.3 Afhankelijkheid binnenvaart van het afvoerregime

De afhankelijkheid van het afvoerregime versus de waterstanden op de binnenvaart kan bekeken worden aan de hand van een aantal prestatiefactoren van de binnenvaart.

1. Inzetbaar laadvermogen van de vloot
2. Betrouwbaarheid van het transport
3. Kosten van het transport

In hoofdstuk 5 worden de effecten door klimaatverandering op deze prestatiefactoren besproken. Omwille van eenduidigheid is hieronder aangegeven wat verstaan wordt onder deze prestatiefactoren.

1. Inzetbaar laadvermogen van de vloot

Laadvermogen van een schip geeft aan hoeveel lading in tonnen maximaal door het schip vervoerd kan worden. Het laadvermogen van een vloot is het totale laadvermogen van alle schepen. De totale vervoerscapaciteit van de vloot over een jaar wordt bepaald door het totale laadvermogen van de vloot en de omloopsnelheid.

Kijkend naar de bestemmingen van goederensoorten (tabel 3-3 en 3-4) en het typen schepen dat de Rijn op- en afvaart, is de Rijn twee trajecten verdeeld.

- Benedenrijn
- Middenrijn / Bovenrijn

Een schip wordt geladen afhankelijk van de maatgevende diepte op het te varen traject. Duwbakken varen vooral op de Benedenrijn. De maatgevende peilschaal voor de binnenvaart op dit traject is Ruhrort (Middelkoop, 1999). De Middenrijn / Bovenrijn wordt veel bevaren door containerschepen en in de toekomst zal dit alleen maar toenemen. De maatgevende peilschaal op dit traject is Kaub (bijlage 2). In dit onderzoek is de afvoer bij Lobith gebruikt om afvoerveranderingen door klimaatverandering in beeld te brengen. Voor Ruhrort en Kaub zal de relatieve afvoerverandering hetzelfde zijn.

2. Betrouwbaarheid van het transport

Betrouwbaarheid omvat stiptheid en continuïteit. Stiptheid houdt in het niet optreden van vertragingen. Continuïteit, houdt in permanente beschikbaarheid.

3. Kosten van het transport

Onder kosten worden verstaan de kosten per ton vervoerde goederen. Bij toename van de kosten gaan de tarieven stijgen indien eventuele toeslagen niet voldoende zijn om rendabel te varen.

Kosten en betrouwbaarheid zijn sterk afhankelijk van het inzetbare laadvermogen. Alle drie de hierboven genoemde aspecten zijn afhankelijk van de bevaarbaarheid van de Rijn.

3.3.1 Bevaarbaarheid van de Rijn

Een goede bevaarbaarheid van de Rijn houdt in dat de binnenvaart veilig, vlot en rendabel kan varen. De bevaarbaarheid van de rivier is afhankelijk van de capaciteit van de vaarweg, die op haar beurt afhankelijk is van het afvoerregime en het vaarwegprofiel.

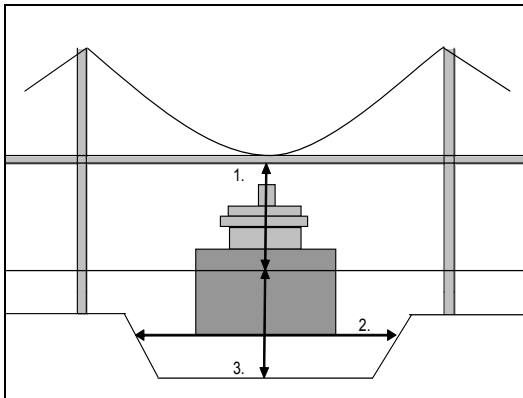
Er zijn twee soorten vaarwegcapaciteit te onderscheiden (PIANC, 2005).

1. Dimensiecapaciteit
2. Doorvaartcapaciteit

Hieronder worden de termen toegelicht.

1. De dimensiecapaciteit beschrijft de beschikbare ruimte voor het schip op de vaarweg. Deze wordt uitgedrukt in diepte, breedte en verticale doorvaarthoogte van de rivier. Bij lage afvoeren neemt de diepte en breedte af en neemt de doorvaarthoogte toe. Voor hoogwater geldt het omgekeerde (figuur 3-12).
2. Doorvaartcapaciteit geeft aan hoévél schepen veilig kunnen varen op de vaarweg. Dit is afhankelijk van de breedte. Deze varieert afhankelijk van de afvoer. Bij lage afvoeren neemt, afhankelijk van het dwarsprofiel, de breedte af.

De indruk is dat verandering van vaarwegbreedte bij lage waterstanden wel de kans op vertraging vergroot maar niet structureel. Bij een gemiddelde waterstand wordt deze doorvaartcapaciteit op de Rijn slechts voor één zevende deel gebruikt (BvB, 2000). Welk deel van de capaciteit van de Rijn bij laagwater wordt gebruikt is niet bekend.



Figuur 3-12 Dwarsdoorsnede brug en schip (niet in verhouding)

Niet op schaal 1. Doorvaarthoogte, 2. Beschikbare breedte, 3. Beschikbare waterdiepte

Uit de praktijk blijkt dat de binnenvaart meer hinder ondervindt door onvoldoende waterdiepte dan van beperking in doorvaarthoogte en rivierbreedte. De bevaarbaarheid is daarmee het meest afhankelijk van de dimensiecapaciteit en vooral van de beschikbare waterdiepte.

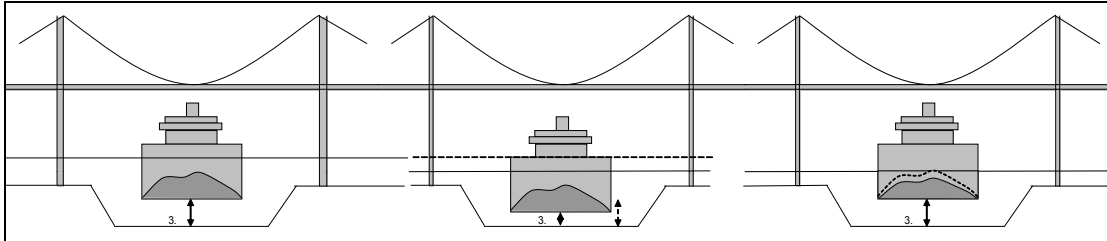
3.3.2 Laadvermogen van de vloot

Schepen worden niet altijd maximaal afgeladen. Redenen hiervoor zijn:

- diepgangsbepering op de rivier
- diepgangsbepering haven van herkomst of bestemming
- beperking van het ladingaanbod
- volumineuze lading
- doorvaarthoogte

In deze paragraaf wordt het eerste punt, de diepgangsbepering op de rivier, bekeken. De overige factoren waardoor het schip niet maximaal wordt afgeladen (laatste vier punten van bovenstaande opsomming) worden buiten beschouwing gelaten.

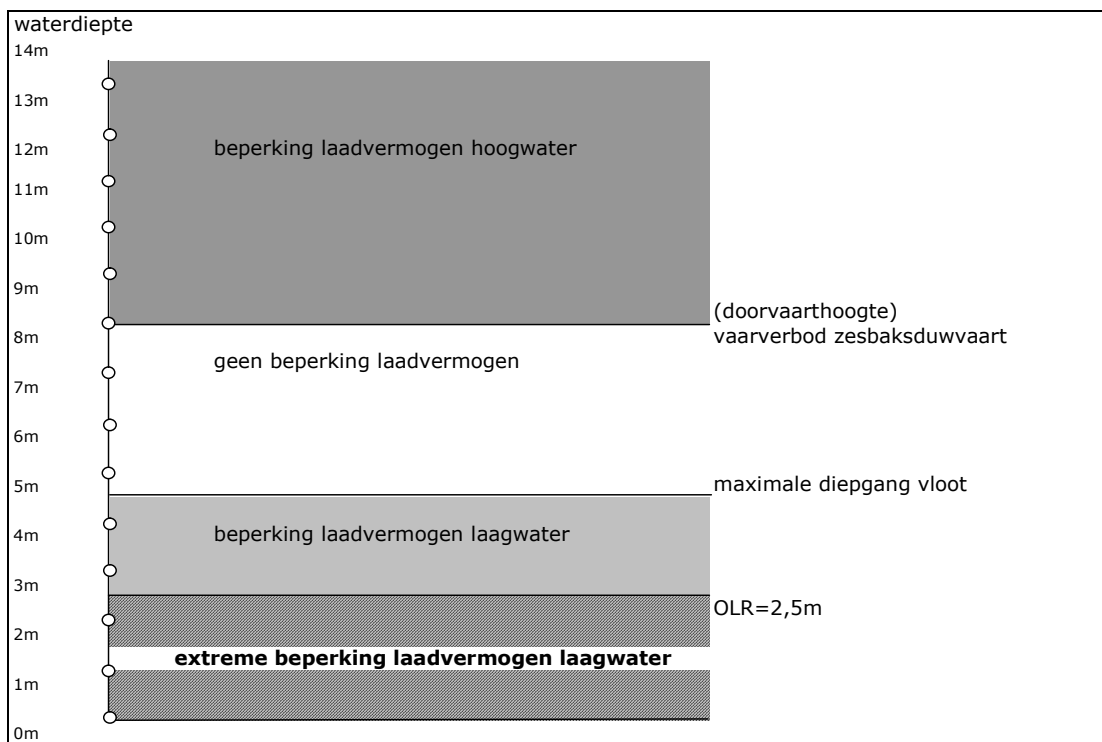
Het totale inzetbare laadvermogen van een schip neemt af met de maximale diepgang (figuur 3-13). Deze toegestane diepgang ofwel aflaaddiepte van het schip is gelijk aan de beschikbare waterdiepte van de rivier minus een veiligheidsmarge. In vervolgberekeningen is de veiligheidsmarge verwaarloosd en daarmee is de beschikbare waterdiepte gelijk gesteld aan de aflaaddiepte.



Figuur 3-13 Inzetbare laadvermogen

Bij dalende waterstand komt schip dieper te liggen. Een minimale veiligheidsmarge moet behouden worden(3.). Om deze reden kan het schip minder beladen varen waardoor het laadvermogen afneemt.

De grootste diepgang van alle klasse schepen heeft een duwbak als deze volledig beladen is. De diepgang is dan ongeveer 4,5 m. Bij een beschikbare waterdiepte onder de 4,5 m neemt het inzetbare laadvermogen van de vloot af. Hoe lager de beschikbare waterdiepte, des te meer klassen schepen slechts een deel van hun laadvermogen kunnen inzetten. Bij een waterdiepte onder 2,5 m hebben alle schepen last van een extreme beperking van het laadvermogen. Figuur 3-14 geeft een idee bij welke waterdieptes er sprake is van beperking van laadvermogen.



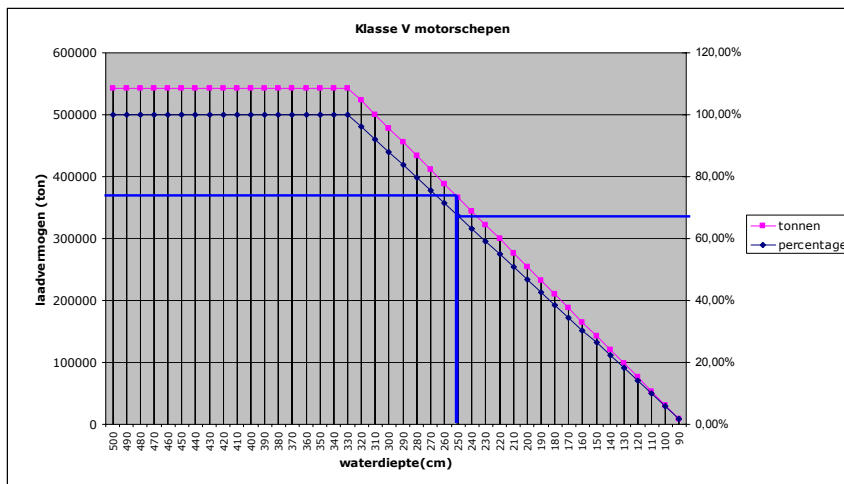
Figuur 3-14 Schematisch overzicht beperkingen laadvermogen bij Lobith

3.3.3 Laadvermogen bij verschillende waterdieptes

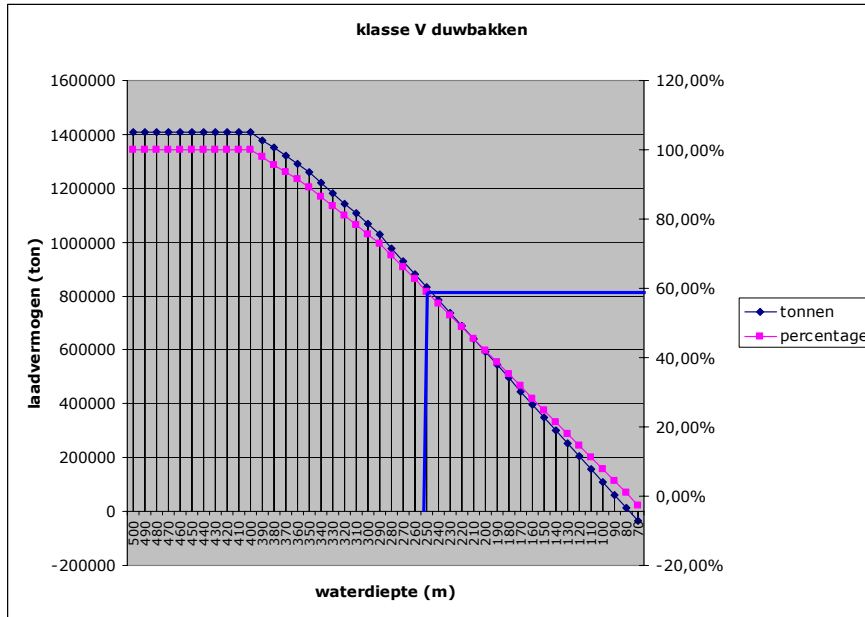
In de figuren 3-15, 3-16 en 3-17 is te zien wat het theoretische laadvermogen is van de klasse V motorschepen, van de klasse V duwbakken en van de gehele vloot bij verschillende waterdieptes. De achtergrond van deze gegevens is te vinden in bijlage 3. In de grafieken is het inzetbare laadvermogen als percentage van het maximale laadvermogen bij onbeperkte waterdiepte bij verschillende waterdieptes weergegeven.

Het theoretische laadvermogen van de totale vloot met 4884 vervoerseenheden is 5.275.306 ton. Bij OLR is het inzetbare laadvermogen 81% van het totale laadvermogen van de vloot. Voor de vloot klasse V motorschepen (figuur 3-15) geldt dat bij OLR nog slechts 67% (verlies ongeveer 170.000 ton) en voor klasse V duwbakken (figuur 3-16) slechts 59% (verlies ongeveer 570.000 ton) van het maximale laadvermogen kan worden ingezet. De resultaten van de berekeningen laadvermogen bij verschillende waterdieptes geven een indicatie van de werkelijkheid. In hoofdstuk 5 zijn deze gegevens gebruikt om aan de hand van een gevoeligheidsanalyse aan te geven wat het verlies aan laadvermogen is bij klimaatverandering. In bijlage 3 is te vinden hoe de berekening is uitgevoerd en onder welke condities. Achtereenvolgens zijn de volgende aspecten in de bijlage uitgewerkt:

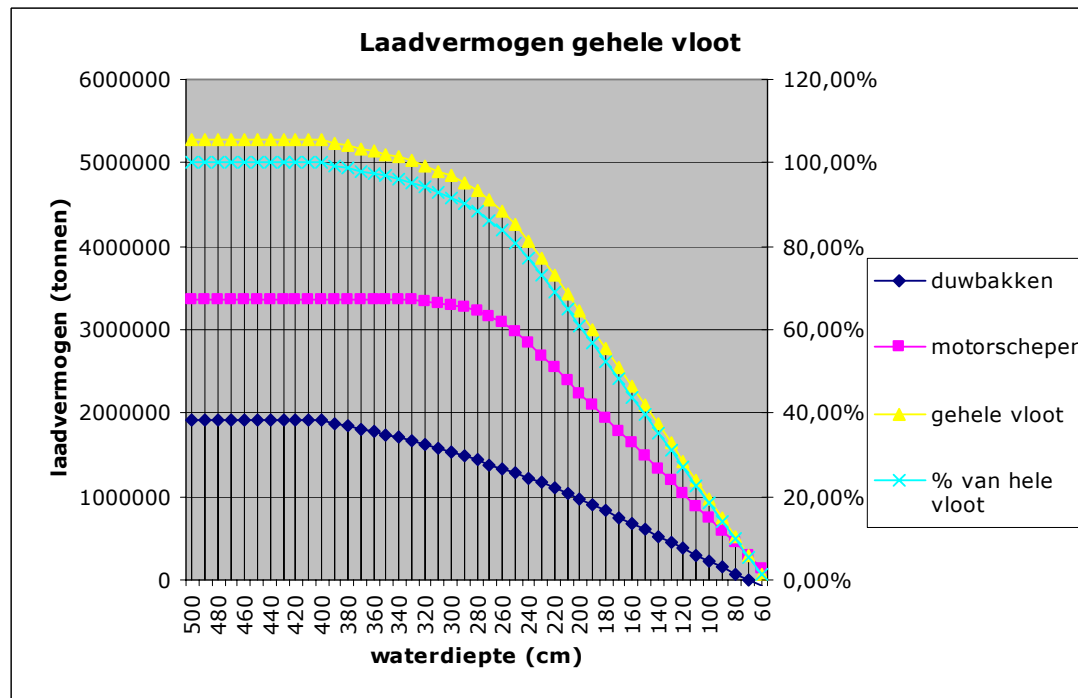
- gegevens
- methode
- condities
- betrouwbaarheid
- vervolgonderzoek
- resultaten



Figuur 3-15 Laadvermogen klasse V motorschepen



Figuur 3-16 Laadvermogen klasse V duwbakken



Figuur 3-17 Laadvermogen gehele vloot

4 Klimaatverandering en de invloed op het afvoerregime van de Rijn

In dit hoofdstuk is beschreven wat de gevolgen zijn van klimaatverandering op het afvoerregime van de Rijn. In paragraaf 4.1 komt aan bod wat klimaatverandering is en wat de oorzaken en de gevolgen daarvan zijn. Vervolgens is in paragraaf 4.2 een analyse gemaakt van de invloeden van verschillende scenario's op het afvoerregime van de Rijn. Ten slotte is in paragraaf 4.3 een gevoeligheidsanalyse uitgevoerd naar de beperkende afvoeren voor de binnenvaart.

4.1 Actuele kennis klimaatverandering

4.1.1 Klimaatverandering vindt plaats

Het gezaghebbende Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), opererend onder de vlag van het United Nations Environment Programme (UNEP) en van de Wereld Meteorologische Organisatie (WMO), stelt dat klimaat onderhevig is aan verandering en dat het zeer waarschijnlijk is dat een deel van de opwarming sinds de tweede helft van de twintigste eeuw door menselijk handelen is veroorzaakt. Ongeveer de helft van de opwarming sinds de jaren '60 kan hiermee verklaard worden, de andere helft hangt samen met de grilligheid van natuurlijke verschijnselen.

In Nederland is de Nota Waterbeleid 21ste eeuw opgesteld (RWS, 2000). Over klimaatverandering wordt daarin het volgende aangegeven:

'De problemen en knelpunten in het huidige watersysteem zullen ten gevolge van klimatologische veranderingen sterk toenemen. Rekening moet worden gehouden met intensieve regenval, frequentere buien en langere perioden van droogte. Het karakter van de rivierafvoeren verandert. De Rijn verandert van een smeltwaterrievier in een regenrievier. De zeespiegelstijging vergroot de problemen voor, op en achter de kust. Een verdere bodemdaling zorgt voor groeiend hoogteverschil tussen land en water. Beide tezamen hebben weer gevolgen voor de waterafvoer, de kustverdediging, maar ook voor de waterkwaliteit. Op grond van onderzoek van het KNMI en andere instituten is de Commissie ervan overtuigd dat genoemde veranderingen tussen 2000 en 2100 zullen optreden. Onzeker is alleen in welke mate en wanneer'.

4.1.2 Klimaatverandering algemeen

Klimaat kan worden gedefinieerd als het totaal van weersverschijnselen op een bepaalde plaats, over een bepaalde periode (Timmermans, 1997). Factoren van invloed zijn temperatuur, neerslag, verdamping, zonschijn en wind.

Klimaatverandering is een systematische verandering op langere termijn van één of meerdere klimatologische eigenschappen. Het is een uiterst complex systeem doordat er tal van effecten zijn die elkaar beïnvloeden. Dit maakt het zo lastig om te voorzien hoe verstoringen in het klimaatsysteem doorwerken. Klimaatverandering wordt mede veroorzaakt door het broeikaseffect. Het broeikaseffect wordt teweeggebracht door een aantal gassen (o.a. methaan, stikstof, koolstofdioxide) in de atmosfeer.

Klimaatverandering wordt niet alleen door de mens veroorzaakt maar ook door natuurlijke invloeden. Hieronder zijn de invloeden van de natuur en de mens opgesomd.

Natuur:

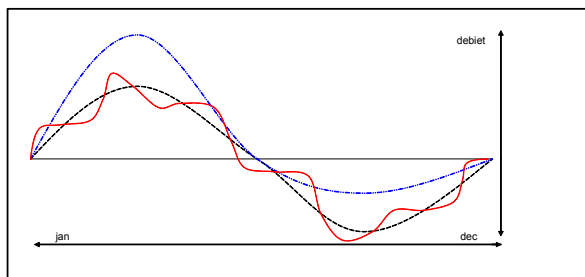
- verschuivingen van continenten en zeestromen
- inslagen op aarde van kometen of meteorieten
- verhoogde vulkanische activiteit
- variaties in de aardbaan
- veranderende zonneactiviteit
- het chaotische gedrag van de atmosfeer

Mens:

- het versterkte broeikaseffect door industrie en verkeer
- grootschalige ontbossing
- energieverbruik huishoudens

4.1.3 Seizoenen versus klimaatverandering

Het karakter van de weersverschijnselen in Nederland hangt in sterke mate af van het seizoen. Dit geldt niet alleen voor de temperatuur, maar ook voor neerslag, mist, wind, onweer en talloze andere verschijnselen. Deze verschijnselen beïnvloeden de afvoeren van de rivier. Fluctuaties in afvoeren gedurende een seizoen hebben altijd plaatsgevonden en zullen zich ook voordoen in de toekomst. Spreekt men over de invloed van klimaatverandering op afvoeren, dan spreekt men over verandering van de afvoeren die niet meer toe is te schrijven aan verandering van het seizoen en fluctuaties gedurende een seizoen. Dit is visueel inzichtelijk gemaakt in figuur 4-1.

**Figuur 4-1 Structurele verandering**

De streepjes-lijn geeft visueel de huidige afvoerverlooptijd door het jaar weer. De stippel-lijn geeft fluctuaties aan. De steepjes-puntjes-lijn geeft de structurele verandering van de afvoerverlooptijd aan veroorzaakt door klimaatverandering.

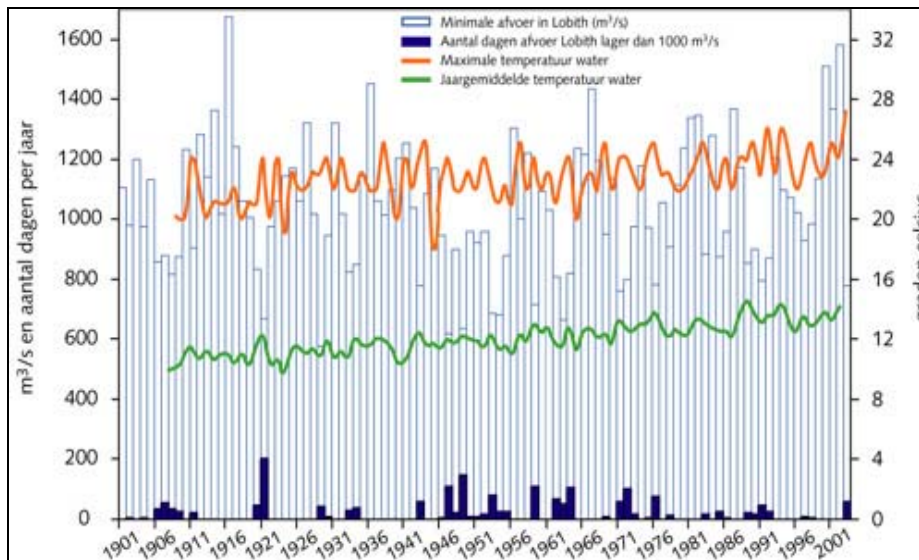
4.1.4 Kenmerkende jaren uit het verleden

Een extreem warm jaar wil nog niet zeggen dat het een extreem droog jaar is. En een jaar dat extreem droog is hoeft niet meteen te betekenen dat er extreem lage waterstanden optreden. In tabel 4-1 is een overzicht gegeven van verschillende klimaatparameters en hun extreme waarden afgelopen eeuw.

Tabel 4-1 Extreme waarden klimaat (Bron: KNMI, bijgewerkt tot 31 augustus 2003)

Jaar	Afvoeren in een jaar		Zomers in Nederland (juni, juli, aug)					
	Minimale afvoer m ³ /s Lobith		Gemiddelde temperatuur (°C)		Zonneschijn (uren)		Neerslag (mm)	
	daggemiddelde	Maand voorkomen	warmste		zonnigste		droogste	
1947	620	November	1947	18,7	1947	840	2003	74
1949	635	November	2003	18,6	1976	814	1921	85
1921	670	November	1976	18,4	1959	797	1983	88
1954	680	Januari	1983	18,2	1911	738	1959	104
1959	715	Oktober	1995	18,2	1975	736	1949	110
1971	760	November	1994	18,0	1995	725	1976	113
1943	780	November	1997	18,0	1983	708	1984	133
2003	780	September	1992	17,8	1949	704	1989	134
1976	782	Juli	1911	17,6	1934	700	1995	134
1991	794	September	1975	17,6	1904/1973	699	1955	135

Laagwaterperiodes zijn niet nieuw en in het verleden zijn die al herhaaldelijk voorgekomen (figuur 4-2). De figuur geeft per jaar weer welke minimale afvoeren zich hebben voorgedaan bij Lobith en hoeveel dagen de afvoer van 1000 m³/s werd onderschreden.

**Figuur 4-2 Temperatuur van het water en afvoer per jaar (bron: KNMI)**

Het is zichtbaar dat 1921, 1947, 1949, 1959, 1964, 1972 en 1976 de jaren waren waarin gedurende het meest aantal dagen 1000 m³/s bij Lobith werd onderschreden. De afvoerverlooptlijnen bij Lobith van een aantal van deze jaren is terug te vinden in bijlage 4. Welke jaren voor de binnenvaart in de praktijk cruciaal zijn geweest en wat specifieke kenmerken waren is niet bekend. Een jaar waarin de afvoer van 1000 m³/s gedurende veel dagen wordt onderschreden over een lange periode verspreid heeft een ander effect op de binnenvaart dan wanneer deze dagen in een korte periode plaatsvinden.

De grilligheid van de Rijn

In 1540 spraken de mensen van het 'Grote Zonnejaar'. Het was toen in heel Europa maanden lang zeer heet en zeer droog. In Bazel viel 10 dagen regen in 10 maanden tijd. De Rijn bij Keulen bevatte vrijwel geen water en was onbevaarbaar (Buisman, 2003). Andere jaren kwam het voor, dat de binnenvaart geconfronteerd werd met ijs. De 20ste eeuw telde 10 winters met vast ijs op de Waal. Vooral door kanalisatie en warmtelozingen vriezen de rivieren nu minder vaak dicht. In de winters van 1985 en 1987 gebeurde dat het laatst. De winter van 1963, de koudste van de eeuw, was de laatste winter met vast ijs op de Nederrijn en de Lek. Deze rivieren waren toen 39 dagen dicht, de Waal was 26 dagen bevroren [4]. Op 20 januari 1963 kwam de vaart op de Duitse Rijn stil te liggen. Het vóórkomen van ijs op de Rijn in de toekomst is geen onderdeel van dit onderzoek.

4.1.5 Opgestelde klimaatscenario's

Over het klimaat na de 21ste eeuw kan alleen worden gespeculeerd. Volgens de scenario's van het IPCC zullen de effecten van verhoogde broeikasgasconcentraties nog lang merkbaar zijn. De verwachtingen over globale en regionale klimaatveranderingen lopen sterk uiteen. Het Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut (KNMI) heeft schattingen gemaakt van toekomstige klimaatveranderingen in Nederland die gebaseerd zijn op de IPCC scenario's. Dit onderzoek gaat uit van deze scenario's omdat het KNMI een gerenommeerd meteorologisch instituut is en omdat het KNMI wordt beschouwd als uiterst bekwaam in het maken van scenario's. Zie tabel 4-2 en tabel 4-3 voor de scenario's van 2050 en 2100. Scenario's zijn geen voorspellingen en geen toetsbare waarden maar een extrapolatie van een samenhangend geheel van kenmerken die zich in de toekomst kunnen voordoen. De kans dat een bepaald scenario voorkomt kan niet worden aangegeven. Het midden scenario is het meest aannemelijk om vanuit te gaan.

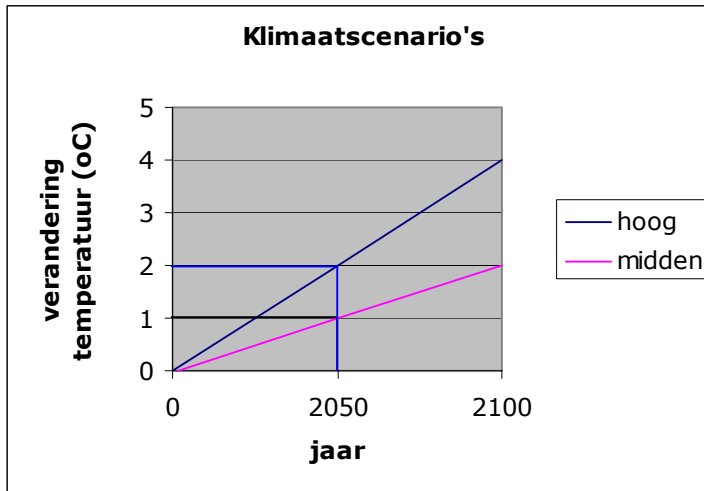
Tabel 4-2 KNMI scenario's 2100 (Bron: KNMI, 2003)

	Laag scenario	Midden scenario	Hoog scenario
Temperatuur	+ 1 °C	+2 °C	+4 tot 6 °C
Gemiddelde zomerneerslag	+1%	+2%	+4%
Zomerverdamping	+4%	+8%	+16%
Gemiddelde winterneerslag	+6%	+12%	+25%
Zeespiegelstijging	+20 cm	+60 cm	+110 cm

Tabel 4-3 Klimaatscenario's 2050 van het KNMI en het droge scenario (Bron: Beersma, 2004)

	Laag scenario	Midden scenario	Hoog scenario	Droog scenario
Temperatuur				
Jaar	+0.5 °C	+1.0 °C	+2.0 °C	+2.3 °C
Zomer	+0.5 °C	+1.0 °C	+2.0 °C	+3.1 °C
Winter	+0.5 °C	+1.0 °C	+2.0 °C	+2.0 °C
Neerslag				
Jaar	+1.5%	+3.0%	+6.0%	-4%
Zomer	+0.7%	+1.4%	+2.8%	-20%
Winter	+3.0%	+6.0%	+12%	+13%
Potentiële verdamping				
Jaar	+1.9%	+3.9%	+7.8%	+18%
Zomer	+1.7%	+3.3%	+6.6%	+24%
Winter	+2.8%	+5.6%	+11.2%	+8%

Figuur 4-3 geeft de relatie aan tussen de opgestelde scenario's voor 2050 en 2100. De verandering in temperatuur van het midden scenario voor 2100 is gelijk aan het hoge scenario voor 2050.



Figuur 4-3 De verschillende scenario's uitgezet

Het volgende kan worden opgemerkt (Beersma, 2004):

- Voor wat betreft de neerslag zijn deze scenario's opgesteld door waargenomen verbanden tussen neerslag en temperatuur in Nederland door te trekken naar de toekomstige temperaturen. Daarbij is aangenomen dat die verbanden ook geldig zijn in het veranderende klimaat. Er is een hoog, midden en laag scenario. Het verschil in de totstandkoming van de scenario's is gelegen in de mate waarin het broeikas effect daarin wordt meegenomen.
Laag scenario: geen broeikas effect meegenomen
Midden scenario: broeikas effect wel verdisconteerd
Hoog scenario: broeikas effect versterkt verdisconteerd
- Tegenover de kleine toename van de gemiddelde zomerneerslag staat een sterkere toename van de verdamping in de zomer, hetgeen verdroging tot gevolg kan hebben.
- De temperatuurbereik onder de hoge schatting van 2100 (+4 tot 6°C) geeft aan dat de bijbehorende effecten op de neerslag min of meer onveranderlijk zijn in dat temperatuurgebied.

In dit onderzoek is alleen gekeken naar de scenario's van 2050. Naast de vernoemde scenario's opgesteld door het KNMI is er sinds kort een droog scenario gedefinieerd (tabel 4-3, laatste kolom). Dit is gedaan voor de studie genaamd Droogtestudie [5]. Bij dit scenario wordt uitgegaan van een sterke uitdroging die gepaard gaat met een relatief sterke toename van de temperatuur, als gevolg van terugkoppelingseffecten.

Uit de tabel 4-3 kan het volgende worden afgeleid:

- In de winter toont het droge klimaat scenario grote overeenkomst met het 2 °C KNMI klimaat scenario.
- Voornamelijk in de zomer en in het najaar wijkt het droge scenario daar sterk van af. De temperatuurtoename is in de zomer groter (3.1 °C).
- De zomerneerslag neemt in het droge scenario af met ongeveer 20% (in plaats van een toename met 3%).
- Als gevolg van de grotere temperatuurtoename in combinatie met een afname van de relatieve vochtigheid is de toename van de potentiële verdamping in de zomer aanzienlijk groter (24% in plaats van 7%).

Niet alle experts zijn het eens over de gevolgen van het droge scenario op de afvoeren van de Rijn. Met name niet met het terugkoppelingseffect tussen temperatuur en de neerslag. Van Deursen, juli 2005: 'natte winter betekent veel grondwaterberging wat tot afvoer kan komen in de zomer. Hoewel de zomers droger zijn (minder neerslag) hoeft dit niet automatisch te leiden tot lagere afvoeren'. In dit onderzoek wordt wel gewerkt met dit droge scenario, omdat deze juist iets zegt over extreme droogte die nauw in relatie staat met zeer lage afvoeren.

Klimaatscenario voor de Rijn

Voor Nederland worden de standaard KNMI klimaatscenario's toegepast, terwijl voor het stroomgebied van de Rijn klimaatscenario's op basis van de UKHI / IS92a projecties worden gebruikt. Deze zijn tot stand gebracht door de UK Meteorological Office, die neerslag en temperatuurvoorspellingen heeft gedaan op basis van de IPCC IS92a emissiescenario (Beersma, 2004). Tussen het midden scenario 2050 van het KNMI en het midden scenario voor 2050 voor het Rijnstroomgebied op basis van UKHI/IS92a is voldoende overeenstemming tussen beide typen klimaatscenario's (Beersma, 2004). Voor de overige scenario's is niet beschreven of die scenario's met elkaar overeenkomen. Voor dit onderzoek is aangenomen van wel.

4.2 Gevolgen scenario's voor het afvoerregime van de Rijn

De neerslag en temperatuurvoorspellingen van UKHI / IS92a zijn gebruikt om met het waterbalans model Rhineflow de maandelijkse afvoeren van de Rijn en haar grote zijrivieren te berekenen (Deursen, van, 2003 a).

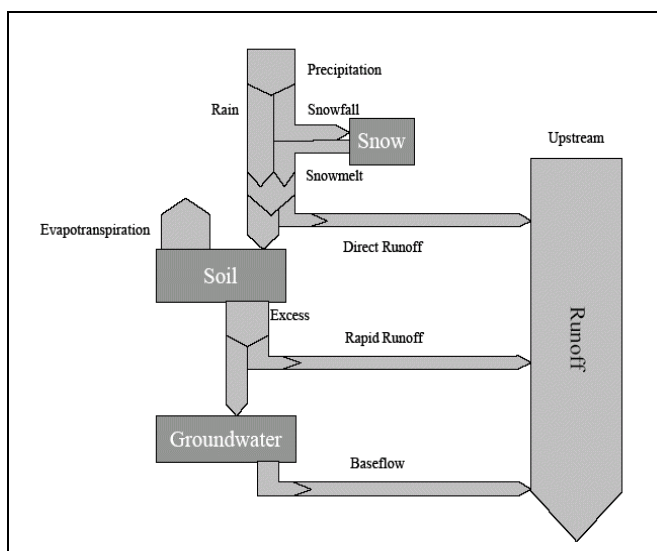
4.2.1 Het hydrologische model Rhineflow

Geschiedenis model

De eerste versie van het Rhineflow-model stamt uit 1993. Het is een neerslag-afvoer model voor de Rijn. Het model rekt met een tijdstap van 1 maand en is gebouwd rondom een Geografisch Informatie Systeem (GIS) met een ruimtelijke resolutie van 3 bij 3 km². In het kader van het onderzoeksproject NOP is het model omgebouwd naar een tiendaags model met een ruimtelijke resolutie van 1 bij 1 km². Rhineflow versie 3 (Deursen, van, 2002) is later ontwikkeld en gekalibreerd op hoge afvoeren, maar nu ook voor het eerst op lage afvoeren. Deze versie rekt ook met een tijdstap van tien dagen, maar kent een ruimtelijke resolutie van 3 bij 3 km². Rhineflow-3 heeft echter een meteorologische database die een aanzienlijk hogere ruimtelijke resolutie heeft dan Rhineflow-2. Dit heeft geleid tot een veel betere beschrijving van de neerslagpatronen in de Alpen.

Rhineflow-model beschrijving

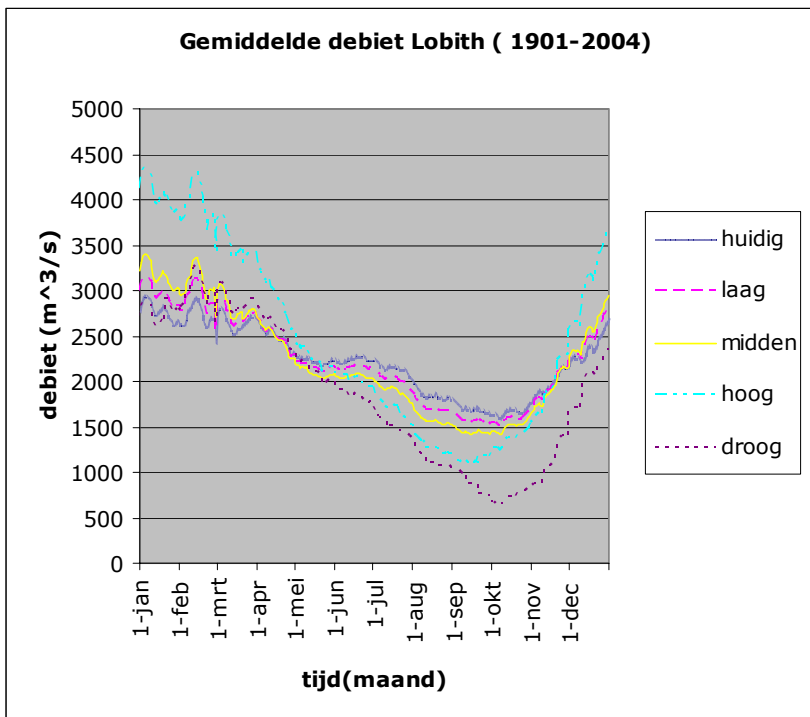
Met het Rhineflow-model wordt de invloed van de verwachte klimaatveranderingen op de Rijn doorgerekend. De hydrologische kringloop in een stroomgebied kan worden beschreven als een combinatie van reservoirs en stromen. Een waterbalans is gebruikt voor het beschrijven van de omzetting van neerslag in rivierafvoer. Het 'waterbudget' voor elk van de compartimenten in deze waterbalans is te beschrijven als een simpele massabalans, dat wil zeggen verandering in de component is gelijk aan de instroming minus uitstroming. Het model maakt verder gebruik van een database van de internationale Commissie voor de Hydrologie van het Rijngebied (CHR) met gegevens over landgebruik, bodemtype en hoogteligging. De componenten van het model en hun samenhang zijn weergegeven in figuur 4-4.



