

**Ecologische potenties van
stuwpeilvariatie in de Maas**



Ecologische potenties van stuwpeilvariatie in de Maas

Gertjan Geerling
Tom Buijse
Leon van Kouwen

1202598-001

Titel

Ecologische potenties van peilvariatie in stuwpanden van de Maas

Opdrachtgever

RWS WD / RWS DLB

Project

1202598-001

Kenmerk

1202598-001-ZWS-0006

Trefwoorden

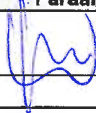
Maas, stuwpanden, KRW, stuwpeilvariatie, oevers, ecologie.

Samenvatting

Stuwpeilvariatie is een mogelijke Kaderrichtlijn Water maatregel voor ecologisch herstel in stuwpanden van de Maas. Het rapport verkent de mogelijkheden voor stuwpeilvariatie in de stuwpanden Roermond, Belfeld en Lith. Het ecologisch effect van de maatregel, de hydrologie en voorkomende waterstanden van de onderzochte stuwpanden, de huidige peilvariatie en een tweetal peilscenario's zijn hiervoor beschreven. Daarbij zijn de huidige peilvariatie en die van het meest kansrijke scenario via een GIS analyse aan de oevers gekoppeld zoals deze er na uitvoering van de maatregelen in 2015 uit zien. Op basis van deze ecologische en hydrologische analyse zijn conclusies en aanbevelingen gegeven voor de toekomstige uitvoering van de maatregel "stuwpeilvariatie".

Referenties

RWS/WD-2010/2250.

Versie	Datum	Auteur	Paraaf	Review	Paraaf	Goedkeuring	Paraaf
	31 Dec. 2010	Gertjan Geerling		Maarten van der Wal		Toon Segeren	
		Tom Buijse					
		Leon van Kouwen					

Status

definitief

Inhoud

Samenvatting	i
1 Introductie	1
1.1 Centrale vraagstelling en doelstelling	1
1.1.1 Kernvragen	1
1.1.2 Doelstelling	2
1.2 Definitie (stuw)peilvariatie en waterstandvariatie	2
1.3 Afbakening	2
1.4 Aanpak Ecologie en Hydraulica	2
1.4.1 Ecologie	2
1.4.2 Hydraulica	3
1.5 Bij het project betrokken mensen	3
1.6 Leeswijzer	3
2 Ecologie	5
2.1 Ecologie & hydrologie	5
2.1.1 Hydrologische variatie binnen een jaar en tussen jaren	6
2.1.2 Ecologisch relevante hydrologische parameters	8
2.2 Ecologie & stuwpeilvariatie	8
2.2.1 Literatuuronderzoek	8
2.2.2 Algemeen	9
2.2.3 Hoofdgeul en beekmondingen	10
2.2.4 Uiterwaardplassen	12
2.2.5 Oevers	13
2.3 Conclusies	16
3 Hydrologie Gestuwde Maas	19
3.1 Mogelijkheden per stuwband voor stuwpeilvariatie	19
3.2 Afvoeren Borgharen	20
3.3 Bestaande waterstandvariatie	22
3.4 Conclusies per stuwband (huidige waterstanden)	24
3.5 Effecten van stuwpeilopzet of -verlaging op waterstanden in het stuwband	26
3.6 Tussenjaarlijkse variatie in afvoeren	27
3.7 Conclusies hydrologie	28
4 Maas en oevers	29
4.1 Oevertypen langs de gestuwde Maas	29
4.2 Ecologisch effect per oevertypen	30
4.2.1 De hoofdgeul	30
4.2.2 Uiterwaarden en -weerden	34
4.2.3 Verharde/steile oever	36
4.3 Korte samenvatting en aanbeveling	37
5 Stuwpeilvariatie scenario's	39
5.1 Relevante conclusies voor het ontwerp van een stuwpeilscenario	39
5.2 Stuwpeilvariatie scenario's	40
5.2.1 Nul-Scenario: huidig regime	40

5.2.2	Scenario 1: Het stuwpeil volgt de afvoeren omhoog.	41
5.2.3	Scenario 2: Waterstandvariatie door gebruik van hogere afvoer om het stuwpeil te kunnen verlagen.	43
6	Ruimtelijk analyse van waterstandvariatie langs de oevers	45
6.1	Overzicht aanpak	45
6.2	Methode en gebruikte data	45
6.3	Oevers voor en na uitvoering maatregelen 2015	46
6.4	Resultaten huidige waterstandvariatie	49
6.5	Waterstandvariatie op beekmondingen	53
6.6	Resultaten huidige en aangepaste waterstandvariatie op verschillende oevertypen na uitvoering maatregelen in 2015	53
6.7	Conclusies ruimtelijke analyse	55
7	Randvoorwaarden	57
7.1	Scheepvaart en havens	57
7.1.1	Vaardiepte	57
7.1.2	Doorvaarthoogte bruggen	57
7.1.3	Overige constructies voor beroeps- en pleziervaart	57
7.2	Vispassages	58
7.3	Waterkrachtcentrales	58
7.4	Drinkwaterwinning	59
7.5	In- en uitlaat van water	59
7.6	Grondwater en kwelstromen	59
7.6.1	Natuur	60
7.6.2	Landbouw	61
7.6.3	Bebouwing	61
7.7	Conclusies en aanbevelingen	62
8	Effecten klimaatverandering op stuwpeilvariatie in gestuwde Maaspanden	65
8.1	Vraag 'gevolgen van klimaatverandering'.	65
8.2	Klimaatscenario's	65
8.3	Robuustheid van de ecologische winst	65
8.3.1	Hydrologie	65
8.3.2	Temperatuur	68
8.4	Conclusies en aanbevelingen	69
9	Conclusies en aanbevelingen	71
9.5.1	Aanbevelingen voor aanleg:	73
9.5.2	Aanbevelingen voor beheer:	74
9.5.3	Aanbevelingen voor monitoring en onderzoek:	74
10	Literatuur	75
	Bijlage H3 Stuwkrommen Linne – Belfeld	79
	Bijlage H3 Stuwkrommen Lith	83
	Bijlage: H3 Afvoervariatie 1911-2007	87
	Bijlage: H7 Constructies in stuwpannen	89

Samenvatting

De gestuwde Maas (vanaf Linne tot Lith) is binnen de Kaderrichtlijn Water (KRW) aangeduid als langzaam stromende rivier op zandige bodem. Door het sterk veranderde karakter van dit Maastraject (o.a. gestuwd, gekanaliseerd en bedijkt) ten opzichte van het referentiebeeld, een stromende ongestuwde rivier, is de huidige ecologische toestand onvoldoende. Om de ecologische kwaliteit te verbeteren is een programma van maatregelen vastgesteld in het eerste Stroomgebiedbeheerplan 2009-2015 voor de Maas. Een van de mogelijke maatregelen is variatie van het stuwpeil ten behoeve van de ecologie; een logische maatregel omdat deze het gestuwde karakter van de rivier vermindert en positief kan werken op karakteristieke rivier- en oevergebonden soorten.

De studie "Ecologische potenties van stuwpeilvariatie in de Maas" is uitgevoerd als onderdeel van het KRW-maatregelenpakket in het Beheer- en Ontwikkelplan voor de Rijkswateren (BPRW). Het is een verkenning naar het effect van waterstandvariatie in de stuwpanden Roermond, Belfeld en Lith, die Rijkswaterstaat qua randvoorwaarden kansrijk acht voor deze maatregel. De hoofdvragen zijn:

- 1 Wat is het effect van waterstandvariatie op het ecologisch functioneren van het KRW-waterlichaam?
- 2 Wat is de bestaande waterstandvariatie o.b.v. huidig stuwpeilbeheer?
- 3 Wat zijn mogelijke nieuwe scenario's voor (extra) stuwpeilvariatie?
- 4 Wat zijn de belangrijkste randvoorwaarden voor stuwpeilvariatie? Zijn er klimaateffecten die het effect van de maatregel beïnvloeden?

De studie is uitgevoerd op basis van literatuur, expertkennis, een modelstudie met hydraulisch model SOBEK, een GIS analyse en een viertal workshops met de begeleidingsgroep. Hieronder de antwoorden en conclusies naar aanleiding van de onderzoeksvragen.