Figuur 4-4 Componenten Rhineflow

4.2.2 Veranderingen van de afvoeren op de Rijn

De afvoeren van de Rijn zijn voor de verschillende scenario's van 2050 berekend door afvoerperioden uit het verleden te bewerken met de gegevens uit het Rhineflow-3 model (Deursen, van, 2003a/b) (bijlage 5). In figuur 4-5 is de gemiddelde afvoer over de periode 1901-2004 en de gemiddelde afvoer bij Lobith weergegeven voor alle vier de scenario's.



Figuur 4-5 Gemiddelde afvoerverlooptlijnen Lobith

De verschillen tussen de vier scenario's en het huidige gemiddelde debiet zijn in de winter en het najaar het grootst. In het droge scenario nemen de afvoeren in het begin van het najaar met meer dan 50% af. Uit de gegevens van de figuur kan direct afgeleid worden dat de lage afvoeren lager worden en dat de onderschrijdingsduur van het gemiddelde debiet ($2200 \text{ m}^3/\text{s}$) langer wordt. De belangrijkste redenen hiervoor zijn de afname van smeltwater door afname van de sneeuwvoorraad in de winter in de Zwitserse Alpen en de toenemende verdamping, waardoor minder neerslag in de Rijn tot afvoer komt, beide als gevolg van stijgende temperaturen. Over de winterafvoeren van de Rijn kan geconcludeerd worden dat de afvoeren toenemen. Dit komt door toename van neerslag in de winter.

4.2.3 Gevoeligheidsanalyse lage afvoeren

Hieronder worden drie analyses besproken om het effect van klimaatverandering op toekomstige afvoeren te laten zien. Hiervan zijn twee analyses uit eerdere onderzoeken, deze zijn vernoemd naar de onderzoekers.

1. Analyse Kwadijk
2. Analyse Nomden
3. Analyse huidig onderzoek

In de tijd tussen het onderzoek van Nomden (1997) en dit onderzoek heeft een aantal ontwikkelingen plaats gevonden:

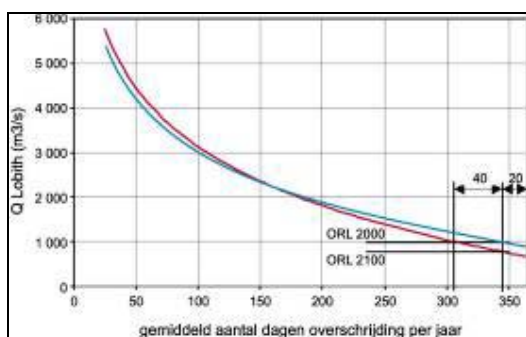
- Een nieuw scenario is ontwikkeld ten aanzien van extreme droogte.

- Rhineflow is verder ontwikkeld van 30-daagse naar 10-daagse voorspelling, waarbij droogte beter is gekalibreerd.
- Voorspellingen over neerslag en temperatuur zijn steeds beter geworden waardoor de betrouwbaarheid van de scenario's groter is.

In dit onderzoek is in tegenstelling tot eerdere onderzoeken een gevoeligheidsanalyse uitgevoerd waarbij is gekeken naar het aantal perioden en duur van de perioden waarin laagwater voorkomt.

1. Analyse Kwadijk (1993)

In dit onderzoek is geconcludeerd dat het vóórkomen van een debiet lager dan 1000 m³/s bij Lobith zich omstreeks 2100 niet 20 dagen voordoet zoals nu, maar 60 dagen zal voordoen (figuur 4-6). Het aantal dagen onder 1000 m³/s zal dus met een factor drie toenemen.



Figuur 4-6 Dagen overschrijding per jaar (Bron:Kwadijk, 1993)

Het zal in de toekomst moeilijker worden de thans geldende afspraak met betrekking tot de OLA te handhaven. Verwacht wordt dat OLA aan het eind van de volgende eeuw gerelateerd zal zijn aan een afvoer van slechts 800 m³/s.

2. Analyse Nomden (1997)

In dit onderzoek is per Rijntraject berekend wat de onderschrijdingsfrequentie is omstreeks 2050. Bij Rees zal de onderschrijdingsfrequentie van 2,5 m waterdiepte toenemen van 5% naar 9% (tabel 4-4 en tabel 4-5). Onderstaande tabellen zijn opgesteld aan de hand van een UKHI-scenario. Verder is voor de Benedenrijn Rees als maatgevend meetstation gebruikt en voor de Middenrijn meetstation Kaub.

Tabel 4-4 Onderschrijding Benedenrijn (Rees, gemiddeld per jaar) (Bron: Nomden, 1997)

Diepte	Onderschrijdingsfrequenties(%)	
	Huidig	2050
2,5 m	5	9
3,0 m	13	17

Tabel 4-5 Onderschrijding Midden-/Bovenrijn (Kaub, gemiddeld per jaar) (Bron: Nomden, 1997)

Diepte	Onderschrijdingsfrequenties(%)	
	Huidig	2050
2,1 m	12	17
2,5 m	24	30
3,0 m	47	51

3. Recent onderzoek (2005)

De voorgaande onderzoeken geven inzicht in de invloed van klimaatverandering op de duur van onderschrijding van bepaalde afvoeren/waterstanden. In onderstaande gevoeligheidsanalyse komen aan bod:

- onderschrijdingsfrequentie
- aantal perioden
- duur van een periode

Achtereenvolgens zijn de volgende analyses uitgevoerd.

- I. Gemiddelde afvoer
- II. Afvoerverlooptijd van 1989-2003
- III. Maatgevende jaren voor de binnenvaart
- IV. Zomer 2003

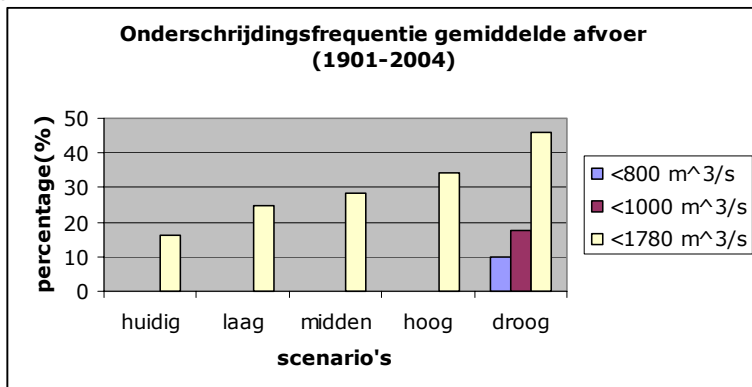
OLR wordt vaak als referentie genomen om uitspraken te doen over het voorkomen van laagwater. In dit onderzoek is gekeken naar verschillende afvoeren. Dit is gedaan om meer inzicht te geven in de ernst van de te verwachte veranderingen. De volgende afvoeren zijn gebruikt als referentie.

- De zeer lage afvoer van $800 \text{ m}^3/\text{s}$ (waterdiepte minder dan 1,80 m bij Lobith).
- De overeengekomen lage rivierafvoer (OLA) van $1000 \text{ m}^3/\text{s}$ ¹ (waterdiepte 2,5 m bij Lobith).
- De minimale afvoer waarbij met zesbaksduwvaart mag worden gevaren van $1780 \text{ m}^3/\text{s}$ (waterdiepte 3,8 m bij Lobith).

Gegevens uit het verleden zijn aangegeven met de term 'huidig'. De verschillende scenario's worden aangegeven met de afgekorte termen 'laag', 'midden', 'hoog' en 'droog'.

I. Gemiddelde afvoer

Deze analyse geeft de onderschrijdingsfrequentie van de gemiddelde afvoer bij verschillende scenario's. In figuur 4-7 zijn de resultaten weergegeven. Voor de berekening is gebruik gemaakt van de gemiddelde afvoerverlooptijd bij Lobith over de periode 1901-2004.



Figuur 4-7 Onderschrijdingsfrequentie in een jaar bij Lobith

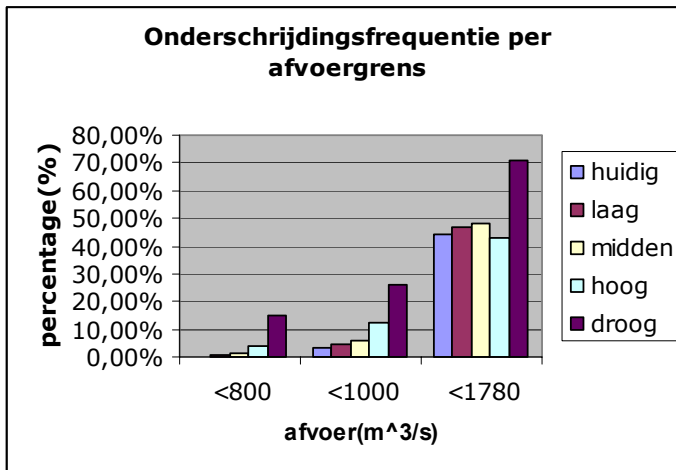
Berust op de gemiddelde afvoer per dag van 1901-2004.

De gemiddelde afvoerverlooptijd kwam in deze periode niet onder een afvoer van $1000 \text{ m}^3/\text{s}$. De gemiddelde afvoer bij de scenario's onderschrijdt $1000 \text{ m}^3/\text{s}$ alleen in het geval van het droge scenario en wel 18% van de tijd.

¹ Q-h relatie 2000 geeft $1096 \text{ m}^3/\text{s}$ bij 2,5 m waterdiepte en $1000 \text{ m}^3/\text{s}$ bij 2,2 m waterdiepte.

II. Afvoerverlooptijd van 1989-2003

Om iets over de mate van hinder te zeggen van lage afvoeren is het niet voldoende om alleen naar de gemiddelde afvoeren te kijken omdat hoge zomerafvoeren in het ene jaar lage zomerafvoeren in een ander jaar uitmiddelen. Om deze reden is gekeken naar de dagelijkse afvoeren van een representatieve periode. Deze analyse is gedaan aan de hand van de periode 1989-2003. Hoe langer de afvoerserie is, des te betrouwbaarder is deze gevoeligheidsanalyse. Uit figuur 4-8 is op te maken dat het percentage dagen dat de afvoer zich onder $1000 \text{ m}^3/\text{s}$ bevindt toeneemt in de verschillende scenario's.



Figuur 4-8 Klimaatscenario's in beeld

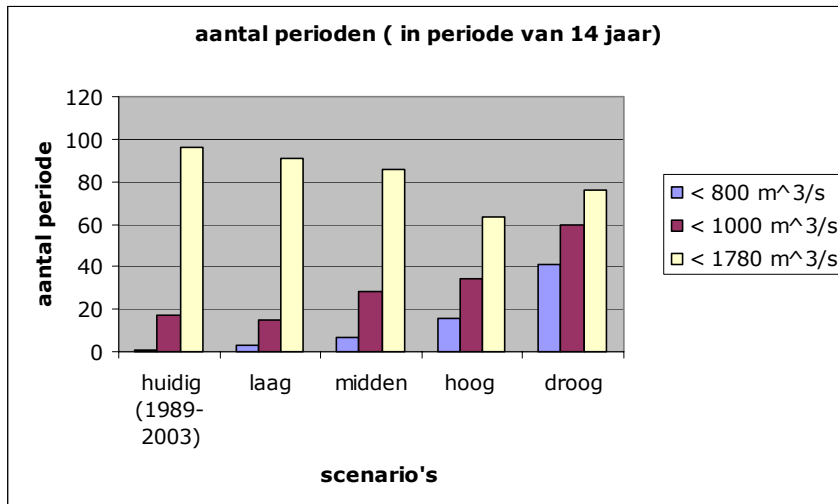
De volgende aspecten zijn te concluderen:

- Opvallend is de afname van het percentage overschrijding van $1780 \text{ m}^3/\text{s}$ bij het hoge scenario in vergelijking met het midden scenario. De verklaring is, dat in bepaalde maanden in geval van het hoge scenario geen negatief effect optreedt onder invloed van klimaatverandering en bij het lage en midden scenario wel (bijlage 5).
- In het midden scenario komt overschrijding van $800 \text{ m}^3/\text{s}$ 1% van de tijd voor en in het droge scenario 14% van de tijd.

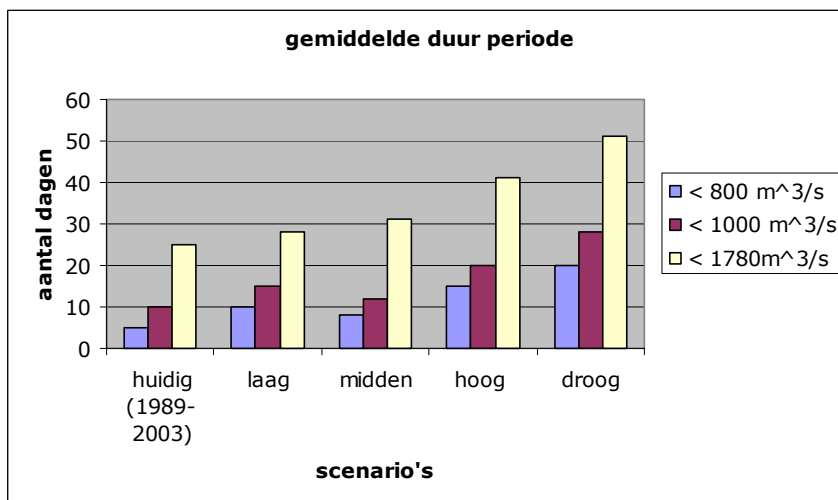
Uit figuur 4-9 en 4-10 blijkt dat niet alleen bij een afvoer gelijk of lager dan $1000 \text{ m}^3/\text{s}$ bij Lobith het aantal dagen overschrijding toeneemt, maar ook het aantal perioden en de gemiddelde duur daarvan.

- In een tijdsbestek van 14 jaar neemt het huidige aantal perioden toe van 17 naar 28 perioden in het midden scenario respectievelijk 60 perioden in het droge scenario.
- De gemiddelde duur van een periode neemt toe van 10 dagen naar 12 dagen in het midden scenario respectievelijk 28 dagen in het droge scenario.

Bij de afvoer gelijk of lager dan $1780 \text{ m}^3/\text{s}$ neemt het aantal perioden af en de gemiddelde duur van een periode neemt toe. De afname van het aantal perioden is te verklaren doordat meer aaneengesloten dagen achtereen een afvoer onder de $1780 \text{ m}^3/\text{s}$ voorkomt, waardoor het aantal perioden minder is (bijlage 7).



Figuur 4-9 Aantal perioden



Figuur 4-10 Gemiddelde duur periode

Bovenstaande figuren geven een indicatie van het aantal perioden en de gemiddelde duur van een perioden waarbij de perioden 1989-2003 als referentie is gebruikt. Deze grafieken moeten niet als voorspelling gelezen worden, maar als uitkomsten van een gevoeligheidsanalyse.

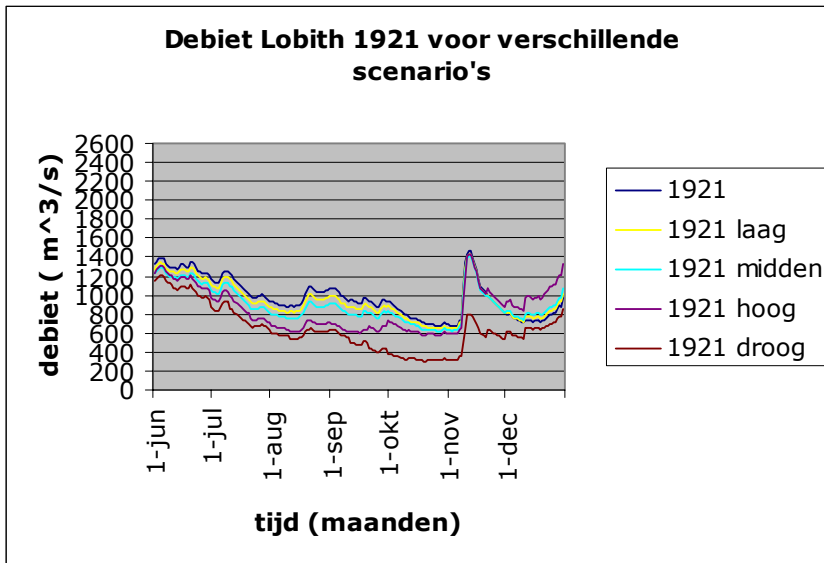
III. Maatgevende jaren voor de binnenvaart

Deze analyse brengt in beeld wat de onderschrijdingfrequentie van een aantal afvoeren is geweest van maatgevende jaren uit het verleden (bijlage 4). Tabel 4-6 geeft aan wat de karakteristieken van de afvoerenverlooptlijn waren voor de maatgevende jaren.

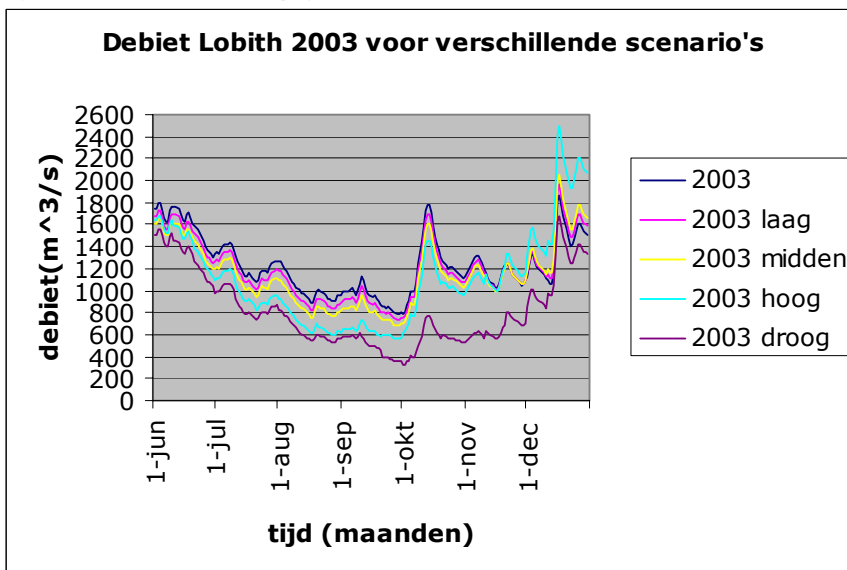
Tabel 4-6 Onderschrijding afvoeren van de maatgevende jaren

Aantal dagen onder debiet in een jaar	<800 m ³ /s	< 1000 m ³ /s	<1780 m ³ /s
1921	50	197	341
1949	85	147	336
1947	63	145	243
1959	44	109	173
1976	3	76	297
2003	5	49	263

Voor de verschillende scenario's is bekeken hoe de afvoerverlooptijden zullen zijn bij jaren met dezelfde kans van voorkomen als de maatgevende jaren uit het verleden omstreeks 2050. Een jaar als 1921 komt eens in de honderd jaar voor en een jaar als 2003 eens in de 10-20 jaar. De zomermaanden van 1921 en 2003 zijn te vinden in figuur 4-11 en figuur 4-12. Zie bijlage 6 voor de andere maatgevende jaren.



Figuur 4-11 Afvoerverlooptijden 1921



Figuur 4-12 Afvoerverlooptijden 2003

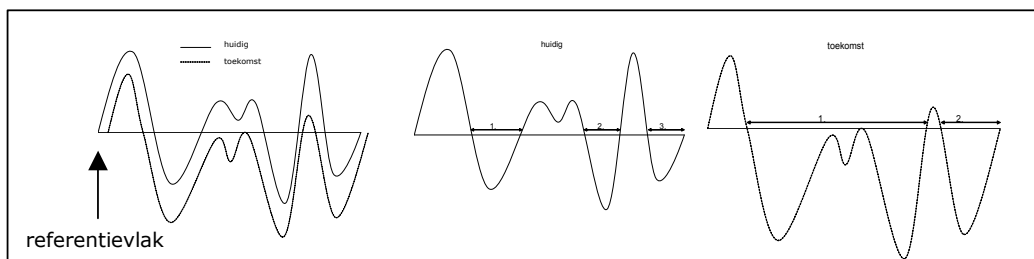
IV. Zomer 2003 in de verschillende scenario's

In hoofdstuk 5 komt naar voren wat de effecten van extreem laagwater zijn geweest in de zomer van 2003. De reden om 2003 te gebruiken als referentiejaar is, dat daarmee een vergelijking met een jaar wordt gemaakt, waarvan de binnenvaartsector zich de problemen nog goed voor de geest kan halen. De kenmerken van 2003 zijn zichtbaar in tabel 4-7.

Tabel 4-7 Kenmerken 2003 (Lobith)

<800 m ³ /s		<1000 m ³ /s		<1780 m ³ /s	
periode	dagen	periode	dagen	periode	dagen
1	5	1	9	1	8
		2	14	2	41
		3	2	3	4
		4	24	4	210
totaal	5	totaal	49	totaal	263

Aangenomen is dat een periode van 24 dagen aaneengesloten laagwater (debiet van 1000 m³/s) een karakteristiek is voor 2003. De analyse is gedaan aan de hand van de periode 1989-2003. Per scenario is in tabel 4-8 weergegeven hoeveel aaneengesloten perioden van 24 dagen of meer zich zullen voordoen waarbij 1000 m³/s bij Lobith onderschreden wordt omstreeks 2050. Opmerkelijk is, dat in het midden scenario het aantal perioden is afgenomen ten opzichte van het lage scenario. Dit komt doordat meerdere perioden waarbij onderschrijding van het referentievlak plaatsvindt soms een aaneengesloten periode vormen in de nieuwe scenario's (figuur 4-13).



Figuur 4-13 Aantal en duur perioden

Door het aantal perioden te delen door het aantal jaren is de ratiofactor bepaald. Voor het lage scenario is dat 0,28 en voor het hoge scenario 1,21 (bijlage 7).

Tabel 4-8 Voorkomen van zomer 2003 bij verschillende scenario's

jaar	referentie van jaar	periode als ijkpunt	scenario's	aantal	tijdsbestek	per jaar
2003	24 dagen of meer <1000 m ³ /s	1989-2003	huidig	2	14 jaar	0,1428
			laag	4	14 jaar	0,2857
			midden	3	14 jaar	0,2142
			hoog	9	14 jaar	0,6428
			droog	17	14 jaar	1,2142

Op basis van de aanname dat 24 aaneengesloten dagen of meer aaneengesloten dagen onderschrijding van 1000 m³/s bij Lobith een goede referentie is voor een zomer als 2003, kan gesteld worden dat dergelijke zomers vaker gaan voorkomen. Bij het droge scenario geldt omstreeks 2050 jaarlijks een zomer met dezelfde waterstanden als 2003. Er moet rekening mee worden gehouden dat dit een inschatting is en geen werkelijkheid. Om meer gefundeerde uitspraken te kunnen doen over het voorkomen van afvoeren dient men niet slechts naar afvoeren uit het verleden te kijken maar dient men ook te kijken naar statistische eigenschappen van neerslag en temperatuur.

4.3 Betrouwbaarheid van analyse

Het is niet zeker in welke mate klimaatverandering zich voordoet. Om deze reden zijn scenario's opgesteld. Scenario's geven mogelijke ontwikkelingen weer. Onderzoek naar klimaatverandering wordt gedaan om steeds beter inzicht te krijgen in klimaatverschijnselen.

Een vlinder in Brazilië kan een orkaan in Texas veroorzaken. Edward Lorenz, een van de aartsvaders van de chaostheorie, gebruikte deze beeldspraak om aan te geven dat bij het doen van modelmatige voorspellingen van klimaat, waarin tal van factoren een rol spelen, een kleine wijziging in de beginvoorwaarden tot enorme verschillen in de einduitkomst kan leiden. Het systeem waarin afvoeren tot stand komen is dermate complex dat het gebruik van modellen of theoretische benaderingen slechts indicatief kan zijn.

De bandbreedte van de klimaatscenario's wordt voor een groot deel veroorzaakt door onzekerheid over uitstoot van broeikasgassen en veranderingen in de samenstelling van de atmosfeer. Die komen weer voort uit onzekerheid over bevolkingstoename, economische groei en technologische ontwikkelingen. Onderzoek naar de kwaliteit van metingen en het verbeteren van de beschrijving van natuurlijke processen in klimaatmodellen hebben op dit moment dan ook grote aandacht. Door toenemend wetenschappelijk onderzoek neemt de betrouwbaarheid van scenario's toe. De grootste onzekerheid zit in de neerslag voorspellingen.

Ondanks een aantal onzekerheden is met het model Rhineflow een redelijke indicatie te geven over de Rijnafvoeren in de toekomst. Het model kan gebruikt worden als een gefundeerde basis voor een gevoeligheidsanalyse van het hydrologisch regime in het stroomgebied. Wanneer de afvoeren precies gaan plaatsvinden kan niet worden vastgesteld.

Aan de hand van afvoeren uit het verleden is gekeken naar het voorkomen van het aantal perioden met laagwater, de gemiddelde duur van deze perioden en het voorkomen van een jaar met afvoeren/waterstanden als in 2003. De uitgevoerde gevoeligheidsanalyses geven aan dat extreem lage waterstanden lager worden, het aantal van deze perioden toeneemt en de gemiddelde duur per periode toeneemt. Aan de hand van de ratiofactor, het aantal perioden gedeeld door aantal jaren, is afgeleid dat een jaar als 2003 omstreeks 2050 jaarlijks zal voorkomen. Indien de analyse wordt gemaakt met een andere periode dan 1989-2003, dan zal de ratiofactor een andere waarde hebben, maar de tendens zal hetzelfde zijn.

Tijdens deze studie is bekend geworden dat er begin 2006 nieuwe KNMI-scenario's gepresenteerd zullen worden. Die nieuwe scenario's vervangen de huidige, die zijn opgesteld ten behoeve van WB21.

5 Effecten van klimaatverandering op de binnenvaart

Wat de effecten van klimaatverandering zijn voor de binnenvaart is moeilijk te bepalen. Wel is het de moeite waard om na te denken over de effecten. Zo kan duidelijk de keus gemaakt worden om bewust maatregelen te treffen tegen deze waarschijnlijke effecten of niet.

In paragraaf 5.1 zijn de mogelijke effecten op de binnenvaart in kaart gebracht. Daarna, in paragraaf 5.2, komen de effecten en de beleving van de lage waterstanden in 2003 aan bod. In paragraaf 5.3 is aangegeven welke ontwikkelingen zich voordoen en in hoeverre die de laagwaterproblematiek versterken.

5.1 Effecten op de binnenvaart

Eerst worden de directe (negatieve) effecten op de binnenvaart beschreven en vervolgens de indirecte (negatieve) effecten. Waar mogelijk is gezorgd voor kwantitatieve onderbouwing.

5.1.1 Directe effecten

Lage waterstanden kunnen tot de volgende reactie bij de binnenvaart leiden:

- Niet varen
- Later varen
- Andere route
- Varen met beperkt laadvermogen

Bovenstaande reacties hebben effect op de prestatiefactoren van de binnenvaart (hoofdstuk 3). Achtereenvolgens is gekeken naar:

1. Laadvermogen
2. Betrouwbaarheid
3. Kosten

Behalve de effecten op de prestatiefactoren van de binnenvaart is er ook een aantal effecten dat op de functionele aspecten van de binnenvaart invloed heeft. Deze effecten zijn onderverdeeld in:

4. Logistiek
5. Techniek

1. Laadvermogen

Achtereenvolgens wordt hier een gevoeligheidsanalyse gemaakt en wordt de betrouwbaarheid van de analyse bekeken. Verder is aangegeven hoeveel eenheden van andere modaliteiten moeten worden ingezet om het verlies aan laadvermogen bij de binnenvaart op te vangen.

Gevoeligheidsanalyse

Een gevoeligheidsanalyse naar het theoretische verlies aan laadvermogen door klimaatverandering is uitgevoerd. De analyse is gemaakt door het verschil van het theoretisch inzetbaar laadvermogen te bepalen bij:

- I de huidige OLR en de toekomstige OLR
- II. het gemiddelde afvoerverloop (1901-2005) en de toekomstige gemiddelde afvoer
- III. afvoerverloop van 2003 en het afvoerverloop van een jaar met dezelfde kans van voorkomen als 2003

De vlootgegevens uit de jaren 1998-2000 zijn gebruikt en komen uit het rapport AVV (2002). De vloot en de infrastructuur zijn als constant verondersteld.

De afname van het laadvermogen is berekend aan de hand van de Wet van Archimedes. Per 10 cm waterstand verandering is het theoretische laadvermogen van elk klasse schip berekend. Door vervolgens te vermenigvuldigen met het aantal schepen per klasse en de

uitkomsten per scheepsklasse op te tellen is het laadvermogen van de hele vloot berekend bij verschillende waterdieptes. Omdat een schip niet als een rechthoek beschouwd kan worden is gebruik gemaakt van de blockcoëfficiënt. Deze is constant verondersteld en onafhankelijk van de waterdiepte. Verder is geen rekening gehouden met een veiligheidsmarge. In bijlage 3 zijn de volgende aspecten van de analyse te vinden.

- gegevens
- methode
- condities
- betrouwbaarheid
- vervolgonderzoek
- resultaten

I. De huidige OLR en de toekomstige OLR

Onderstaande tabellen 5-1, 5-2 en 5-3 geven inzicht in de afname van het theoretische laadvermogen voor de duwbakkenvloot, voor de vloot motorschepen en voor de totale vloot bij een verschuiving van de huidige OLR bij 2,5 m waterdiepte naar OLR bij 2,35 m waterdiepte omstreeks 2050 (Frederic R. Harris, 1997). In figuren 5-1 en 5-2 zijn de gegevens voor de duwbakken en motorschepen grafisch uitgezet. In tabel 5-3 is weergegeven dat het verlies voor de hele vloot 404.665 ton is aan laadvermogen bij een verschuiving van OLR.

Tabel 5-1 Duwbakken laadvermogen huidige OLR en de toekomstige OLR

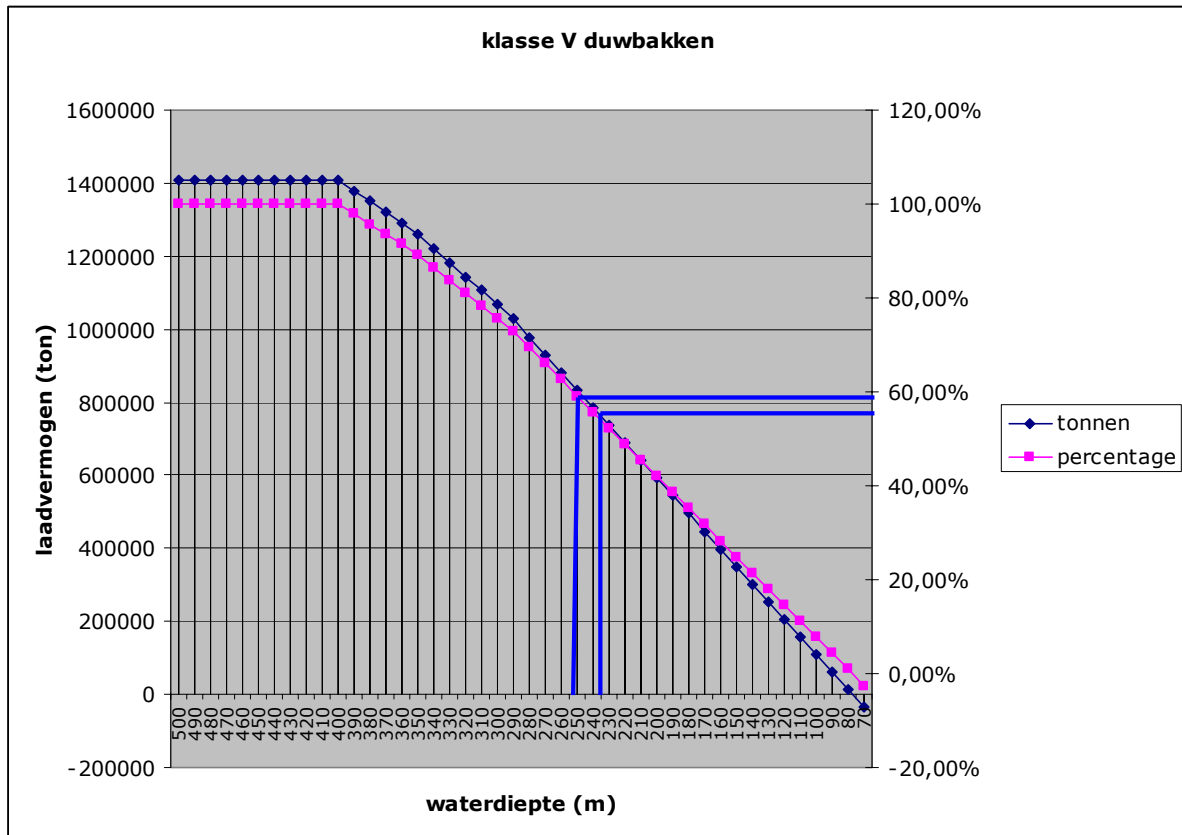
waterstand	jaar	debiet (m ³ /s)	water diepte (m)	laad vermogen vloot duwbakken (ton)	percentage tov onbeperkt laadvermogen totale duwvloot	laad vermogen duwbakken V (ton)	percentage tov onbeperkt laadvermogen duwbakken V
onbeperkte waterdiepte	huidig	2071	>4,2	1.914.623	100%	1.410.172	100%
OLR	huidig	1096	2,5	1.276.365	66%	833.913,8	59%
OLR	2050	1034	2,35	1.164.686	61%	737.235,8	53%
verlies	-	-	-	111.679	-	96.678	-

Tabel 5-2 Motorschepen laadvermogen huidige OLR en de toekomstige OLR

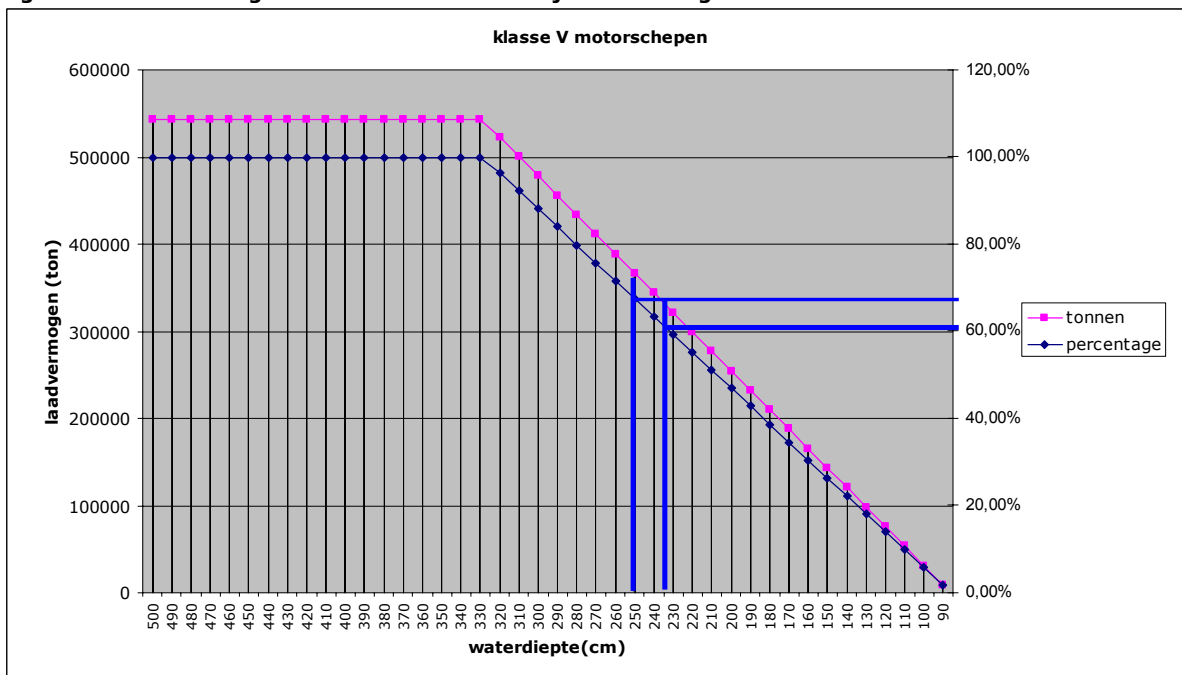
waterstand	jaar	debiet (m ³ /s)	water diepte (m)	laad vermogen vloot motor schepen (ton)	percentage tov onbeperkt laadvermogen totale motorvloot	laad vermogen motor schepen V (ton)	percentage tov onbeperkt laadvermogen motorschepen V
onbeperkte waterdiepte	huidig	1430	>3,3	3.360.683	100%	542.916	100%
OLR	huidig	1096	2,5	2.984.835	88%	366.380,4	67%
OLR	2050	1034	2,35	2.691.849	80%	321.687,8	61%
verlies	-	-	-	292.986	-	44.695,6	-

Tabel 5-3 Totale vloot laadvermogen huidige OLR en de toekomstige OLR

waterstand	jaar	debiet (m ³ /s)	water diepte (m)	laad vermogen hele vloot (ton)	percentage tov totale motorvloot
onbeperkte waterdiepte	huidig	2071	>4,2	5.275.306	100%
OLR	huidig	1096	2,5	4.262.200	81%
OLR	2050	1034	2,35	3.865.535	73%
verlies	-	-	-	404.665	-



Figuur 5-1 Laadvermogen klasse V duwbakken bij verschuiving OLR



Figuur 5-2 Laadvermogen klasse V motorschepen bij verschuiving OLR

II. Het gemiddelde afvoerverloop (1901-2005) en de toekomstige gemiddelde afvoer

Voor deze analyse is gekeken naar het midden scenario. Voor de huidige en toekomstige afvoeren is het afvoergemiddelde bij Lobith om de tien dagen berekend, en is bij elke afvoer aan de hand van de Q-h relatie de waterstand en vervolgens de waterdiepte bepaald. De aanname is gedaan, dat het laadvermogen van de volledige vloot (motorschepen en duwbakken) gemiddeld om de vijf dagen kan worden ingezet. Het ene schip zal vaker ingezet kunnen worden en een ander schip minder vaak. Vervolgens is het laadvermogen bepaald bij de verschillende waterdieptes. Om het laadvermogen over een jaar te bepalen zijn alle laadvermogens van elke 10 dagen opgeteld en vermenigvuldigd met twee om zo het laadvermogen voor het hele jaar te bepalen. Dit is gedaan voor de huidige en de toekomstige gemiddelde afvoer (bijlage 3).

Tabel 5-4 geeft het verlies aan laadvermogen over een heel jaar weer bij de gemiddelde afvoer in de huidige situatie en bij de gemiddelde afvoer omstreeks 2050 bij het midden scenario. Voor de hele vloot is dat een verlies van ongeveer 2 miljoen ton. Dit is 0,6% van het laadvermogen bij onbeperkte waterdiepte.

Tabel 5-4 Laadvermogen gemiddelde afvoerverloop in een jaar (1901-2005) en het toekomstige

Laadvermogen	Motorschip V (ton)	Motorschip vloot (ton)	Duwvaart V (ton)	Duwvaart vloot (ton)	Vloot (ton)
Onbeperkte waterdiepte	39.089.952	241.965.936	101.532.384	137.852.856	379.818.792
Gemiddeld huidig	39.089.952	241.965.936	100.043.520	136.178.740	378.144.676
Gemiddeld in 2050	39.089.952	241.965.936	97.959.686	133.918.258	375.884.194
Verlies	0	0	2.083.834	2.260.482	2.260.482

III. Gemiddelde afvoerverloop van 2003 en het afvoerverloop van een jaar met dezelfde kans van voorkomen als 2003

Deze berekening is op dezelfde wijze uitgevoerd als de berekening hierboven. In het midden scenario zal omstreeks 2050 voor een jaar met dezelfde kans van voorkomen als 2003 (eens in de tien jaar) het verlies aan theoretisch inzetbaar laadvermogen van de vloot in vergelijking met het jaar 2003 12 miljoen ton zijn (tabel 5-5). Dit verlies treedt op in de zomermaanden omdat dan de extreem lage waterstanden voorkomen en komt neer op 4% afname ten opzichte van 2003.