Het vergroten van de waterstandvariatie (vraag 1) bevordert de terugkomst van karakteristieke riviergebonden soorten die hun levenswijze hebben aangepast aan seizoensgebonden waterstandfluctuaties. Zo hangt de plantendiversiteit op oevers sterk af van de aanwezige waterstandvariatie, zowel binnen een jaar als tussen jaren. Ook verblijven sommige macrofauna en vissoorten in veilige niches in strangen of plassen die alleen met hoger water met de rivier verbonden zijn. Waterstandvariatie heeft alleen ecologisch effect op meer natuurlijke oevers, zoals vrij eroderende of vlakke natuurvriendelijke oevers omdat het de al aanwezige verscheidenheid aan microhabitat versterkt. In niet stromende delen biedt de ontwikkeling van waterplanten extra schuilplaatsen aan vissen en ongewervelden. Belangrijke voorwaarde hiervoor is een flauwe oever met tot 2 m waterdiepte een natuurlijk substraat, zodat waterplanten zich er kunnen vestigen.

In het kader van vraag 2 blijkt uit een hydraulische analyse van de stuwpanden Roermond, Belfeld en Lith, dat de afvoeren in grote delen van het groeiseizoen zo laag zijn ($<200 \text{ m}^3/\text{s}$) dat er door de werking van de stuwen geen waterstandvariatie op treedt. De waterstandvariatie die optreedt bij hogere afvoeren ($>200 \text{ m}^3/\text{s}$) is het grootst in de bovenstroomse delen van de stuwpanden en neemt binnen het stuwpand stroomafwaarts af tot 0 cm. In bovenstroomse delen van de onderzochte stuwpanden ligt de waterstandvariatie bij afvoeren die gemiddeld 7 dagen per groeiseizoen (hier lente+zomer) voorkomen tussen de 1,4 m tot 0,8 m; voor afvoeren die gemiddeld 30 dagen per groeiseizoen voorkomen tussen de 0,4 m en 0,2 m.

Uiteindelijk heeft ongeveer de helft van de lengte van de oevers nauwelijks waterstandvariatie ($<0,2$ m), en de andere helft enige tot relatief matige waterstandvariatie. Naast de hoofdgeul ondervinden ook de aangetakte wateren waterstandvariatie en bieden potentie voor oeverontwikkeling, dit betreft 113 km oever (versus 125 km hoofdgeuloever). In de stuwpanden Roermond en Belfeld liggen grote oeverlengten van aangetakte wateren redelijk bovenstrooms in het stuwpand. Echter in stuwpand Lith liggen deze benedenstrooms in het stuwpand en ondervinden geen tot nauwelijks waterstandvariatie.

Wat betreft nieuwe stuwpeilvariatie scenarios (vraag 3) is het volgen van de afvoer het meest natuurlijke scenario voor stuwpeilvariatie. Hiermee wordt de waterstandsvariatie zowel benedenstrooms als bovenstrooms in een stuwpand vergroot, en wordt voldaan aan de voor ecologie belangrijke binnenjaarlijkse en tussenjaarlijkse waterstandvariatie. Aangezien afvoeren lager dan $600 \text{ m}^3/\text{s}$ dominant zijn in het groeiseizoen, is stuwpeilvariatie alleen noodzakelijk voor afvoeren lager dan $600 \text{ m}^3/\text{s}$. Het scenario bestaat uit een laagst stuwpeil bij kleine afvoeren ($<50 \text{ m}^3/\text{s}$), het zogenaamde startpeil, waarna het stuwpeil langzaam wordt opgezet bij grotere afvoeren. Boven de $600 \text{ m}^3/\text{s}$ kan het huidig stuwpeilregime worden gehandhaafd. Voor de oevers en de vrije afstroming van beken, is een zo laag mogelijk startpeil bij de laagste afvoeren (in de zomer) het best. Een hoger startpeil dan het huidige stuwpeil zal ten koste gaan van de huidige waterstandvariatie in de bovenstroomse delen, terwijl een verlaging van het startpeil de bestaande variatie versterkt.

De verkenning naar bepalende randvoorwaarden voor stuwpeilvariatie (vraag 4) blijkt in het zomerbed het scheepvaartverkeer de meest kritische factor. Stuwpeilverlaging leidt hier tot een afname van het aantal dagen dat met maximale belading kan worden gevaren. Vooral bij een lager startpeil komt dat voor bij alle lage afvoeren, en speelt dus bijvoorbeeld de gehele zomer. Voor de overige randvoorwaarden in het zomerbed lijken de effecten van een stuwpeilverhoging of -verlaging beperkt. Constructies zoals waterkrachtcentrales, vispassages, havens en in- en uitlaten van bedrijven zijn nu al flexibel voor (beperkte) verschillen in waterstanden. In het winterbed veroorzaken landbouw en binnendijkse natuur de meest kritische randvoorwaarden voor stuwpeilvariatie. Landbouw en droge natuur hebben het meest nadeel van stuwpeilverhoging, en kunnen profiteren van een kleine stuwpeilverlaging. Voor natte natuur geldt precies het omgekeerde. De klimaateffecten zijn beoordeeld op basis van klimaatscenario's van het KNMI. Het gunstige effect van het invoeren van stuwpeilvariatie zelf is groter dan het eventuele negatieve effect van klimaatverandering.

Uit het onderzoek volgen conclusies en aanbevelingen voor aanleg, beheer en monitoring van de oevers langs stuwpanden onder ecologisch stuwpeilbeheer. De belangrijkste staan hieronder weergegeven:

- Stuwpeilvariatie heeft meteen effect op bestaande NVOs en aangetakte wateren. Het effect wordt vergroot wanneer meer NVOs in zowel de hoofdgeul als aangetakte wateren worden aangelegd zoals in de periode tot 2015. Voorgesteld wordt om tot 2015 de aanbevelingen voor monitoring en onderzoek uit te voeren zodat het ecologisch effect kan worden gepreciseerd, en de maatregel vervolgens in de 2^{de} SGBP planstudie op te pakken.

- Stuwpeilverlaging, en een zo laag mogelijk startpeil bij een stuwpelscenario, verdient de voorkeur boven stuwpeilverhoging. Stuwpeilverlaging vergroot de waterstandvariatie evenals de vrije afstroming vanuit beken, terwijl stuwpeilopzet de waterstandvariatie in het bovenstroomse deel van stuwpanden verkleint en extra opstuwing in beekmondingen geeft. Belangrijk is deze ecologische wens af te stemmen met de scheepvaartbelangen.
- Bij oeverinrichting dient de stortsteenbekleding verwijderd te worden tot maximaal 2 m diepte zodat habitat voor waterplanten ontstaat. In de hoofdgeul moet worden gecontroleerd of dat niet leidt tot grootschalige morfologische ontwikkelingen (bv bochtafsnijding). Zijwateren bieden ruimte om ondiep waterplant habitat te ontwikkelen zonder hinder voor scheepvaart.
- Zorg dat bij de revisie of bouw van stuwen rekening wordt gehouden met mogelijkheden om het stuwpeil enigszins traploos te laten variëren bij afvoeren $< 600 \text{ m}^3/\text{s}$.
- Gebruik deze gegenereerde kennis over waterstandvariatie in lopende onderzoeken naar de werking van vrij eroderende oevers en natuurvriendelijke oevers. Analyseer de gegevens over de ecologische ontwikkeling van vrij eroderende en natuurvriendelijke oevers zowel naar oevertype als de thans aanwezige waterstandvariatie. Deze analyse kan aantonen in hoeverre de aanwezigheid van waterstandvariatie een meerwaarde heeft voor ecologische oeverontwikkeling en daarmee een onderbouwing bieden voor eventuele (extra) stuwpeilvariatie.

1 Introductie

RWS Limburg heeft in het BPRW een programma van maatregelen voor de Maas beschreven (Rijkswaterstaat, 2009). Dit programma omvat onder andere de herinrichting van oevers en beekmondingen alsmede een verkenning naar de mogelijkheid voor een natuurlijker stuwpeilbeheer van gestuwde trajecten van de Maas. RWS Limburg wil zicht krijgen op de potentiële ecologische winst van varianten van stuwpeilbeheer als aanvulling op de voorgenomen herinrichting; winst vooral waar het de biologische kwaliteitselementen van de Europese Kaderrichtlijn Water betreft.

In 2005 is er een studie uitgevoerd naar het instellen van een variabel stuwregime in het stuwpannd Lith en de ecologische perspectieven daarvan voor de Hemelrijkse Waard (Peters & Klink, 2005). Hieruit bleek dat het variëren van het stuwpeil met 20 - 30 cm, een positief effect zou hebben op de beoogde moerasontwikkeling van de Hemelrijkse Waard. Het droogvallen van de oevers vroeg in de zomer door een lager stuwpeil kan de ontwikkeling van de rietvegetatie bevorderen.

Vanuit de optiek van de KRW (Europese Commissie, 2000) is het relevant in hoeverre waterstandvariatie ook een bijdrage kan leveren aan de ontwikkeling van de biologische kwaliteitselementen uit de KRW (vissen, macrofauna en water- en oeverplanten). Deze vraag geldt niet alleen voor de Hemelrijkse Waard, maar ook voor andere stuwpannen/trajecten van de Maas, Nederrijn en Lek. Daarom is in het eerste stroomgebiedsbeheerplan voor het Maasstroomgebied een studie naar kansen voor versterking van ecologische KRW doelen door stuwpeilfluctuaties in stuwpannen opgenomen.

Uit een eerder uitgevoerd oriënteringsonderzoek zijn de stuwpannen Roermond, Belfeld en Lith als kansrijk voor natuurlijker stuwpeilbeheer geselecteerd (DHV, 2008). De overige zijn om functionele redenen aangegeven als minder kansrijk en worden niet meegenomen bij de hier beschreven studie.

1.1 Centrale vraagstelling en doelstelling

1.1.1 Kernvragen

Kan een maatregel als stuwpeilvariatie aanvullend op de voorgenomen herinrichting van onder andere oevers en beekmondingen een wezenlijke bijdrage (baten) leveren aan de verbetering van de ecologische toestand van de gestuwde Maaspannen, die beoordeeld wordt aan de hand van de biologische kwaliteitselementen water- en oeverplanten, macrofauna en vis?

De volgende vragen zijn geformuleerd:

1. Wat is het effect van waterstandvariatie op het ecologisch functioneren van het KRW-waterlichaam?
2. Hoe is de huidige waterstandvariatie in de stuwpannen Roermond, Belfeld en Lith (nulsituatie)?
3. Wat zijn mogelijke scenario's voor stuwpeilvariatie en aanbevelingen voor het maatregelenpakket?
4. Wat zijn de externe randvoorwaarden die de mate van waterstandvariatie beïnvloeden en zijn er klimaateffecten die met de maatregel interfereren?

1.1.2 Doelstelling

De relatie tussen waterstandvariatie, morfologie en ecologie is voor stuwpanden langs de Maas in een paar verkennende studies kort geschetst, maar er is nog onvoldoende zicht op het palet aan oplossingsrichtingen (baten), de ruimtelijke inpassing en de mogelijkheden binnen randvoorwaarden. In het traject verkenning, planstudie en realisatie vormt deze studie een vervolgstap in de verkenningfase. De studie moet een generieke maar tevens concrete en zoveel mogelijk kwantitatieve basis leggen voor besluitvorming over het al dan niet opstarten van een planstudie voor waterstandvariatie in één of meer stuwpanden van de Maas. Tevens kan de studie houvast bieden voor studies omtrent de potenties in de overige stuwpanden van de Maas en eventueel van de Nederrijn en Lek. Tegelijkertijd verschaft de studie praktische en ecologische basiskennis aan (gebieds)ontwerpers van een eventuele toekomstige planfase.

1.2 Definitie (stuw)peilvariatie en waterstandvariatie

In het rapport worden de volgende definities gehanteerd:

- Stuwpeil is de met behulp van schuiven ingestelde waterstand, direct bovenstrooms van de stuw;
- met waterstand worden de waterstanden in de rest van het stuwpand bedoeld.

Wanneer er gesproken wordt over stuwpeilvariatie, dan wordt het variëren van het stuwpeil bij de stuw bedoeld. Waterstandvariatie - in de rest van het stuwpand - is echter het gevolg van natuurlijke afvoervariatie én stuwpeilvariatie.

1.3 Afbakening

De studiegebieden in het stroomgebied van de Maas waarop dit onderzoek betrekking heeft zijn de stuwpanden Roermond (traject Linne-Roermond), Belfeld (traject Roermond-Belfeld) en Lith (traject Grave-Lith).

Binnen de stuwpanden moeten de ecologische potenties door waterstandvariatie kwalitatief en kwantitatief worden beschouwd voor de hoofdgeul en de aangetakte wateren zoals nevengeulen, hoogwatergeulen, strangen, plassen, havens en beekmondingen.

1.4 Aanpak Ecologie en Hydraulica

1.4.1 Ecologie

Om antwoord te geven op onderzoeksvraag 1 is gevraagd om het integrale landschapsecologisch proces te beschrijven middels de samenhang tussen hydrologie, geomorfologie en ecologie, en vervolgens de KRW relevante biologische kwaliteitselementen (water- en oeverplanten, macrofauna en vissen) specifiek te belichten.

De ecologische toestand van geïsoleerde (niet aangetakte) plassen en andere riviergebonden natuur in de uiterwaarden valt buiten de KRW. Desondanks kan de invloed van waterstandvariatie hierop doorwerken (grondwaterpeil) en gunstige ecologische effecten hebben (Klink & Peters, 2005). Waar relevant zijn deze effecten meegenomen.

Voor dit kwalitatieve ecologisch onderzoek is het huidige stuwpeil in eerste instantie niet als leidend beschouwd. De landschapsecologische potentie is kwalitatief beschreven, waarbij de nadruk ligt op de baten van waterstandvariatie voor de water- en oeverplanten, macrofauna en vissen.

1.4.2 Hydraulica

Voor de meer kwantitatieve onderzoeksvragen 2 en 3 moet inzicht worden verkregen in de relatie tussen afvoerfrequenties en de waterstandvariatie per stuwpand. De verhanglijnen voor een serie afvoeren in stuwpand worden bepaald met het 1-D SOBEK model. Voor deze studie zijn verschillende SOBEK-schematisaties. Voor deze oeveranalyse worden de waterstandverschillen uit de SOBEK-analyse middels een GIS aan de bestaande oevers en een toekomstige inrichting (2015) gekoppeld. Hiermee kan de huidige waterstandvariatie en de waterstandvariatie onder een stuwpeilfluctuatiescenario per oevertype en oeverlengten worden weergegeven.

1.5 Bij het project betrokken mensen

Het project is uitgevoerd in opdracht van Rijkswaterstaat-Directie Limburg (RWS-DLB) en Rijkswaterstaat Waterdienst (RWS-WD). De begeleidingsgroep is vier keer in workshop verband bijeengekomen en heeft door correcties en commentaren een grote bijdrage geleverd aan het rapport. De begeleidingsgroep bestond uit: Aleksandra Jaskula (RWS-DLB, projectleidster DLB), Herbert Berger (RWS-WD, contactpersoon WD), Udo Boot (RWS-DLB), Jan Joost Bakhuizen (RWS-DLB), Margreet van den Burg (RWS-DLB), Frans Kerkum (RWS-WD), en Klaartje Giesberts (RWS-DLB).

Aan de kant van de opdrachtnemer hebben Johan van Zetten (Hydraulica Sobek), Kees Sloff (Hydraulica) en Anke Becker (Hydraulica) een onmisbare bijdrage geleverd aan het hydraulisch inzicht van de stuwpanden. Maarten van der Wal heeft het eindproduct gereviewed. Emiel Kater (Alterra) heeft de randvoorwaarden onderzocht en in hoofdstuk 7 gerapporteerd.