Tabel 5-5 Laadvermogen gemiddelde afvoerverloop en het toekomstige afvoerverloop van 2003

Laadvermogen	Motorschip V (ton)	Motorschip vloot (ton)	Duwvaart V (ton)	Duwvaart vloot (ton)	Vloot (ton)
Onbeperkte waterdiepte	39.089.952	241.965.936	101.532.384	137.852.856	379.818.792
2003	33.668.744	227.218.587	80.923.592	114.806.990	342.025.577
2003 in 2050	31.939.142	220.428.732	76.526.895	109.537.899	329.966.631
Verlies	1.729.602	6.789.855	4.396.696	5.269.091	12.058.946

Betrouwbaarheid

Bij de bovenstaande analyse is gekeken naar het theoretische laadvermogen. In werkelijkheid is er vaak een overcapaciteit aan schepen en is de mate van benutting niet 100%. Hiermee is deels rekening gehouden bij de berekeningen. Verder gaat bovenstaande analyse ervan uit dat de vlootsamenstelling en de infrastructuur gelijk blijft. De bovenstaande berekeningen geven daardoor niet de werkelijkheid weer, doch een indicatie van het effect van klimaatverandering. Analyse III geeft het best de gevoeligheid weer van het verlies aan inzetbaar laadvermogen, omdat bij de afvoeren van 2003 is gekeken naar een heel jaar aan afvoeren en omdat de extreme afvoeren niet zijn uitgemiddeld. Bovenstaande analyse is uitgevoerd voor het midden scenario. Voor het hoge en droge scenario zal het verlies aan theoretisch laadvermogen veel groter zijn.

Verlies laadvermogen uitgedrukt in modaliteiten

Tabel 5-6 geeft aan hoeveel eenheden van verschillende modaliteiten moeten worden ingezet om het verlies aan laadvermogen uit analyse III op te vangen.

Tabel 5-6 Verlies laadvermogen uitgedrukt in inzet van andere modaliteiten

Verlies laadvermogen Duwvaart V	Modaliteit	Ton	Aantal per jaar	Aantal per dag
12.058.906 ton	duwbakken	2800	4.306	12
	wagons	62,5	192.942	528
	vrachtwagens	25	482.356	1.317

Per dag gedurende het hele jaar zullen 12 extra duwbakken moeten varen om het verlies aan laadvermogen op te vangen. Als het verlies per spoor gecompenseerd moet worden, zullen 528 extra wagons ingezet moeten worden. Dit zijn 12 treinen, en dit is een kwart van de capaciteit van de Betuwelijn. Als het verlies met wegvervoer moet worden gecompenseerd, zijn 1317 vrachtwagens nodig. Deze vrachtwagens hebben met elkaar een lengte gelijk aan 8 km file.

2. Betrouwbaarheid

Betrouwbaarheid kan worden omschreven aan de hand van de termen stiptheid en continuïteit.

Stiptheid

Bij laagwater neemt de capaciteit per schip af en zullen meer schepen ingezet moeten worden. Dit kan leiden tot afname van de vlotheid op de vaarweg en congestie en tot een langere omloopsnelheid per reis.

Continuïteit

Soms zijn de waterstanden zo laag dat het voor schepen niet mogelijk is om te varen.

Om stiptheid en continuïteit te kwantificeren moeten deze termen eerst goed worden gedefinieerd aan de hand van aspecten die kwantificeerbaar zijn.

Stiptheid kan gedefinieerd worden in een gemiddelde omloopsnelheid en een bepaald percentage waarbinnen van die omloopsnelheid mag worden afgeweken. Continuïteit kan gedefinieerd worden aan de hand van schepen die beschikbaar zijn en die ondanks lage waterstanden hun reis kunnen vervolgen.

3. Kosten

Indien een schip wordt ingezet zonder dat het maximale tonnage kan worden meegenomen, blijven de vaste kosten gelijk, terwijl de opbrengsten per ton afnemen. Dat betekent dat de kosten per ton toenemen. De schipper wordt voor een deel tegemoet gekomen door de afgesproken laagwatertoeslag. Kleine schepen hebben minder last van de laagwaterstanden dan grote schepen, doordat zij minder waterdiepte nodig hebben. Verder hebben kleine schepen meer voordeel van de laagwatertoeslag dan grotere schepen, omdat de grotere schepen al een groter percentage aan de vracht kwijt zijn voordat de laagwatertoeslag geldt. Het voordeel van grote schepen c.q. schaalgrootte (economics of scale) gaat alleen op bij voldoende waterstand.

4. Logistiek

Mogelijke effecten die de logistiek beïnvloeden door toename van het aantal vervoerseenheden doordat het laadvermogen per vervoerseenheid afneemt zijn:

- Afname vlotheid op de waterweg.
- De oevers zijn niet bereikbaar door (te) lage waterstanden waardoor wachttijden en belemmeringen op de vaarweg toenemen.
- Wacht- en servicetijden nemen toe doordat de infrastructuur niet is ingericht voor meer schepen.

5. Techniek

Een technisch effect dat ontstaat bij laagwaterstanden is het toenemend hoogteverschil tussen het wateroppervlak en de kade waardoor het materieel aanwezig moet zijn om te laden en te lossen (figuur 5-3 en 5-4).



Figuur 5-3 Peilschrijverstand: 11. April 2004
3,55 m (Mainz) Lading: 2.000 ton



Figuur 5-4 Peilschrijverstand: 28. September 2003
1,24 m (Mainz) Lading: Kesselwagen

Een ander effect is dat er een tekort ontstaat aan wacht- en ligplaatsen, doordat de afname van inzetbaar laadvermogen per schip er toe leidt dat meer schepen zullen worden ingezet om aldus het deel van het verloren laadvermogen op te vangen. Zowel in havens, als ook bij sluizen zullen meer wacht- en ligplaatsen beschikbaar moeten zijn.

5.1.2 Indirecte effecten

De indirecte effecten zijn onderverdeeld in:

1. Logistiek
2. Economie

Hieronder worden deze twee effecten kwalitatief beschreven.

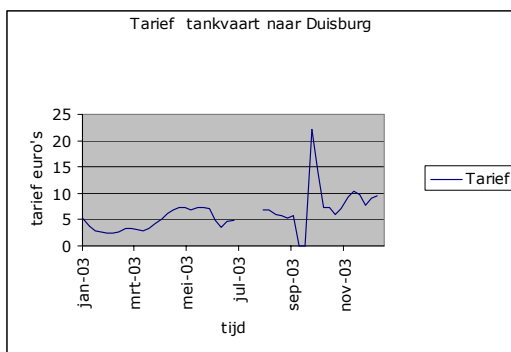
1. Logistiek

Het verlies aan laadvermogen bij de binnenvaart bij laagwater moet opgevangen worden. Afhankelijk van de tarieven wordt een bepaalde modaliteit aantrekkelijker om de goederen mee te vervoeren (modal shift). Opgemerkt moet worden dat sommige te vervoeren goederen minder snel met andere modaliteiten vervoerd zullen worden dan anderen.

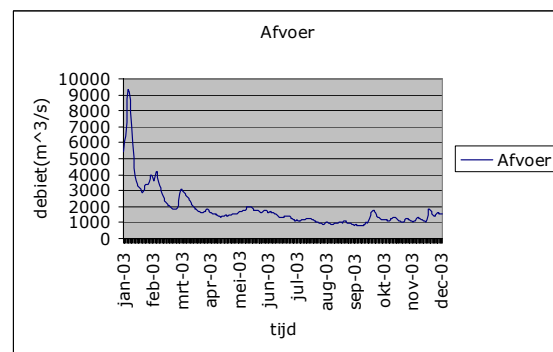
2. Macro economie

In perioden met laagwater is het aanbod van het inzetbare laadvermogen afgenomen. Bij eenzelfde vraag kan er een tekort ontstaan tussen het gevraagde en het beschikbare laadvermogen. De tarieven per ton te vervoeren goederen kunnen daardoor toenemen. Of de tarieven toenemen en in welke mate is afhankelijk van de prijselasticiteit. De verhoogde tarieven worden meestal door bevrachter of rederij betaald, maar die verrekenen die verhoging waarschijnlijk weer door aan de verlader. De verlader zal dit doorberekenen in de kosten van zijn product. Hoewel de transportkosten slechts 5% zijn van de totale productiekosten, zullen deze toenemende kosten altijd aan de consument doorberekend worden. De maatschappij draait daardoor indirect op voor de effecten van laagwater. In bijlage 4 staat wat bij de verschillende scenario's de schade is bij het voorkomen van waterstanden gelijk aan die in de maatgevende jaren.

Het kwantificeren van de tarieven bij verschillende waterstanden valt niet binnen dit onderzoek. Figuren 5-5 en 5-6 laten de prijs van het goederenvervoer van tankvaart naar Duitsland in de laagwaterperiode van 2003 zien. Duidelijk is dat bij laagwater het tarief is gestegen per ton.



Figuur 5-5 Tarief goederenvervoer tankvaart per ton in 2003 (Bron: NEA)



Figuur 5-6 Afvoer Lobith 2003

5.2 Beleving zomer 2003

De vaak gehoorde aanname 'klimaatverandering veroorzaakt laagwater hetgeen leidt tot problemen' werd in 2003 niet door iedereen in de binnenvaart zo beleefd. Deze paragraaf is opgenomen, omdat op langere termijn het inzetbare laadvermogen van de binnenvaartvloot meer beïnvloed zal gaan worden door het vaker voorkomen van lage waterstanden. Draagvlak voor maatregelen kan alleen verkregen worden als duidelijk is wat de effecten van laagwater in de toekomst zullen zijn, want alleen dan kunnen die effecten afgewogen worden tegen de investeringskosten voor het treffen van maatregelen. Om toekomstige effecten te kwalificeren of te kwantificeren is het van belang om inzicht te hebben in de effecten die zich tot nu toe bij laagwater hebben voorgedaan. In deze paragraaf is informatie verzameld om inzicht te geven hoe de problematiek van laagwater in 2003 is beleefd.

5.2.1 Is laagwater een probleem voor de binnenvaart?

Over het voorkomen van laagwater en de effecten is weinig informatie beschikbaar. Dit lijkt als volgt te kunnen worden verklaard:

- Tussen de jaren met extreem lage waterstanden tot nu toe heeft zoveel tijd gezeten, dat men vaak niet meer weet wat laagwater voor effect heeft gehad. In een slechte periode doet men er alles aan om het hoofd boven water te houden. Als er daarna een aantal jaren is waarin minder last is van laagwater, is men het slechte jaar vaak weer vergeten.
- Niet duidelijk is wat de ernst van laagwater bepaalt. De ernst van laagwater definiëren aan de hand van een debiet dat wordt onderschreden voor een aantal dagen is niet voldoende. Een aaneengesloten periode van laagwater is nadeliger voor de binnenvaart dan een aantal korte perioden.

De perceptie van laagwater is verschillend. Dit komt duidelijk naar voren in onderstaande uitspraken:

Uitspraak 1 binnenvaart: 'Voor de sector scheepvaart was de zomer van 2003 wel degelijk extreem. De vaargeul was in Nederland in 40 jaar niet zo ondiep geweest' (Droogtestudie, 2004).

Uitspraak 2 Droogte studie: 'De projectgroep Droogtestudie NL noemt de zomer van 2003 niet extreem. De temperatuur was wel extreem hoog, maar het was niet extreem droog en de rivierafvoeren waren niet extreem laag'. (Droogtestudie, 2004).

Uit het bovenstaande blijkt dat het jaar 2003 door projectgroep Droogtestudie [5] als een niet extreem jaar wordt aangegeven, maar door de binnenvaart wel als een extreem jaar is ervaren. Verklaringen hiervoor zijn:

- Het bekijken van het probleem uit een ander referentiekader.
Droogtestudie spreekt over afvoeren en binnenvaart over waterdiepte. Het vaarwegprofiel heeft waarschijnlijk ondieptes gekend waardoor bij niet extreem lage afvoeren de doorgang ondiep was.
- Het bekijken van het probleem t.o.v. een andere referentieperiode.
2003 kende extreem lage afvoeren in verhouding tot de afgelopen 10 jaar. Wordt als referentie de afgelopen honderd jaar bekeken, dan was de afvoer in 2003 relatief niet extreem.
- Bang voor schade aan imago.
Slechte berichtgeving kan effect hebben op vertrouwen in de binnenvaart.

In bijlage 8 zijn nog een aantal opmerkelijkheden over de beleving van het jaar 2003 beschreven.

5.2.2 Wanneer is laagwater een probleem?

Interessant is om te weten hoe flexibel de binnenvaart is in geval van laagwater. Aan de hand van expert judgement is gezocht naar uitgangspunten die kunnen bijdragen om de problematiek van laagwater in beeld te brengen. Opgemerkt moet worden dat het moeilijk is een referentieniveau aan te geven waarbij problemen ontstaan voor de binnenvaart.

De volgende uitspraken zijn gedaan over het voorkomen van laagwater waarbij de binnenvaart negatieve effecten ondervindt indien zij zich daarop niet voorbereidt.

- '2003' elk jaar, dan is er een probleem (Vries, de, juli 2005)
- Had de droogte van 2003 langer geduurd dan waren er problemen gekomen (Droogtestudie, 2004)
- Een waterdiepte van 1,8 m voor 2 weken leidt tot grote problemen (Vries, de, juli 2005)

In de uitspraken wordt de zomer van 2003 als referentiepunt gebruikt. In hoofdstuk 4 is een analyse gemaakt van de kans van het voorkomen van een zomer als in 2003 omstreeks 2050. Op deze manier wordt de kennis over klimaatverandering aangepast aan de sector, zodat de sector zich kan inleven in de vraag wat klimaatverandering kan betekenen. Tot op heden werd er geen goede vertaling gemaakt van de klimaatveranderingen voor de binnenvaartsector. Dit kan de oorzaak zijn van het feit dat er weinig belangstelling is voor de gevolgen van klimaatverandering op de binnenvaart.

5.3 Belangrijke ontwikkelingen

In de aankomende 50 jaar zal niet alleen laagwater onder invloed van klimaatverandering effect hebben op de binnenvaart, maar zullen zich ook andere ontwikkelingen voordoen die de laagwaterproblematiek versterken. Dat zijn de volgende ontwikkelingen:

- Vlootontwikkeling
- Capaciteit modaliteiten
- Politiek beleid

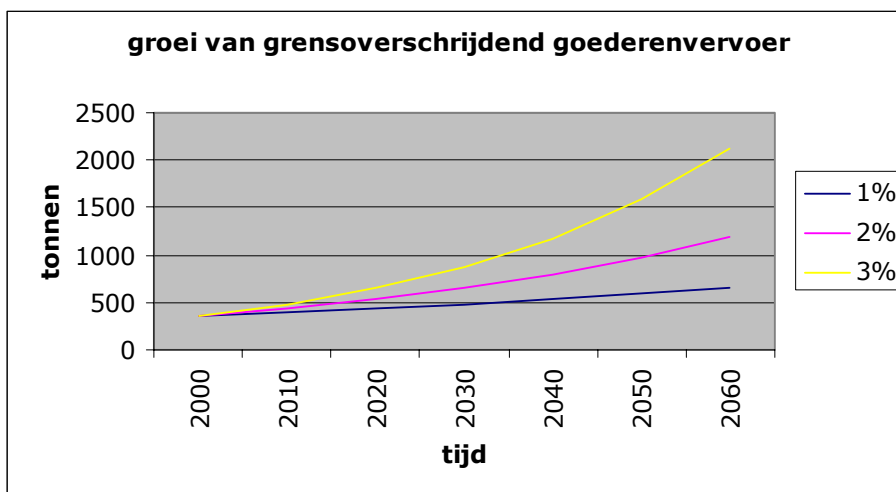
5.3.1 Vlootontwikkeling

De vlootontwikkeling hangt nauw samen met de goederengroei.

Goederengroei

De goederengroei is zeer afhankelijk van de economische groei. De verwachting is dat de goederenvervoerstream sterk zal groeien. De onstuimige en uitbundige groei van het goederenverkeer wordt grofweg door drie factoren veroorzaakt: de relatieve kostendaling van transport t.o.v. de productiekosten, het wegvallen van belemmeringen tot vrijhandel (globalisering) en groei van het Bruto Nationaal Product (BNP).

Uit figuur 3-3 blijkt dat het grensoverschrijdend goederenvervoer de afgelopen jaren met een factor 7 is toegenomen. Aankomende jaren zal het goederenvervoer verder toenemen (HbR, 1999).



Figuur 5-7 Groei van het grensoverschrijdend goederenvervoer

Bij een groei van 2% per jaar zal het grensoverschrijdend goederenvervoer rond de één miljard ton zijn in 2050 (figuur 5-7). In 50 jaar is het grensoverschrijdend goederenvervoer slechts met een factor drie toegenomen. Het is aannemelijk dat de groei, net als de afgelopen 50 jaar, met een factor zeven zal groeien. Voor dit onderzoek is aangenomen dat omstreeks 2050 het grensoverschrijdend goederenvervoer met 350 miljoen ton zal zijn gegroeid.

Vlootontwikkeling

De ontwikkelingen van de vloot de afgelopen 50 jaar waren (paragraaf 3.5):

- Afname van het aantal schepen waaruit de vloot bestaat
- Toename van gemiddelde lading en diepgang van het schip
- Toename van het aantal zeer grote schepen

De bovenstaande ontwikkeling van schaalvergroting zal zich met het toenemende goederenaanbod vermoedelijk voortzetten. Op termijn zullen meer grote schepen (klasse V) gebouwd worden. Het kan zelf zo zijn dat schepen met grotere afmeting gebouwd gaan worden. De grotere schepen hebben vaak een grotere diepgang en daardoor meer last van beperkingen door laagwater.

De grootte van nieuwe schepen is afhankelijk van wetgeving en fysieke grenzen. Het schip vaart efficiënter door in de lengte uit te breiden dan in de breedte. De manoeuvreerbaarheid neemt echter af bij langere schepen. Het huidige grote motorschip heeft een maximale lengte van 135 m. Zesbaksduweenheden hebben bij een drie keer twee formatie een lengte van 210 m. Theoretisch kan de lengte van de motorschepen naar deze lengte van 210 m worden gebracht. Hierbij is wel van belang dat de stabiliteit van het schip gewaarborgd blijft moet blijven. De maximale lengte van motorschepen worden nu bepaald door wetgeving en bedraagt thans 135 m. De breedte van een schip zal afgestemd worden op de fysieke grenzen van de infrastructuur. Sluizen op de zijrivieren van de Rijn hebben een breedte van 22,5 m. Afhankelijk van het traject waarop een schip wordt ingezet zal rekening worden gehouden met deze breedte van het traject. Veelal wil men een schip niet voor één specifiek traject ontwerpen, omdat hierdoor de flexibiliteit afneemt. Verder spelen veiligheid en de grootte van de ligplaatsen een rol in de ontwikkeling van het schip.

5.3.2 Capaciteit modaliteiten

De grote toename van het goederenvervoer zal opgevangen moeten worden door de modaliteiten binnenvaart, spoor en weg.

Het wegvervoer is momenteel zeer filegevoelig. De vele files zijn een maatschappelijk probleem waar de overheid zoveel mogelijk aan probeert te doen. Bij een mogelijke goederengroei van 350 miljoen ton in 2050 is het niet aannemelijk dat deze groei opgevangen kan worden door vervoer over de weg vanwege het feit dat de capaciteit van de weg al volledig gebruikt wordt. De aanleg van nieuwe infrastructuur, bijvoorbeeld dubbeldeks autowegen, kan als oplossing dienen om de capaciteit van de weg te vergroten. Momenteel zijn hier geen plannen voor.

De capaciteit van het spoor wordt momenteel vergroot met de aanleg van de Betuwelijn. De Betuwelijn is goed voor een 40 miljoen ton aan goederen per jaar. Deze capaciteitstoename is maar 1/9 van de verwachte groei van het goederenvervoer voor het jaar 2050.

Het vervoer over water is de afgelopen jaren met een factor drie toegenomen. De capaciteit van de binnenwateren wordt voor slechts 1/7 van haar capaciteit gebruikt (paragraaf 3.3.1). Uitbreiding van het vervoer over water vormt daarom een goed alternatief om de goederengroei op te vangen.

In de toekomst zal een groot beroep op de binnenvaart worden gedaan, doordat weg en spoor nauwelijks mogelijkheden hebben hun capaciteit te vergroten. De wens om in de toekomst meer te vervoeren over water leidt tot een grote druk op de binnenvaart.

5.3.3 Politiek beleid

Op de politieke agenda staan een aantal ontwikkelingen die van invloed zijn op de infrastructuur waarvan de binnenvaart gebruik maakt.

Inrichting van de rivier

Hoog op de agenda van de politiek staat het beleid 'Ruimte voor de rivier' (RvR). Van de voorgestelde negen maatregelen in het rivierbed hebben vijf een negatief effect op de waterdiepte in het zomerbed (hoofdstuk 6). Er kan nog niet met zekerheid gesteld worden in welke mate deze maatregelen effect zullen hebben op de waterstand (AVV, 2004).

Baggeren

Het is de verantwoordelijkheid van het Rijk als vaarwegbeheerder om in alle regio's de rivieren bevaarbaar te houden. De prioriteit ligt bij hoofdverbindingssassen. Afgelopen jaren was er veel achterstallig onderhoud op de Waal, hetgeen diepgangsproblemen opleverde.

Afspraken rivier verdieping en verbreden

Een verdieping van de OLR op de Waal van 2,5 m naar 2,8 m staat al meer dan acht jaar op de agenda. Hierbij zou een verbreding van 150 m naar 180 m bewerkstelligd worden. Deze verdieping en verbreding hebben nog niet plaatsgevonden en het ziet er naar uit dat die niet gaan plaatsvinden.

5.3.4 Conclusie

Als klimaatverandering plaatsvindt, ondervindt de binnenvaart daar hinder van. In tabel 5-7 is met een '+'-teken aangegeven dat alle drie de ontwikkelingen de druk op de binnenvaart versterken. De toenemende schaalvergroting van schepen, de toekomstige vraag om goederen over water te vervoeren en de verandering van het profiel van de rivier zorgen ervoor dat de binnenvaart nog gevoeliger wordt voor de waterstandverandering die optreedt door klimaatverandering.

Tabel 5-7 Versterkende ontwikkelingen

Ontwikkeling	Effect op laagwater problematiek
Vlootontwikkeling	+
Capaciteit modaliteiten	+
Politiekbeleid	+

6 Maatregelen om effecten van laagwater te vermijden

Met de klimaatverandering is niet alleen de kans groter op meer extreem lage afvoeren maar ook op extreem hoge afvoeren. Bij hoge afvoeren is het wateraanbod groter dan de vraag en wordt er gesproken van wateroverlast. Bij lage afvoeren geldt het omgekeerde en wordt gesproken van watertekort. Door de overstromingen van 1993 en 1995 staat veiligheid, die direct gerelateerd is aan hoge afvoeren, hoog op de agenda van het Nederlandse waterbeleid.

Meer ruimte in het rivierbed moet er voor zorgen dat stroomafwaarts waterproblemen worden voorkómen. De studie die zich daarmee bezig houdt heet 'Ruimte voor de rivier' (RvR).

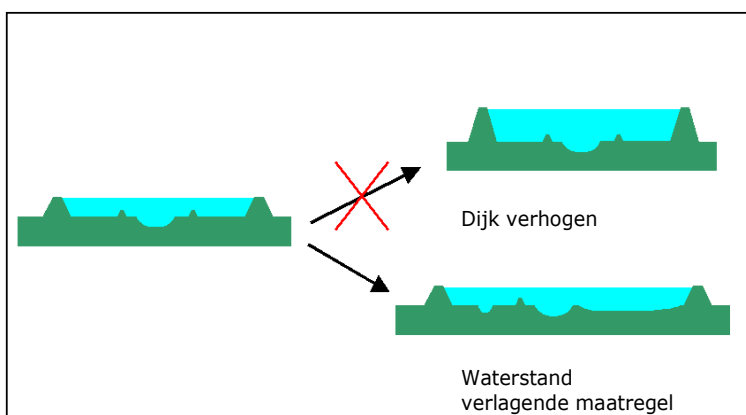
Wateroverlast en watertekort zijn onderling afhankelijk doordat ze beïnvloed worden door dezelfde vaarweginfrastructuur. In dit hoofdstuk is naar de voorgenomen maatregelen tegen wateroverlast gekeken, omdat maatregelen tegen watertekort niet tegenstrijdig moeten zijn met het beleid om wateroverlast tegen te gaan. Tevens moet getracht worden er voor te zorgen dat de maatregelen om wateroverlast tegen te gaan geen consequenties hebben bij watertekort.

In paragraaf 6.1 wordt ingegaan op wateroverlast en is een overzicht gegeven van de voorgenomen maatregelen en de effecten van deze maatregelen op de waterstand. Paragraaf 6.2 gaat in op watertekort en de mogelijke maatregelen om de effecten voor de binnenvaart te verminderen. Ten slotte wordt in paragraaf 6.3 bekeken wat de haalbaarheid van de maatregelen is.

6.1 Maatregelen wateroverlast

6.1.1 Achtergrond wateroverlast

De verandering van de maatgevende afvoeren in 2001 van 15000 m³/s naar 16000 m³/s is de aanleiding geweest voor het project RvR. Doestelling van dit project is om in 2015 weer te voldoen aan de wettelijke norm, dat de overstromingskansen langs de bovenrivieren bij de Rijn niet hoger mag zijn dan 1/1250 en niet hoger dan 1/2000 langs de benedenrivieren. Deze overschrijdingskansen staan in de Wet op de waterkering. In het project RvR wordt geprobeerd door middel van waterstandverlagende maatregelen de maatgevende hoge waterstand (MHW) te verlagen. Dit omdat men prioriteit stelt aan verlagen van de MHW boven het ophogen van de dijken (figuur 6-1). Met het project RvR is in Nederland een start gemaakt om gegeven de onzekerheden omtrent de toekomst tot een robuuste strategie te komen voor ruimtelijke ordening en waterbeheer voor de aankomende eeuw.



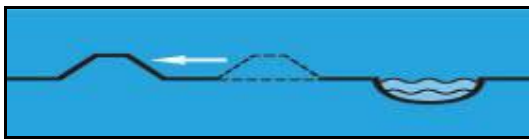
Figuur 6-1 Ruimte voor de rivier.

6.1.2 Maatregelen om hoogwater te verlagen

Er zijn negen maatregelen opgesteld onder het beleid RvR. Deze maatregelen zijn erop gericht water de ruimte te geven en hydraulische knelpunten weg te nemen. Hieronder volgt een beschrijving van de mogelijke maatregelen en het effect van elke maatregel op de waterdiepte bij laagwater.

1. Dijkverlegging

Dijkverlegging (figuur 6-2) houdt in het landinwaarts verplaatsen en opnieuw bouwen van de winterdijk om het winterbed te verbreden. Hiermee neemt de doorstroomcapaciteit van de rivier toe. Bij gelijke afvoer zal er minder afgevoerd worden door het zomerbed. Daardoor kan er minder sediment worden vervoerd en wordt het materiaal eerder afgezet. Dit is hinderlijk bij laagwater omdat de waterdiepte beperkt wordt.



Figuur 6-2 Dijkverlegging

2. Vergraven van de uiterwaarden

Vergraven van de uiterwaarden (figuur 6-3) houdt in het geheel of gedeeltelijk verlagen van de uiterwaarden zodat meer water kan worden afgevoerd door het winterbed. Bij hoogwater wordt hierdoor meer water afgevoerd door de uiterwaard. De stroomsnelheid in het zomerbed neemt hierdoor af. Er bezinkt meer sediment en dit leidt tot ondiepten in het zomerbed, die hinderlijk zijn voor de binnenvaart als het hoogwater voorbij is.



Figuur 6-3 Vergraven van de uiterwaarden

3. Aanleg van (neven)geulen

Het graven van een (neven)geul in de uiterwaard (figuur 6-4) vergroot de doorstroom van het winterbed zonder de gehele uiterwaard te vergraven. Verandering van de stroomsnelheid in het zomerbed kan leiden tot aanzanding in het zomerbed en dus tot een beperking van de vaardiepte.



Figuur 6-4 Aanleg van (neven)geulen

4. Aanleg van "groene" rivieren

Aanleg van groene rivieren (figuur 6-5) houdt in een nieuwe rivierloop buiten het bestaande winterbed, die bij hoogwater deel uitmaakt van het watervoerende gedeelte van een rivier. De groene rivier is begrensd door twee hoge dijken of hogere gronden. Het voordeel van deze maatregel is dat het huidige grondgebruik gehandhaafd blijft. Ondiepte kan ontstaan tussen aansluiting van de nevengeul en de hoofdwaterweg. De waterdiepte in de zomergeul wordt hier niet structureel door beïnvloed.



Figuur 6-5 Aanleg van "groene" rivieren

5. Aanleg van Retentiebekkens

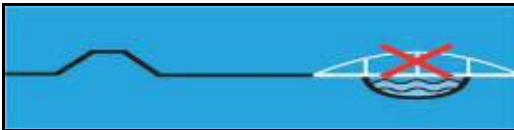
Een retentiegebied of retentiebekken is een binnendijks gebied (figuur 6-6), dat bij hoogwater gebruikt kan worden om water tijdelijk op te vangen. Als de waterstand weer zakt wordt het gebied weer gelegeerd. Dit heeft geen structurele consequenties voor de waterdiepte in het zomerbed.



Figuur 6-6 Aanleg van Retentiebekkens

6. Verwijdering van obstakels

Door het weghalen of stroomlijnen van bebouwing in het winterbed (figuur 6-7) wordt de doorstroom van het winterbed bij hoogwater verbeterd. Dit heeft geen structurele consequenties voor de waterdiepte van het zomerbed.



Figuur 6-7 Verwijdering van obstakels

7. Verlaging van kribben

Door het verlagen van de kribben (figuur 6-8) kan het water makkelijker worden afgevoerd doordat de stromingsweerstand verlaagd wordt. Ten gevolge van het uitschuren van het zomerbed liggen de kribben langs het bovenstroomse deel van de Waal nu hoger boven water dan in de tijd dat ze werden neergelegd. Bij hoogwater vormen ze daardoor een obstakel. Door de kribben te verlagen stroomt meer water over de kribben en minder door het zomerbed. Kribverlaging geeft een ruimer zomerbed, hetgeen door de afnemende stroomsnelheid leidt tot aanzanding. Uiteindelijk zal bij een laag debiet minder waterdiepte beschikbaar zijn in het zomerbed dan voorheen.



Figuur 6-8 Verlaging van kribben

8. Verruiming van het zomerbed

Verruiming van het zomerbed (figuur 6-9) vindt plaats door het zomerbed te verbreden of te verdiepen. Bij verbreding van het zomerbed wordt ter plaatse de oever van de rivier over een bepaalde breedte afgegraven. Bij hoogwater zal hierdoor meer water kunnen worden afgevoerd. Bij laagwater zal de waterdiepte afnemen doordat het water zich over een grote breedte verspreidt. Verdieping heeft alleen zin waar verzanding plaatsvindt omdat op die plekken al wordt gebaggerd. Daar waar geen verzanding plaatsvindt is het niet verstandig te baggeren, omdat de bodem van het zomerbed op het bovenste deel van de Rijntakken voortdurend daalt. Vanwege de negatieve gevolgen van bodemdaling wordt juist getracht dit proces te stoppen.



Figuur 6-9 Verruiming van het zomerbed

9. Dijkverhoging (figuur 6-10)

Dijkverhoging is het hoger maken en verbreden van een dijk, of door technische ingrepen de dijk versterken om een hogere waterstand te kunnen keren. Dit heeft geen structurele consequenties voor de waterdiepte van het zomerbed.



Figuur 6-10 Dijkverhoging

Alle negen maatregelen zullen invloed hebben op de morfologische processen van de rivier. Een aantal maatregelen heeft dusdanige morfologische veranderingen tot gevolg dat de waterlijn wordt beïnvloed en de waterdiepte bij laagwater afneemt. In tabel 6-1 is aan de hand van voorgaande uitleg per maatregel aangegeven met een '-', '0', '+' of het effect van de maatregel een negatief of positief effect heeft op de waterstand bij laagwater. Een '-' staat voor een negatief effect bij laagwater waardoor de waterdiepte minder wordt. In werkelijkheid zal de mate van het effect verschillen per traject waar de maatregelen worden genomen. In de planologische kernbeslissing (PKB) staat aangegeven dat zorgvuldig afgewogen zal worden welke maatregelen op welk traject ingezet worden, zodat er zo min mogelijke negatieve effecten zullen zijn.

Tabel 6-1 Effecten van maatregelen RvR op de waterstand

Maatregel nummer	Soort maatregel	Effect op laagwater
1.	Dijkverlegging	-
2.	Vergraven van de uiterwaarden	-
3.	Aanleg van (neven) geulen	-
4.	Aanleg van 'groene' rivieren	0
5.	Aanleg van Retentiebekkens	0
6.	Verwijdering van obstakels	0
7.	Verlaging van kribben	-
8.	Verruiming van het zomerbed	-
9.	Dijkverhoging	0

6.1.3 Effecten RvR op de binnenvaart

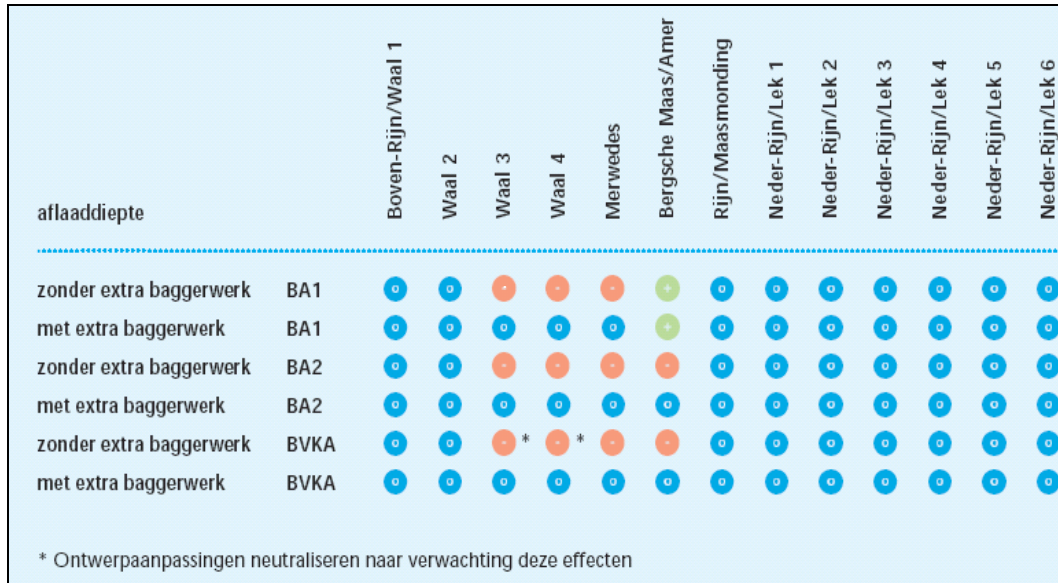
Binnen de PKB RvR zijn geen specifieke randvoorwaarden voor de binnenvaart gehanteerd. Wel is in de startnotitie vermeld, dat de scheepvaartfunctie behouden moet blijven. De analyse van de scheepvaarteffecten, zoals afluaddiepte en vaarwegbreedte is uitgevoerd door RIZA door middel van een 1-dimensionaal model waarmee de gemiddelde toekomstige bodemligging en waterstanden zijn berekend. Hierbij is geen rekening gehouden met klimaatverandering. Dit heeft tot gevolg dat eventuele negatieve effecten zwaarder gaan meetellen.

De belangrijkste conclusies uit het onderzoek AVV (2005) naar de effecten van RvR voor de binnenvaart zijn:

- Capaciteit en veiligheid van de binnenvaart zullen in lichte mate beïnvloed worden.
- Totale afluaddiepte kan door maatregelen enkele decimeters afnemen
- Maatregelen die effect hebben op bodemligging moeten met een 2-dimensionaal model worden uitgevoerd, om zo lokale problemen te detecteren en anderzijds om de ontwerpen aan te passen om scheepvaarthinder te minimaliseren.

- Negatieve effecten op de bevaarbaarheid kunnen wellicht door baggeren worden opgelost.

De Milieueffecten rapportage (RvR, 2005) van RvR geeft het volgende aan: De verandering van de gemiddelde aflaaddiepte is onderzocht. Uit het 1-dimensionaal model dat is gebruikt om zowel waterstand- als bodemliggingveranderingen te berekenen, blijkt dat op bepaalde stukken de waterdiepte zal verlagen. De negatieve effecten bij verschillende trajecten zijn zichtbaar in figuur 6-11 en aangegeven met een 'min'-teken.



Figuur 6-11 De effecten van de maatregelen RvR (Bron: RvR, 2005)

De ernst van de afname van de waterdiepte kan meevallen doordat de gemiddelde bodemdiepte is berekend met het model en in de praktijk de schipper gebruik maakt van de diepere delen van de vaarweg. Voorspeld wordt dat de aflaaddiepte met 1 tot 2 decimeter kan afnemen. In de figuur is zichtbaar dat in de drie voorgestelde scenario's extra baggerwerk de negatieve effecten moet beperken.

6.2 Maatregelen watertekort

In deze paragraaf zijn mogelijke maatregelen om watertekort tegen te gaan in grote lijnen uitgewerkt en is de haalbaarheid inzichtelijk gemaakt. Pas als alle partijen inzicht hebben in het probleem, kan tot discussie worden overgegaan om te bepalen waar de prioriteiten liggen én welke maatregelen moeten worden genomen. De waarde per maatregel is in deze paragraaf bepaald, waardoor duidelijk is welke maatregel prioriteit heeft als alleen gekozen wordt op waarde van een maatregel. Ook een schatting van de kosten per maatregel is bepaald, waardoor duidelijk is welke maatregel prioriteit heeft als kosten bepalend zijn. Door het berekenen van de waarde/kosten ratio kan bepaald worden welke maatregel voorkeur verdient als waarde en kosten van gelijk belang zijn. Onderstaande subparagrafen pretenderen niet volledig te zijn maar geven een eerste indruk van de mogelijkheden. Er is niet onderzocht op welke trajecten de maatregelen ingezet kunnen worden.

6.2.1 Typen maatregelen

Het risico van watertekort is uit te drukken in de kans van het voorkomen van watertekort en de negatieve effecten als de situatie zich voordoet.

Risico = kans van voorkomen * negatieve effecten bij voorkomen

Klimaatverandering is niet meer tegen te houden en het tekort aan water kan niet beïnvloed worden. De negatieve effecten van laagwater bij watertekort kunnen wel beperkt worden. In deze paragraaf is hiernaar gekeken. Onder beperken wordt verstaan, dat op het moment dat watertekort zich voordoet zo goed mogelijk omgegaan wordt met de omstandigheden, zodat de effecten op de binnenvaart gering blijven of dat men vooraf maatregelen treft om de mate van laagwater te verminderen.

In bijlage 9 is geconcludeerd dat mogelijke maatregelen met name gericht moeten zijn op het vergroten van het laadvermogen. Het laadvermogen is afhankelijk van de waterdiepte en de karakteristieken en de inzet van het schip. Kansen om minder afhankelijk te zijn van de waterdiepte liggen in:

- A. veranderen karakteristieken van het schip en inzet van het schip
- B. het beïnvloeden van de waterdiepte

In de paragrafen hierna worden maatregelen beschreven die aansluiten bij boven genoemde aspecten. De volgende indeling is gemaakt:

- A1. Logistiek
- A2. Nieuwbouw
- B1. Vaarweginfrastructuur
- B2. Waterbeheer

Er is getracht het totaal aan mogelijke maatregelen weer te geven. Dit is niet eenvoudig vanwege de complexiteit van de binnenvaart. De maatregelen zijn in hoofdlijnen omschreven. Gebruik is gemaakt van het rapport van Frederic Harris (1997).

6.2.2 Logistiek

Bij logistieke maatregelen kan onderscheid worden gemaakt in maatregelen met betrekking tot de inzet van het laadvermogen en vervoersmanagement. Tabel 6-2 geeft hier een overzicht van.

Tabel 6-2 Aspecten logistiek

Aspecten bij logistiek	Middelen om aspecten te beïnvloeden
Vervoersmanagement	Informatiemanagement
Inzet van het schip	Het incidenteel tijdens laagwaterperioden vol continu laten varen van schepen
	In de vaart nemen van meer laadvermogen

1. Informatiemanagement

Doel: Het effect van de maatregel is gericht op het delen van informatie waardoor afstemming tot stand komt over aspecten die van belang zijn voor de prestaties van de binnenvaart in perioden van laagwater. Hierbij moet gedacht worden aan verbeterde vaarweginformatie ten gunste van de logistiek. Uitgebreide informatievoorziening met betrekking tot bijv. actuele waterstanden.

Bewerkstelligen: In de transportwereld, en dus ook in de binnenvaart, neemt het gebruik van informatie- en communicatietechnologieën (ICT) toe. Daartoe behoort ook River Information Services (RIS). Dat wordt beoogd van kracht te worden medio 2007. Het stroomlijnt de uitwisseling van informatie tussen overheden en de binnenvaartsector door gebruik te maken van informatie- en communicatiestandaarden zoals ladinginformatie van schepen, de positie van schepen, (nautische) vaarweginformatie en transport- en logistieke data voor het vervoersmanagement. Om de prestatie van de binnenvaart te verbeteren kan informatie over waterstanden gedeeld worden, informatie over drukke trajecten, maar ook informatie over voorspellingen. Met deze informatie kan besloten worden of het voordelig is een binnenschip in te zetten of een andere modaliteit.

Voorwaarden: Bereidheid overheid en schipper om informatie beschikbaar te stellen en te delen.

2. Het incidenteel tijdens laagwaterperioden volcontinue laten varen van schepen

Doel: Het effect, waarop de maatregel is gericht, is het langduriger inzetten van het laadvermogen door schepen volcontinue te laten varen. Hierdoor wordt tijdelijk het beschikbare laadvermogen vergroot.

Bewerkstelling: Veel schepen varen nog met eenvoudige bemanning, voor een klasse V-schip bestaande uit een schipper, een stuurman en een matroos. Deze samenstelling van de bemanning beperkt het schip tot ongeveer 14 uur achtereenvolgens varen (dagvaart). De semi-continue vaart vaart hoogstens 18 uur per dag. Door 24 uur te varen gaat de effectiviteit omhoog.

Voorwaarden: Per schip is de inzet van 1 extra schipper en in bepaalde gevallen 1 extra matroos vereist. Extra personeel is niet altijd beschikbaar. Verder vaart een toenemend aantal schepen standaard volcontinue, zodat deze maatregel maar beperkt toepasbaar is. Het volcontinue (24 uur) varen kan alleen als de verschillende benodigde faciliteiten bij een vaart ook 24 uur beschikbaar zijn waaronder de laad- en losfaciliteiten.

3. In de vaart nemen van meer laadvermogen

Doel: Het in de vaart brengen van meer laadvermogen door meer schepen te laten varen speelt in op het effect, dat door het lage water, de huidige vloot van schepen minder kan laden. Deze maatregel kan het inzetbare laadvermogen vergroten doordat er meer schepen beschikbaar zijn.

Bewerkstelling: De vraag naar inzetbaar laadvermogen wordt direct bepaald door de markt van vraag en aanbod. Als perioden van laagwater samenvallen met een groot aanbod van goederen, dan zal de vraag naar inzetbaar laadvermogen groot zijn. Zowel het bouwen als huren van schepen kan een groter laadvermogen bewerkstelligen.

Huren

Onder huren wordt verstaan het anders inzetten van het bestaande laadvermogen. Een deel van het totale laadvermogen in de binnenvaart wordt in eigendom van vervoerders geëxploiteerd, maar er is ook een deel dat 'gehuurd' wordt van eigenaren die zelf niet exploiteren: de chartermarkt. Dit deel van de vervoerscapaciteit wordt flexibel ingezet (korte termijn huurcontracten) in tijden dat de vraag naar vervoer tijdelijk groter is dan gemiddeld. Het repositioneren van laadvermogen (van het ene naar andere vaargebied) kan voor een gedeelte het laadvermogen in de laagwaterperiode tijdelijk vergroten.

Kopen

Als nieuwe schepen worden gekocht wordt structureel het laadvermogen van de vloot groter, meer schepen is alleen een optie als de structurele vraag naar laadvermogen toeneemt. Dit kan het gevolg zijn van een structurele vermindering van laadvermogen door vele, langdurige perioden van laagwater.

Voorwaarden: -

6.2.3 Nieuwbouw van schepen

Bij het ontwerpen van een nieuw schip wordt gestreefd naar een optimaal ontwerp. Bij het meer voorkomen van laagwater wordt de druk groter om schepen met minder diepgang bij hetzelfde laadvermogen en meer vaarsnelheid te ontwerpen.

In tabel 6-3 zijn de aspecten weergegeven waarbij bij nieuwbouw mogelijkheden liggen om ervoor te zorgen dat het schip beter inzetbaar is in perioden van laagwater.

Tabel 6-3 Nieuwbouw aspecten

Aspecten bij nieuwbouw	Middelen om aspecten te beïnvloeden	
Diepgang	Materiaal	Lichter
	Afmetingen schip	Breder
		Langer
Vaarsnelheid	Voortstuwing	
	Weerstand	

1. Diepgang

Diepgang rendement kan behaald worden door lichtere, bredere en/of langere schepen te bouwen.

I. Lichtere schepen

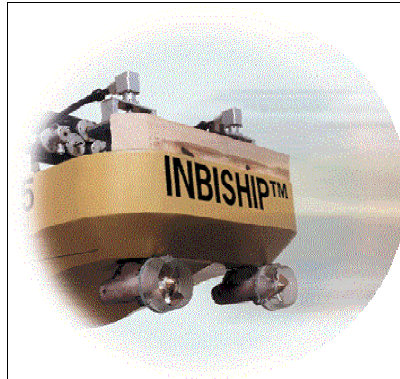
Doel: Het bouwen van lichtere schepen speelt in op het effect dat bij besparing op eigen gewicht bij hetzelfde laadvermogen en dezelfde afmetingen van het schip de diepgang geringer is.

Bewerkstelligen: Gewichtsbesparingen zijn te bereiken door:

- het (binnen de grenzen van het toelaatbare) verkleinen van ontwerp marges
- het variëren van plaatdiktes
- het toepassen van staalsoorten met grotere sterkte of slijtvastheid
- het toepassen van lichte materialen als aluminium en kunststof
- het ontwerpen voor één type lading, zodat marges die voor het kunnen vervoeren van andere ladingsoorten nodig zijn, achterwege kunnen blijven

Inbship is een ontwerp van een lichter schip (figuur 6-12). Volgens de Vereniging Nederlandse Scheepvaart Industrie (VNSI) is dit het binnenschip van de 21ste eeuw. Het ontwerp van Inbship is niet alleen gericht op het lichter construeren van de schepen, waardoor de diepgang bij dezelfde afmetingen afneemt maar ook om te bewerkstelligen dat het brandstofverbruik en de emissie uitstoot lager is.

Voorwaarden: De robuustheid van het schip moet gelijk blijven.



Figuur 6-12 Inbiship

II. Bredere en langere schepen

Doel: Het bouwen van bredere of langere schepen speelt in op het effect dat bij gelijkblijvend laadvermogen de diepgang minder is.

Bewerkstelligen: -

Voorwaarden: De haalbaarheid van het langer en breder maken van de schepen is afhankelijk van opgestelde regelgeving en de fysieke grenzen van de vaarweg.

2. Vaarsnelheid

Doel: Het bouwen van schepen met meer vaarsnelheid speelt in op het effect dat in tijden met laagwater ondanks de geringe aflaaddiepte de schepen wel met een hoge omloopsnelheid kunnen varen en daardoor in periode van laagwater zoveel mogelijk vervoerd kan worden.

Bewerkstelligen: Er zijn twee beproefde manieren om de snelheid te vergroten:

- Meer vermogen bij dezelfde weerstand. Hierbij moet gedacht worden aan het optimaliseren van de voortstuwing.
- Minder weerstand bij hetzelfde vermogen. Hierbij moet gedacht worden aan een techniek waarbij de weerstand wordt verminderd.

Bovenstaande aspecten worden hieronder beschreven aan de hand van innovaties.

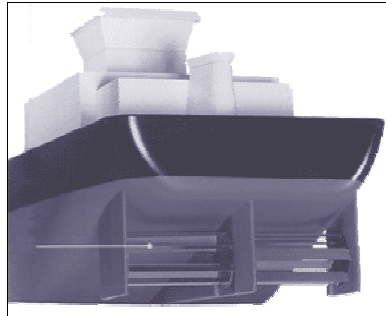
Voorstuwing

Door een efficiëntere voorstuwing is voor dezelfde snelheid minder brandstof nodig. Een innovatie die daarop is berust is Whale Tail.

Whale tail

Het Whale Tail Wheel bestaat uit twee raderen die een flink eind uit elkaar staan. Tussen de twee raderen zijn zes kantelbare bladen bevestigd die door servomotoren worden gestuurd. De horizontale bladen hebben het profiel van een vliegtuigvleugel. Wordt het systeem in draaiing gebracht, dan stuwden de bladen

het schip voort doordat zij de beweging van een walvisstaart nabootsen en daarmee het schip voortstuwen.



Figuur 6-13 Whale tail wheel

Het Whale Tail Wheel veroorzaakt minder turbulente stroming van het water in vergelijking tot de traditionele schroefaandrijving (figuur 6-13). Bovendien woelt de brede stroom van het Whale Tail Wheel minder bodem los dan de smalle waterstraal achter een schroef. Doordat de bodem minder los wordt gemaakt is minder veiligheidsdiepte nodig. Dat geeft een extra marge bij laagwater. Ook de schade aan de oevers wordt met gebruik van het Whale Tail Wheel verminderd. Berekeningen van het maritiem instituut MARIN wijzen uit, dat met het hogere rendement van dit systeem een brandstofbesparing tot 33% gerealiseerd wordt. Doordat er minder vermogen nodig is, kan de machinekamer compacter uitgevoerd worden, hetgeen weer leidt tot efficiënter transport. Het schip is daardoor lichter bij dezelfde afmetingen en kan meer goederen vervoeren bij dezelfde waterdiepte.

Weerstand

Door weerstandverlaging kan het schip sneller voortbewegen.

Project Energiebesparende Luchtgesmeerde Schepen (PELS)

Berust op het gebruik van een luchtlaagje, waardoor de weerstand minder is en het schip sneller kan varen. Door het vervangen van de vlakke bodem van een schip door een met lucht gevulde kamer ontstaat reductie van de wrijving, doordat het water met lucht in contact komt en niet met een vast oppervlak.

Voorwaarden:

Veiligheid

6.2.4 Vaarweginfrastructuur

Door infrastructurele maatregelen kan de waterafvoer gereguleerd worden. Tijdens de ronde tafelbijeenkomst van de scheepvaart van Droogtestudie (2004) is een aantal langetermijnoplossingen naar voren gekomen (bijlage 8). Een aantal daarvan is terug te vinden in onderstaand lijstje (tabel 6-4).

Tabel 6-4 Maatregelen infrastructuur

Aspecten bij infrastructuur	Middelen om aspecten te beïnvloeden
Normaliseren	Kribben Aanpassen
	Baggeren
Kanaliseren	
Retentiegebieden	

De volgende maatregelen zijn optioneel:

1. Normaliseren
2. Kanaliseren
3. Retentiegebieden

Voor elke van deze maatregel volgt een kleine omschrijving.

1. Normalisatie

Normalisatie betekent dat de breedte en diepte van de rivier over een bepaalde afstand worden vastgelegd. Dit kan bijvoorbeeld door het aanleggen en/of aanpassen van kribben, maar ook door baggeren. Baggeren is hierbij een tijdelijke oplossing en kribben aanpassen een permanente oplossing (tabel 6-5).

Tabel 6-5 Aspecten Normalisatie

Aspecten bij normaliseren	Middelen om aspecten te beïnvloeden
Breedte	Kribben aanpassen
Diepgang	Baggeren

I. Kribben

Een krib is een stenen dam in de rivier, die vanaf de oever dwars op de stroomrichting de rivier in steekt.

Doel: Het aanleggen of herdimensioneren van kribben speelt in op het effect, dat door de breedte van de stroomgeul te verminderen het vaarwater voldoende op diepte wordt gehouden.

Bewerkstelligen: Hoogte en vorm kribben aanpassen

Voorwaarden: Kribben vernauwen het dwarsprofiel van de rivier waardoor opstuwning plaats vindt bij hoogwater. Dat is tegenstrijdig met het beleid RvR. Momenteel is DWW bezig met kribben, die minimale opstuwning hebben bij hoogwater en goed functioneren bij laagwater. Ideaal zou zijn als kribben beschikbaar zijn bij alleen laagwater. Beweegbare kribben zouden daar uitkomst bieden maar lijken niet realistisch.

II. Baggeren

Doel: Met baggeren wordt voldoende waterdiepte beoogd.

Bewerkstelligen: Door het bijhouden van bodemprofielen en tijdig baggeren op stukken met geringe vaardiepte kan gezorgd worden dat de vaarweg op diepte wordt gehouden. Onderstaande berekening laat zien hoeveel weggebaggerd moet worden om de effecten van klimaatverandering op de waterdiepte op te heffen.

Berekening baggeren:

Op de Waal wordt door het jaar heen over 60 km gebaggerd. In tabel 6-6 is aangegeven wat het effect van klimaatverandering is op de waterstand. OLR ligt nu bij 2,5 m waterdiepte. Omstreeks 2050 zal OLR bij het voordoen van het middenscenario liggen op 2,35 m. Om dit verschil op te heffen zal minimaal 0,15 m gebaggerd moeten worden. In tabel 6-7 is aangegeven dat in de zomermaanden van 2003 de gemiddelde waterdiepte 2,64 m was. Deze gemiddelde waterdiepte zal bij het voordoen van het midden scenario bij een zomer met dezelfde kans als 2003 verschuiven naar 2,46 m. Het verschil is 17 cm. Het maximale waterdiepteverschil is 0,4 m. Om het effect van klimaatverandering op te heffen zal ongeveer 20 cm moeten worden gebaggerd. Dit komt neer op 1,8 miljoen kubieke meter. Hierbij is aangenomen dat gebaggerd moet worden over een breedte van 150 m. Het profijt van het baggeren zal ongeveer gedurende 3 maanden zijn.

Tabel 6-6 Benodigde baggerwerkzaamheden door klimaatverandering

Kwadijk	Waterdiepte bij OLR	Vershil huidig en toekomst
Huidig	2,5 m	-
Midden 2050	2,35 m	0,15 m

Tabel 6-7 Zomer 2003

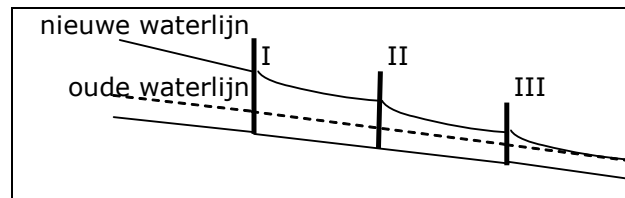
Recente analyse	Gemiddelde waterdiepte	
Zomer 2003 (juli-dec)		
Huidig	2,6388 m	-
Midden 2050	2,4633 m	0,17 m
Maximale verandering		0,40 m

Voorwaarden: Bodemdaling vindt continue plaats en heeft nadelige effecten. Om deze reden moet zorgvuldig bekeken worden waar zand weggehaald moet worden. 20 cm baggeren is zeer weinig en relatief duur.

2. Kanaliseren

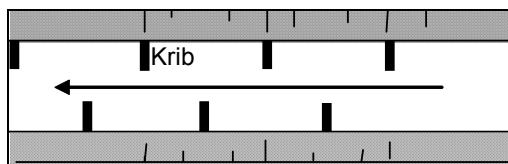
Doel: Het kanaliseren van een rivier speelt in op het effect dat de waterstand per segment geregeld kan worden. Hierdoor kan in de tijd van laagwater getracht worden de waterstanden per segment voldoende op hoogte te houden voor de binnenvaart (figuur 6-14).

Bewerkstelligen: Met behulp van een of meerdere stuwen en sluizen kan de waterstand per segment geregeld worden en kunnen de schepen via de sluizen de segmenten bereiken.

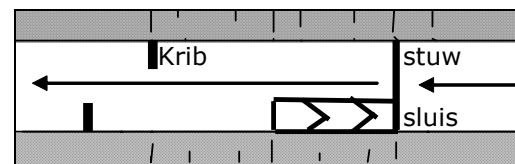


Figuur 6-14 Aanleg sluizen en stuwen

Er zullen meerdere sluizen nodig zijn om de waterdiepte langs de hele Rijn te garanderen. Momenteel is op het traject Rotterdam-Duisburg de Waal maatgevend. In de Waal zijn kribben aangelegd. Figuur 6-15 geeft een indruk van de Waal voor het bouwen van sluizen en stuwen. Figuur 6-16 geeft een indruk van de ligging van de sluis en stuw in de Waal. Onderstaande berekening laat zien aan wat voor sluis en stuw gedacht moet worden. In paragraaf 6.3.2 worden de kosten belicht.



Figuur 6-15 Bovenaanzicht rivier



Figuur 6-16 Situatieschets

Berekening inschatting aantal sluizen

Om tot het aantal sluizen te komen dat nodig is op de Waal moet bekeken worden onder welk verval de sluizen geconstrueerd moeten worden. Hierop moet sluis gedimensioneerd worden. Een aanname is gedaan dat drie sluizen voldoende zijn.

Berekening grootte van de sluizen

De grootte van de sluis wordt bepaald aan de hand van de capaciteit aan schepen op het traject, maximale schip en het te overbruggen verval. Aan de hand van de optimalisatie tussen capaciteit en wachttijd zal een keuze gemaakt worden voor de dimensie van de sluis. De breedte van de stuw zal de breedte van de rivier zijn minus de breedte van de sluis. Het grootste schip dat nu op de Rijn vaart is een zesbakduweenheid met een lengte van 210 m. De maximale breedte op de Waal is 34,5 m bij een duweenheid met twee bakken. De sluis kan optimaal gebruikt worden door extra ruimte naast het schip. Een sluis met een lengte van 280 m en een breedte van 40 m lijkt realistisch.

Voorwaarden:

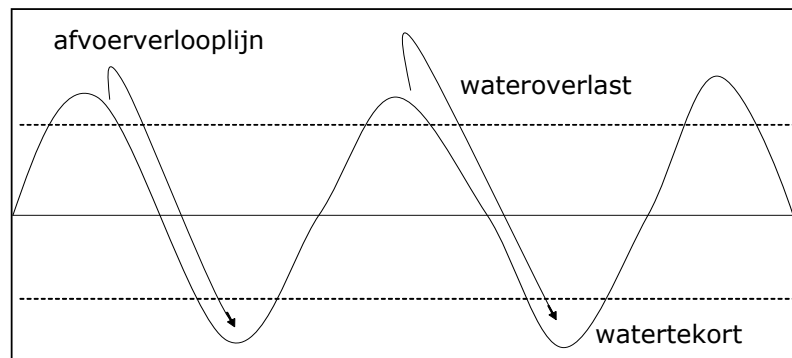
Sluizen en stuwen belemmeren de vaarweg en veroorzaken wachttijden. Dit heeft invloed op de betrouwbaarheid van de binnenvaart. Het bouwen van sluizen en stuwen wordt pas realistisch wachttijden opwegen tegen de toename van het laadvermogen. Het bouwen van sluizen en stuwen staat lijnrecht tegenover de ideeën van RvR. Het bouwen van sluizen en stuwen betekent dat het water vertraagd wordt afgevoerd en opstuwing plaats vindt.

3. Retentiegebieden

Een retentiegebied is binnendijks gebied dat structureel tot het riviersysteem wordt gerekend en waar tijdelijk water geborgen kan worden in tijden van extreem hoogwater. Het water wordt er dan gecontroleerd ingelaten en vastgehouden. Als het rivierpeil weer voldoende gedaald is, wordt het water uitgelaten. Bij de juiste inzet van het retentiegebied wordt de hoogwaterpiek afgevlakt en dalen de waterstanden op de rivier benedenstrooms van het retentiegebied.

Doel:

Het gebruik van retentiegebieden speelt in op het afstemmen van vraag naar water en het aanbod van water. Bij een voorspelde situatie van extreem laagwater wordt het water dat opgeslagen is in perioden van hoogwater weer uitgelaten. Aldus kunnen retentiegebieden ingezet worden ter bestrijding van zowel extreem hoogwater als extreem laagwater (figuur 6-17).



Figuur 6-17 Wateroverlast en watertekort

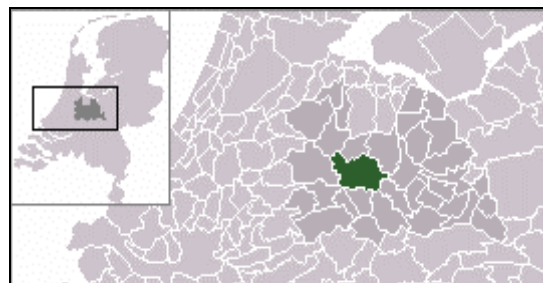
Bewerkstelligen:

Ruimte beschikbaar stellen om water te bergen. Onderstaande berekening laat zien wat de grootte van een retentiegebied moet zijn. In paragraaf 6.3.3 worden de kosten belicht.

Berekening van oppervlakte bij afvlakken hoogwater:

Als een debiet van $16000 \text{ m}^3/\text{s}$ afvlakt moet worden naar $15000 \text{ m}^3/\text{s}$ dan zal $1000 \text{ m}^3/\text{s}$ geborgen moeten worden. Mocht het debiet van $16000 \text{ m}^3/\text{s}$ drie dagen voorkomen dan zal 260 miljoen m^3 water geborgen moeten worden.

Als een gebied beschikbaar moet worden gesteld hiervoor en het mogelijk is het water 1 meter hoog te laten staan, is het benodigde oppervlak 260 km^2 . Dit komt neer op $16 \text{ km} \times 16 \text{ km}$. Dit is gelijk aan 2,5 maal het oppervlak van de stad Utrecht (figuur 6-18).



Figuur 6-18 Oppervlakte stad Utrecht

Berekening van hoeveelheid water bij aanvullen laagwater

Onder de 1000 m³/s wordt last ervaren van te lage waterstanden. In een droog jaar kan wel 24 dagen een debiet van 800 m³/s voorkomen. Dit betekent dat 200 m³/s water nodig is. Als dit water afkomstig moet zijn uit een retentiegebied, zal 414 miljoen m³ water moeten worden opgeslagen. Bij een waterhoogte van 1 m komt dit neer op 4 maal het oppervlak van de stad Utrecht.

Voorwaarden:

De haalbaarheid van retentiegebieden is gering:

I. Retentiegebieden zullen op korte termijn niet ingezet worden om hoogwater op te vangen. Op dit moment bestaat onvoldoende draagvlak voor de maatregel. Verder vindt het kabinet dat er voldoende maatregelen voorhanden zijn om de vereiste bescherming tegen overstroming te realiseren.

II. De retentiebekkens zijn er om hoogwater op te vangen. Bij het vasthouden van het water om het te gebruiken in tijden van droogte wordt het argument gebruikt dat de retentiebekkens dan niet beschikbaar zijn voor het doel water te bergen bij hoogwater. Als laag- en hoogwater in de toekomst beter te voorspellen zijn, heeft de oplossing om het water te gebruiken in perioden van laagwater wellicht een grotere kans van slagen.

III. Het oppervlak dat nodig is om voldoende water te bergen dat beschikbaar is in perioden van laagwater is enorm en niet beschikbaar. Bovendien komen retentiegebieden het best tot hun recht bovenstrooms. Dit is omdat het volume water dat aan de rivier wordt onttrokken en tijdelijk in het retentiegebied opgeslagen wordt, niet op dat moment langs het hele riviertraject afgevoerd hoeft te worden. Met Duitsland moet overeenstemming komen over een goed gezamenlijk waterbeleid.

IV. Exploitatie brengt ingrijpende veranderingen in de omgeving met zich mee.

6.2.5 Waterbeheer

Bij maatregelen in het kader van waterbeheer kan gedacht worden aan reguleren van debiet en aan gebruik van bestaande opslagruimte. (tabel 6-8)

Tabel 6-8 Aspecten waterbeheer

Aspecten bij normaliseren	Middelen om aspecten te beïnvloeden	Mogelijke uitwerking
Debiet reguleren	Stuwen inzetten	Herverdeling Pannerdense kop
Opslag	Natuurlijke reservoirs gebruiken	Water uit het IJsselmeer
		Stuwmeer in Zwitserland

1. Stuwen inzetten

Doel: Huidige stuwen inzetten kan leiden tot herverdeling van het debiet over de Waal en de Nederrijn waardoor op sommige waterwegen extra waterdiepte beschikbaar is.

Bewerkstelligen: Bij een laag debiet wordt zoveel mogelijk water over de Waal afgevoerd. De stuwen bij Driel, Amerongen en Hagestein worden dan gesloten. De herverdeling vindt plaats bij Pannerdense Kop (figuur 19).

Voorwaarden: De minimale doorvoer bij de IJssel moet 225 m³/s zijn. Of er een verdere herverdeling mogelijk is, is niet onderzocht. Laagwatervoorziening voor de binnenvaart krijgt tot nu toe minder prioriteit dan een aantal andere sectoren zoals landbouw en natuur. Dit is vastgelegd in de zogenaamde verdringingsreeksen (bijlage 10).



Figuur 6-19 Verdeling bij Pannerdense Kop

2. Natuurlijke reservoirs gebruiken

Doel: Het gebruik maken van reservoirs speelt in op de mogelijkheid om in perioden dat meer water beschikbaar is dan nodig, het overtollige water op te slaan tot een periode waarin er sprake is van watertekort. Dit water kan zorgen voor extra waterdiepte in perioden van laagwater.

- Bewerkstelligen: Het IJsselmeer (1100 km²) en de Bodensee (500 km²) kunnen gebruikt worden als opslagruimte. Een van de reservoirfuncties van het IJsselmeer is de berging van het neerslagoverschot in de winterperiode teneinde in de zomer aan de landbouwwaterbehoefte te kunnen voldoen. Gebruik van het water uit dit reservoir voor de binnenvaart op de Rijn is praktisch onhaalbaar door de geringe reservoircapaciteit en omdat het IJsselmeer veel lager gelegen is dan de Waal. Bij het verpompen van het water uit het IJsselmeer naar de Waal zal een hoogteverschil overbrugd moeten worden. Bij tekort aan watercapaciteit in het meer kan gedacht worden aan het inlaten van zeewater. Probleem daarbij is dat dit water zout is, hetgeen de ecologie in het gebied zal aantasten. Nader onderzoek zal gedaan moeten worden om te bekijken of opslag van water in de Bodensee haalbaar is.
- Voorwaarden: Water uit het stuwmeer (Bodensee) wordt gebruikt voor energie opwekking. Mocht deze maatregel haalbaar zijn dan moet door internationale onderhandelingen een gezamenlijk beleid vastgesteld worden.

6.3 Haalbaarheid maatregelen

In paragraaf 6.2.1 is een aantal maatregelen beschreven. Dit zijn zeer uiteenlopende typen maatregelen. Met behulp van een Multi Criteria Evaluatie (MCE) zijn de maatregelen op waarde met elkaar vergeleken. De kosten worden in een MCE niet meegenomen. De kosten worden apart bepaald per maatregel. Zo kan uiteindelijk de beslisser een keus maken gebaseerd op de waarde, de kosten en de ratio waarde-kosten van de te nemen maatregel.

De maatregelen genoemd in hoofdstuk 5 kunnen in twee groepen verdeeld worden. Een groep maatregelen waar de binnenvaart opdrachtgever van is en een groep waar de overheid opdrachtgever van is. De opdrachtgever betaalt, bepaalt en besluit. De uitvoering kan echter uit handen worden gegeven. De binnenvaart zal beslissingen uit commercieel belang nemen en de overheid neemt beslissingen uit maatschappelijk belang. Dit leidt er toe dat de partijen een heel andere kijk zullen hebben op welke maatregel uitgevoerd moet worden. Om deze reden is bij de MCE en de bepaling van de kosten onderscheid gemaakt in maatregelen per opdrachtgever.

6.3.1 Multi Criteria Evaluatie

De criteria waaraan de maatregelen zijn getoetst hebben niet allen dezelfde zwaarte. De zwaarte van de criteria is bepaald door de criteria ten opzichte van elkaar af te wegen. Vervolgens is voor elke opgestelde maatregel gescoord per criterium. Door deze score per maatregel te vermenigvuldigen met de zwaarte van het criterium en de score bij elk criterium op te tellen is de totale waarde per maatregel vastgesteld. De maatregel met de hoogste score heeft de grootste waarde.

De bovengenoemde aanpak komt in onderstaande tekst als volgt terug.

- Selectie van toetsingscriteria
- Zwaartebepaling toetsingscriteria
- Toetsing maatregelen

6.3.1.1 Selectie van toetsingscriteria

De criteria zijn bepaald om de maatregelen op waarde te schatten. Voor elke maatregel is gekeken naar kenmerkende criteria. Er is opgelet dat de gekozen criteria onafhankelijk van elkaar zijn. Doordat de maatregelen zeer verschillend zijn, zijn de gekozen criteria van een hoog abstractieniveau. Hieronder zijn de gebruikte criteria opgesomd met daarbij een uitleg wat onder de criteria verstaan wordt.

1. politiek beleid

inpassing in recent waterbeleid en infrastructuurbeleid

2. veiligheid

veiligheid van het scheepvaartverkeer en het achterland

3. impact ecologie

aantasting flora en fauna

4. impact andere sectoren

invloed op overige sectoren met riviergebonden functies (bijlage 10)

5. functionaliteit

effect van maatregel op het laadvermogen

6. aanpasbaarheid

mogelijke aanpassing bij onverwachte scenario's

7. faseerbaarheid

in fases invoeren van maatregel

6.3.1.2 Zwaartebepaling toetsingscriteria

Door de criteria paarsgewijs met elkaar te vergelijken is de belangrijkheid, relatieve zwaarte, per criterium bepaald. Met de cijfers 0 en 1 is aangegeven welke van de twee criteria belangrijker is. Bij gelijk belang is aan beide criteria een cijfer 1 gegeven. Optelling van de waarden geeft de totale zwaarte van elk criterium. Om een beter beeld te krijgen welke criteria het best gebruikt kunnen worden om de maatregelen af te wegen, wordt aangeraden in een volgend onderzoek de beheerder en de gebruiker van de eventuele maatregelen de criteria te laten bepalen. Door dit te doen kan een beter beeld verkregen worden van de belangen die spelen tussen verschillende partijen. In dit onderzoek zijn de criteria vastgelegd en ten opzichte van elkaar afgewogen door de onderzoeker (tabel 6-9). Hierbij is de afweging gemaakt vanuit een maatschappelijk oogpunt.

Tabel 6-9 Zwaartebepaling toetsingscriteria

Criterium	1	2	3	4	5	6	7	totaal	totaal ²	percentage
1.politiekbeleid	x	1	1	1	1	1	1	6	12	25%
2.veiligheid	1	x	1	1	1	1	1	6	12	25%
3.impact ecologie	0	0	x	1	0	1	1	3	6	12%
4.impact andere sectoren	0	0	0	x	1	1	1	3	6	12%
5.functionaliiteit	0	1	1	1	x	0	1	4	8	16%
6.aanpasbaarheid	0	0	0	0	1	X	1	2	4	8%
7.faseerbaarheid	0	0	0	0	0	0	x	0	1	2%

² Doordat het criterium faseerbaarheid geen zwaarte-score had maar toch van belang is als criterium is de waarde van 0 vervangen door 1. De overige criteria zijn daarop aangepast door deze met een factor twee te vermenigvuldigen.

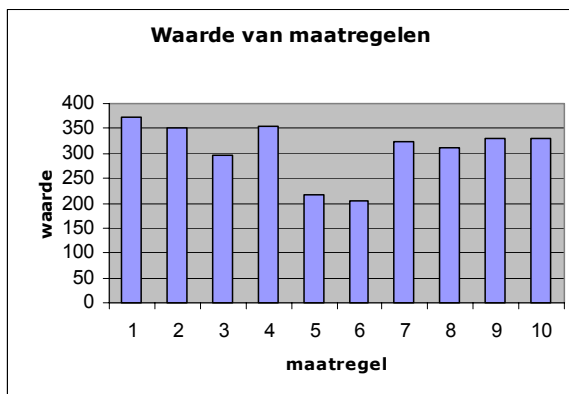
6.3.1.3 Toetsing maatregelen

De varianten zijn getoetst op de verschillende criteria door het toekennen van een cijfer tussen de 1 en 10. Gekozen is voor deze cijferreeks omdat deze overeenkomt met beoordelingen in het onderwijs (6= voldoende, 7=ruim voldoende etc). Zie bijlage 10 voor de bepaling van de waarde per maatregel.

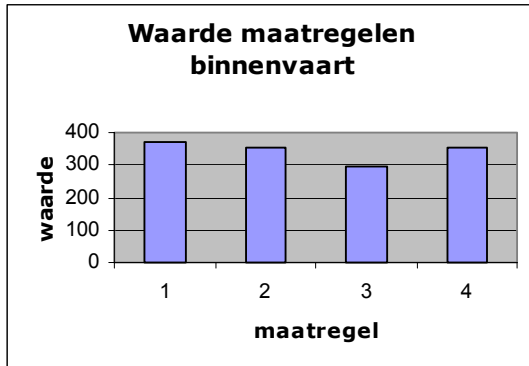
Tabel 6-10 Waarde van maatregelen

maatregel	1. Informatiemanagement	2. Incidenteel tijdens laagwaterperioden volcontinue laten varen	3. In de vaart nemen van meer laadvermogen	4. Nieuwbouw van schepen	5. Kanaliseren	6. Retentiegebieden	7. Kribben aanpassen	8. Baggeren	9. Debiet reguleren	10. Opslag
Totaal aan punten	372	352	295	353	217	206	325	312	329	329

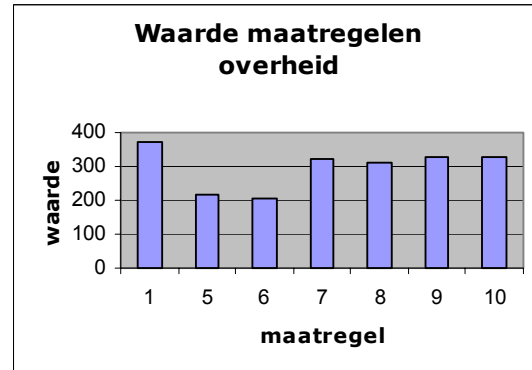
In tabel 6-10 en in de figuur 6-20 is de waarde van de verschillende maatregelen zichtbaar. De maatregel informatiemanagement is een bijzondere logistieke maatregel omdat dit de enige maatregel is die zowel door de binnenvaart (privaat) als door de overheid (publiek) ondersteund moet worden. Om deze reden is in tabel 6-10 onderscheid gemaakt tussen maatregel 1 die zowel door binnenvaart als overheid ondersteund moet worden, tussen maatregelen 2 t/m 4 die door de binnenvaart ondersteund moet worden en maatregelen 5 t/m 10 die door de overheid ondersteund moeten worden. In figuur 6-21 zijn de waarde van de maatregelen zichtbaar die liggen bij de binnenvaart en in figuur 6-22 de waarde van de maatregelen die liggen bij de overheid. Maatregel 3, informatiemanagement, heeft de hoogste waarde van zowel de maatregelen die de binnenvaart kan nemen als de maatregelen die de overheid kan nemen. Dit betekent dat deze maatregel nu de grootste prioriteit heeft indien waarde bepalend is voor de keus.



Figuur 6-20 Waarde van de maatregelen



Figuur 6-21 Waarde maatregelen binnenvaart



Figuur 6-22 Waarde maatregelen overheid

6.3.2 Kosten

De daadwerkelijke kosten van de maatregelen zijn moeilijk in te schatten. Dit komt doordat de maatregelen grof zijn uitgewerkt. Hieronder is een inschatting van de kosten gemaakt. De kosten zijn berekend voor een periode van 50 jaar. Bij de maatregelen is onderscheid gemaakt tussen investeringskosten en onderhoudskosten.

1. Informatiemanagement

Hier komen geen noemenswaardige investerings- en onderhoudskosten uit voort.

2. In de vaart nemen van meer laadvermogen

Hier komen geen noemenswaardige investerings- en onderhoudskosten uit voort.

3. Het incidenteel tijdens laagwaterperioden volcontinue laten varen van schepen

Hier komen geen noemenswaardige investerings- en onderhoudskosten uit voort.

4. Nieuwbouw

Hier komen geen noemenswaardige investerings- en onderhoudskosten uit voort. Afgeschreven schepen zullen vervangen worden door nieuwe schepen.

5. Kanaliseren

De kosten van een sluis en een stuw zijn zeer afhankelijk van de omgevingsfactoren (grond, infrastructuur, grootte, dijkhoogte, ruimte). De investeringskosten zijn het grootst. Kengetallen die voor sluisen worden aangenomen zijn 500 euro per kubieke meter voor een kale sluis. Met opslagen (onder de opslagen vallen engineering, vergunningen, project onvoorzien, bedieningsgebouw, geleidingswerken etc.) daarbij geteld, komen de kosten van een sluis aanleggen op 1600 euro per kubieke meter waterverplaatsing (Best, de K, 2005). Bij gemiddeld grote sluisen is het materieel relatief goedkoper en kunnen de kosten per kubieke meter juist weer iets lager zijn. De kosten van drie sluisen komen neer op ongeveer 580 miljoen euro. Drie stuwen van 120 m kosten ongeveer 180 miljoen euro. De onderhoudskosten zijn verwaarloosbaar t.o.v. de investeringskosten.

6. Retentiegebieden

Berekend is dat 4 keer de stad Utrecht nodig is bij een waterstand van 1 m. Dit komt neer op 41.400 hectaren. Aanname is dat 1 m² rond de 5 euro kost. Dit komt neer op 2 miljard euro aan investeringskosten.

7. Kribben aanpassen

De investeringskosten om kribben aan te passen is een paar ton per krib en komt voor de hele Waal op ongeveer 20 miljoen euro.

8. Baggeren

De kosten van baggeren zijn, zeer afhankelijk van de omstandigheden, gemiddeld 5 euro per kubieke meter. Dit komt neer op 9 miljoen euro per jaar. Omgerekend met de Netto Constante Waarde methode naar een tijdstip komt dat neer op ongeveer 600 miljoen euro voor een periode van 50 jaar.

9. Debiet reguleren

Het debiet kan gereguleerd worden door gebruik te maken van de stuwen die er nu zijn. Geen extra investerings- en onderhoudskosten komen hieruit voort.

10. Opslag

Voor de opslag van water in Zwitserland zullen stuwen aangelegd moeten worden. De bouw van stuwen zal hoge investeringskosten met zich meenemen. Deze worden geschat op 1 miljard euro.

Bovenstaande bedragen zijn samengebracht in tabel 6-11. De maatregelen met geen noemenswaardige investerings- en onderhoudskosten zijn geschat op 1 miljoen euro. De kosten van de maatregelen 1 t/m 4 en 9 zijn het minst.

Tabel 6-11 Inschatting kosten per maatregel

Opdrachtgever	Maatregel	Kosten (miljoen euro)
binnenvaart en overheid	1. Informatiemanagement	1
binnenvaart	2. Het incidenteel tijdens laagwaterperioden volcontinue laten varen van schepen	1
	3. In de vaart nemen van meer laadvermogen	1
	4. Nieuwbouw	1
overheid	5. Kanaliseren	760
	6. Retentiegebieden	2.000
	7. Kribben aanpassen	20
	8. Baggeren	600
	9. Debiet reguleren	1
	10. Opslag	1.000

6.3.3 Evaluatie

De waarde, de kosten en de ratio waarde/kosten zijn weergegeven in tabel 6-12, 6-13 en 6-14. Maatregel 1 (informatiemanagement) komt het best naar voren indien naar waarde wordt gekeken.

Indien gekeken wordt naar kosten komen maatregelen 1 t/m 4 en 9 het best naar voren. Is de waarde/kosten ratio bepalend dan is maatregel 1 de meest geschikte.

Tabel 6-12 Waarde

Maatregel	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Waarde	372	352	295	353	217	206	325	312	329	329

Tabel 6-13 Kosten

Maatregel	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Kosten (miljoen euro)	1	1	1	1	750	2.000	20	600	1	1.000

Tabel 6-14 Waarde/kosten

Maatregel	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Ratio	372	352	295	353	0,28	0,103	16,25	0,52	329	0,329

Maatregelen bij klimaatscenario's

De mate van negatieve effecten heeft invloed op de haalbaarheid van de maatregelen. Bij extreme effecten zal een maatregel die veel kosten met zich meebrengt eerder worden gekozen, omdat er dan ook veel nadelige effecten zijn.