1.6 Leeswijzer

Het rapport is als volgt opgebouwd:

1. Introductie, kader, doelstelling:
Hier worden de grote lijnen van het onderzoek weergegeven en de globale aanpak kort beschreven.
2. Ecologie:
De principes voor de relatie tussen ecologie en variërende waterstanden uit de literatuurstudie zijn hier weergegeven.
3. Hydrologie van de gestuwde Maas:
Het hoofdstuk bevat een hydrologische analyse op basis van afvoerreeksen en de resultaten uit het hydraulisch model SOBEK.
4. Maas en oevers:
Een beschrijving van de relevante Maasoevers en het geschatte ecologisch effect van peilvariatie op waterplanten, macrofauna en vis.
5. Stuwpeilvariatie scenario's:
Hier worden de stuwpeilscenario's uitgelegd en bediscussieerd.
6. Ruimtelijke analyse van waterstandvariatie langs de oevers:
Het hoofdstuk bevat de resultaten van de GIS analyse waarin de huidige waterstandvariatie en waterstanden uit een peilvariatie scenario aan de in 2015 aanwezige oevers worden gekoppeld. Hiermee is bepaald hoeveel en welke oevers aan waterstandvariatie blootstaan.
7. Randvoorwaarden:

Hier worden de randvoorwaarden besproken die van invloed zijn op de hoogte van de stuwpeilvariatie.

8. Effecten klimaatveranderingen en hydrologische trends op stuwpeilvariatie in gestuwde Maaspanden.

Beschrijving van mogelijke effecten van klimaatveranderingen en lange termijn hydrologische trends (afvoerreeks 1911 tot 2008) op de maatregel stuwpeilvariatie.

9. Conclusies en aanbevelingen voor inrichting, beheer en onderzoek

2 Ecologie

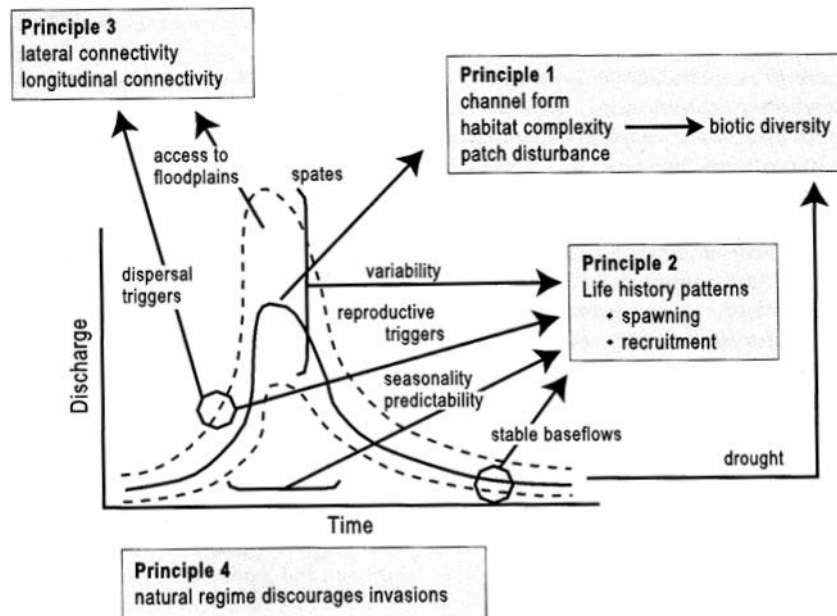
De verspreiding van aquatische soorten wordt beïnvloed door een veelheid aan variabelen, zoals waterdiepte, stroomsnelheid, temperatuur, substraat (type en grootte), zuurstofgehalte, turbiditeit, bodemvochtgehalte, de aanwezigheid van barrières, andere fysisch / chemische variabelen en biotische invloeden waarbij het natuurlijke afvoerregime van doorslaggevend belang is (Richter *et al.*, 1997; Lytle & Poff, 2004). Hydrologische variatie zorgt grotendeels voor de biologische diversiteit op oevers, in uiterwaarden en door grondwater beïnvloede gebieden (Richter *et al.*, 1998; Peters & Klink, 2005). In gestuwde Maastrajecten is deze variatie aan banden gelegd zodat voor veel fluviatiele soorten het habitat is verdwenen en habitat creërende processen (nagenoeg) ontbreken. De problematiek is vergelijkbaar met aangepaste stroomregimes van dammen, die aangelegd zijn voor andere functies zoals waterkracht (Richter *et al.*, 1998; Fenster & Knisley, 2006). Door het variëren van het stuwpeil kan biologische diversiteit wellicht worden gestimuleerd. Zo wordt stuwpeilvariatie ingezet om de overgang van wilgenbos naar moeras te handhaven in de Oostvaardersplassen of de ontwikkeling van oevervegetatie langs gestuwde meren te stimuleren (Vera, 1988; Hill *et al.*, 1998). In dit hoofdstuk worden algemene principes beschreven, geïllustreerd met voorbeelden uit de literatuur.

In dit hoofdstuk komen stuwpeilbeheer en ecologie aan bod. Hiervoor wordt éérs de relatie tussen ecologie en hydrologie in het algemeen besproken in paragraaf 2.1. Dit wordt gevolgd door een toespitsing op waterstandvariatie. Hiertoe is een literatuuronderzoek gedaan (paragraaf 2.2). Vervolgens worden bevindingen uit het literatuuronderzoek toegepast op de Maasoevers (paragraaf 2.2).

2.1 Ecologie & hydrologie

De relatie tussen hydrologie en ecologie is complex. Veel soorten hebben zich aan het regime van natuurlijke afvoervariatie aangepast en hebben deze nodig voor hun voortbestaan. Dit zijn meestal de voor stromende wateren karakteristieke soorten. In figuur 2.1 zijn voor een natuurlijke afvoer vier principes weergegeven die in grote lijnen de relatie tussen ecologie en hydrologie van rivieren beschrijven (Bunn & Arthington, 2002).

1. De relatie tussen biodiversiteit en de fysieke habitat wordt grotendeels bepaald door grootschalige verstoringen die de vorm van de rivier en oevers beïnvloeden, zoals jaarlijks of meerjaarlijks grote afvoeren. Daarbij zijn droogten en lage afvoeren ook bepalend voor de beschikbaarheid van habitat voor soorten.
2. Veel levenscycli van soorten zijn gekoppeld aan hydrologische factoren zoals een stijgende afvoer, timing van afvoerpieken in het seizoen en wel of geen stabiele basis-afvoeren. Een stijgende afvoer in relatie met een veranderende temperatuur kan een trigger zijn voor de voortplanting of migratie van aquatische soorten.
3. Afvoerfluctuaties initiëren en beïnvloeden de mogelijkheden voor verspreiding in de rivier zelf en verspreiding naar meer geïsoleerde strangen en plassen in uiterwaarden, ook wel laterale en longitudinale connectiviteit genoemd.
4. Binnen een riviertype zijn de lokale soorten in de loop der tijd aan het lokale afvoerregime aangepast. Zij maken in hun levenscyclus en de lokale setting optimaal gebruik van de genoemde principes. Verandering van deze afvoeren, in zowel timing als hoeveelheid, zal het systeem minder geschikt maken voor lokale soorten, en meer geschikt voor exoten.



Figuur 2.1 Relatie tussen afvoerregimes en ecologie (Bunn & Arthington, 2002).

2.1.1 Hydrologische variatie binnen een jaar en tussen jaren

De hydrologische variatie binnen een jaar is belangrijk, zoals blijkt uit figuur 2.1. Grote versturende afvoeren werken als flood pulse en sturen de ecologische ontwikkeling in rivieren, zoals betoogd in vele artikelen (onder andere Junk *et al.*, 1989). De nadruk in paragraaf 2.1 ligt op de variatie in afvoer binnen een jaar, maar hoe zit het met de variatie tussen de jaren?