Combinaties aan maatregelen

In bovenstaande analyse zijn de maatregelen apart van elkaar bekeken. Een aantal maatregelen kan ook naast elkaar ingevoerd worden. Het lijkt waarschijnlijk dat de maatregelen nieuwbouw van schepen, informatiemanagement en incidenteel tijdens laagwaterperioden volcontinue varen van schepen naast elkaar ingezet kunnen worden.

Duitsland

Nederland wordt ook wel de afvoerput van Europa genoemd als er wordt gesproken over waterafvoer. Maatregelen ter voorkoming c.q. beperking van wateroverlast en watertekort moeten niet alleen in het belang van Nederland gezocht worden. Nederland en Duitsland zullen hun waterbeleid op elkaar moeten aanpassen. Maatregelen die Duitsland inzet in perioden van watertekort hebben direct effect op het aanbod van zoetwater in Nederland.

7 Conclusies en Aanbevelingen

7.1 Conclusies

- In de toekomst worden lage waterstanden lager, komen frequenter voor met gemiddeld een langere duur. De gevoeligheidsanalyse voor 2050 geeft aan dat het aantal perioden met een afvoer lager dan 1000 m³/s bij Lobith (2,5 m waterdiepte) toeneemt van 17 perioden (huidig) naar 28 perioden (midden scenario) respectievelijk 60 perioden (droge scenario), in een tijdsperiode van 14 jaar. De gemiddelde duur neemt toe van 10 dagen (huidig) naar 12 dagen (midden scenario) respectievelijk 28 dagen (droge scenario).
- Uit de gevoeligheidsanalyse blijkt dat in het droge scenario omstreeks 2050 een jaar met extreem lage waterstanden zoals in het jaar 2003 jaarlijks zal voorkomen.
- Uit de gevoeligheidsanalyse blijkt dat in het midden scenario omstreeks 2050 voor een jaar met dezelfde kans van voorkomen als 2003 (eens in de tien jaar) het verlies aan theoretisch inzetbaar laadvermogen van de vloot in vergelijking met het jaar 2003 12 miljoen ton zal zijn.
- Gezien de klimaatscenario's zal de prestatie van de binnenvaart onder druk komen te staan. Dit probleem wordt versterkt door huidige ontwikkelingen:
 - Vlootontwikkeling: de zeer aannemelijke, voortgaande schaalvergroting van de vloot leidt ertoe dat schepen gevoeliger worden voor laagwater.
 - Capaciteit modaliteiten: weinig groeimogelijkheden bij spoor- en wegvervoer om toekomstige goederentoeename te transporteren leidt tot een druk om goederen te vervoeren met de binnenvaart.
 - Politiek beleid: achterstallig onderhoud van de vaarweg en het beleid Ruimte voor de Rivier leiden tot lagere waterdieptes in het zomerbed van de rivier.
- Indirecte effecten van extreem laagwater zijn modal shift en toename van de maatschappelijke kosten.
- Uit de haalbaarheidsanalyse blijkt dat waterbouwkundige ingrepen op kort termijn niet haalbaar zijn.
De aanleg van retentiegebieden ter beperking van wateroverlast en watertekort is wegens verschil in aanbod van en vraag naar water, en beperking van de veiligheidsfunctie nu niet haalbaar.
Kanaliseren gaat in tegen het opgestelde beleid Ruimte voor de Rivier waarbij de rivier meer ruimte krijgt en obstakels verwijderd worden. Tevens leiden wachttijden bij sluizen tot oponthoud van de binnenvaart.
- Informatiemanagement is op korte termijn de meest haalbare maatregel. Deze maatregel richt zich op informatie verzamelen, vastleggen, in beeld brengen en delen. Berichtgeving over actuele waterstanden, meerdaagse voorspellingen van waterstanden en goederenvervoer kunnen er toe leiden dat er efficiënter gevaren kan worden in perioden van laagwater.
- Het monitoren van effecten op de binnenvaart bij laagwater vindt niet plaats waardoor weinig gegevens bekend zijn over kenmerkende laagwaterperioden en de effecten op de binnenvaart.

7.2 Aanbevelingen

- De kans benutten om informatiemanagement door middel van RIS (River Information Services) invulling te geven.
- Het monitoren van de veranderingen op het afvoerregime onder invloed van klimaatverandering, van de effecten op de binnenvaart en anticiperen op beleid dat wordt ontwikkeld voor andere riviergebonden functies.
- De binnenvaart doet er verstandig aan meer naar de voorgrond te treden als belanghebbende partij met betrekking tot watertekort, zoals nu bij het project Ruimte voor de Rivier.
- Bij uitbreiding of vervanging van de vloot moet rekening gehouden worden met klimaatscenario's.
- Een samenwerking bewerkstelligen tussen Nederland en Duitsland om meerdaagse voorspellingen van waterstanden te realiseren.

Literatuur

AVV, Roelse, K. [2002]. *Classificatie en kenmerken van de Europese Vloot en de actieve vloot in Nederland*, RWS, Rotterdam

AVV [2005]. *Betrouwbaar op de vaarweg*, RWS, Rijswijk

Beersma, J.J., T.A. Buishand en H. Buiteveld [2004]. *Droog, droger droogst*, De Bilt

Buisman, J. [2003]. *Duizend jaar weer, wind en water in de lage landen deel 3*, van Wijnen, Franeker

BvB, Vries, de C.J. [2000]. *Waardevol transport, maatschappelijke betekenis van het goederen vervoer en de binnenvaart 2004-2005*, Rotterdam

CCR [1994]. *Wegwijzer voor de scheepvaart op de Rijn, de Moezel en de Saar*, Strassbourg

Deursen, van W.P.A. [1998]. *Invloed van klimaatverandering op de binnenscheepvaart*, Chartago, Consultancy Rotterdam

Deursen, van W.P.A. [2002]. *Klimaatverandering in de stroomgebieden van Rijn en Maas*, Carthago Consultancy, Rotterdam

Deursen, van W.P.A. [2003 a]. *Klimaatverandering in de stroomgebieden van Rijn en Maas*, Carthago Consultancy, Rotterdam

Deursen, van W.P.A. [2003 b]. *Rapportage Rhineflow/Meuseflow klimaatscenarios Droogtestudie*, Carthago Consultancy, Rotterdam

Enserink, B. [2002]. *Analyse complexe omgevingen*, faculteit TBM, Technische universiteit, Delft

Frederic R. Harris [1997]. *Invloed klimaatverandering op vervoer over water*, Den Haag.

HbR, Deelen, C. en T. Dekker, S. Snijders [1999]. *Integrale Verkenningen voor haven en industrie, Verkeer en Vervoer*, Rotterdam

HbR, Stijlen-Diekman, W. en M. van Schuylenburg [2003]. *Bereikbaarheid van het Haven- en Industrie-complex, Havenplan 2020*, Rotterdam

KNMI [2003]. *De toestand van het klimaat in Nederland 2003*, De Bilt

Kwadijk, J.C.J. [1993]. *The impact of climate change on the discharge of the River Rhine*, PhD thesis, Universiteit Utrecht, Utrecht

Nomden, E.J. [1996]. *De invloed van klimaatveranderingen op de bevaarbaarheid van de Rijn*, Fysische Geografie, Universiteit Utrecht, Utrecht.

Nomden, E.J. [1997]. *Een goed klimaat voor de binnenvaart?*, Gemeentelijk havenbedrijf Rotterdam, Rotterdam

Middelkoop [1999]. *The impact of climate change on inland navigation on the river Rhine*, Universiteit Utrecht, Utrecht

Klimaatverandering en binnenvaart

PIANC, Alan L. Blume [2005]. *Towards a better understanding of watercapacity*, USA

Raadgever, T. [1994]. *Schademodelering laagwater Maas*, TU Twente, Twente

RIZA [1993]. *De Rijn*, RWS, Lelystad

RIZA [2001]. *Handleiding Scheepvaartmodel 1999*, Lelystad

RIZA [2004]. *Aard, ernst en omvang van laagwater*, Lelystad

Roelse, K. en J. van Toorenburg [2004]. *Eerste verkenning scheepvaarteffecten door project ruimte voor de rivieren*, AVV, Rotterdam.

RWS [2000]. *Waterbeleid voor de 21e eeuw, geef water ruimte en de aandacht die het verdient*, Den Haag

RWS [2004]. *Kerncijfers goederenvervoer*, Rijswijk

RWS [2004]. *Nota vervoer en modaliteit*, Rijswijk

RvR [2005]. *Milieueffectrapport Ruimte voor de Rivier*, RWS

Timmermans, G. [1995]. *Het goederentransport op de Rijn in relatie tot klimaatverandering*, Ruimtelijke Wetenschappen, Universiteit Utrecht, Utrecht

Internet:

[1] www.informatie.binnenvaart.nl, artikel Goederenvervoer, april 2005

[2] www.riza.nl/idsw/lexicon.html#B, augustus 2005

[3] www.waternormalen.nl, augustus 2005

[4] www.knmi.nl, artikel Rivier ijs, augustus 2005

[5] www.droogtestudie.nl, artikel Rondetafelbijeenkomst sector scheepvaart, april 2005

Citaten:

Droogtestudie, [2004]

14 April

Verslag Rondetafel bijeenkomst sector Scheepvaart

Best, de [2005]

Bouwdienst, RWS

Mondeling gesprek

Deursen, van W [2005]

29 april

Carthago Consultancy

Mondeling gesprek

Vries, de, [2003]

26 augustus

Schuttevaer

Nota: Woordvoerders inzake het Algemeen Overleg over de droogteproblematiek

Vries, de, [2005]

29 juli

CBRB

Mondeling gesprek

Afkortingen

AVV	Adviesdienst Verkeer en Vervoer
BNP	Bruto Nationaal Product
BVB	Bureau voorlichting Binnenvaart
CBRB	Centraal Bureau voor de Rijn- en Binnenvaart
CCR	Centrale commissie rijnvaart
CEMT	Conférence Européenne des Ministres de Transport
CHR	Internationale Commissie voor de Hydrologie van het Rijngebied
COV	Centraal Overleg Vaarwegen
GIS	Geografische Informatie systeem
GIW	Gleichwertige Wasserstand
HbR	Havenbedrijf Rotterdam
ICR	Internationale Commissie Rijnvaart
ICT	Informatie Communicatie Technologie
IPCC	International Panel on Climate Change
KNMI	Koninklijke Nederlands Meteorologisch instituut
KWS	Kleinwasserzuschlage
MCE	Multi Criteria Evaluatie
MGD	Minst Gepeilde Diepte
MHW	Maatgevende Hoge Waterstand
NAP	Normaal Amsterdam Peil
NOP	Nationaal Onderzoek Project luchtverontreinigingen en klimaatverandering
OLR	Overeenkomen lage rivierwaterstand
OLA	Overeenkomen lage rivierafvoer
PKB	Planologische kernbeslissing
RIS	River Information Services
RIZA	Rijksinstituut zoetwaterbeheer en afvalbeheersing
RvR	Ruimte voor de Rivier
RWS	Rijkswaterstaat
SWOT	Strength Weakness Oppertunities Threats
UNEP	United Nations Environment programma
VNSI	Vereniging Nederlandse Scheepvaart Industrie
WB21	Waterbeleid 21 ^{ste} eeuw
WMO	Wereld Meteorologische Organisatie

Begrippen

Actieve vloot	Vloot die direct beschikbaar is voor inzet als transportmiddel.
Adaptatie	Aanpassen aan de gevolgen van klimaatverandering
Beladingsgraad	Ratio van het vervoerde gewicht en laadvermogen van het schip.
Bergen	Opslaan van water in retentiebekkens langs waterbekkens waarvoor ruimte moet worden gecreëerd.
Bevrachter	Een persoon of organisatie, die de belangen van zowel de verlader als de vervoerder dient; hij probeert voor de verlader scheepsruimte te verkrijgen en voor de vervoerder de lading.
Binnenvaart	De verzameling van ondernemingen die het transport per schip over de binnenwateren uitvoeren.
Binnenvaartsector	Het cluster van organisaties die direct betrokken zijn bij het fysiek vervoer over de binnenwateren.
Inactieve vloot	Schepen waarmee pas gevaren kan worden als deze actief worden gemaakt.
Expediteur	De expediteur regisseert (een deel van) de transportketen in opdracht van de verlader en treedt in feite op als makelaar van de uitvoerende transportdiensten (deur-tot-deur). Het traject, de vervoersmodaliteit en de vervoerder worden bepaald. Grote verladers hebben meestal een eigen logistieke afdeling en doen zaken rechtstreeks met de rederij, zo sparen zij de kosten voor het inschakelen van een expediteur uit.
GIW	(Gleichwertige Wasserstand) is een statistisch bepaalde waterstand welke gemiddeld 20 dagen per jaar bereikt of onderschreden wordt.
Laadvermogen schip	Maximaal gewicht (ton) van de lading die vervoerd kan worden door een schip.
Mitigatie	Tegengaan van de door de mens veroorzaakte klimaatveranderingen.
Modal shift	Het verschuiven van lading tussen de modaliteiten.
TUDeft/CBRB/HbR	83

Modal split	Verdeling van goederen over de verschillende modaliteiten.
OLA	Overeengekomen lage rivierafvoer, overeengekomen lage rivierafvoer, die gemiddeld 5% per jaar onderschreden wordt.
OLR	Overeengekomen lage rivierwaterstand, statistisch bepaalde waterstand, die gemiddeld 5% per jaar onderschreden wordt.
Rederij	Organisatie, die een schip of schepen uitrust en in de vaart brengt en exploiteert.
Scenario	Geen voorspelling of vooruitblik, maar een plausibele beschrijving van hetgeen kan gaan gebeuren.
Schipper	De (rechts)persoon die het binnenvaartschip vaart en tijdens het transport de belangen van de ladingeigenaren behartigt. Als het schip, dat hij vaart, niet zijn eigendom is, dan behartigt hij tijdens het transport ook de belangen van de eigenaar van het schip.
TEU	Twenty feet Equivalent Unit. Aangezien containers verschillen in grootte, wordt de hoeveelheid omgerekend naar een standaardmaat; de 20-voets container.
Toekomstvoorspelling	Poging tot het doen van absolute uitspraken.
Vasthouden	Overtollig water zoveel mogelijk bovenstrooms vasthouden in de bodem en in oppervlakte water.
Verlader	Een persoon of organisatie (de ladingbelanghebbende) die opdracht geeft tot het vervoeren van lading. Hiertoe kan hij zelf in contact treden met een rederij of dit aan een expediteur overlaten.
Vervoerder	Persoon of organisatie (mogelijk rederij) die scheepsruimte bezit of kan inhuren. Degene die het vervoer fysiek uitvoert.
Waterdiepte	Verticale afstand tussen waterspiegel en bodem van een waterloop.
Waterhoogte	Synoniem waterstand
Waterstand	Hoogteligging van de waterspiegel t.o.v. referentiepeil.

Figuren en Tabellen

Figuren

Figuur 2-1	De vier aspecten van het onderzoeksprogramma 'klimaat voor ruimte'	3
Figuur 2-2	Leeswijzer	7
Figuur 3-1	Toegangspoorten Europa en grootte van vervoersstromen	10
Figuur 3-2	Landaandeel in droge tonnen over de Rijn (1990)	10
Figuur 3-3	Grensoverschrijdend (België en Duitsland) achterlandtransport	11
Figuur 3-4	Grensoverschrijdend vervoer per modaliteit	12
Figuur 3-5	Samenwerking actoren	13
Figuur 3-6	Ontwikkeling laadvermogen Nederlandse binnenvaartvloot	14
Figuur 3-7	Actieve binnenvloot naar diepgangklasse	14
Figuur 3-8	Overzichtsplaatje Rijnstroomgebied	15
Figuur 3-9	Waterkringloop	16
Figuur 3-10	Afvoerregime Bazel en Lobith	16
Figuur 3-11	Afvoeren 1995 in de winter van zijrivieren Rijn	17
Figuur 3-12	Dwarsdoorsnede brug en schip	21
Figuur 3-13	Inzetbare laadvermogen	22
Figuur 3-14	Schematisch overzicht beperkingen laadvermogen bij Lobith	22
Figuur 3-15	Laadvermogen vloot klasse V motorschepen	23
Figuur 3-16	Laadvermogen vloot klasse V duwbakken	24
Figuur 3-17	Laadvermogen gehele vloot	24
Figuur 4-1	Structurele verandering	26
Figuur 4-2	Temperatuur en afvoer per jaar	27
Figuur 4-3	De verschillende scenario's uitgezet	29
Figuur 4-4	Componenten Rhineflow	31
Figuur 4-5	Gemiddelde afvoerverlooptijden Lobith	32
Figuur 4-6	Dagen overschrijding per jaar	33
Figuur 4-7	Onderschrijdingsfrequentie Lobith	34
Figuur 4-8	Klimaatscenario's in beeld	35
Figuur 4-9	Aantal perioden	36
Figuur 4-10	Gemiddelde duur periode	36
Figuur 4-11	Afvoerverlooptijden 1921	37
Figuur 4-12	Afvoerverlooptijden 2003	37
Figuur 4-13	Aantal en duur perioden	38
Figuur 5-1	Laadvermogen klasse V duwbakken bij verschuiving OLR	43
Figuur 5-2	Laadvermogen klasse V motorschepen bij verschuiving OLR	43
Figuur 5-3	Peilschrijverstand: 11. April 2004	46
Figuur 5-4	Peilschrijverstand: 28. September 2003	46
Figuur 5-5	Tarief goederenvervoer tankvaart per ton in 2003	47
Figuur 5-6	Afvoer Lobith 2003	47
Figuur 5-7	Groei van het grensoverschrijdend goederenvervoer	50
Figuur 6-1	Ruimte voor de rivier	53
Figuur 6-2	Dijkverlegging	54
Figuur 6-3	Vergraven van de uiterwaarden	54
Figuur 6-4	Aanleg van (neven)geulen	54
Figuur 6-5	Aanleg van "groene" rivieren	55
Figuur 6-6	Aanleg van Retentiebekkens	55
Figuur 6-7	Verwijdering van obstakels	55
Figuur 6-8	Verlaging van kribben	55
Figuur 6-9	Verruiming van het zomerbed	56
Figuur 6-10	Dijkverhoging	56
Figuur 6-11	Effecten van de maatregelen RvR	57
Figuur 6-12	Inbship	62
Figuur 6-13	Whale tail Wheel	63

Figuur 6-14	Aanleg sluizen en stuwen	66
Figuur 6-15	Voor aanleg stuw en sluis	66
Figuur 6-16	Bovenaanzicht rivieren	66
Figuur 6-17	Situatieschets	67
Figuur 6-18	Oppervlakte stad Utrecht	67
Figuur 6-19	Verdeling bij Pannerdense Kop	69
Figuur 6-20	Waarde van de maatregelen	73
Figuur 6-21	Waarde maatregelen binnenvaart	74
Figuur 6-22	Waarde maatregelen overheid	74

Tabellen

Tabel 2-1	Eerder onderzoek	4
Tabel 3-1	Binnenvaart op de Rijn	9
Tabel 3-2	Binnenvaart in Nederland	9
Tabel 3-3	Vervoerd gewicht per vaargebied	13
Tabel 3-4	Vervoerde TEU's per vaargebied	13
Tabel 3-5	Scheepklasse indeling volgens CEMT	14
Tabel 3-6	Hoger dan 5800 m ³ /s bij Lobith	18
Tabel 3-7	Lager dan 1780 m ³ /s bij Lobith	19
Tabel 4-1	Extreme waarden klimaat	27
Tabel 4-2	KNMI scenario's 2100	28
Tabel 4-3	Klimaatscenario's 2050 van het KNMI en het droge scenario	28
Tabel 4-4	Onderschrijding Benedenrijn	33
Tabel 4-5	Onderschrijding Midden-/Bovenrijn	33
Tabel 4-6	Onderschrijding afvoeren van de maatgevende jaren	36
Tabel 4-7	Kenmerken 2003	38
Tabel 4-8	Voorkomen van zomer 2003 bij verschillende scenario's	38
Tabel 5-1	Duwbakken laadvermogen huidige OLR en de toekomstige OLR	42
Tabel 5-2	Motorschepen laadvermogen huidige OLR en de toekomstige OLR	42
Tabel 5-3	Totale vloot laadvermogen huidige OLR en de toekomstige OLR	42
Tabel 5-4	Laadvermogen gemiddelde afvoerverloop in een jaar (1901-2005) en het toekomstige	44
Tabel 5-5	Laadvermogen gemiddelde afvoerverloop van 2003 en het toekomstige afvoerverloop van 2003	44
Tabel 5-6	Verlies laadvermogen uitgedrukt in inzet van andere modaliteiten	45
Tabel 5-7	Versterkende ontwikkelingen	52
Tabel 6-1	Effecten van de maatregelen RvR op de waterstand	56
Tabel 6-2	Aspecten logistiek	59
Tabel 6-3	Nieuwbouw aspecten	61
Tabel 6-4	Maatregelen infrastructuur	64
Tabel 6-5	Aspecten Normalisatie	64
Tabel 6-6	Benodigde baggerwerkzaamheden door klimaatverandering	65
Tabel 6-7	Zomer 2003	65
Tabel 6-8	Aspecten waterbeheer	69
Tabel 6-9	Zwaartebepaling toetsingscriteria	72
Tabel 6-10	Waarde van maatregelen	73
Tabel 6-11	Inschatting kosten per maatregel	75
Tabel 6-12	Waarde	76
Tabel 6-13	Kosten	76
Tabel 6-14	Waarde/Kosten	76

Bijlage 1 : Beschrijving van de Rijn

Het deel van de Rijn dat in Duitsland ligt is verdeeld in drie trajecten. Op de trajecten mondt een aantal zijrivieren uit, die van grote invloed zijn op de waterstanden van de Rijn. De scheepvaartweg voert achtereenvolgens de volgende benamingen.

1. Oberrhein
2. Mittelrhein
3. Nederrhein

Hieronder volgt een beschrijving van elk traject.

1. Oberrhein (Bazel-Bingen)

De Oberrhein was oorspronkelijk van Bazel tot benedenstrooms van Straatsburg een verwilderde rivier met veel ondiepe geulen, die zich regelmatig verlegden. De vele geulverleggingen zorgden voor herhaalde overstromingen en de ondiepe vaargeul beperkte de mogelijkheden van de binnenvaart in sterke mate. In het begin van de 19e eeuw is dan ook een uitvoerig regulatieprogramma uitgevoerd om deze effecten tegen te gaan. Vanaf 1927 werd Grand Canal d'Alsace tussen Bazel en Breisach aangelegd naast de oude Rijnbedding en nam dit kanaal de taak van transportader over. Hierbij werden vier stuwdammen met krachtcentrales gebouwd. Van 1961 tot 1970 is het kanaal uitgebreid tot Straatsburg: de zogenaamde Schlinenausbau. Na 1970 zijn vervolgens in Gamsheim en Iffezheim twee stuwdammen aangelegd ter bestrijding van nadelige erosie effecten van de stroomopwaartse kanalisatie. In het gehele gekanaliseerde deel van de Rijn van Bazel tot Iffezheim wordt bij GIW (Gleichwertige Wasserstand) een diepte van de vaargeul van 3 m gegarandeerd. GIW is een statistisch bepaalde waterstand, die gemiddeld 20 dagen per jaar bereikt of onderschreden wordt. In de jaren 70 is tussen Iffezheim en Mannheim de Rijn verdiept van 1,7 m tot 2,10 m. Op dit deel van de rivier wordt de bevaarbaarheid bekeken aan de hand van de peilschaal in Kaub omdat daar de waterdiepte maatgevend is voor het traject (figuur 1).

2. Mittelrhein (Bingen-Bonn)

Op dit traject stroomt de rivier door de rotsachtige bedding van de Schiefergebirge. Bij Binger Loch is een smalle opening in een zeer harde kwartsietbank. Veel schepen worden hier gehinderd door de grote stroomversnellingen. Werkzaamheden in de 19^e en 20^e eeuw verruimden de passage van 9 m tot 120 m (Nomden, 1997) bij GIW. Tegenwoordig is van Mannheim/Ludwigshafen tot Keulen een vaargeuldiepte van 2,10 m over een breedte van 120 m bij GIW. Het traject tussen Budenheim/Niederwalluf en St. Goar heeft een geringere vaargeuldiepte van 1,9 m.

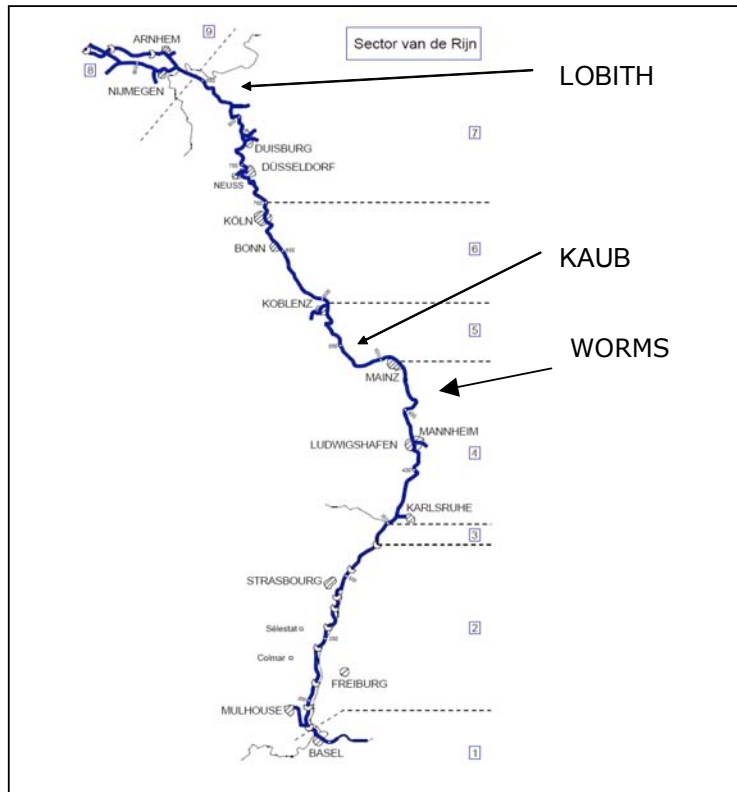
3. Nederrhein en Delta gebied(Bonn-Lobith-Rotterdam)

De Waal is de belangrijkste scheepvaartroute van Nederland, en de drukst bevaren rivier van West-Europa. De Waal is bijzonder belangrijk voor een goede bereikbaarheid van Rotterdam en voor de positie van Nederland als transport- en distributieland. Ongeveer een derde van de totale import van Duitsland komt binnen via de Waal. Twee derde van de goederenstromen op de Duitse Rijn en de Waal gaat stroomopwaarts, dus richting Duitsland; een derde gaat stroomafwaarts. De Waal voert ongeveer 2/3 van de totale Rijnafvoer bij Lobith af, 2/9 over de Nederrijn en 1/9 over de IJssel. Bij lage afvoeren worden op de Nederrijn en de Lek drie stuwen gesloten (Tiel, Amerongen en Hagestein). Dan stroomt er minder water door de Nederrijn, en meer water via de Waal en de IJssel. De afvoerverdeling is dan bij een Bovenrijn debiet van 1420 m³/s (100%): Waal 1110 m³/s (78%), Nederrijn 25 m³/s (2%) en IJssel 285 m³/s (20%).

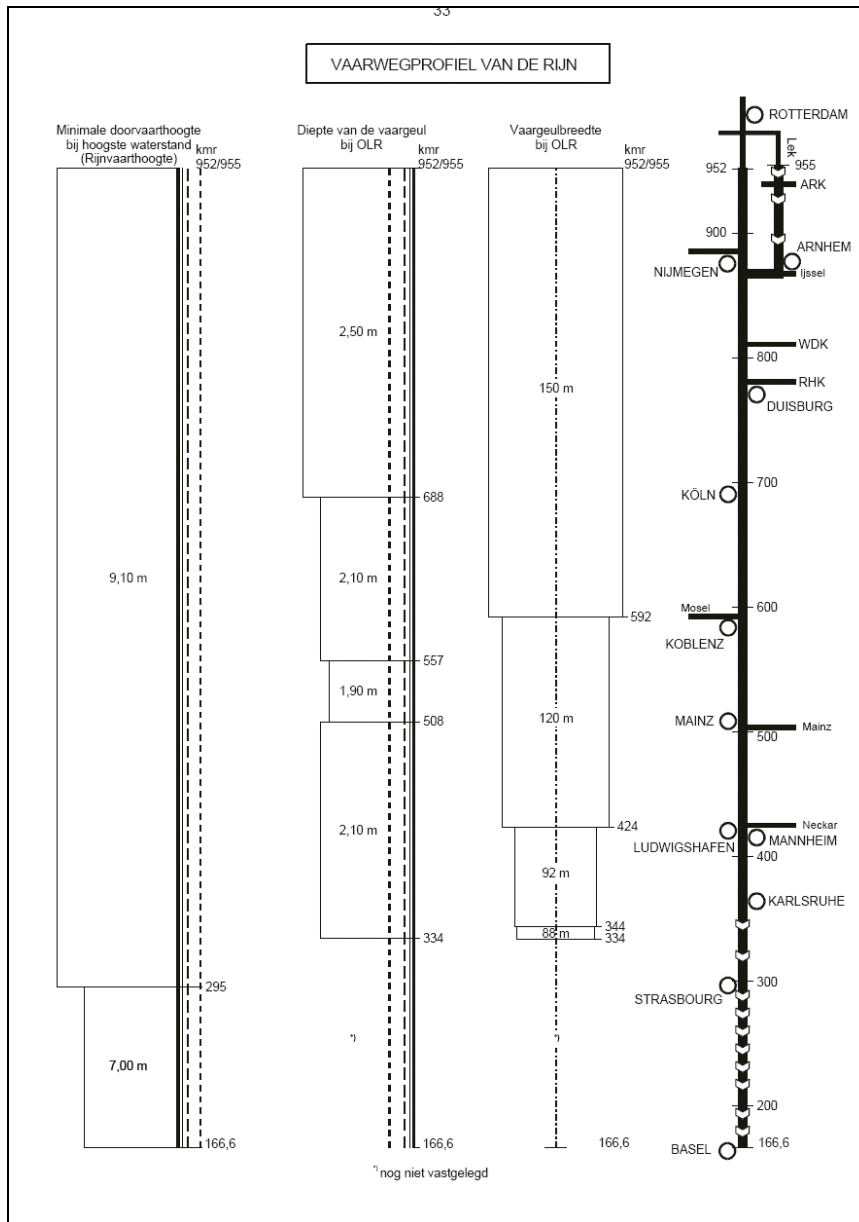
In Nederland wordt gesproken over de beneden en bovenrivieren. Hiermee wordt bedoeld het stuk Rijn van Rotterdam naar Tiel en van Tiel tot Lobith.

Zijrivieren

De belangrijkste zijrivieren van het Duitse deel van de Rijn zijn de Neckar, de Main, de Lahn, de Moezel en de Ruhr (figuur 2). Bij Mannheim stort zich de Neckar (gemiddelde afvoer $160 \text{ m}^3/\text{s}$) in de Rijn. Bij Mainz neemt de afvoer van de Rijn toe met $188 \text{ m}^3/\text{s}$ afkomstig van de rivier de Main. Bij Koblenz neemt de afvoer van de Rijn toe door de Lahn en de Moezel (gemiddelde afvoer $307 \text{ m}^3/\text{s}$). De Moezel is gekanaliseerd en bevaarbaar voor schepen van 110 m lang en 22,5 m breed. Veel goederen worden via dit kanaal vervoerd naar Frankrijk. Bij Leverkusen mondt de Wupper, bij Duisburg de Ruhr en bij Wesel de Lippe uit in de Rijn. Via het Rijn–Hernekanaal en het Dortmund–Emskanaal staat de rivier in verbinding met de Ems. Bij Rees is de afvoer van de Rijn toegenomen tot gemiddeld $2200 \text{ m}^3/\text{s}$.



Figuur 1 Plaatsen langs de Rijn



Figuur 2 Vaarwegprofiel van de Rijn

Bijlage 2 : Waterdiepte

Beperkingen in goedertransport treden op door beperkte waterdiepte want deze zijn bepalend voor de aflaaddiepte van de schepen. Hieronder wordt een aantal belangrijke begrippen toegelicht ten aanzien van de waterdiepte op de Rijn.

1. Peilschalen en waterstanden
2. Overeengekomen lage rivierwaterstand
3. Waterdiepte

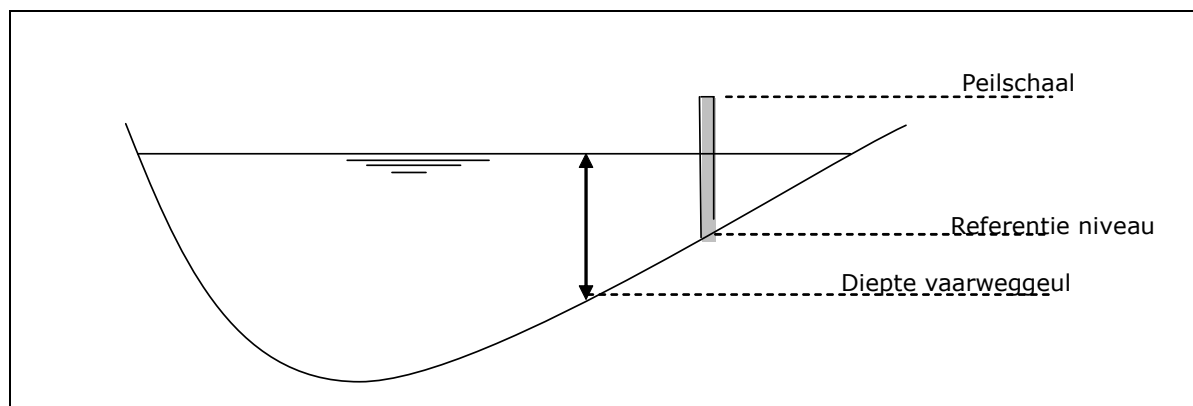
1. Peilschalen en waterstanden

In Nederland en Duitsland worden de waterstanden tegenover verschillende referentievlakken aangeduid. In Nederland wordt de waterstand ten opzichte van het Normaal Amsterdams Peil (NAP) aangegeven. Aan de hand van het profiel en de bodemhoogte kan de waterdiepte berekend worden. In Duitsland wordt de waterstand aangegeven ten opzichte van een peilschaal (figuur 3 en 4).

De waterstand aangegeven door een peilschaal geeft niet direct de diepte van de vaargeul aan. Om deze te verkrijgen moet een correctie worden toegepast, deze is voor elk peilschaal anders. Indien de peilschaal direct de diepte van de geul zou aangeven dan moet het nulpunt van iedere peilschaal op de bodem liggen. Dit is niet mogelijk, omdat de bodem van de rivier voortdurend verandert. Dit komt door uitschuring en aanzanding. De tijd waarin het bodemprofiel verandert is verschillend per plek. Schippers weten uit de praktijk wat beschikbare diepte van de rivier is bij de verschillende waterstanden op een peilschaal.



Figuur 3 Peilschaal



Figuur 4 Dwarsdoorsnede van de vaargeul met peilschrijver

2. Overeengekomen lage rivierstand

De overeengekomen lage rivierwaterstand (OLR) is de waterstand die optreedt bij overeengekomen lage rivierafvoer (OLA). OLA is de plaatselijke afvoer die slechts gemiddeld 20 dagen per jaar wordt onderschreden. Afspraken zijn gemaakt dat de binnenvaart kan uitgaan, behouden plotselinge hindernissen, van een streefdiepte gelijk aan OLR. In Duitsland is de term voor OLR gelijk aan Gleichwertige Wasserstand (GIW). Door op kritieke punten aanhoudend te baggeren, trachten de beheerders deze minimum-diepte na te streven.

De waterdiepte bij maatgevend OLR op de trajecten van de Rijn zijn:

- Nederrhein, bij Lobith 2,5 m
- Mittelrhein, bij Kaub 1,9 m

Zie tabel 1 voor kenmerkende waterstanden.

Tabel 1 kenmerkende waterstanden

	Afkorting	Peilschaal			
		Maxau	Kaub	Ruhrort	Lobith (NAP)
Overeengekomen lage rivierwaterstand	OLR	350 cm	100 cm	215 cm	770 cm
Laagwatertoeslag	KWS	390 cm	140 cm	-	-
Hoogwatermerkteken I	I	620 cm	460 cm	930 cm	-
Hoogwatermerkteken II	II	750 cm	640 cm	1130 cm	-

Laagwatertoeslag/ Kleinwasserzuschlage:

Een schipper vervoert een ton goederen voor een bepaald bedrag. De bedragen verschillen per type goederensoort en worden veelal afgesloten op basis van het gemiddelde van de tarieven van de spotmarkt over een aantal jaren. Daarbij is de verlader bereid iets extra te betalen, in ruil voor vervoerszekerheid. Dit wordt berekend in een toeslag bij laagwater ofwel de laagwatertoeslag. Hiervoor worden vaste sleutels gehanteerd: bijvoorbeeld bij een waterstand van 1,40 m tot 1,31 m bij Kaub wordt een toeslag van 10% in rekening gebracht. Dit alles is afhankelijk van de afspraken die gemaakt zijn. Met deze vergoeding wordt de schipper voor een deel tegemoet gekomen omdat hij niet het totale aantal tonnen kan meenemen maar wèl zijn schip moet inzetten.

Hoogwatermerkteken I:

Dit geeft een waterstand aan waarbij beperkingen worden opgelegd zoals inhaalbeperking en snelheidsbeperking.

Hoogwatermerkteken II:

Dit is een waterstand waarbij een vaarverbod wordt ingesteld.

3. Waterdiepte

De waterdiepte waarop de schepen afgeladen kunnen worden is het verschil tussen de gemeten waterstand en de bodemligging van de rivier. De minimum waterdiepte waarop de schipper in een bepaald riviertraject kan rekenen wordt berekend op basis van de waterstand op de maatgevende peilschaal van dat gebied. Aan de hand van deze minimale waterdiepte wordt het schip beladen.

De omrekening is als volgt:

Waterstand op de in aanmerking komende peilschaal plus of min bodemligging is gelijk aan de waterdiepte

In Mellor (1993) is vastgelegd wat de toen geldende afstand was tussen het referentieniveau en de bodem. Hierbij is rekening gehouden met voldoende vaarwegbreedte. Deze gegevens zijn in dit onderzoek gebruikt (tabel 2).

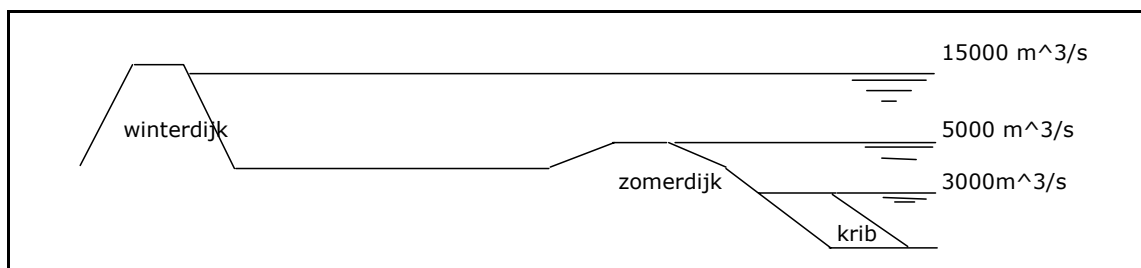
Tabel 3 geeft een aantal kenmerkende afvoeren en de bijbehorende waterdiepte bij Lobith. Figuur 5 geeft een ruwe schets van de waterstanden in het rivierbed bij verschillende afvoeren.

Tabel 2 Waarde om waterstand om te rekenen naar waterdiepte (Mellor, 1993)

Peilschaal	Omrekening peilwaterstand naar waterdiepte	Waterdiepte bij GIW	GIW
Kaub	+90 cm	(=190 cm)	100 cm
Ruhrort	+35 cm	(=250 cm)	215 cm
Lobith	-520 cm	(=250 cm)	770 cm (OLR)

Tabel 3 Karakteristieken Lobith

Waterstand (cm)	Waterdiepte (cm)	Debiet (m ³ /s)	opmerking
747	227	1002	1000m ³ /s debiet
820	300	1301	3 m waterdiepte
900	380	1780	minimum waarbij zesbaksduwvaart mag varen
968	448	2248	gemiddelde debiet van de Rijn
1350	830	1935	maximum waarbij duwbak mag varen
1660	1140	11885	maximum 1995
1760	1240	15000	Dijkhoogte (verschillend per plek)



Figuur 5 Afvoeren in het rivierbed

Bijlage 3 : Vloot

De volgende punten komen in deze bijlage naar voren:

I. Berekening laadvermogen bij verschillende waterdieptes

II. Verlies laadvermogen door klimaatverandering

I. Laadvermogen bij verschillende waterdieptes

Achtereenvolgens zijn de volgende aspecten uitgewerkt:

1. gegevens
2. methode
3. condities
4. betrouwbaarheid
5. vervolgonderzoek
6. resultaten

1. Gegevens

- De gebruikte gegevens voor de vloot zijn afkomstig uit het rapport AVV (2001). Zie tabel 4 en 5. In vervolgonderzoek moet getracht worden specifiekere en meer recente data te gebruiken.

2. Methoden

- Per klasse schip voor zowel duwbakken als motorschepen is berekend wat de afname van het inzetbare laadvermogen is bij elke 10 cm waterdiepte verlaging.
- Van de volgende formule is gebruik gemaakt bij een waterdiepte minder dan de maximale diepgang per klasse:

Inzetbaar laadvermogen bij waterdiepte x = Maximaal laadvermogen - ($\Delta h^{**} \cdot L \cdot B \cdot \rho \cdot c$)

Δh^{**} = onbeperkte diepgang schip - actuele waterdiepte (m)

** actuele waterdiepte < onbeperkte diepgang schip

L = lengte schip (m)

B = breedte schip (m)

ρ = dichtheid zoetwater (1000 kg/ m³)

c = blockcoëfficiënt (-)

- Bovenstaande berekening is voor alle klassen gedaan. Door een optelling van het laadvermogen van de verschillende scheepsklassen bij elke waterdiepte is het laadvermogen voor de hele duwbakkenvloot, motorschepenvloot en de totale vloot berekend.

3. Condities

- De afluaddiepte is gelijk verondersteld aan de beschikbare waterdiepte / actuele waterdiepte. In de berekeningen zijn geen veiligheidsmarges meegenomen.
- Maximale diepgang schip minus diepgang door laadvermogen is gelijk aan de diepgang van het gewicht van het lege schip plus het gewicht van bemanning, olie etc.
- Geen rekening is gehouden met de verschillende meetbriefwaarden van de schepen.
- Per klasse is een blockcoëfficiënt gebruikt en geen waterlijncoëfficiënt.
- Per klasse is een aanname gedaan voor de blockcoëfficiënten.
- Er is geen rekening gehouden met lichte volumineuze goederen.

4. Betrouwbaarheid

- Om een betere inschatting te geven van het theoretisch laadvermogen van de Rijn moet in vervolgonderzoek de Rijnvloot worden gebruikt en niet de Nederlandse vloot.

5. Vervolgonderzoek

-

6. Resultaten

De gebruikte gegevens en berekende gegevens zijn zichtbaar in tabel 4 en tabel 5.

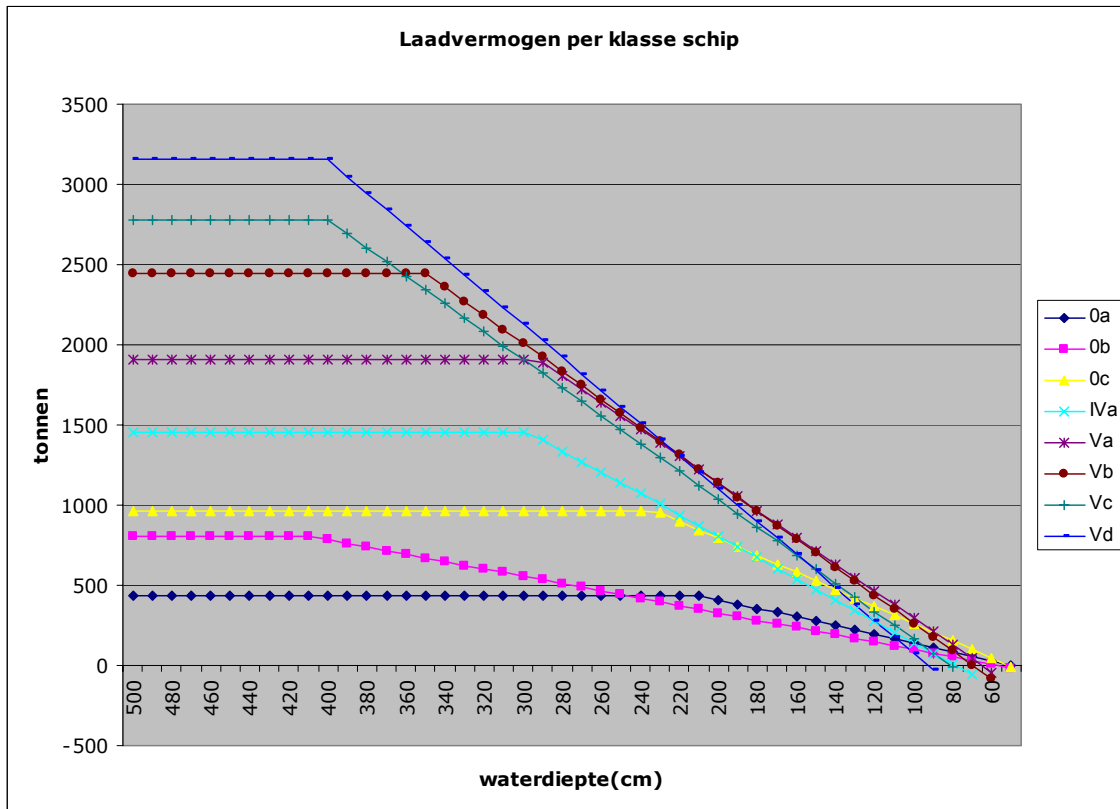
Tabel 4 Vloot samenstelling motorschepen (Bron: AVV, Roelse, 2002)

Motorschepen											
Klasse		Gem lengte (m)	Gem breedte (m)	Block Coefficient	t/cm	Diepgang (m)	CEMT laadvermogen (ton)	CEMT diep (m)	Diepgang schip zonder laadvermogen (m)	Aantal (actief)	Laadvermogen hele vloot
I	a	38,5	5,05	0,8	1,555	2,48	367	2,35952167	0,120478	961	352.687
II	a	50	6,6	0,8	2,64	2,45	535	2,02651515	0,423485	320	171.200
	b	55	6,6	0,8	2,904	2,58	616	2,12121212	0,458788	139	85.624
III	a	55	7,2	0,8	3,168	2,59	659	2,08017677	0,509823	124	81.716
	b	67	7,2	0,8	3,859	2,53	794	2,05742123	0,472579	104	82.576
	c	70	7,2	0,8	4,032	2,6	858	2,12797619	0,472024	80	68.640
	d	67	8,2	0,8	4,395	2,55	909	2,06816527	0,481835	354	321.786
	e	73	8,2	0,8	4,789	2,73	1046	2,18426328	0,545737	135	141.210
	f	80	8,2	0,8	5,248	2,59	1134	2,16082317	0,429177	426	483.084
	g	85	8,2	0,8	5,576	2,67	1259	2,25789096	0,412109	152	191.368
IV	a	80	9,5	0,8	6,08	2,72	1365	2,24506579	0,474934	176	240.240
	b	85	9,5	0,8	6,46	2,9	1533	2,37306502	0,526935	267	409.311
	c	105	9,5	0,9	8,978	2,96	2025	2,2556391	0,704361	93	188.325
V	d	110	11,4	0,9	11,29	3,29	2742	2,42955875	0,860441	198	542.916
totaal										3.529	3.360.683

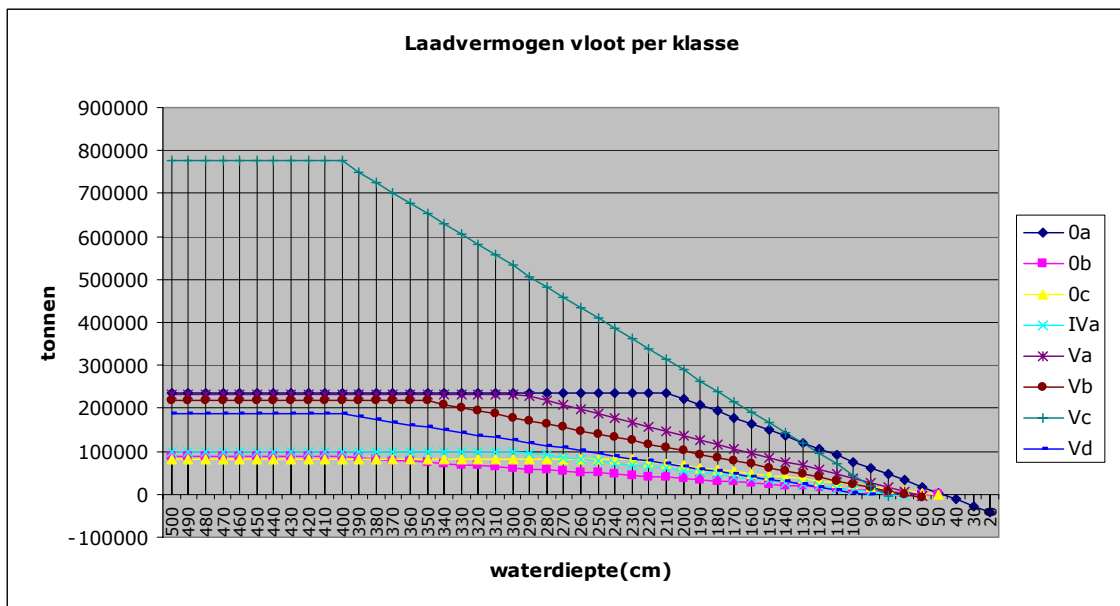
Tabel 5 Vloot samenstelling duwbakken (Bron: AVV, Roelse, 2002)

Duwbakken											
Klasse		Gem Lengte (m)	Gem breedte (m)	Block Coefficient	t/cm	Diepgang (m)	CEMT laadvermogen	CEMT diep (m)	Diepgang schip zonder laadvermogen (m)	Aantal (actief)	Laadvermogen hele vloot
0	a	33	8,2	1	2,706	2,08	432	1,59645233	0,483548	544	235.008
	b	24	9,5	1	2,28	4,11	809	3,54824561	0,561754	111	89.799
	c	65	8,2	1	5,33	2,32	964	1,80863039	0,511137	84	80.976
IV	a	70	9,5	1	6,65	2,97	1451	2,18195489	0,788045	68	98.668
V	a	76,5	11	1	8,415	2,92	1910	2,26975639	0,650244	121	231.110
	b	76,6	11,4	1	8,732	3,5	2446	2,80106271	0,698937	89	217.694
	c	76,5	11,4	1	8,721	4	2779	3,18656117	0,813439	279	775.341
	d	90	11,4	1	10,26	4	3153	3,07309942	0,926901	59	186.027
totaal										1.355	1.914.623

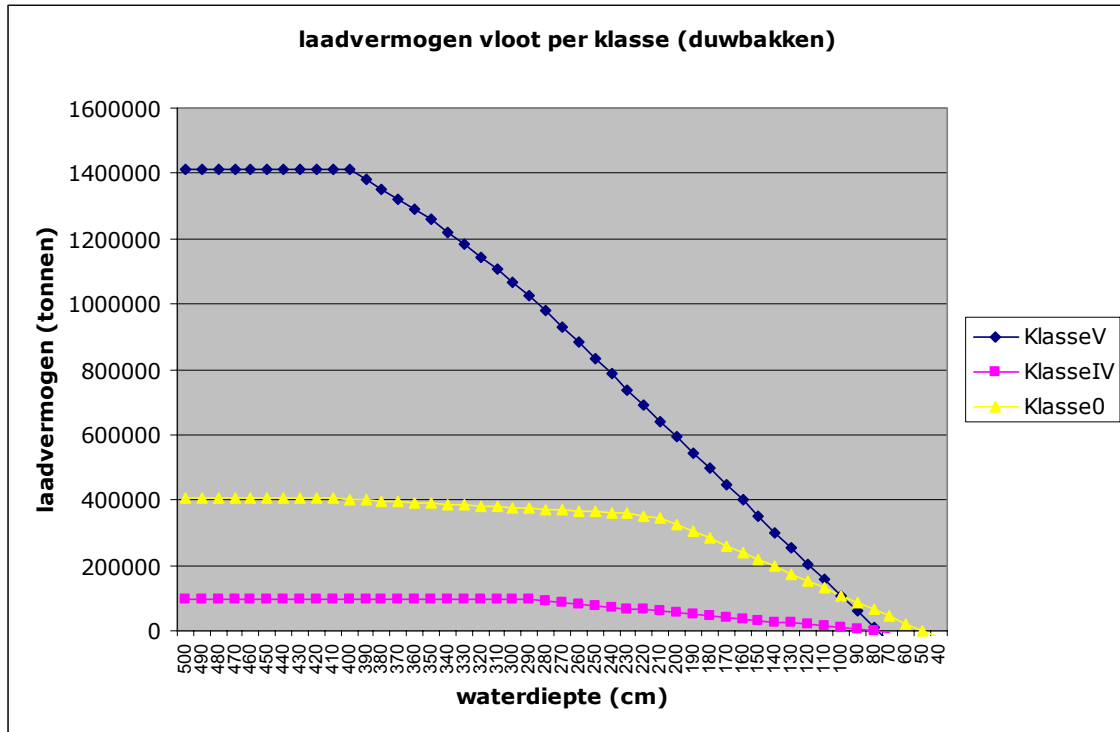
De figuren 6 t/m figuur 17 laten voor de duwbakkenvloot en de motorschepenvloot de afname van het theoretische laadvermogen zien bij verschillende waterdiepten.



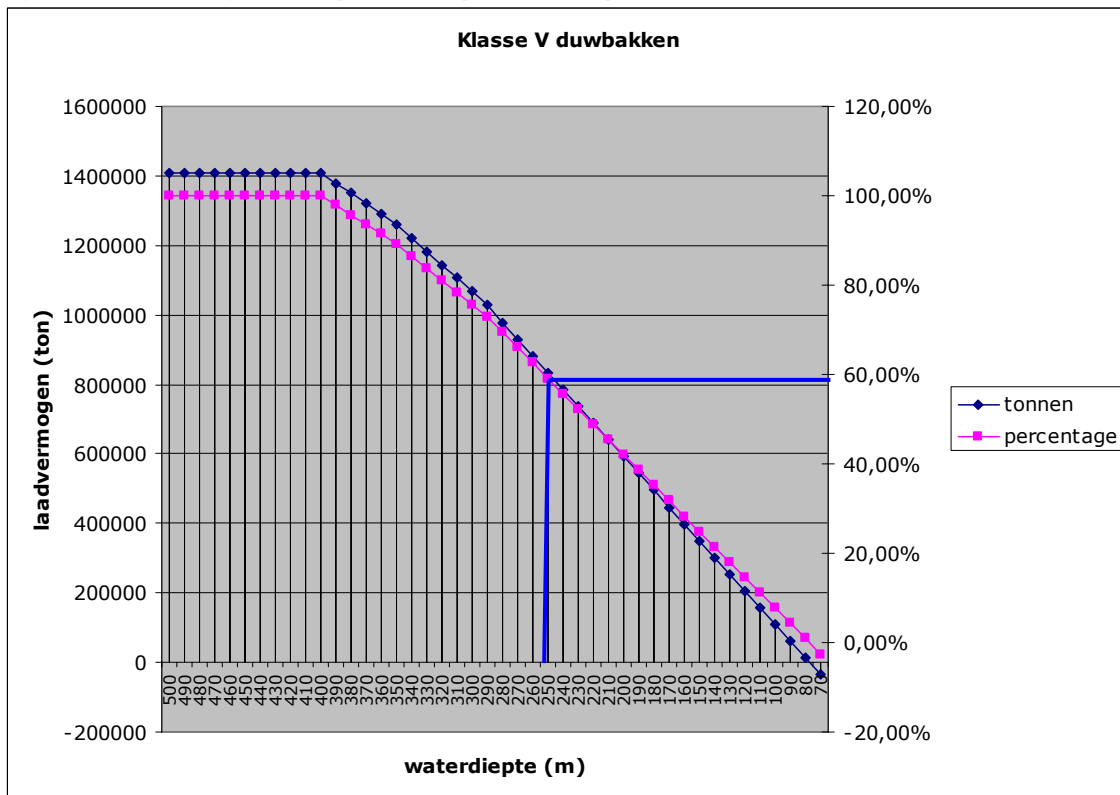
Figuur 6 Laadvermogen per klasse schip (duwbakken)



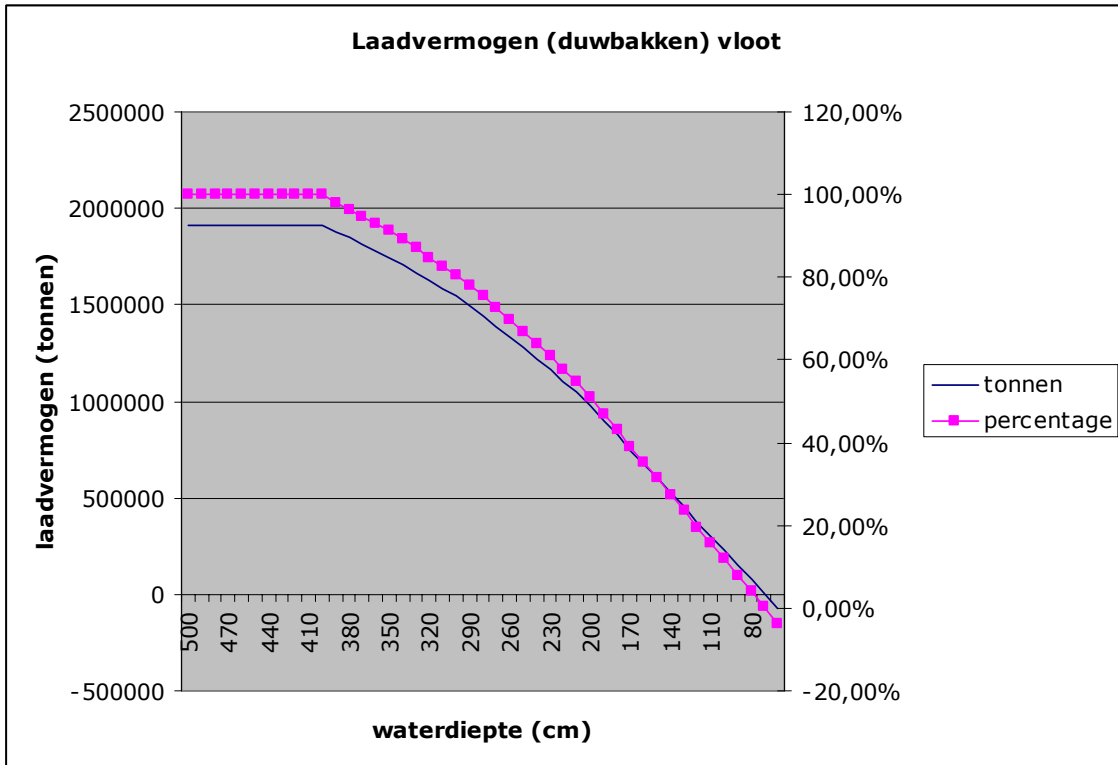
Figuur 7 Laadvermogen vloot per klasse (duwbakken)



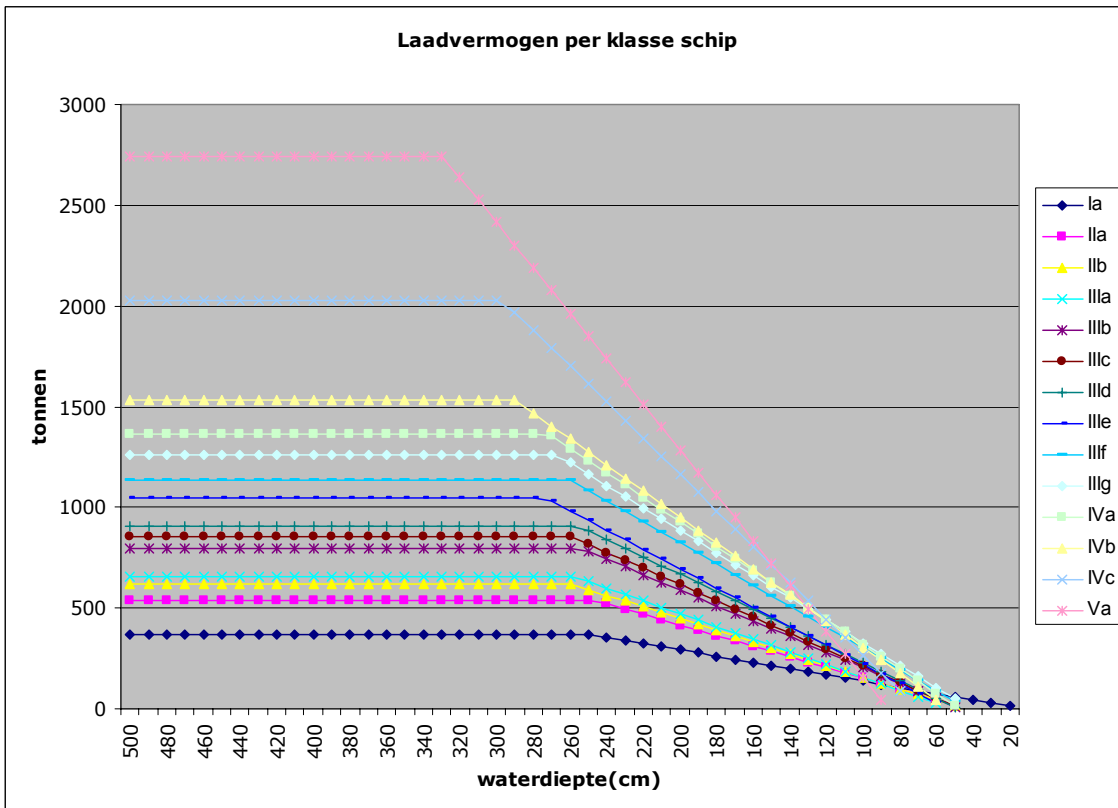
Figuur 8 Laadvermogen vloot per klasse (duwbakken)



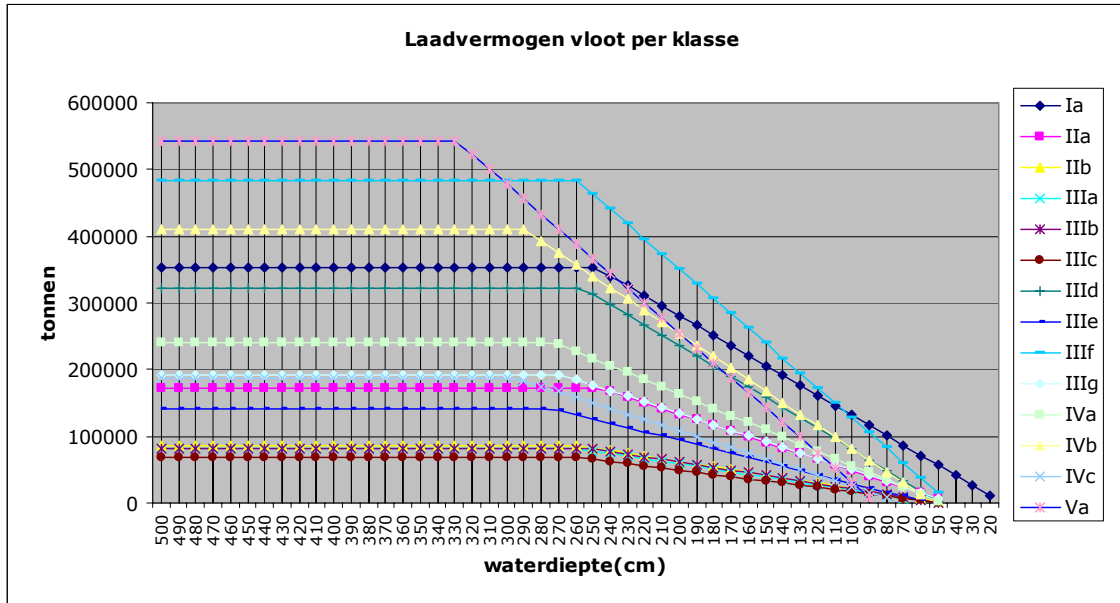
Figuur 9 Klasse V (duwbakken)



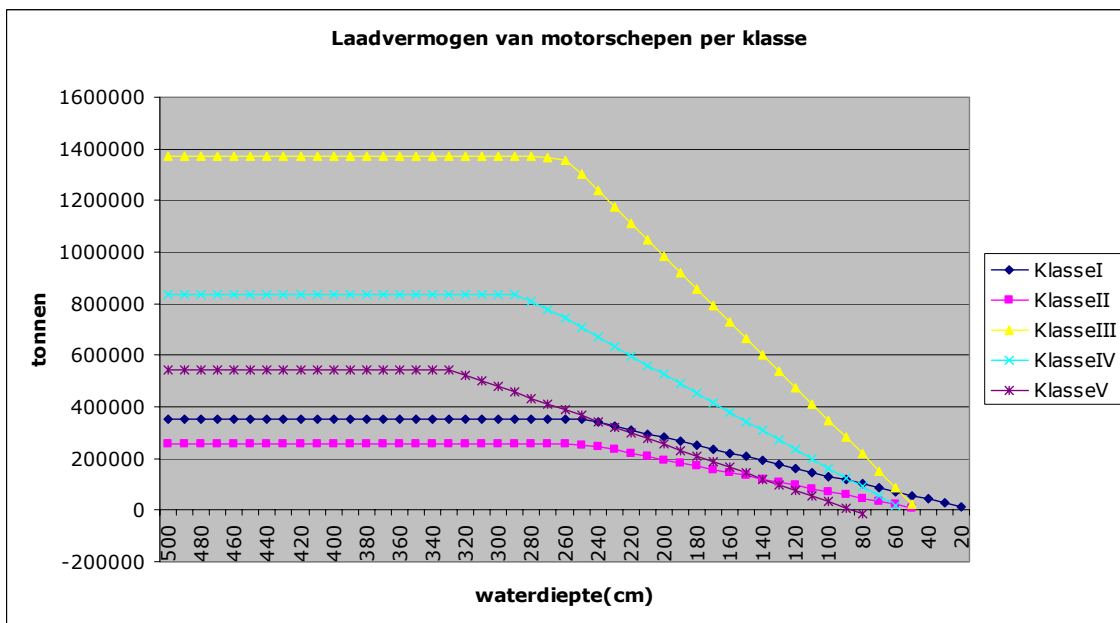
Figuur 10 Laadvermogen (duwbakken) vloot



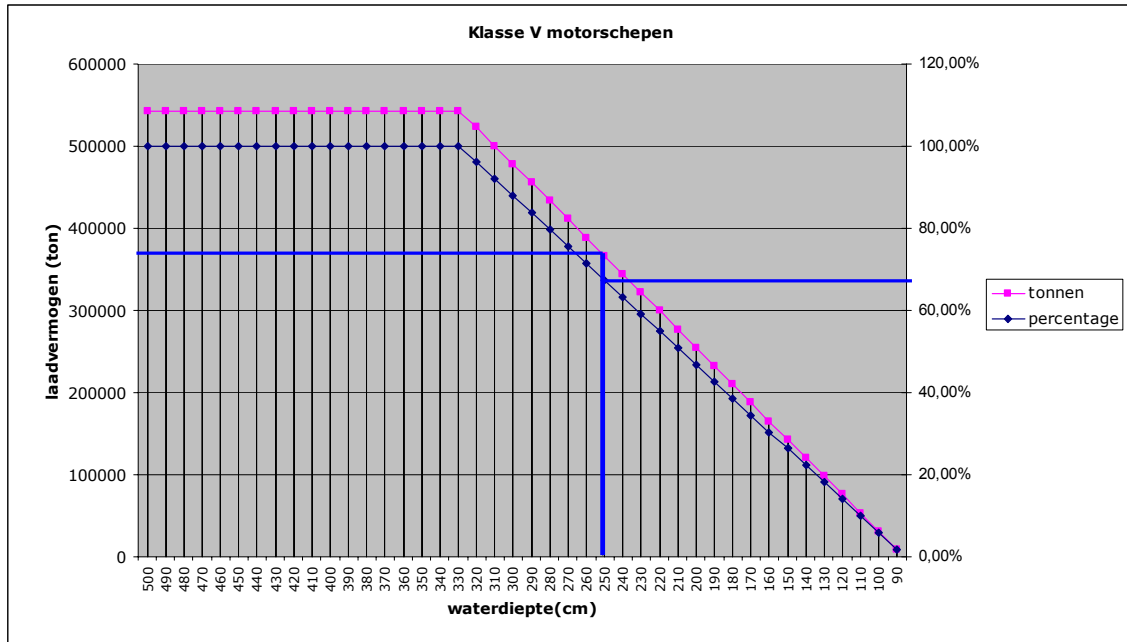
Figuur 11 Laadvermogen per klasse schip (motorschepen)



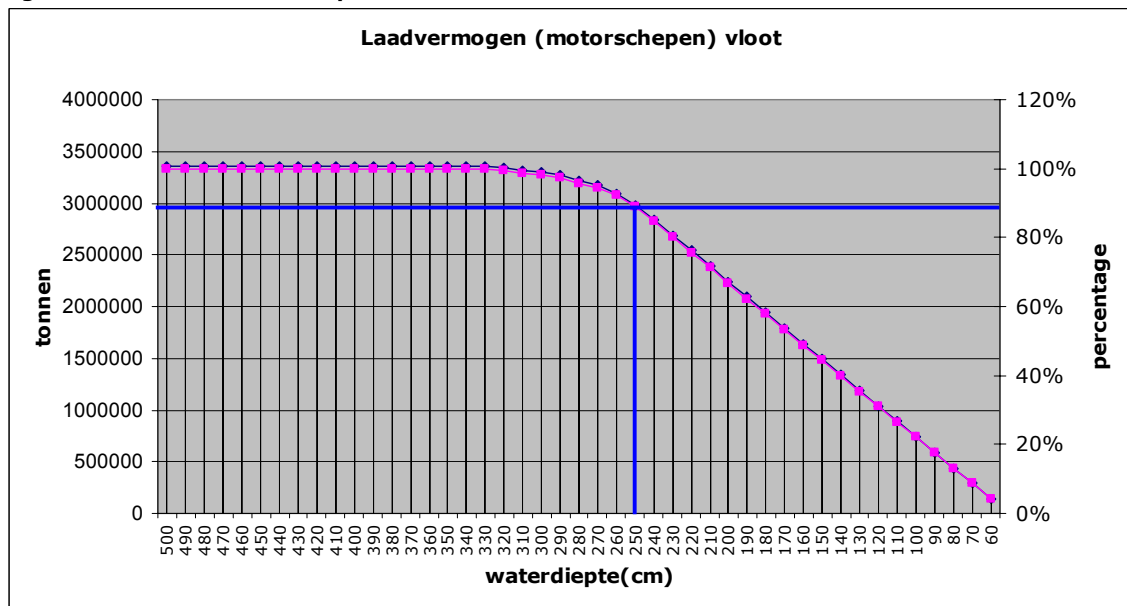
Figuur 12 Laadvermogen vloot per klasse (motorschepen)



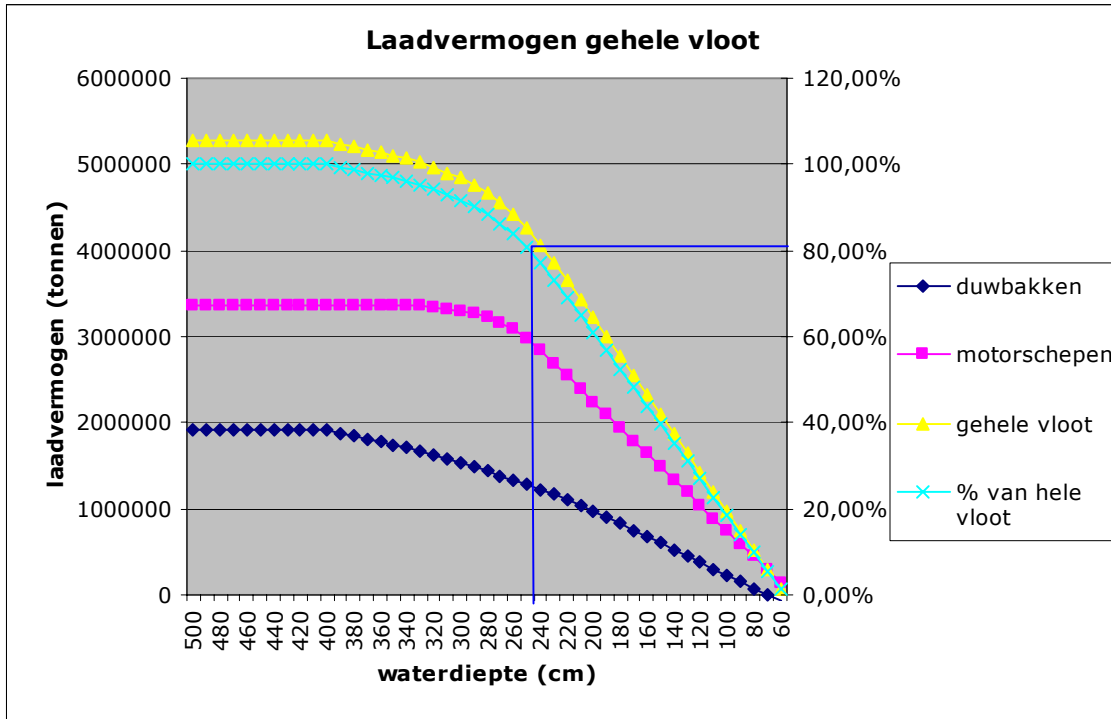
Figuur 13 Laadvermogen van motorschepen per klasse



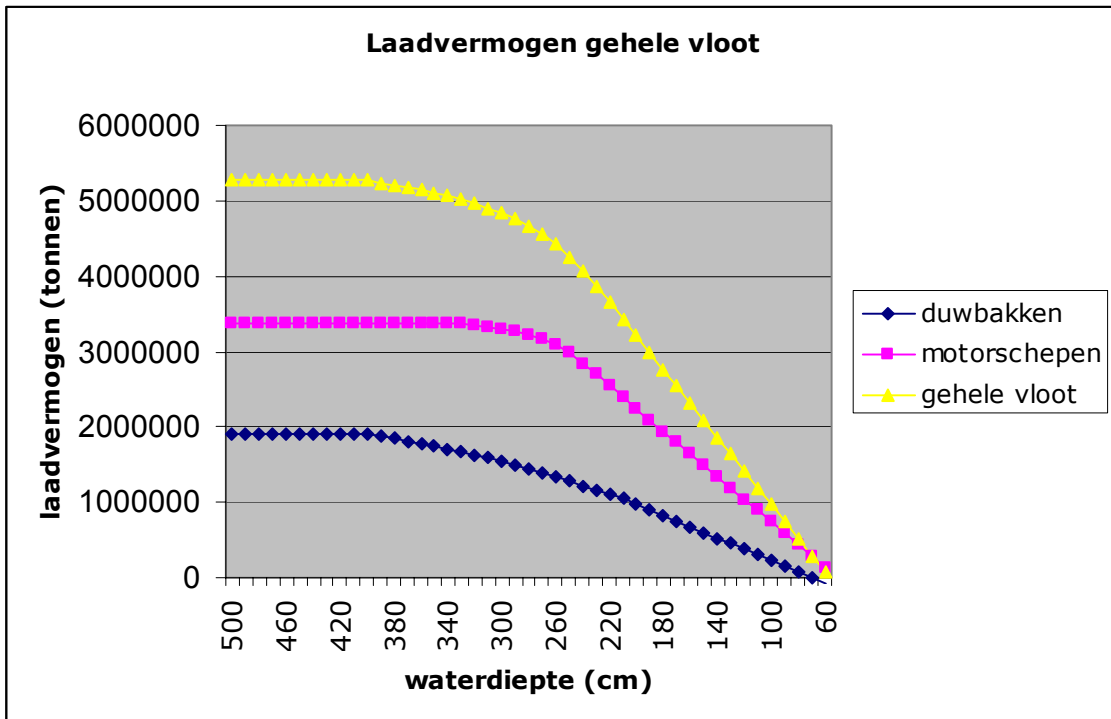
Figuur 14 Klasse V motorschepen



Figuur 15 Laadvermogen (motorschepen) vloot



Figuur 16 laadvermogen gehele vloot



Figuur 17 Laadvermogen gehele vloot

II. Verlies laadvermogen door klimaatverandering

Achtereenvolgens zijn de volgende aspecten uitgewerkt:

1. gegevens
2. methode
3. condities
4. betrouwbaarheid
5. vervolgonderzoek
6. resultaten

1. Gegevens

- De berekeningen van het theoretische laadvermogen bij verschillende diepten zijn gebruikt (zie hiervoor).
- De Q-h relatie (2000.1 ongestuwde situatie) bij Lobith is gebruikt (tabel 8).
- Het gemiddelde debiet berekend over de periode 1901-2003 bij Lobith is gebruikt. Deze gegevens zijn afkomstig van RIZA.

2. Methode

- De berekeningen zijn gedaan aan de hand van de waterstanden bij Lobith
- Voor de gemiddelde afvoeren (berekend over de periode 1901-2003) en de afvoeren voor 2003 is bekeken wat het verlies aan laadvermogen is bij het optreden van het midden scenario.
- Er is geen verband te definiëren tussen Q en h bij Lobith. Daarom is besloten voor beide reeksen het afvoergemiddelde om de tien dagen te nemen en bij elke afvoer aan de hand van een Q-h tabel de waterstand en vervolgens de waterdiepte te bepalen.
- De aanname is gedaan dat het laadvermogen van de volledige vloot (motorschepen en duwbakken) gemiddeld om de vijf dagen kan worden ingezet. Vervolgens is het laadvermogen bepaald bij de verschillende waterstanden. Om het laadvermogen in één jaar te bepalen zijn alle laadvermogens om de 10 dagen opgesteld en vermenigvuldigd met twee. Dit is gedaan voor de huidige en de toekomstige afvoer.
- Het verschil in laadvermogen bij de huidige en de toekomstige afvoer geeft het verlies van het theoretische laadvermogen door klimaatverandering.

3. Condities

- De berekeningen geven een theoretisch laadvermogen weer. Er wordt dus geen rekening gehouden met overcapaciteit. Verder wordt geen rekening gehouden met de beladingsgraad en bezettingsgraad.
- Waterstanden en diepten zijn berekend aan de hand van Lobith en dus maatgevend voor de Benedenrijn.

4. Betrouwbaarheid

- Berekeningen geven geen werkelijkheid weer, maar de gevoeligheid van inzetbaar laadvermogen bij variërende waterstanden veroorzaakt door klimaatverandering.
- Bovenstaande methode voor het hoge en droge scenario zal een groter verlies aan laadvermogen tonen.

5. Vervolgonderzoek

- Vloot van de Rijn gebruiken
- Voor de Bovenrijn is de tendens van klimaatverandering dezelfde als bij Lobith. Kaub is maatgevend voor de schepen die naar Bazel varen. Het is interessant om de invloed van klimaatverandering op het laadvermogen bij Kaub te bekijken.
- Specifiek traject bekijken
- Simulatiemodel maken waarbij rekening wordt gehouden met bezettingsgraad en benuttingsgraad

6. Resultaten

Zie tabel 7 en 8 voor de resultaten van de gemiddelde afvoer en een jaar met dezelfde kans als 2003 in de toekomst.