De afvoervariatie, en dus de waterstanden op oevers, in het jaar en tussen verschillende jaren blijkt vooral voor oeverbegroeiing te zijn onderzocht. Een studie aan Nederlandse rivieren laat zien dat de zomer-hoogwaters de zonering van planten in uiterwaarden beïnvloeden, omdat juist in de zomer planten stress ondervinden van overstromingen (van Eck *et al.*, 2004). Omdat zomeroverstromingen niet elke zomer voorkomen, kunnen planten die niet-tolerant zijn voor deze overstromingen, de lagere uiterwaarden in zomers zonder overstroming koloniseren. Tijdens een jaar met zomer-overstromingen redden deze planten het niet en wordt weer ruimte geboden aan meer overstromingstolerante soorten. Volgens van Eck *et al.* (2004) zijn de effecten van deze zomeroverstromingen nog jaren later te herkennen aan uiterwaard vegetaties.

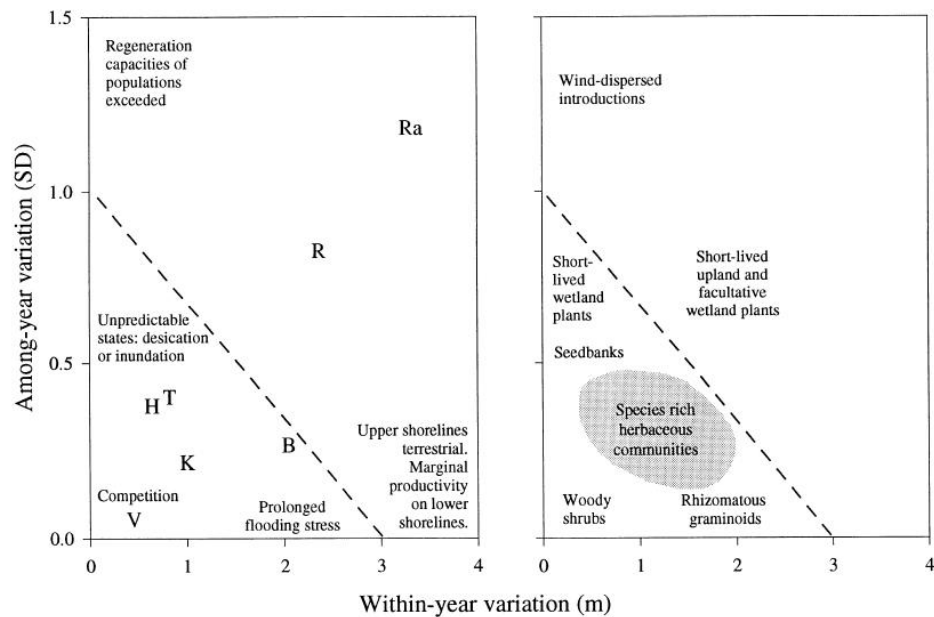


Figure 5. The effects of water-level variation upon shoreline vegetation. The stippled area contains lakes whose hydrological regimes produce rich floras, while hypo- and hypervariable zones represent impoverished systems. Rich floras with many rare species occur in unregulated lakes with high catchment areas such as Kejimikujik (K) and Bennetts (B), both lakes with intermediate water level fluctuations (1-m changes in amplitude within years and 0.5-m variation among years). In contrast, hypovariable lakes such as unregulated lakes with small catchment areas and head ponds (e.g., V, Vaughan) lose

many species through competitive exclusion by shrubs. Hypervariable lakes such as storage reservoirs (above the dashed line, e.g., Ro, Rossignol and Ra, Raynard) lose species and are subject to invasion by exotic species. The stippled area is therefore the desirable management target. Increased catchment area can push lakes into the region of high richness, but reservoir construction can push lakes into the hypervariable state. Data on Long Island pondshores (H, House Pond and T, Third Pond) from Schneider (1994).

Figuur 2.2 De effecten van tussen-jaarlijkse waterstandvariatie en binnen-jaarlijkse waterstandvariatie op oevers van natuurlijke en gereguleerde meren (Hill et al., 1998).

Hill et al. (1998) laten in een studie aan gereguleerde en natuurlijke meren zien dat zowel de waterstandvariatie tussen jaren als de variatie binnen een jaar belangrijk zijn voor een grotere diversiteit aan kruidenrijke gemeenschappen. Met waterstandvariatie tussen jaren wordt bedoeld de variatie van de waterstand in dezelfde maand van verschillende jaren. In figuur 2.2 is op de y-as de tussen-jaarlijkse variatie weergegeven, op de x-as de variatie binnen een jaar. Het linker diagram geeft inzicht in hoe de waterstandvariatie op die plaats in het diagram de vegetatie beïnvloedt. De letters zijn in dit geval onbelangrijk omdat ze verwijzen naar de onderzochte meren. Het rechter diagram laat zien welke vegetatie is gevonden bij de tussenjaarlijkse en binnenjaarlijkse variatie. Wanneer de tussen-jaarlijkse variatie erg hoog is, dan blijft de zone een hydro-dynamisch gebied waar vooral kortlevende planten een plaats vinden; bij een erg hoge binnen-jaarlijkse variatie is het voor alle planten moeilijk een habitat te vinden. Bij een hele lage variatie, zowel tussen-jaarlijks als binnen het jaar, zal vooral een verstruiking of verbossing plaatsvinden. In het grijze gebied is voor een optimum aangegeven, waarin zich een kruidenrijke vegetatie met kenmerkende soorten kan ontwikkelen. Aangezien Canadese meren zijn onderzocht, kunnen de resultaten op soortsniveau niet één op één worden overgenomen, maar het principe is dat naast de binnen-jaarlijkse variatie, de tussen-jaarlijkse variatie een plek moet hebben in een hydrologisch regime is een belangrijke conclusie.

2.1.2 Ecologisch relevante hydrologische parameters

Het leggen van kwantitatieve relaties tussen biota en hydrologie is lastig en is nog voor maar enkele soorten uitgevoerd; dit zijn vaak economisch relevante soorten of relatief makkelijk te bestuderen soorten zoals Zalm. Om een kwalitatieve uitspraak te kunnen doen over het nut van waterstandvariatie, is inzicht in de ecologisch relevante hydrologische variabelen noodzakelijk. De ecologisch relevante hydrologische variabelen vallen in vijf categorieën, zie onderstaande tabel 2.1 uit Richter *et al.* (1996).

Tabel 2.1 Beschrijving van ecologisch relevante hydrologische variabelen (Richter *et al.*, 1996).

Omvang	Is een maat voor de beschikbaarheid of geschiktheid van habitat. Het beschrijft bijvoorbeeld oppervlakte vernaat gebied, habitat volume (vis, kleine aquatische invertebraten ofwel macrofauna) of de positie van het waterniveau ten opzichte van moeras of de wortelzone van uiterwaardvegetatie.
Timing	De timing van het voorkomen van afvoeren (laag, hoog) kunnen bepalend zijn voor levenscyclusbehoeften of kunnen de mate van stress of mortaliteit beïnvloeden bij extreme afvoeren zoals hoog- en laagwaters.
Frequentie	De frequentie van voorkomen van hoog- en laagwater kan gekoppeld zijn aan de voortplanting of mortaliteit van verschillende soorten, en als zodanig de populatiedynamiek beïnvloeden.
Duur	De duur van een bepaalde afvoer beïnvloedt of een specifieke levenscyclusfase kan worden afgerond of de mate waarin inundatie en uitdroging stressvol kunnen zijn.
Snelheid van verandering	De snelheid van verandering van de waterstand beïnvloedt de plaats waar bepaalde organismen stranden langs oevers of in geïsoleerde plassen, of het selecteert planten uit die meer of minder contact houden met de veranderende grondwaterstand.

Voorbeelden van de hydrologische parameters vindt men in de volgende paragrafen.

2.2 Ecologie & stuwpeilvariatie

Omdat stuwpeilbeheer als aanvulling op de voorgenomen herinrichting van de Maas is opgenomen in het BPRW (Rijkswaterstaat, 2009) is het relevant het belang van stuwpeilvariatie te schetsen voor aquatische ecologie in het algemeen en voor verschillende typen uiterwaardwateren die deel uitmaken van het maassysteem. Ook is het voor de KRW van belang dat gekeken wordt naar de biologische kwaliteitselementen (BKE's) die relevant zijn voor de Maas, te weten waterplanten, macrofauna en vis.