Tabel 6 Laadvermogen gemiddelde afvoerloop in een jaar (1901-2005) en het toekomstige

Laadvermogen	Motorschip V (ton)	Motorschip vloot (ton)	Duwvaart V (ton)	Duwvaart vloot (ton)	Vloot (ton)
Onbeperkte waterdiepte	39.089.952	241.965.936	101.532.384	137.852.856	379.818.792
Gemiddeld huidig	39.089.952	241.965.936	100.043.520	136.178.740	378.144.676
Gemiddeld in 2050	39.089.952	241.965.936	97.959.686	133.918.258	375.884.194
Verlies	0	0	2.083.834	2.260.482	2.260.482

Tabel 7 Laadvermogen gemiddelde afvoerloop van 2003 en het toekomstige afvoerloop van 2003

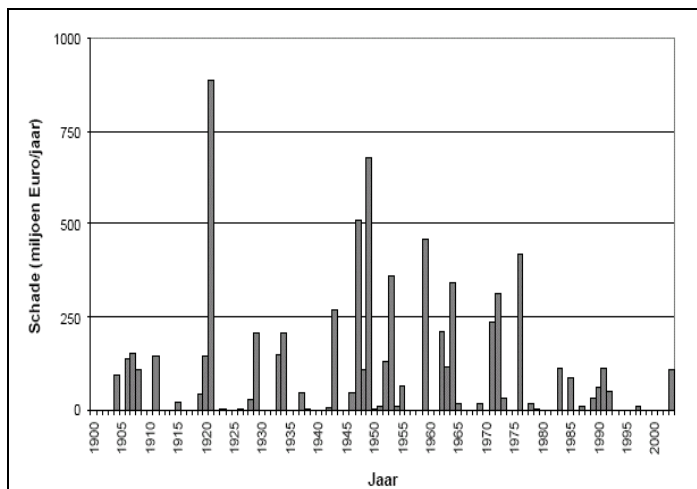
Laadvermogen	Motorschip V (ton)	Motorschip vloot (ton)	Duwvaart V (ton)	Duwvaart vloot (ton)	Vloot (ton)
Onbeperkte waterdiepte	39.089.952	241.965.936	101.532.384	137.852.856	379.818.792
2003	33.668.744	227.218.587	80.923.592	114.806.990	342.025.577
2003 in 2050	31.939.142	220.428.732	76.526.895	109.537.899	329.966.631
Verlies	1.729.602	6.789.855	4.396.696	5.269.091	12.058.946

Tabel 8 Q-h relatie voor Lobith van 2000

QH relatie Lobith 2000.1									
Ongestuwd situatie									
H (cm)	0	1	2	3	4	5	6	7	8
700	180	823	827	831	834	838	842	846	850
710	190	861	865	869	872	876	880	884	888
720	200	899	903	907	910	914	918	922	926
730	210	937	941	945	948	952	956	960	964
740	220	975	979	983	986	990	994	998	1002
750	230	1013	1017	1021	1025	1029	1034	1038	1042
760	240	1054	1058	1062	1067	1071	1075	1079	1083
770	250	1096	1100	1104	1108	1112	1117	1121	1125
780	260	1137	1141	1145	1150	1154	1158	1162	1166
790	270	1179	1183	1187	1191	1195	1200	1204	1208
800	280	1220	1224	1228	1232	1236	1240	1244	1248
810	290	1260	1264	1268	1272	1276	1281	1285	1289
820	300	1301	1305	1309	1314	1318	1322	1326	1330
830	310	1343	1347	1352	1356	1360	1365	1369	1373
840	320	1386	1390	1395	1399	1404	1408	1412	1417
850	330	1430	1435	1439	1444	1448	1453	1458	1462
860	340	1476	1481	1486	1490	1495	1500	1508	1516
870	350	1540	1549	1557	1566	1575	1584	1592	1601
880	360	1627	1635	1643	1651	1659	1667	1675	1683
890	370	1707	1714	1722	1729	1736	1744	1751	1758
900	380	1780	1788	1796	1804	1812	1820	1827	1835
910	390	1859	1867	1874	1882	1889	1897	1905	1912
920	400	1935	1942	1949	1955	1962	1969	1976	1983
930	410	2003	2010	2017	2023	2030	2037	2044	2051
940	420	2071	2077	2084	2090	2097	2103	2109	2116
950	430	2143	2149	2156	2162	2169	2175	2181	2188
960	440	2201	2207	2213	2219	2225	2231	2236	2242
970	450	2260	2266	2272	2278	2284	2290	2296	2302
980	460	2320	2326	2332	2338	2344	2350	2356	2362
990	470	2380	2386	2392	2398	2404	2410	2416	2422
1000	480	2440	2446	2453	2459	2466	2472	2478	2485
1010	490	2504	2511	2517	2524	2530	2537	2543	2550
1020	500	2569	2576	2582	2589	2595	2602	2609	2615
1030	510	2635	2642	2648	2655	2662	2669	2675	2682
1040	520	2702	2709	2716	2722	2729	2736	2743	2750
1050	530	2770	2778	2785	2793	2800	2808	2816	2823
1060	540	2846	2854	2861	2869	2877	2885	2892	2900
1070	550	2923	2931	2939	2946	2954	2962	2970	2978
1080	560	3001	3009	3017	3025	3033	3041	3048	3056
1090	570	3080	3088	3096	3104	3112	3120	3128	3136
1100	580	3160	3169	3177	3186	3194	3203	3211	3220
1110	590	3245	3254	3262	3271	3279	3288	3297	3305
1120	600	3331	3340	3348	3357	3365	3374	3383	3391
1130	610	3417	3426	3434	3443	3451	3460	3469	3477
1140	620	3503	3512	3520	3529	3538	3547	3555	3564
1150	630	3590	3599	3609	3618	3628	3637	3646	3656
1160	640	3684	3693	3703	3712	3722	3731	3740	3750
1170	650	3778	3787	3797	3806	3816	3825	3834	3844
1180	660	3872	3881	3891	3900	3910	3919	3928	3938
1190	670	3966	3975	3985	3994	4004	4013	4022	4032
1200	680	4060	4070	4079	4089	4098	4108	4118	4127
1210	690	4156	4166	4175	4185	4194	4204	4214	4223
1220	700	4252	4262	4271	4281	4290	4300	4310	4319
1230	710	4348	4358	4367	4377	4386	4396	4406	4415
1240	720	4444	4454	4463	4473	4482	4492	4502	4511
1250	730	4540	4550	4560	4571	4581	4591	4601	4611
1260	740	4642	4653	4664	4674	4685	4696	4707	4718
1270	750	4750	4761	4772	4782	4793	4804	4815	4826
1280	760	4858	4869	4880	4891	4902	4913	4924	4935
1290	770	4968	4979	4990	5002	5013	5024	5035	5046
1300	780	5080	5092	5103	5115	5126	5138	5149	5161
1310	790	5195	5207	5218	5230	5242	5254	5265	5277
1320	800	5312	5324	5336	5348	5360	5372	5385	5397
1330	810	5431	5443	5455	5467	5479	5492	5504	5516
1340	820	5552	5564	5577	5589	5601	5614	5626	5638
1350	830	5675	5688	5700	5713	5726	5739	5751	5764
1360	840	5802	5815	5828	5841	5854	5867	5880	5893
1370	850	5932	5945	5959	5972	5986	5999	6012	6026
1380	860	6066	6080	6094	6107	6121	6135	6149	6163
1390	870	6204	6218	6232	6246	6260	6275	6289	6303
1400	880	6345	6359	6374	6388	6403	6417	6431	6446
1410	890	6489	6504	6518	6533	6548	6563	6577	6592
1420	900	6636	6651	6666	6681	6696	6711	6726	6741
1430	910	6786	6801	6817	6832	6847	6863	6878	6893
1440	920	6939	6955	6970	6986	7001	7017	7033	7048
1450	930	7095	7111	7128	7144	7160	7177	7193	7209
1460	940	7258	7275	7292	7308	7325	7342	7359	7376
1470	950	7426	7443	7461	7478	7495	7513	7530	7547
1480	960	7599	7617	7635	7652	7670	7688	7706	7724
1490	970	7777	7795	7814	7832	7850	7869	7887	7905
1500	980	7960	7979	7998	8016	8035	8054	8073	8092
1510	990	8148	8167	8187	8206	8225	8245	8264	8283
1520	1000	8341	8361	8381	8400	8420	8440	8460	8480
1530	1010	8539	8559	8580	8600	8620	8641	8661	8681
1540	1020	8742	8763	8784	8804	8825	8846	8867	8888
1550	1030	8950	8971	8993	9014	9035	9057	9078	9099
1560	1040	9163	9185	9207	9229	9251	9273	9295	9317
1570	1050	9383	9406	9428	9451	9474	9497	9519	9542
1580	1060	9610	9633	9657	9680	9704	9727	9750	9774
1590	1070	9844	9868	9892	9916	9940	9965	9989	10013
1600	1080	10085	10110	10135	10160	10185	10210	10235	10260
1610	1090	10335	10361	10387	10412	10438	10464	10490	10516
1620	1100	10593	10620	10646	10673	10699	10726	10753	10779
1630	1110	10859	10887	10916	10944	10973	11001	11029	11058
1640	1120	11143	11170	11197	11225	11252	11279	11306	11333
1650	1130	11445	11476	11507	11538	11569	11599	11630	11661
1660	1140	11722	11753	11785	11816	11847	11879	11910	11941
1670	1150	12035	12067	12099	12130	12162	12194	12226	12258
1680	1160	12363	12396	12431	12460	12492	12525	12557	12591
1690	1170	12676	12709	12742	12775	12808	12841	12873	12906
1700	1180	13005	13038	13070	13103	13136	13169	13201	13234
1710	1190	13332	13365	13397	13430	13463	13496	13528	13561
1720	1200	13659	13692	13724	13757	13790	13823	13855	13888
1730	1210	13986	14019	14051	14084	14117	14150	14182	14215
1740	1220	14313	14346	14378	14411	14444	14477	14509	14542
1750	1230	14640	14674	14708	14742	14776	14810	14844	14878
1760	1240	14980	15015	15050	15085	15120	15155	15190	15225
1770	1250	15330	15366	15401	15437	15472	15508	15543	15579
1780	1260	15685	15720	15755	15790	15825	15860	15895	15930

Bijlage 4 : Maatgevende jaren

Door RIZA is aan de hand van een scheepvaartmodel de jaarlijkse schade van de beroepsvaart in Nederland berekend. In het model is schade gelijk aan de toegenomen vervoerskosten ten opzichte van de gemiddelde vervoerskosten. De vervoerskosten in het model zijn afhankelijk van de minimale diepten over de vaarroute, de stroomsnelheden en het aantal sluisen en andere kunstwerken in een vaarroute. Als een schip de maximale hoeveelheid niet kan vervoeren, wordt bepaald hoeveel extra vervoerskosten het vaker varen oplevert. De schade, die de binnenvaart afgelopen honderd jaar per jaar heeft geleden, is weergegeven in figuur 18. Voor de achtergrond van de berekeningen wordt verwezen naar rapport RIZA (2001). De schadebedragen zijn inschattingen en geen werkelijkheid.



Figuur 18 schade voor de scheepvaart op nationale schaal, huidige situatie

De schade voor de sector is gedefinieerd aan de hand van de vervoerskosten die hoger zijn dan de kosten die in een gemiddeld jaar worden gemaakt (gedefinieerd als 1:2 jaar). De jaren met de hoogste schadebedragen zijn te vinden in tabel 9.

Tabel 9 Schade per maatgevend jaar

Jaar	Schade (miljoen euro/jaar)
1921	885
1949	677
1947	513
1959	458
1976	417

In het rapport RIZA (2004) wordt aangegeven dat de schade is berekend voor elk jaar aan de hand van de huidige infrastructuur en de huidige vloot.

Bij dit onderzoek ligt de interesse bij de invloed van klimaatverandering op de rivier de Rijn. Het model is niet in staat berekeningen uit te voeren voor alleen de Rijn.

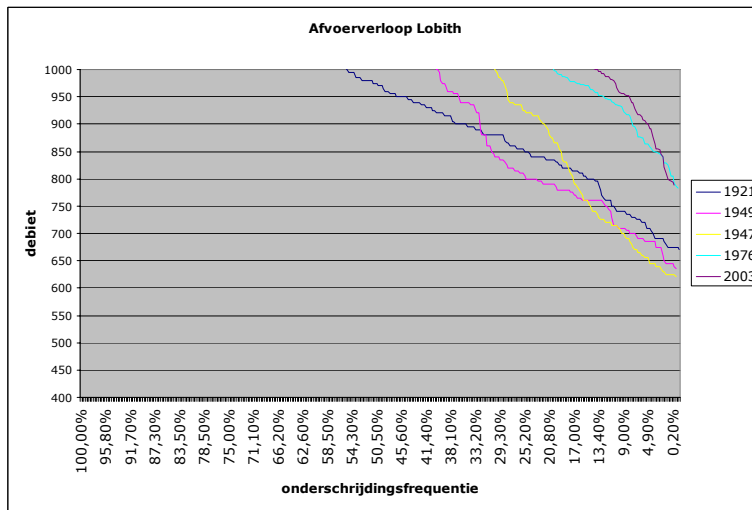
Aannemelijk is dat de jaren, waarin de nationale schade maatgevend was, ook maatgevend zijn geweest voor de Rijn.

Er is geprobeerd op een andere manier te achterhalen welke jaren voor de binnenvaart op de Rijn maatgevend zijn geweest. Weinig tot geen informatie is hierover gevonden.

In tabel 10 zijn de kenmerken van de schadejaren in beeld gebracht. In figuur 19 is te zien dat de schadejaren gedefinieerd door het RIZA overeenkomen met de duur van de onderschrijding van 1000 m³/s.

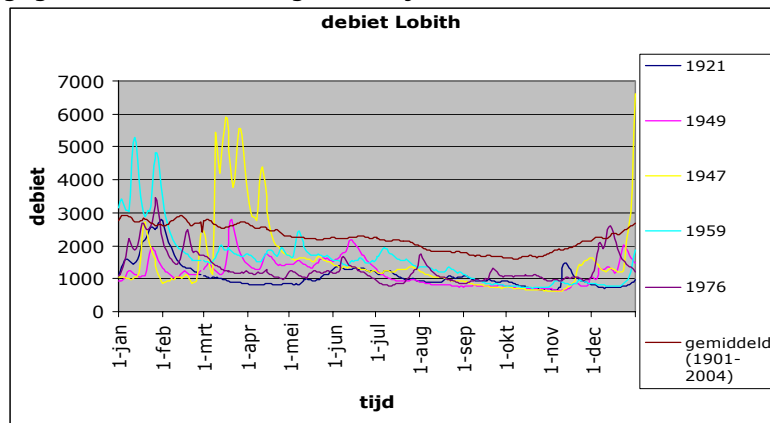
Tabel 10 Kenmerken maatgevende jaren (debiet in m³/s)

Jaar	1921	1949	1947	1959	1976	2003
Gem	1095,685	1193,233	1577,877	1583,89	1330,0	1818,415
Stdev	408,3251	418,2713	1134,2	844,0238	480,8	1263,282
N	365	365	365	365	366	364
Min	670	635	620	715	782	788
Max	2800	2790	6620	5295	3459	9427

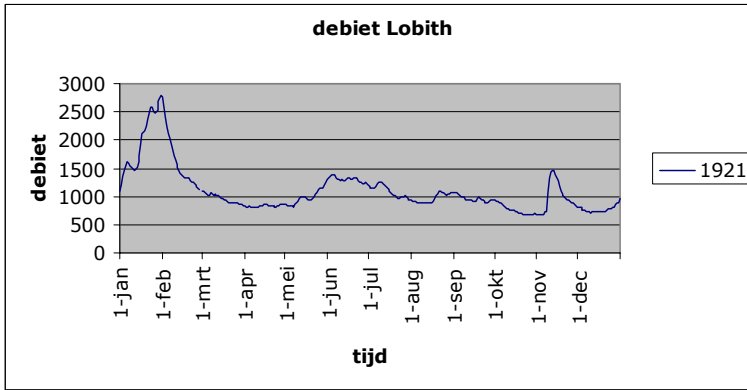


Figuur 19 Afvoerverloop Lobith maatgevende jaren

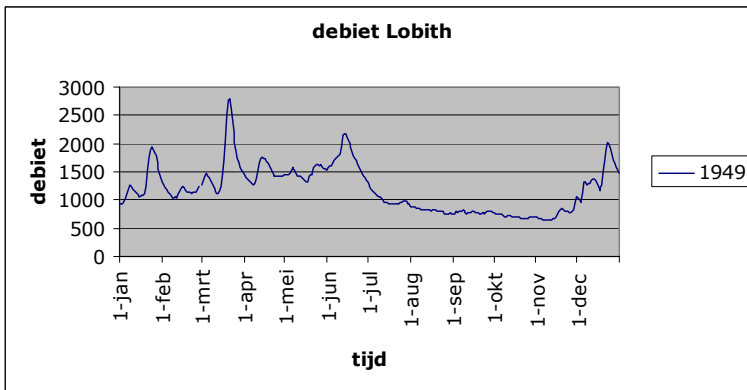
In figuur 20 t/m 27 zijn de kenmerkende jaren in beeld gebracht. Tabel geeft weer de gegevens van de maatgevende jaren.



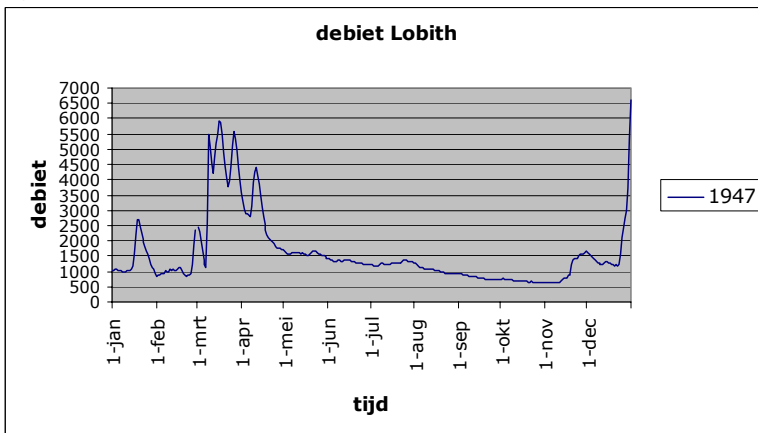
Figuur 20 Debiet Lobith maatgevende jaren



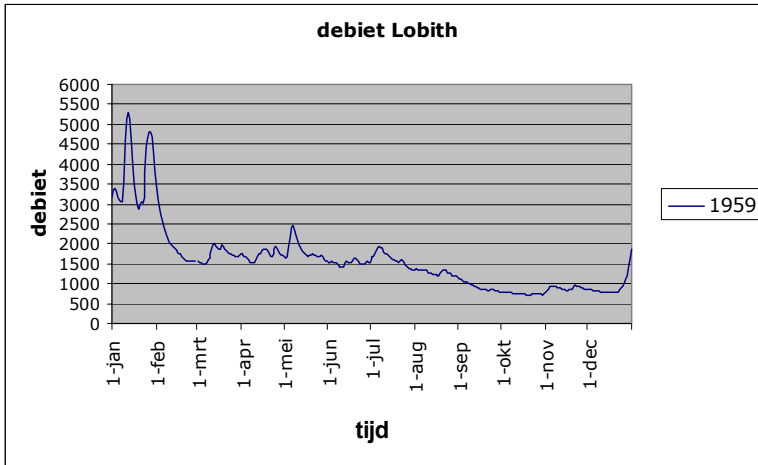
Figuur 21 Debiet 1921



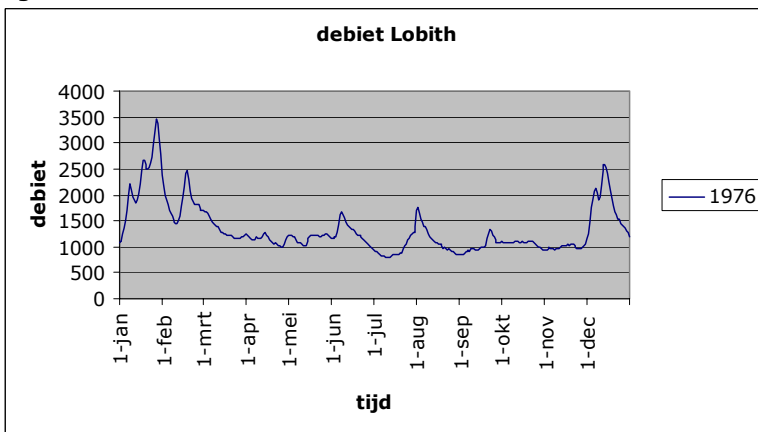
Figuur 22 Debiet 1949



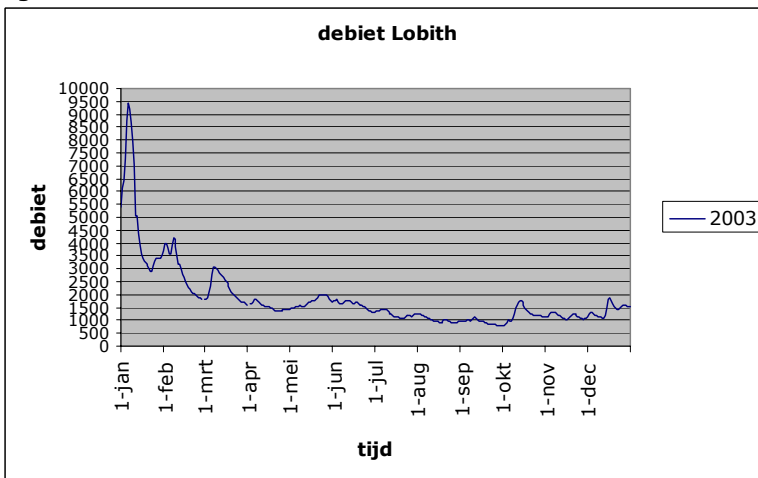
Figuur 23 Debiet 1947



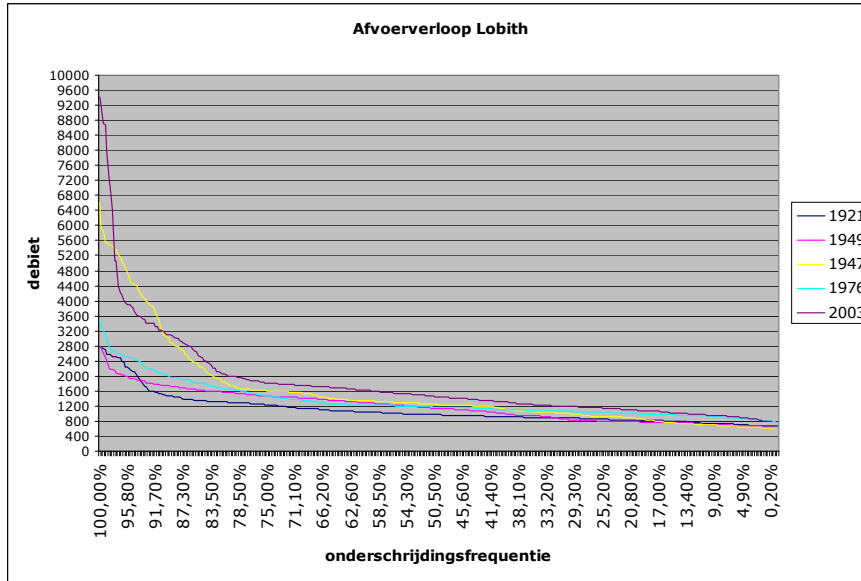
Figuur 24 Debiet 1959



Figuur 25 debiet 1976



Figuur 26 Debiet 2003



Figuur 27 Onderschrijdingsfrequentie Lobith

Tabel 11 Gegevens maatgevende jaren

1921 Lobith	<800	<1000	<1780
periode 1	29	69	15
periode 2	21	5	326
periode 3		20	
periode 4		63	
periode 5		40	
totaal	50	197	341
totaal		247	
1949 Lobith	<800	<1000	<1780
periode 1	15	4	22
periode 2	16	141	51
periode 3	49	2	74
periode 4	5		184
periode 5			5
totaal	85	147	336
totaal		232	
1947 Lobith	<800	<1000	<1780
periode 1	63	3	16
periode 2		7	33
periode 3		2	4
periode 4		6	243
periode 5		127	
totaal	63	145	296
totaal		208	
1959 Lobith	<800	<1000	<1780
periode 1	33	109	23
periode 2	11		23
periode 3			4
periode 4			6
periode 5			52
periode 6			173
totaal	44	109	281
totaal		153	
1976 Lobith	<800	<1000	<1780
periode 1	3	2	6
periode 2		23	9
periode 3		30	282
periode 4		16	
periode 5		5	
totaal	3	76	297
totaal		79	
2003 Lobith	<800	<1000	<1780
periode 1	5	9	8
periode 2		14	41
periode 3		2	4
periode 4		24	210
periode 5			
totaal	5	49	263
totaal		54	

Schade in de toekomst

De kosten van de binnenvaart bedragen zo'n 2,1 miljard euro per jaar.

Voor de top 5 jaren met grote schade is in tabel 12 weergegeven wat de kosten zullen zijn voor jaren met dezelfde kans van voorkomen omstreeks 2050 bij verschillende scenario's.

Tabel 12 Gevolgen van klimaatverandering 2050 voor de top van jaren met de grootste totale kosten voor de scheepvaart (Bron: RIZA 2004)

Gebaseerd op historisch jaar	Totale kosten in miljoen euro/jaar (% toename t.o.v. huidig)			
	Huidig	Midden	Hoog	Droogscenario
1921	2992	3106(+3.8%)	3233(+8.1)	3274(+9.4%)
1949	2784	2801(+0.6)	2835(+1.8)	2921(+4.9%)
1947	2620	2654(+1.3)	2712(+3.5)	2909(+11%)
1959	2565	2564(+0)	2613(+1.9)	2862(+12%)
1976	2524	2623(+3.9)	2682(+6.3%)	2979(+18%)

In tabel 13 zijn gegevens van de afvoeren bij Lobith in de afgelopen honderd jaar te vinden.

Tabel 13 Kenmerkende afvoeren afgelopen honderd jaar

Jaar	1901	1902	1903	1904	1905	1906	1907	1908	1909	1910	1911	1912	1913	1914	1915	1916	1917	1918	1919	1920
gem	2239.973	2077.014	1952.479	1875.587	2040.849	2121.178	1938.877	1942.923	1887.151	2967.521	1745.945	2319.235	2187.068	2841.397	2377.945	2607.450	2301.082	1938.548	2474.863	2306.052
stdev	943.3789	750.831	625.5314	936.5483	507.9638	1058.121	859.6804	849.9572	825.5052	1218.77	749.906	716.3205	763.7749	1197.308	1120.712	853.3014	980.9786	963.596	1337.985	1773.69
N	365	365	365	366	365	365	365	366	365	365	365	365	366	365	365	366	365	365	365	366
min	1105	980	1200	975	1130	860	880	815	875	1235	905	1285	1140	1365	1020	1675	1240	1060	1005	835
max	5655	4815	5460	5805	3590	6420	5865	4815	5745	6605	4875	5320	5150	7475	6550	6955	7475	7750	9110	11365
Jaar	1921	1922	1923	1924	1925	1926	1927	1928	1929	1930	1931	1932	1933	1934	1935	1936	1937	1938	1939	1940
gem	1095.685	2788.712	2435.425	2695.956	1943.973	2717.795	2664.342	1991.448	1489.438	2564.37	2741.548	2069.044	1603.082	1345.219	2351.562	2680.383	2533.945	1823.452	3063.356	2799.235
stdev	408.3251	877.5871	1042.951	1224.744	643.3854	1543.108	806.1095	945.9692	498.3676	1314.38	992.1566	869.3158	620.4401	335.533	996.7209	918.4244	1392.353	728.7749	1416.418	1082.962
N	365	365	365	366	365	365	365	366	365	365	365	366	365	365	365	366	365	365	365	366
min	670	975	1060	1145	1170	1060	1320	1020	575	945	1320	1020	825	850	1145	1450	1060	1015	1100	1205
max	2800	6090	6210	9300	7185	12280	5200	6490	4345	9075	6055	5820	4070	2905	5820	5895	7365	5000	8610	6835
Jaar	1941	1942	1943	1944	1945	1946	1947	1948	1949	1950	1951	1952	1953	1954	1955	1956	1957	1958	1959	1960
gem	2752.945	1902.959	1441	2328.866	2148.356	2072.986	1577.877	2436.626	1193.233	1848.836	2210.945	2541.544	1715.288	1912.397	2276.671	2364.945	2063.178	2523.959	1583.89	2158.046
stdev	1109.868	1116.187	460.0289	1424.447	1277.499	1209.801	1134.2	1801.965	418.2713	933.8778	905.4149	1532.39	818.7028	753.7463	1237.509	785.2552	907.8012	1214.367	844.0238	727.647
N	365	365	365	366	365	365	365	366	365	365	365	366	365	365	365	366	365	365	365	366
min	1255	1040	780	1085	1170	945	620	900	635	960	920	960	685	680	880	1305	1000	1220	715	1095
max	7940	8475	3220	8295	8585	9140	6620	9785	2790	6120	6620	7605	5050	5755	9510	7610	6905	9120	5295	4765
Jaar	1961	1962	1963	1964	1965	1966	1967	1968	1969	1970	1971	1972	1973	1974	1975	1976	1977	1978	1979	1980
gem	2375.447	2087.093	1787.052	1421.142	3149.077	3065.638	2494.57	2770.423	2243.636	3116.123	1451.384	1503.481	1754.408	2176.77	2170.014	1333.005	2208.112	2360.871	2543.351	2546.71
stdev	954.0059	1131.421	733.0013	510.8482	1400.844	1221.798	938.2269	992.2964	862.2121	1494.541	496.439	656.8741	563.469	1007.026	763.4346	480.7806	917.5979	1061.834	1278.835	1261.758
N	365	365	365	366	365	365	365	366	365	365	365	366	365	365	365	366	365	365	365	366
min	1031	810	665	820	1237	1216	1433	1195	953	1135	760	800	978	1179	972	782	1056	910	1113	1237
max	5606	5774	5204	3061	7182	7422	6592	7334	5243	9850	3633	4931	3444	5904	5341	3459	6279	6341	6980	8811
Jaar	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000
gem	3000.745	2801.348	2651.674	2520.033	2010.03	2462.493	2861.137	2822.847	1821.063	1856.46	1755.46	2012.044	2013.395	2530.964	2794.734	1759.238	1914.238	2267.762	2810.967	2521.325
stdev	1231.457	1321.445	1603.789	1096.011	760.1901	1166.645	1140.619	1645.907	775.7104	964.4831	1043.921	913.6183	1295.398	1297.642	1647.968	626.6088	847.5015	1277.462	1285.623	836.9151
N	365	365	365	366	365	365	365	366	365	365	365	366	365	365	365	366	365	365	365	366
min	1337	1347	882	1278	874	958	1368	1175	855	901	794	869	1203	1097	1075	1023	931	983	1136	1510
max	6699	7931	9707	8697	4524	6194	7642	10274	4531	7028	6712	4917	10940	8100	11885	4353	6926	9413	7920	6224
Jaar	2001	2002	2003	2004																
gem	2849.184	2974.167	1819.415	1888.648																
stdev	1303.43	1404.895	1263.282	789.8968																
N	365	365	364	366																
min	1366	1385	788	1164																
max	8664	7958	9427	6632																

Bijlage 5 : Vermenigvuldigingsfactoren

Voor het berekenen van de scenario's worden vermenigvuldigingsfactoren gebruikt afkomstig uit Rhineflow.

Opmerkingen bij tabel 14 en 15:

- Vermenigvuldigingsfactoren kunnen zowel voor gemiddelde afvoeren als voor uitersten afvoeren (dagwaarde) worden gebruikt (Deursen, van, 2005).
- De vermenigvuldigingsfactoren voor Kaub kunnen berekend worden door Rhineflow. De vermenigvuldigingsfactoren bij Kaub zullen dezelfde trend weergeven als bij Lobith. Omdat het gaat om een gevoeligheidsanalyse en niet daadwerkelijke afvoeren, kan gebruik gemaakt worden van dezelfde vermenigvuldigingsfactoren bij Kaub (Deursen, van, 2005).
- In tabel 14 is zichtbaar dat de vermenigvuldigingsfactoren bij decade 12 tot 17 bij het middenscenario negatief zijn en bij het hoge scenario positief. Dit kan ertoe leiden dat in deze decades bij het middenscenario onderschrijding van een referentievlak kan plaatsvinden en bij het hoge scenario niet.

Tabel 14 Laag, midden, hoog en droog scenario (Bron: Deursen, van, 2003a, Beersma 2004)

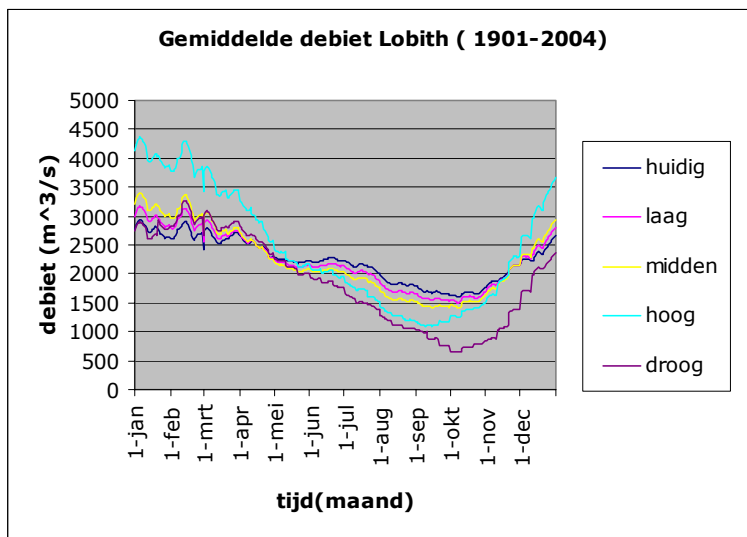
Decade	Laag	Midden	Hoog	Droog
	$\Delta Q/Q$ (%)	$\Delta Q/Q$ (%)	$\Delta Q/Q$ (%)	$\Delta Q/Q$ (%)
1	8.0	16.0	48.7	-1.35
2	6.9	13.8	45.3	-4.5
3	7.3	14.6	46.6	5.63
4	6.6	13.1	44.4	8.32
5	8	16	48.4	12.5
6	5.9	11.8	41.5	9.84
7	4.8	9.7	37.9	10.31
8	3.3	6.6	32.7	8.71
9	1.6	3.1	27.1	7.34
10	0.9	1.9	22.8	5.73
11	0.0	0.0	17.8	4.07
12	-1.0	-2.0	11.7	1.91
13	-2.2	-4.3	5.6	-1.11
14	-3.1	-6.2	0.6	-4.56
15	-3.5	-7.0	-3.1	-9.65
16	-3.7	-7.5	-6.2	-13.27
17	-4.1	-8.1	-9.7	-17.66
18	-4.4	-8.8	-13.0	-20.62
19	-5.0	-10.0	-17.1	-26.03
20	-5.3	-10.6	-19.8	-30.25
21	-6.2	-12.4	-24.2	-31.53
22	-6.8	-13.7	-27.7	-35.32
23	-7.4	-14.7	-30.7	-39.31
24	-7.6	-15.1	-33.2	-41.07
25	-7.6	-15.2	-35.0	-41.54
26	-7.5	-15.0	-34.2	-47.98
27	-6.6	-13.2	-29.0	-54.35
28	-5.5	-11.0	-21.8	-59.38
29	-4.7	-9.5	-18.1	-56.67
30	-4.0	-8.0	-14.4	-52.93
31	-3.5	-7.0	-12.6	-52.68
32	-1.6	-3.2	-2.1	-45.00
33	0.1	0.1	7.1	-35.33
34	1.8	3.6	17.7	-24.07
35	4.7	9.4	33.2	-10.76
36	5.1	10.2	37.0	-11.77

Bijlage 6 : Scenario's

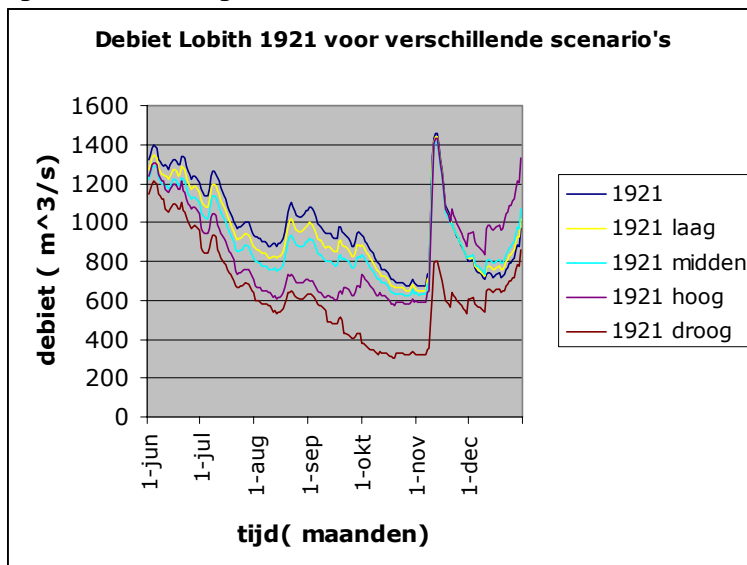
Voor elk maatgevend jaar (bijlage 4) is bepaald hoe de afvoerverlooptijd is voor een jaar in de toekomst met dezelfde kans. Dit is gedaan voor alle scenario's (figuur 28 t/m 34). De kans dat onderstaande jaren voorkomen is weergegeven in tabel 15.