2.2.1 Literatuuronderzoek

Er is gezocht naar literatuur die de relatie tussen de BKE's en waterpeilvariatie beschrijft. Er is niet tot op soortniveau gekeken, gezien het feit dat de KRW ook niet specifiek naar soorten, maar naar functionele groepen kijkt (bijvoorbeeld 'stroomminnend').

Binnen Nederland blijkt vooral onderzoek te zijn gedaan naar de invloed van toepassing van waterstandvariatie op ecologie in meren en dan met name de oever. Voorbeelden hiervan zijn 'planten in de peiling' in het Volkerak-Zoommeer (zie de eindrapportage van Tosserams *et al.*, 1999) en waarnemingen in de Oostvaardersplassen (Vera, 1988). Coops (2002) bundelt de beschikbare kennis binnen Nederland op het gebied van aquatische ecologie, maar ook hier wordt gekeken naar meren. Zulke observaties gelden wellicht voor de meer geïsoleerde onderdelen van het Maassysteem, zoals (aangetakte) plassen, maar niet voor de hoofdgeul.

Internationale wetenschappelijke literatuur is gescand via Web of Science door middel van trefwoorden die betrekking hebben op gestuwde rivieren (zoektermen: 'impounded' of 'reservoir'), peilvariatie ('fluctuation', 'variation' of 'level') en de verschillende BKE's die relevant zijn voor de Maas en oevervegetatie ('invertebrates', 'fish', 'riparian' of 'macrophytes'). Daarnaast is gezocht naar literatuur die zich richt op 'natural or environmental flows' en de BKE's. Ook is nog gezocht op wetenschappelijke literatuur die specifiek de Maas behandelt.

De literatuur richt zich met name op veranderingen in afvoerregime van natuurlijk naar niet-natuurlijk en veel minder op het herstel hiervan. Als het over herstel gaat, dan vaak over afvoer en niet over waterstanden binnen gestuwde riviertrajecten (Poff *et al.*, 2010). Ook richt de literatuur zich voornamelijk op stroomafwaartse effecten van stuwen en dammen, waar het in dit geval om stroomopwaartse effecten gaat. In het algemeen is er dus weinig feitelijke en kwantitatieve informatie te vinden over de invloed van waterstandvariatie op water- en oeverplanten, macrofauna en vissen in stromende wateren. Er is meer informatie beschikbaar voor meren en wetlands dan voor rivieren (bijvoorbeeld Nishihiro & Washitani, 2009). Wat de Maas betreft is er geen specifieke literatuur over oevers en stuwpeilbeheer gevonden. De wetenschappelijke literatuur over de Maas van de afgelopen 10 jaar richt zich qua hydrologie vooral op de gevolgen van klimaatverandering en qua ecologie vooral op vismigratie en terrestrische vegetatie en fauna.

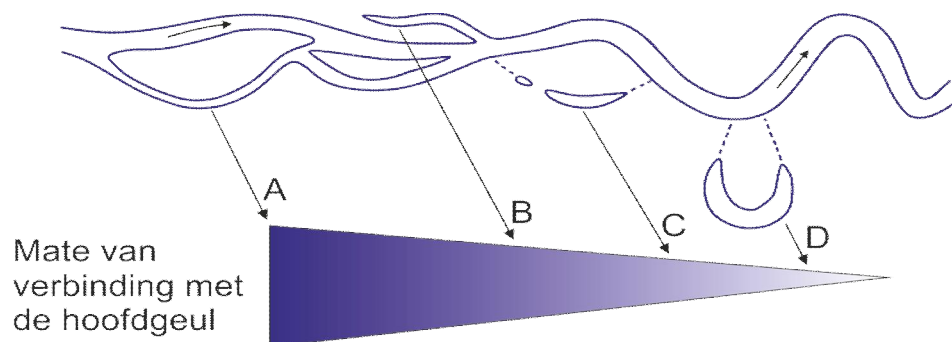
Gezien de beschikbare informatie is voor inschatting van het effect van stuwpeilvariatie gebruik gemaakt van de volgende bronnen:

- Expert-oordelen om de effectiviteit in te schatten;
- Literatuur die over de gevolgen van veranderde afvoerregimes en de regulatie van het waterpeil handelt. Aangenomen wordt dan dat het weer toepassen van variatie de gevolgen (deels) teniet doet;
- Informatie over meren die zich wel richt op herstel. Deze kan gebruikt worden voor de stilstaande uiterwaardplassen.

2.2.2 Algemeen

De Maas

Van belang is dat niet alleen de hoofdgeul, maar ook nevengeulen, strangen en overstromingsgebieden deel uitmaken van het systeem. Rivier is dus een wat breder begrip dan alleen de hoofdgeul. Figuur 2.3 beschrijft de verschillende typen water die zoal in rivieren worden aangetroffen: hoofdgeul, meestromende nevengeul, eenzijdig aangetakte strang (of plas) en meer geïsoleerde plassen.



Figuur 2.3 Connectiviteitsgradient langs een natuurlijke rivier. A: meestromende geul; B: aangetakte strang; C: afgesloten strang; D: geïsoleerde verlandende strang.

Van nature in rivieren voorkomende soorten hebben zich aangepast aan de stroming en fluctuaties van de rivier. In natuurlijke omstandigheden zijn veel soorten verdeeld over de gradiënt "mate van verbinding met de hoofdgeul" (o.a. Petts en Amoros, 1996; Van den Brink *et al.*, 1996; Tockner *et al.*, 1998). Bij grote afvoeren zijn alle systemen verbonden via water, maar dat is langs de Maas gemiddeld een paar weken per jaar het geval, hoofdzakelijk in de winter.

Maatlatten

De Maas is een 'langzaam stromende rivier/nevengeul op zand/klei' (R7; Van der Molen & Pot, 2007). De KRW-maatlat hiervoor bestaat uit de onderdelen waterplanten, macrofauna en vis. In deze maatlatten is het brede karakter van de rivier meegenomen: ook soorten van stilstaande en plantenrijke wateren (limnofiel) maken er deel van uit. Bij vissen komt dit nadrukkelijk naar voren, maar ook bij waterplanten is hier bij het opstellen van maatlatten en doelen rekening mee gehouden. Arealen aan waterplanten zullen groter zijn in de uiterwaardplassen dan in de hoofdgeul. In tabel 2.2 zijn de onderdelen van de KRW-maatlat voor de Maas weergegeven.

Tabel 2.2 Onderdelen van de KRW-maatlat voor R7-wateren. (Van der Molen & Pot, 2007).

BKE	Soortensamenstelling	Abundantie
Waterplanten	Op basis van abundantieklassen	Bedekking van submers, drijfblad en emers
Macrofauna	Kenmerkend EPT-taxa (correctiefactor)	Dominant positief Dominant negatief
Vis	Diadroom Reofiel Limnofiel	Reofiel Limnofiel

Submers = ondergedoken; Emers = boven het water uitkomend; EPT= Ephemeroptera, Plecoptera, Trichoptera; Diadroom = migrerend van/naar zee; Reofiel = stromingsminnend; Limnofiel = voorkeur voor stilstaand water met vaak rijke onderwaterbegroeiing.

Huidige toestand (Kerkum, 2010)

Onderzoeksresultaten van de natuurvriendelijke oevers die langs de Maas zijn aangelegd worden hier beschreven om een beeld te krijgen van hun huidige toestand. Fonteinkruiden (met name Rivierfonteinkruid) en kleine egelskop komen voor in de hoofdgeul, terwijl in delen waar vrij stroming mogelijk is (zoals bij de stuwpasserende nevengeulen) vlottende waterranonkel gevonden. Op luwere locaties wordt meer moerasvegetatie aangetroffen. Ook wordt aangegeven dat de locaties met waterplanten en luwe plaatsen in de geulen, van belang zijn als paai- en opgroeigebied van vis. De vrij eroderende oevers, waar stortsteen is verwijderd, lijken het meest succesvol. Verwacht wordt dat de herstelprocessen die lijken op te treden door het meer natuurlijke beheer nog enkele tientallen jaren zullen duren. Uit huidig onderzoek blijkt dat vrij eroderende oevers 7 tot 10 jaar na aanleg een evenwichtssituatie kunnen bereiken.

2.2.3 Hoofdgeul en beekmondingen

Door het gestuwde karakter van de hoofdgeul kan deze worden beschouwd als een 'nieuw' ecosysteem ('novel ecosystem', zie Hobbs *et al.*, 2006). Het normaal gesproken stromende (lotische) karakter, heeft plaatsgemaakt voor meer stilstaande (lentische) omstandigheden. Gezien het feit dat stroming een belangrijke randvoorwaarde is voor de ecologie in de hoofdgeul dient hier bij het beoordelen van de ecologische meerwaarde van stuwpeilvariatie rekening mee gehouden te worden.

Het is een partiële restoratie van oorspronkelijke omstandigheden: de doorgaans gestuwde condities met weinig stroming blijven immers onveranderd en alleen het aspect van variërende waterstanden wordt met deze maatregel gedeeltelijk hersteld.

Zoals genoemd richt literatuur zich met name op afvoer en niet zozeer op waterstanden (Bunn & Arthington, 2002; zie Poff *et al.* (2010) voor een gemeenschappelijke visie hoe de gevolgen van veranderde afvoer ecologisch beoordeeld moeten worden). Met betrekking tot waterplanten is er niet veel informatie in literatuur beschikbaar, maar Jansson *et al.* (2000) noemen wel dat vrij afstromende rivieren over het algemeen hogere abundanties en soortenaantallen kennen. Nilsson *et al.* (2010) geven aan dat hogere abundanties en soortenaantallen deels komen door veranderingen in de timing van piekafvoeren en overstromingen, aangezien verspreiding via water op piekafvoeren is afgestemd. Daarnaast is een stuw of dam een fysieke barrière. Omdat het om de verspreiding via water gaat, geldt dit mogelijk ook voor waterplanten. Ook met betrekking tot macrofauna blijkt er een effect in stuwpanden te zijn. Ogbeibu & Oribhabor (2002) geven aan dat enkele stromingsminnende soorten zoals haften in lagere dichtheden voorkomen in gestuwde delen, en dat soorten van stilstaande wateren (in dit geval borstelarme wormen) hier dominant zijn. Voor vis wordt door Haxton & Findlay (2008) genoemd dat veranderingen in het stromende karakter leiden tot een afname in abundantie van stromingsminnende soorten in het riviersysteem.

In de hoofdgeul van de Maas lijken er dus niet veel kansen voor soorten van stromende wateren, maar liggen de kansen eerder bij vegetatieontwikkeling in de oeverzone zoals bijvoorbeeld net benedenstrooms van het stuw bij Linne (Figuur 2.4). Er valt winst te behalen door het waterpeil weer min of meer natuurlijk te laten variëren waardoor diversiteit kan worden gestimuleerd. Zo kan op natuurvriendelijke oevers een (water)plantenrijk systeem ontstaan met daaraan gebonden plantminnende vis en macrofauna. Ook deze gilden zijn van belang voor de KRW.

De beekmondingen, maar ook stuwpasserende nevengeulen en vispassages, zijn juist elementen waarbij stroming nog een dominante rol speelt. In deze delen kan dus wel worden gestreefd naar soorten van meer stromend water. Bij stuwpeilverlaging zal het stromend areaal zelfs vergroot worden aangezien de beken over een langer traject vrij kunnen afstromen.



Figuur 2.4 Waterplanten in de hoofdgeul bij de Lus van Linne (bron: Kerkum, 2010).

2.2.4 Uiterwaardplassen

De meeste uiterwaardplassen in het gebied zijn ontstaan door grondwinning in de 20^e eeuw en staan niet het gehele jaar in verbinding met de rivier. Uiterwaardplassen zijn van nature stilstaand. Als ze in verbinding staan met de rivier volgt de waterstand het rivierpeil, wat een pendelbeweging geeft bij stijgende of dalende afvoeren.

Sommige plassen kunnen meestromen bij zeer hoge afvoeren, maar dit is afhankelijk van vorm, diepte, beschutting en locatie en oriëntatie ten opzichte van de stroombanen. De levensgemeenschappen worden volledig gedomineerd door soorten van stilstaand water. De ecologische winst door stuwpeilvariatie moet op basis van dit gegeven beoordeeld worden.

Coops (2002) beschrijft het belang van stuwpeilvariatie voor stilstaande wateren in detail. Het waterpeil in het groeiseizoen is van invloed op de hoeveelheid licht die de bodem bereikt en daarmee op de kieming en groei van waterplanten. Veranderingen in het stuwpeil (van stabiel naar min of meer natuurlijk) kunnen zo zorgen voor drastische veranderingen richting een waterplantenrijk systeem. Een aspect dat hierbij ook een rol speelt is verwijdering van nutriënten uit het systeem doordat denitrificatie optreedt door droogval. Dit kan de kans op algenbloeien verkleinen. De aan- of afwezigheid, maar ook de dichtheid en soortensamenstelling van waterplanten heeft een sterke invloed op de soortensamenstelling van macrofauna. Daarnaast is de onderwatervegetatie van belang als paai- en opgroeigebied voor vis en plantminnende vis in het algemeen.

Al met al liggen ook in de uiterwaardplassen de kansen bij een systeem met een hoge abundantie aan waterplanten en jonge en plantminnende vis en macrofauna.

2.2.5 Oevers

Het drogere deel van de oevers, ongeveer het deel dat minder dan 7 dagen in de lente en zomer wordt overstroomd, is niet direct van belang voor KRW-beoordeling op basis van de BKE's. Aangezien deze echter wel indirect van invloed zijn omdat hierdoor relevante habitats ontstaan wordt dit aspect toch behandeld.

Voor oevervegetatie is de timing van overstromingen (en dus veranderingen in de waterstand) van belang voor de groei van wilgen en populieren (zie figuur 2.5) en concurrentie ten opzichte van andere oevergebonden vegetatie zoals riet. Verderop is hier een uitgebreid voorbeeld van gegeven: het belang van de hydrologie voor de zaadverspreiding en kieming bij wilgen en populieren. Overstroming van de oevers en oevervegetatie wordt daarnaast van belang geacht als paai- en opgroeigebied voor plantminnende en jonge vis zoals Snoek (Coops, 2002). Daarnaast is hout een geschikt hard substraat voor specifieke macrofaunagemeenschappen.

Begrazing door watervogels wordt als een belangrijke druk op de groei van waterplanten gezien. Aangezien deze zich vooral nabij graslanden en akkers dicht bij de rivier ophouden vormt een goed ontwikkelde oevervegetatie een effectieve barrière, waardoor deze druk verlicht kan worden. Dit is bijvoorbeeld waargenomen in de Vreugderijkerwaard en langs de Nederrijn/Lek (Peters & Kurstjens, 2009; van Schie, 2009).



Figuur 2.5 Op sommige oevers zijn wilgen opgeslagen. Rivier km 177 – Stuwpannd Lith (foto: Arcadis).

Voorbeeld: het belang van de hydrologie voor de zaadverspreiding en kieming bij Wilgen en Populieren

De vestiging en overleving van wilgen en populieren is sterk afhankelijk van de hydrologische omstandigheden. Door deze omstandigheden te wijzigen zou het vestiging in positieve of negatieve wijze kunnen beïnvloeden. In Klink & Peters (2005) is deze relatie al kort genoemd, maar niet nader onderbouwd. Hieronder een korte onderbouwing vanuit de literatuur.



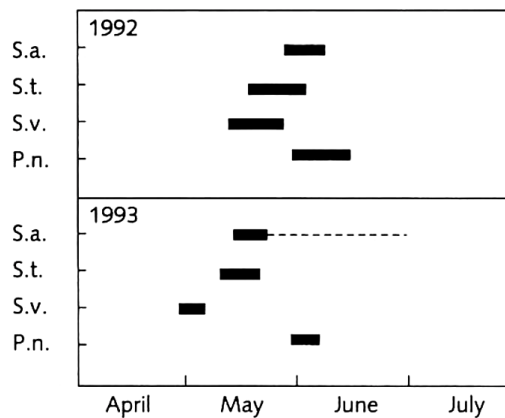
Figuur 2.6 Zaailingen van zwarte populier op de oever van de Allier, Frankrijk. De zaden worden o.a. door water verspreid en vestigen zich in rijen afhankelijk van de waterstand op de oever (foto: G.W. Geerling).