Tabel 15 kans van voorkomen (Bron: RIZA, 2004)

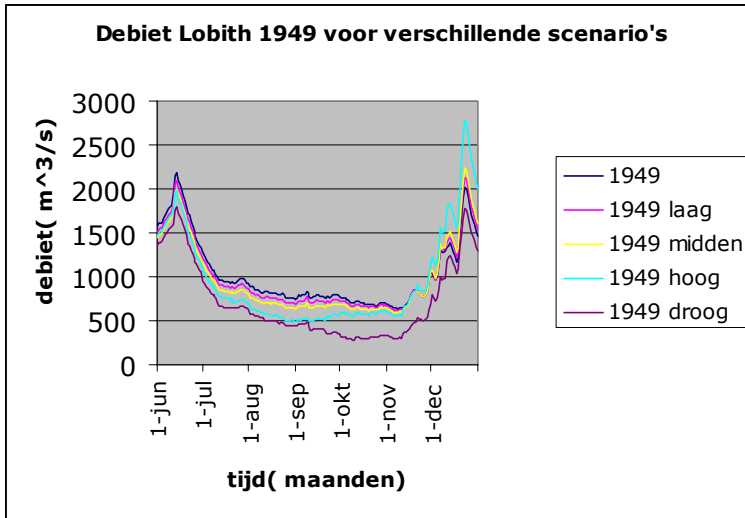
Jaar	Kans
1921	1:100
1949	1:50
1947	1:35
1959	1:30
1976	1:25
2003	1:10



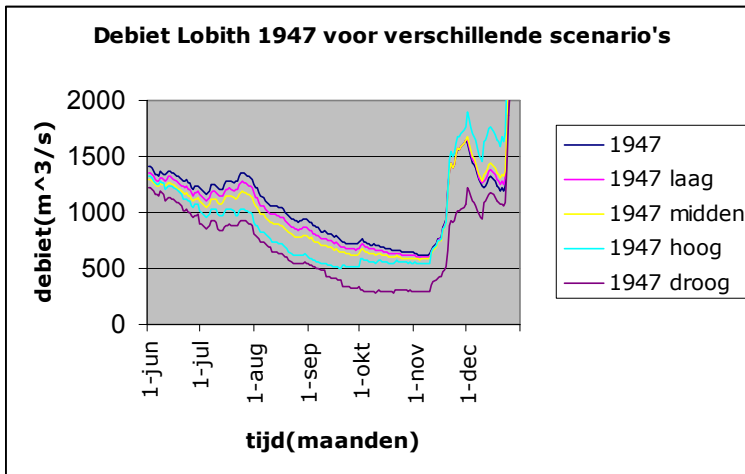
Figuur 28 Scenario gemiddelde afvoeren



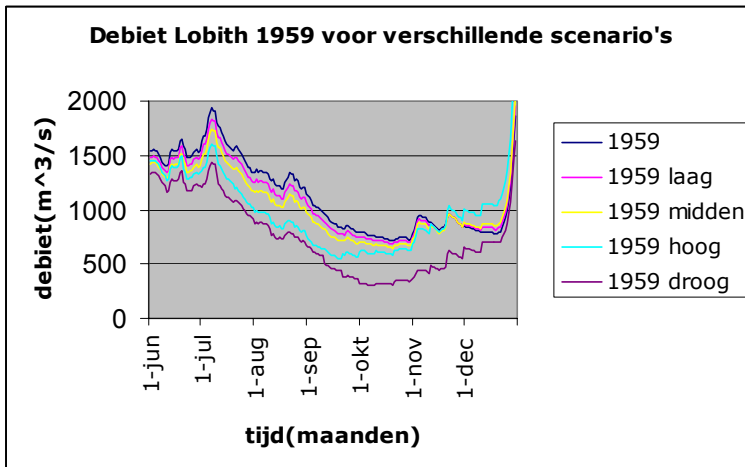
Figuur 29 Scenario 1921



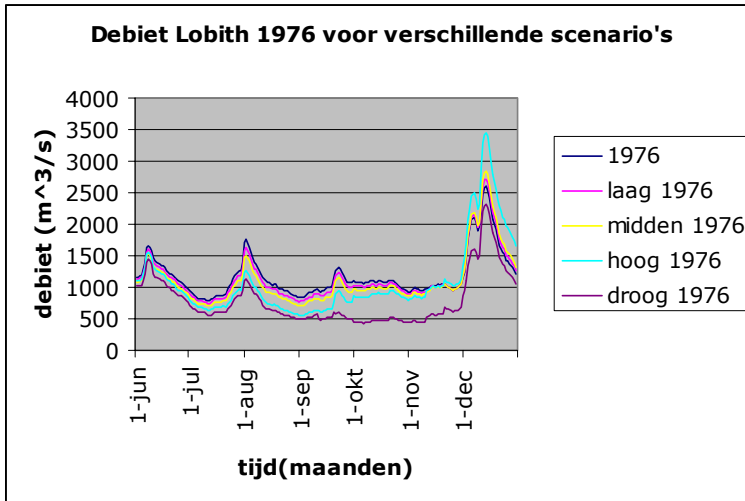
Figuur 30 Scenario 1949



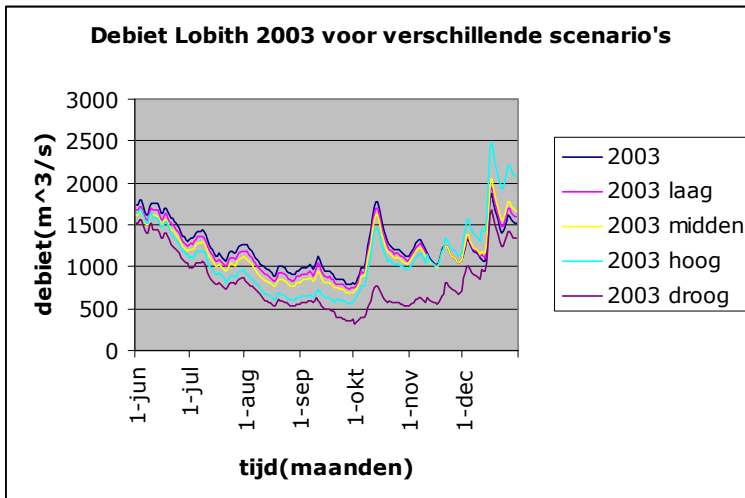
Figuur 31 Scenario 1947



Figuur 32 Scenario 1959



Figuur 33 Scenario 1976



Figuur 34 Scenario 2003

Bijlage 7 : Analyse 1989-2003

In de tabellen 16, 17 en 18 zijn de resultaten te zien van de analyse van de verschillende scenario's. Tabel 19 geeft de analyse van het jaar 2003 bij de verschillende scenario's. In de tabellen 20 t/m 25 zijn de gegevens te vinden die voor de bovenstaande analyses zijn gebruikt.

Tabel 16 Kleiner dan 800 m³ /s

	Huidig	Laag	Midden	Hoog	Droog
<800 m ³ /s (dagen)	5	29	54	232	815
Aantal dagen	5490	5490	5490	5490	5490
% <800 m ³ /s (dagen)	0,09%	0,53%	0,98%	4,23%	14%
Aantal periode	1	3	7	16	41
Gemiddelde duur periode (dagen)	5	10	8	15	20

Tabel 17 Kleiner dan 1000 m³ /s

	Huidig	Laag	Midden	Hoog	Droog
<1000 m ³ /s (dagen)	176	237	331	689	1663
Aantal dagen	5490	5490	5490	5490	5490
% <1000 m ³ /s (dagen)	3,21%	4,32%	6,03%	12,55%	25%
Aantal periode	17	15	28	34	60
Gemiddelde duur periode (dagen)	10	15	12	20	28

Tabel 18 Kleiner dan 1780 m³ /s

	Huidig	Laag	Midden	Hoog	Droog
<1780 m ³ /s (dagen)	2419	2554	2644	2560	3875
Aantal dagen	5490	5490	5490	5490	5490
% <1780 m ³ /s (dagen)	44,06%	46,5%	48,16%	43%	70,58%
Aantal periode	96	91	86	63	76
Gemiddelde duur periode (dagen)	25	28	31	41	51

Tabel 19 Toetsing 2003

Toetsing 2003->referentie 24 dagen aaneensluitend onder 1000 m ³ /s									
Huidig		Laag		Midden		Hoog		Extra droog	
periode	aantal dagen	periode	aantal dagen	periode	aantal dagen	periode	aantal dagen	periode	aantal dagen
1	24	1	25	1	36	1	24	1	27
2	28	2	32	2	43	2	28	2	31
		3	33	3	64	3	41	3	33
		4	38			4	48	4	41
						5	54	5	45
						6	59	6	52
						7	83	7	52
						8	88	8	55
						9	89	9	55
								10	56
								11	76
								12	90
								13	92
								14	111
								15	113
								16	122
								17	145
gemiddeld	26		32		47,66		57,11		70,35
Stdv	2,82		5,35		14,57		24,85		35,59

Tabel 20 Aantal periode onder 1000 m³/s

<1000 m ³ /s (+7,4 NAP, 2,2 m)									
Huidig (1989-2003 begin)		Toekomst 2050 laag		Toekomst 2050 midden		Toekomst 2050 hoog		Toekomst 2050 extra droog	
Periode	aantal dagen	periode	dage	periode	aantal dagen	periode	aantal dagen	periode	aantal dagen
1	4	1	10	1	18	1	2	1	1
2	3	2	6	2	9	2	54	2	2
3	17	3	16	3	15	3	16	3	14
4	7	4	2	4	11	4	59	4	2
5	9	5	7	5	11	5	1	5	122
6	28	6	11	6	18	6	17	6	111
7	9	7	12	7	14	7	88	7	92
8	9	8	38	8	43	8	2	8	2
9	12	9	11	9	3	9	83	9	18
10	16	10	6	10	3	10	13	10	90
11	6	11	32	11	1	11	6	11	5
12	4	12	12	12	13	12	1	12	2
13	3	13	6	13	3	13	11	13	31
14	9	14	10	14	2	14	5	14	15
15	14	15	33	15	3	15	4	15	16
16	2	16	25	16	1	16	8	16	14
17	24	17		17	7	17	10	17	45
				18	1	18	9	18	55
				19	36	19	7	19	1
				20	3	20	3	20	7
				21	5	21	4	21	2
				22	13	22	28	22	13
				23	8	23	13	23	5

				24	16	24	10	24	2
				25	4	25	41	25	52
				26	4	26	11	26	1
				27	64	27	48	27	4
				28	2	28	2	28	8
						29	24	29	14
						30	11	30	1
						31	2	31	9
						32	2	32	52
						33	89	33	16
						34	5	34	113
						35	12	35	55
						36	17	36	17
						37	2	37	1
						38		38	4
						39		39	76
						40		40	3
						41		41	1
						42		42	2
						43		43	3
								44	33
								45	20
								46	22
								47	2
								48	41
								49	1
								50	17
								51	19
								52	3
								53	145
								54	9
								55	27
								56	56
								57	16
								58	
								59	
								60	
								61	
								62	
								63	
Totaal dagen	176		237		331		720		1510
	5930		5930		5930		5930		5930
percentage dagen	0,02967		0,03996		0,05581		0,12141		0,25463

Tabel 21 Huidige afvoer (1901-2003)

Huidig	jaar	<1935 m ³ /s	jaar	<1780 m ³ /s	gemiddelde periode	jaar	<1000 m ³ /s	<800 m ³ /s
1	89	33	89	29		89	4	5
2	89	3	89	49		89	3	
3	89	211	89	3		89	17	
4	90	25	89	114		90	7	
5	90	11	89	38	46,6	91	9	
6	90	85	90	22		91	28	
7	90	5	90	9		91	9	
8	90	3	90	79		91	9	
9	90	108	90	104		92	12	
10	90	7	90	4		92	16	
11	90	18	90	5		97	6	
12	91	54	90	8	33	97	4	
13	91	47	91	29		98	3	
14	91	33	91	12		2003	9	
15	91	124	91	43		2003	14	
16	91	2	91	28		2003	2	
17	91	26	91	5		2003	24	
18	92	1	91	1				
19	92	25	91	112				
20	92	2	91	25	31,875			
21	92	19	92	24				
22	92	7	92	17				
23	92	1	92	13				
24	92	21	92	3				
25	92	6	92	7				
26	92	4	92	3				
27	92	14	92	6				
28	92	103	92	93	20,75			
29	92	5	93	9				
30	93	12	93	63				
31	93	157	93	2				
32	93	42	93	65				
33	93	6	93	15				
34	93	6	93	39				
35	93	15	93	3				
36	93	22	93	4				
37	94	1	93	12				
38	94	4	93	20	23,2			
39	94	64	94	8				
40	94	37	94	49				
41	94	16	94	33				
42	94	17	94	12				
43	94	8	94	12				
44	95	33	94	7	20,16666667			
45	95	6	95	30				
46	95	43	95	41				
47	95	30	95	29	33,33333333			
48	96	36	96	33				
49	96	88	96	31				
50	96	1	96	51				
51	96	32	96	25				

52	96	93	96	24			
53	96	7	96	12			
54	96	3	96	50			
55	97	22	96	1	28,375		
56	97	14	97	17			
57	97	3	97	7			
58	97	33	97	4			
59	97	7	97	22			
60	97	23	97	18			
61	97	6	97	121	31,5		
62	97	124	98	32			
63	98	35	98	12			
64	98	14	98	33			
65	98	37	98	84			
66	98	87	98	6	33,4		
67	98	11	99	13			
68	99	5	99	34			
69	99	18	99	30			
70	99	42	99	20	24,25		
71	99	32	2000	15			
72	99	21	2000	6			
73	2000	2	2000	7			
74	2000	1	2000	1			
75	2000	18	2000	5			
76	2000	1	2000	7			
77	2000	32	2000	1	6		
78	2000	4	2001	25			
79	2000	7	2001	24			
80	2000	10	2001	5			
81	2000	1	2001	2	14		
82	2001	7	2002	7			
83	2001	32	2002	3			
84	2001	27	2002	4			
85	2001	8	2002	4			
86	2001	8	2002	1			
87	2002	9	2002	4			
88	2002	4	2002	2			
89	2002	6	2002	1			
90	2002	2	2002	11			
91	2002	20	2002	4	4,1		
92	2002	14	2003	10			
93	2002	1	2003	41			
94	2002	4	2003	4			
95	2002	21	2003	194			
96	2002	4	2003	13	52,4		
97	2002	7					
98	2002	8					
99	2003	61					
100	2003	217					
Totaal aantal dagen		2852		2419		176	5
gemiddelde		26,65625		25,19791667		10,35294118	5
Standev		40,50651026		31,90631675		7,440943963	—

50	3	2		
51	35	13		
52	40	3		
53	128	1		
54	33	22		
55	14	5		
56	37	20		
57	89	122		
58	13	31		
59	1	11		
60	1	34		
61	68	86		
62	33	8		
63	21	2		
64	5	18		
65	21	42		
66	40	32		
67	5	20		
68	8	16		
69	12	1		
70	44	30		
71	28	3		
72	8	6		
73	7	8		
74	7	7		
75	4	32		
76	6	26		
77	1	5		
78	27	4		
79	17	3		
80	32	13		
81	6	14		
82	7	1		
83	4	4		
84	268	21		
85	14	1		
86		5		
87		9		
88		42		
89		201		
90		25		
91		13		
totaal aantal dagen	2949	2554	237	29
gemiddelde		28,06593407	14,8125	9,66666667
Kans		0,465209472	0,043169399	0,00528233

Tabel 23 Midden scenario

Midden	<1935 m ³ /s	<1780 m ³ /s	<1000 m ³ /s	<800 m ³ /s
1	27	22	18	25
2	3	211	9	1
3	4	20	15	1
4	214	5	11	3
5	21	80	11	3
6	7	5	18	5
7	106	3	14	16
8	123	109	43	
9	6	6	3	
10	8	1	3	
11	26	1	1	
12	12	6	13	
13	82	23	3	
14	133	6	2	
15	25	43	3	
16	22	33	1	
17	16	125	7	
18	10	24	1	
19	29	21	36	
20	136	14	3	
21	8	20	5	
22	7	6	13	
23	11	4	8	
24	141	15	16	
25	2	104	4	
26	3	1	4	
27	68	3	64	
28	42	6	2	
29	2	48		
30	87	2		
31	59	85		
32	17	45		
33	6	15		
34	2	13		
35	3	19		
36	5	74		
37	52	38		
38	3	14		
39	1	12		
40	3	3		
41	48	2		
42	30	36		
43	29	11		
44	1	43		
45	93	29		
46	34	27		
47	97	23		
48	14	51		
49	14	32		
50	6	94		
51	1	6		

52	1	2		
53	36	11		
54	41	2		
55	130	23		
56	31	6		
57	13	22		
58	128	6		
59	15	127		
60	3	28		
61	111	10		
62	22	36		
63	2	87		
64	6	13		
65	3	67		
66	23	33		
67	1	20		
68	3	20		
69	60	40		
70	17	5		
71	5	8		
72	48	10		
73	33	43		
74	9	28		
75	1	5		
76	5	4		
77	4	2		
78	6	20		
79	3	17		
80	4	32		
81	29	6		
82	20	7		
83	33	9		
84	8	43		
85	8	201		
86	267	12		
87	15			
totaal aantal dagen	3043	2644	331	54
gemiddelde		30,74418605	11,82142857	7,71428571
Kans	0,55428051	0,481602914	0,060291439	0,00983607

Tabel 24 Hoog scenario

Hoog	<1935 m ³ /s	<1780 m ³ /s	<1000 m ³ /s	<800 m ³ /s
1	14	209	2	7
2	210	12	54	7
3	15	6	16	7
4	12	1	59	11
5	79	45	1	20
6	125	16	17	41
7	1	123	88	14
8	10	2	2	5
9	1	35	83	19
10	40	32	13	11
11	34	128	6	3
12	134	23	1	8
13	24	10	11	16
14	14	2	5	1
15	8	16	4	1
16	22	134	8	61
17	137	4	10	
18	8	3	9	
19	41	32	7	
20	165	83	3	
21	22	80	4	
22	19	15	28	
23	151	18	13	
24	13	3	10	
25	4	139	41	
26	135	2	11	
27	28	7	48	
28	21	8	2	
29	20	124	24	
30	50	26	11	
31	2	15	2	
32	33	17	2	
33	116	47	89	
34	4	31	5	
35	20	97		
36	39	14		
37	4	18		
38	3	28		
39	135	1		
40	14	132		
41	5	35		
42	128	88		
43	20	17		
44	7	2		
45	116	112		
46	20	13		
47	4	2		
48	19	10		
49	5	1		
50	83	2		

51	22	4		
52	1	69		
53	14	17		
54	60	8		
55	44	56		
56	8	43		
57	3	1		
58	31	27		
59	69	22		
60	19	41		
61	44	17		
62	202	35		
63	1	200		
totaal aantal dagen	2852	2560	689	232
Kans				0,04225865
gemiddelde		40,63492063	20,26470588	14,5

Tabel 25 Droog scenario

Droog	<1935 m ³ /s	<1780 m ³ /s	<1000 m ³ /s	<800 m ³ /s
1	2	25	1	8
2	30	211	2	1
3	2	23	14	55
4	2	6	2	1
5	213	96	122	29
6	24	131	111	89
7	9	23	1	86
8	242	24	2	2
9	2	6	14	1
10	25	42	2	26
11	28	22	122	48
12	12	25	111	10
13	45	211	92	1
14	23	23	2	3
15	2	6	18	5
16	30	96	90	5
17	2	131	5	4
18	2	23	2	3
19	213	24	31	3
20	24	6	15	10
21	9	42	16	42
22	242	34	14	45
23	2	174	45	83
24	25	23	55	31
25	28	14	1	2
26	12	21	7	23
27	45	158	2	24
28	36	1	13	1
29	1	9	5	2
30	175	8	2	6
31	3	45	52	1
32	26	233	1	13
33	17	171	4	9
34	4	8	8	8

35	27	176	14	4
36	159	32	1	5
37	14	1	9	2
38	304	22	52	5
39	2	51	16	1
40	175	2	113	110
41	10	33	55	8
42	178	123	17	
43	39	4	1	
44	31	4	4	
45	59	17	76	
46	36	3	3	
47	130	21	1	
48	5	38	2	
49	20	9	3	
50	7	142	33	
51	3	29	20	
52	3	8	22	
53	27	128	2	
54	41	38	41	
55	5	4	1	
56	156	11	17	
57	32	1	19	
58	12	2	3	
59	130	142	145	
60	40	4	9	
61	18	32		
62	7	126		
63	7	5		
64	144	3		
65	7	15		
66	36	131		
67	132	10		
68	8	8		
69	5	2		
70	1	3		
71	3	32		
72	1	98		
73	1	5		
74	151	5		
75	13	42		
76	10	218		
77	2			
78	6			
79	1			
80	7			
81	134			
82	7			
83	11			
84	268			
totaal aantal dagen	4182	3875	1663	815
gemiddelde		50,98684211	27,71666667	19,87804878
Kans	0,761748634	0,70582878	0,30291439	0,14845173

Bijlage 8 : De zomer van 2003

In deze bijlage zijn twee beschrijvingen te vinden over de zomer van 2003.

1. Beleving 2003
2. Verslag Rondetafel bijeenkomst sector Scheepvaart

1. Beleving 2003

Vanuit de binnenvaart is de volgende berichtgeving naar voren gekomen:

- Binnenvaart was flexibel genoeg (Vries, de, 29 juli 2005)
- Bestemmingen waren bereikbaar (Vries, de, aug 2003)
- Klanten zijn bediend (Vries, de, aug 2003)
- Overheid heeft geen extra maatregelen genomen (Vries, aug 2003)
- Geen modelsplit verschuiving (Vries,de, aug 2003)

Beleving schippers:

- Hogere vrachtprijzen werden betaald
- Varen was relatief goedkoper door laagwatertoeslag en gasolietoeslag

Verladers

- Verschuiving modelshift

Kosten:

Uit de Droogte studie is naar voren gekomen dat de Nederlandse binnenvaart 200 miljoen euro schade heeft geleden. Dit is berekend met het scheepvaartmodel Police Analyses Watermanagement Netherlands (PAWN). In het model is schade gelijk aan de toegenomen vervoerskosten ten opzichte van de gemiddelde vervoerskosten. De vervoerskosten in het model zijn afhankelijk van de minimale diepten over de vaarroute, de stroomsnelheden en het aantal sluisen en andere kunstwerken in een vaarroute. Als een schip de maximale hoeveelheid niet kan vervoeren, wordt bepaald hoeveel extra vervoerskosten het vaker varen oplevert. Wie deze extra kosten in de praktijk dragen is niet duidelijk. De gemiddelde schade over de afgelopen 100 jaar was 75 miljoen euro per jaar (RIZA, 2004).

Flexibiliteit binnenvaart:

Ondanks de grote kosten heeft binnenvaart zich goed kunnen redden. De binnenvaart voldoet aan een grote flexibiliteit doordat:

- Bij tekort aan capaciteit alles wordt gebruikt wat maar op water inzetbaar is.
- Verplaatsing plaatsvindt tussen de kleine schepen, die normaal gesproken op het traject van Antwerpen worden ingezet en de grote schepen, die normaal gesproken op de Rijn worden ingezet (Vries, de, 2005)

Flexibiliteit verladers:

Reacties van de binnenvaartsector bij laagwater waren:

- alternatieve routes
- grotere voorraden aanleggen
- buffers laten slinken
- keuze andere modaliteit

Mogelijke aanpassingen die in 2003 niet zijn ingezet:

- Slepen in plaats van duwen, want sleepboten liggen minder diep.

2. Verslag Rondetafel bijeenkomst sector Scheepvaart

Verslag Rondetafel bijeenkomst sector Scheepvaart, 14 april 2004

Agenda

Presentatie 'Van droogte 2003 naar droogtebeleid 2004'.

Alle sheets van de presentatie zijn opgenomen in de bijlage.

In het voorjaar gaat er een evaluatienota droogte 2003 naar de Kamer met daarin de ervaringen van de zomer 2003 en de aanbevelingen. Hierover neemt de Kamer een besluit. Onderdeel van deze nota is de verdringingsreeks 'nieuwe stijl'. In de oude verdringingsreeks was een aantal verbeterpunten aan te wijzen, namelijk het ontbreken van de sector natuur, de noodzaak van regionaal maatwerk en maatwerk in de tijd. Op basis hiervan is een nieuwe verdringingsreeks voorgesteld. De conceptverdringingsreeks

nieuwe stijl ziet er als volgt uit:

1e niveau: Veiligheid en voorkomen onomkeerbare schade

1. Stabiliteit van waterkeringen
2. Klink en zettingen
3. Onomkeerbare natuurschade

2e niveau: Volksgezondheid, vitale grondstoffen en kleinschalig hoogwaardig gebruik

1. Drinkwatervoorziening
2. Transport
3. Kleinschalig hoogwaardig gebruik

3e niveau: Overige functies (willekeurige volgorde)

- Landbouw
- Binnenvaart
- geen Energievoorziening (koelwater)
- Natuur (zolang onomkeerbare schade optreedt)
- Industrie (koelwater)
- Waterrecreatie
- Binnenvisserij

N.B: Inmiddels is de nieuwe reeks vastgesteld door het kabinet. Op het laatste moment zijn er nog enkele veranderingen doorgevoerd. De nieuwe reeks ziet er als volgt uit:

1e niveau: Veiligheid en voorkomen onomkeerbare schade

1. Stabiliteit van waterkeringen
2. Klink en zettingen
3. Onomkeerbare natuurschade

2e niveau: Nutsvoorzieningen

1. Drinkwatervoorziening
2. Elektriciteitsvoorziening

3e niveau: Kleinschalig hoogwaardig gebruik

- Tijdelijke beregening kapitaalintensieve gewassen
- Proceswater

4e niveau: Overige functies (willekeurige volgorde)

- Landbouw
- Binnenvaart
- Natuur (zolang onomkeerbare schade optreedt)
- Industrie (koelwater)
- Waterrecreatie
- Binnenvisserij

Binnen de categorieën 1 en 2 is sprake van een prioriteitsvolgorde. Binnen de categorieën 3 en 4 vindt onderlinge prioriteitbepaling plaats op basis van minimalisatie van de economische maatschappelijke schade

Daarnaast gaat er in juni 2004 een voortgangsbericht Droogte naar de Kamer met daarin voorstellen voor maatregelen voor de korte en lange termijn.

Tijdens en na afloop van de presentaties is een aantal onderwerpen

geïnventariseerd die de deelnemers graag aan de orde willen stellen tijdens de discussie.

De onderwerpen zijn:

- definitievorming
- zomer 2003 was wel extreem
- compensatie zomer/ winter opbrengst
- bedrijfsvoering
- wie draagt de kosten?
- oplossingen

Definitievorming

De verschillende grafieken en tabellen in de presentatie geven voor een aantal deelnemers een verwarrend beeld. Dit komt met name omdat de cijfers andere perioden beslaan. Verzoek is daarom om helder te houden om welke periode het gaat; zomer half jaar, jaar, enzovoort. Op die manier zijn de cijfers beter te vergelijken en te beoordelen.

Zomer 2003

De projectgroep Droogtestudie NI noemt de zomer van 2003 niet extreem. De temperatuur was wel extreem hoog, maar het was niet extreem droog en de rivierafvoeren waren niet extreem laag.

Voor de sector scheepvaart was de zomer van 2003 wel degelijk extreem. De vaargeul was in Nederland in 40 jaar niet zo ondiep geweest. De schepen konden maar tot 50% beladen worden. De enorme droogte in de rest van Europa heeft direct effect gehad op de sector. De sector heeft zich desondanks dat wel kunnen redden, de kosten worden voornamelijk gedragen door de verladers.

De Droogtestudie berekende dat de sector € 200 miljoen euro extra kosten maakte als gevolg van de droogte. De sector geeft aan dat dit ongeveer wel kan kloppen. Een vaardiepte minder dan 180 cm scheelt ongeveer 5% van de normale opbrengst, 160 cm vaardiepte scheelt zo'n 10%.

Schepen kunnen wel op een andere manier beladen worden of omgewisseld worden met schepen elders in het land. Als de waterstanden nog lager worden, kan er gesleept in plaats van geduwd worden, sleepboten hebben minder diepgang. Dankzij dit soort maatregelen wordt het kritische punt voor de sector niet snel bereikt.

Wanneer een droge periode zoals tijdens 2003 eens in de 10 jaar voorkomt, is dat voor de sector wel acceptabel. Komt dit enkele jaren achter elkaar voor, dan ontstaan er wel problemen. Ditzelfde geldt voor de duur van de droogte. Had de droogte in 2003 twee weken langer geduurd, dan waren er problemen gekomen. Met name de betrouwbaarheid van de levertijden komt dan in het gedrang.

Het benoemen van de droogte van 2003 is wel van belang voor het krijgen van politieke aandacht. Immers, wanneer er geen probleem is, wordt er ook geen geld aan oplossingen besteed. Voor de scheepvaart was 2003 een extreem jaar, een extreem jaar komt eens in de 100 jaar voor. De Droogtestudie Nederland noemt 2003 een matig droog jaar (eens in de 10 tot 20 jaar). Wanneer een matig droog jaar leidt tot problemen, is dit aanleiding om naar oplossingen te zoeken. Naar buiten toe wil de scheepvaart echter niet communiceren dat 2003 een matig jaar was. Zij wil niet de indruk wekken dat vervoer over water op termijn niet betrouwbaar meer zou kunnen zijn.

De overheid vindt scheepvaart belangrijk voor Nederland. De overheid promoot vervoer over het water (modal shift) om meer problemen op de wegen te voorkomen. Het is van algemeen belang dat de schepen ook in tijden van waterschaarste kunnen blijven varen opdat verladers geen andere vervoersmodaliteiten gaan zoeken. Scheepvaart is een belangrijke sector voor Nederland, maar ook voor andere Europese landen. De enorme hoeveelheid vracht, die alleen al over de Rijn vervoerd wordt, is niet zonder problemen op te vangen door andere modaliteiten.

Calamiteitenplannen

In tijden van waterschaarste bepaalt de landelijke commissie

waterverdeling (de LCW) hoe het water in Nederland verdeeld wordt. Het LCW neemt de beslissing, maar betreft daarbij de verschillende overheden en organisaties. De scheepvaartsector werkt daaraan mee.

Wanneer op een moment bepaalde vaarwegen gedeeltelijk of volledig afgesloten moeten worden en goederen dus niet meer over het water bezorgd kunnen worden, dan moet dat tijdig bekend gemaakt worden. Dit geldt ook voor het opwerpen van blokkades, waardoor bedrijven soms dagen in het geheel niet bereikbaar zijn. Het is belangrijk om vooraf te inventariseren waar bedrijven zijn gevestigd die onder geen beding afgesneden mogen worden van de waterwegen.

Uiteraard kan van tevoren niet in detail uitgewerkt worden hoe te handelen in bepaalde extreme situaties. Maar de procedures voor calamiteiten kunnen wel in beeld gebracht worden.

Tijdens de zomer van 2003 stelden veel bestuurders heel veel vragen over de verkeersveiligheid. Bovendien waren veel mensen niet bereikbaar door vakanties. In de calamiteitenplannen moet een heldere structuur opgenomen worden over de bereikbaarheid van bepaalde functies (voorzien van namen, telefoonnummers, vervangers bij afwezigheid, en dergelijke).

De sector heeft de zomer van 2003 geëvalueerd. Deze evaluatie is naar de Tweede Kamer gestuurd. Verzoek vanuit de projectgroep om hiervan een kopie te mogen ontvangen. De heer De Vries stuurt dit naar de heer Van Waveren.

Compensatie zomer/ winter

In de presentatie is aangegeven dat bedrijfsmatig een goede winter een slechte zomer kan compenseren, waardoor de sector uitkomt op een gemiddeld jaar. Dit blijkt in de praktijk niet zo te zijn. Wat men in de zomer verliest, kan in de winter niet goedgemaakt worden. De schepen kunnen in de winter niet anderhalf keer zoveel meenemen als in de zomer. In de winter is er niet meer vracht dan in de zomer. Een groot aantal goederen is niet 'in het vooruit' te bezorgen in verband met houdbaarheid of opslagruimte.

Voor de Droogtestudie betekent dit dat de kosten, zoals ze nu zijn berekend, waarschijnlijk hoger zijn dan ingeschat, in het geval dat de klimaatverandering doorzet.

Bedrijfsvoering

Gezien de ontwikkelingen zal het vervoer over water in de toekomst alleen maar toenemen. Dit betekent dat er hogere eisen aan de vaarwegen worden gesteld. Al deze wegen moeten onderhouden worden. In de studie worden verschillende scenario's vanuit de Nota Mobiliteit meegenomen. De sector geeft aan dat er ook nog andere trends zijn, waarmee rekening moet worden gehouden, zoals het steeds meer varen in rondjes in plaats van A naar B en terug.

Wie draagt de kosten?

Betaalt de schipper de droogteschade of neemt de overheid dit voor haar rekening? Zijn de kosten om schade te voorkomen voor de schipper of voor de overheid?

Er moet een discussie gevoerd worden over het dragen van de kosten. De sector wil hieraan deelnemen.

Het inzichtelijk maken van de kosten is belangrijk. Met name omdat de scheepvaart niet het risico moet lopen zichzelf uit de markt te prijzen.

Oplossingen

Gezien de klimaatveranderingen kan het voor de toekomst betekenen dat een droogte, die eens in de 15 jaar voorkomt, straks eens in de 10-12 jaar gaat voorkomen. De sector past zich wel aan de omstandigheden aan. In ieder geval wordt er voorlopig nog zeker niet gedacht aan andere schepen met minder diepgang.

Mogelijke lange termijn oplossingen zijn:

- Wens vanuit de sector: Kanaal tussen de Maas en de Rijn, meer stroomopwaarts dan waar die nu ligt. RIZA is al bezig de voor- en nadelen voor deze optie in kaart te brengen.

- Stuw in de IJssel
- Rijnstroomgebied: meer water bovenstrooms vasthouden in grondwater. Herbebossing is dan wel de consequentie. Deze optie moet nader onderzocht worden.
- Kanaliseren van de Rijn.

Afsluiting

Boodschap vanuit de studie aan de sector:

In de toekomst krijgen we vaker te maken met droogte. Dus sector, houd je contacten goed!

De heer De Vries geeft een compliment aan de projectleider over de studie. Er is een hoop kennis verzameld!

Namens de Droogtestudie Nederland dankt Ingrid Hovelynck iedereen voor zijn bijdrage. Samen met de andere vier regio-Rondetafelbijeenkomsten en de Rondetafelbijeenkomsten voor Natuur, Scheepvaart, Landbouw en Koelwater, helpt deze bijeenkomst de Droogtestudie bij het focussen op wat belangrijk en kansrijk is.

Bijlage 9 : SW-analyse

De term SW-analyse is afkomstig van de term SWOT-analyse. De SWOT analyse is een analyse berustend op strenght, weakness, opportunities en threats. In dit onderzoek is ervoor gekozen om te kijken wat voor invloed de effecten van klimaatverandering invloed hebben op de sterkten en zwakten van de binnenvaart (PIANC, 2005). Hieruit is de naam SW-analyse, die hier wordt gebruikt, voortgekomen. Deze analyse is gebruikt bij het bepalen van mogelijke maatregelen. Tabel 26 geeft de sterke en zwakke aspecten van de binnenvaart aan, met daarachter een kwalitatieve inschatting van welke directe invloed de effecten van klimaatverandering hebben op de beschreven sterkten en zwakten. De waardering is gegeven aan de hand van een plus of een min. Een min betekent dat het aspect negatief wordt beïnvloed, en een plus dat het positief wordt beïnvloed (als een sterkte negatief wordt beïnvloed, betekent dat bedreiging van de sterkte en als een zwakte negatief wordt beïnvloed, dan betekent dat dat de zwakte wordt verergerd).

Tabel 26 SW-analyse met directe effecten

Klimaatverandering Negatieve effecten	Directe effecten				
	Laadvermogen -> af	Kosten-> omhoog	Betrouwbaarheid -> af	Logistiek-> meer schepen op het water	Techniek-> wacht- en service tijden nemen toe
Sterkte					
Mogelijkheid tot grote hoeveelheden vervoeren	-	0	0	0	0
Goed voor bulk en zware goederen	-	0	0	0	0
Voldoende capaciteit van de infrastructuur	0	0	0	-	0
Verkeersveiligheid	0	0	0	-	0
Functie als opslagruimte	-	0	0	0	0
Lage kosten	0	-	0	0	0
Zwakte					
Beperkt infrastructuur netwerk	0	0	0	0	0
Deel van transportketen	0	0	0	0	0
Lage snelheid	0	0	0	-	-
Afhankelijk van natuurlijke factoren	0	0	0	0	0
Afhankelijk topografische factoren	0	0	0	0	0
Weinig informatie voorziening	0	0	0	0	0

Uit de tabel blijkt dat een aantal sterke en zwakke aspecten van de binnenvaart negatief wordt beïnvloed door de effecten van klimaatverandering. In welke mate die aspecten negatief beïnvloed worden, is niet nagegaan. Met name afname van laadvermogen heeft grote invloed op de positieve aspecten van de binnenvaart. Maatregelen zullen op het verminderen van dit effect gericht moeten zijn.

Bijlage 10 : Waardering maatregelen

Klimaatverandering heeft invloed op de beschikbaarheid van zoetwater. De haalbaarheid van maatregelen in belang van de binnenvaart is zeer afhankelijk van de vele andere sectoren die belang hebben bij een goed waterbeheer in het stroomgebied.

De volgende sectoren worden hierna besproken.

1. Energie / Industrie
2. Landbouw
3. Natuur
4. Drinkwater
5. Recreatie

1. Energievoorziening en industrie

De industrie onttrekt op verschillende plaatsen water aan de Rijn. Het water wordt gebruikt als koelwater en als proceswater voor verschillende bedrijfsprocessen. Behalve voor industriële onttrekkingen is ook voor het doorspoelen van industriële lozingen een zeker debiet vereist, om de concentratie van bepaalde schadelijke stoffen in de rivier te beperken. Bij lage afvoeren kan zelfs een lozingsverbod worden afgekondigd. Om dit tegen te gaan zijn maatregelen nodig om watertekort tegen te gaan.

2. Landbouw

In de landbouw wordt gesproken over potentiële en actuele opbrengst. Potentiële opbrengst betekent opbrengst door veel zonuren. Actuele opbrengst is de opbrengst, die werkelijk gerealiseerd wordt. Dit heeft te maken met een tekort aan vocht dat ontstaat in perioden van weinig neerslag en/of veel verdamping. Tevens zal bij lage waterstanden grondwaterstroming gaan plaatsvinden, waardoor er minder grondwater beschikbaar is voor de landbouw. In de droge jaren is de landbouw in hoge mate afhankelijk van een goede waterverdeling.

De verzilting in de mondingsgebieden kan zich met name bij lage afvoeren verder landinwaarts uitbreiden. Beregening met te zilt water voor een bepaald type gewas geeft productschade. In de praktijk wordt waargenomen dat een boer soms liever droogteschade heeft dan zoutschade. Door voldoende afvoer in droge perioden kan verzilting worden tegengegaan.

3. Natuur

Voor het rivierecosysteem betekent een grote rivierdynamiek een grote habitatdiversiteit. Nieuwe flora en fauna kunnen zich dan vestigen en zich wellicht handhaven. Dit is afhankelijk van de overstromingsduur. Er is een complex aan indirecte verbanden tussen klimaat en het voorkomen van soorten. Precieze invloed van hoog- en laagwater is afhankelijk van habitat/leefgebied en soort flora en fauna. De gevolgen van droogte lijken dus voor de biodiversiteit niet perse negatief.

4. Drinkwater

De onttrekking van deze sector aan het oppervlaktewater is weinig ten opzichte van die van de overige sectoren. Verzilting in combinatie met lage rivierafvoeren in de zomer kan problemen opleveren voor het drinkwater. Maatregelen tegen watertekort zijn nodig om dit tegen te gaan.

5. Recreatie

De verblijfsrecreatievoorzieningen in het winterbed zullen afnemen bij toenemende inundatie.

In tabel 27 is zichtbaar welke sectoren een gelijk belang hebben als de binnenvaart bij watertekort. Het teken '+' geeft aan dat het belang gelijk is en maatregelen om watertekort te beperken voor meerdere sectoren kunnen dienen.

Tabel 27 Gelijk gericht belang bij watertekort

Functie	Belang watertekort
Energie/Koelwater	+
Landbouw	+
Natuur	-
Overigen (Recreatie en drinkwater)	+

Belangen van verschillende sectoren zijn in volgorde van prioriteit gezet, de zogenaamde verdringingsreeks. De verdringingsreeks is het Nederlandse rijksbeleid met betrekking tot de volgorde waarin bij lage afvoeren op de watertoevoer voor de verschillende sectoren gekort wordt.

De verdringingsreeks luidt:

1e niveau: Veiligheid en voorkomen onomkeerbare schade

1. Stabiliteit van waterkeringen
2. Klink en zettingen
3. Onomkeerbare natuurschade

2e niveau: Nutsvoorzieningen

1. Drinkwatervoorziening
2. Elektriciteitsvoorziening

3e niveau: Kleinschalig hoogwaardig gebruik

- Tijdelijke beregening kapitaalintensieve gewassen
- Proceswater

4e niveau: Overige functies (willekeurige volgorde)

- Landbouw
- Binnenvaart
- Natuur (zolang onomkeerbare schade optreedt)
- Industrie (koelwater)
- Waterrecreatie
- Binnenvisserij

Binnen de categorieën 1 en 2 is sprake van een prioriteitsvolgorde. Binnen de categorieën 3 en 4 vindt onderlinge prioritering plaats op basis van minimalisatie van de economische maatschappelijke schade

De waarde beoordeling van de maatregelen is te vinden in tabel 28 en 29. In tabel 30 staan de maatregelen.

Tabel 28 Toetsing maatregelen

Maatregel	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	waarde
1.politiekbeleid	9	8	8	7	2	2	6	8	7	7	12
2.veiligheid	9	7	7	8	4	4	7	8	7	7	12
3.impact ecologie	9	7	7	8	6	6	7	6	7	7	4
4.impact andere sectoren	8	7	8	8	6	4	8	8	7	7	8
5.functionaliiteit	4	8	8	7	8	8	7	6	7	7	8
6.aanpasbaarheid	8	8	8	6	4	5	7	9	7	7	2
7.faseerbaarheid	8	8	7	7	5	6	7	8	7	7	1

Tabel 29 Uiteindelijke score

Maatregel	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	waarde
1.politiekbeleid	108	96	96	84	24	24	72	56	84	84	12
2.veiligheid	108	84	84	96	48	48	84	96	84	84	12
3.impact ecologie	36	28	28	32	24	24	28	24	28	28	4
4.impact andere sectoren	64	56	64	64	48	32	64	64	56	56	8
5.functionaliiteit	32	64	0	56	64	64	56	48	56	56	8
6.aanpasbaarheid	16	16	16	14	4	8	14	16	14	14	2
7.faseerbaarheid	8	8	7	7	5	6	7	8	7	7	1
totaal	372	352	295	353	217	206	325	312	329	329	

Tabel 30 Maatregelen

Maatregelen
1. Informatiemanagement
2. Het incidenteel tijdens laagwaterperioden volcontinue laten varen van schepen
3. In de vaart nemen van meer laadvermogen
4. Nieuwbouw
5. Kanaliseren
6. Retentiegebieden
7. Kribben aanpassen
8. Baggeren
9. Debiet reguleren
10. Opslag