Intensiteit en duur

In figuur 2.6 is goed te zien dat Populieren zich langs de waterlijn vestigen, afhankelijk van de intensiteit van de afvoer is dat hoger of lager op de oever. Een langzaam terugtrekkende waterstand is optimaal voor vestiging van Wilgen en Populieren, waarbij Zwarte Populier zich op hogere of meer droogvallende gronden (bijvoorbeeld een mengsel van grof zand/grind) staande kan houden. De factoren 'duur' en 'snelheid van verandering' uit tabel 2.1 beïnvloeden dus de vestiging van deze soorten.

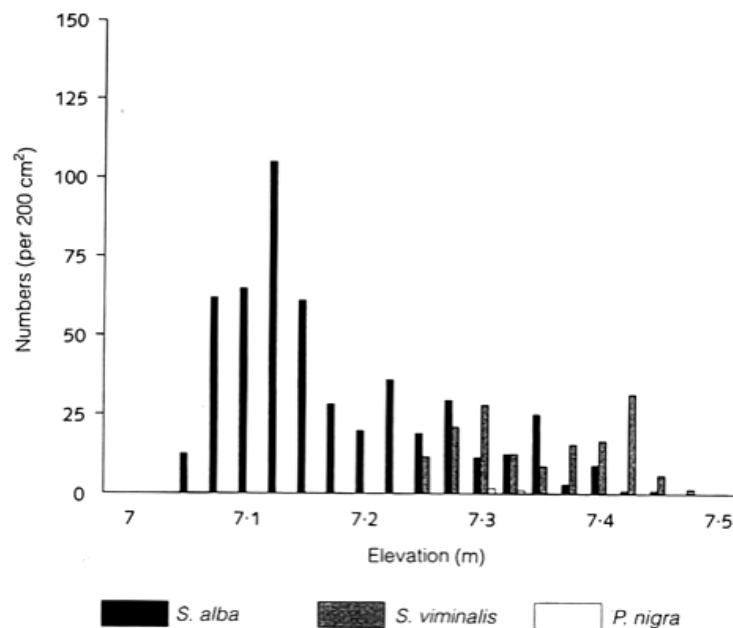
Timing

In figuur 2.7 is goed te zien dat wilgen hun zaad op verschillende momenten verspreiden in het voorjaar. Deze timing is een belangrijke factor in de succesvolle verspreiding van soorten. Wilgen en populieren koloniseren voor een deel dezelfde pionier vlakten, maar door hun zaad op verschillende tijdstippen (en dus met verschillende waterstanden) te verspreiden, is de kans groter dat zaden van verschillende soorten op verschillende oeverhoogten landen. Hierdoor wordt onderlinge concurrentie geminimaliseerd.



Figuur 2.7 Periode van zaadverspreiding (data 1992, 1993) van *Salix alba* (S.a.), *S. triandra* (S.t.), *S. viminalis* (S.v.) en *Populus nigra* (P.n.). In 1993 eindigde de dispersie piek van *S. alba* rond 20 mei, maar tot begin juli werd nog sporadisch zaad gevonden (van Splunder et al., 1995).

Figuur 2.8 laat zien dat dit ook zo werkt. Op een hoogtegradiënt langs de Waal zijn de verschillende soorten uitgesorteerd. De zonering is deels te verklaren door de timing van zaadverspreiding, deels ook door eigenschappen van de soort zelf ten aanzien van stressgevoeligheid voor inundatie of uitdroging.

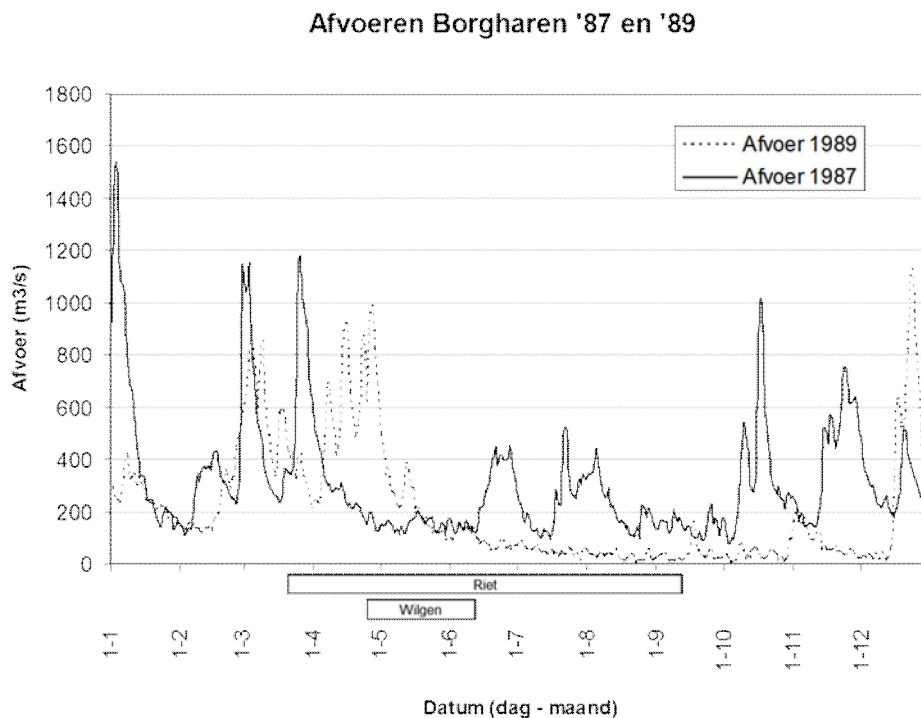


Figuur 2.8 Gemiddelde dichtheid van zaailingen (1993) van *Salix alba*, *S. viminalis* en *Populus nigra* langs transecten van een hoogtegradiënt in de Klompenwaard en Staartjeswaard langs de Waal. De hoogten zijn gestandaardiseerd naar hoogten bij Nijmegen (m NAP) (van Splunder et al., 1995).

Afvoeren van de Maas

In figuur 2.9 zijn van de jaren 1987 en 1989 de afvoeren bij Borgharen te zien. Elk van deze jaren heeft tien of meer piekafvoeren die langs de Maas vooral gerelateerd zijn aan regenval in het stroomgebied. Peters & Klink (2005) hebben voor de Waal laten zien wat een goed en een slecht jaar is voor wilgenkieming. In figuur 2.9 is hetzelfde weergegeven, maar nu voor afvoeren van de Maas.

Gezien de afvoeren in de zomer is 1987 een veel natter jaar geweest dan 1989. Een hogere zomerafvoer heeft een negatieve invloed op de kieming en vestiging van de in het voorjaar verspreide zaden. Een korte analyse van periode 1911 tot 2007 geeft aan dat, er 2, 13 en 28 jaren een afvoer groter dan respectievelijk 800, 600 en 400 m³/s hebben gehad in de periode juni tot en met augustus.



Figuur 2.9 Afvoeren bij Borgharen in een relatief goed (1989) en slecht jaar (1987) voor wilgenkieming, tevens aangegeven de kiemperiode van wilgen en (vermoedelijke) kiemingsperiode van Riet (van Splunder et al. 1995) (Aangepast naar Peters & Klink 2005, nu geen afvoeren van de Waal gebruikt maar van de Maas). Een voor wilgen gunstig jaar heeft een hogere waterafvoer in het voorjaar en een langzaam dalende afvoer in de zomer.

2.3 Conclusies

Hieronder de belangrijkste conclusies uit dit hoofdstuk die in volgende hoofdstukken en in de conclusies en aanbevelingen worden meegenomen.

- Aan een natuurlijk verloop van de waterstandvariatie zijn de vorming en instandhouding van de fysieke habitat, de levenscycli van soorten en de verspreiding van soorten gekoppeld. Daaruit volgt, dat wanneer het regime is aangepast, invasieve soorten de aan lokale omstandigheden aangepaste soorten beconcurreren. Hieruit kan volgen dat (gedeeltelijk) herstel van het natuurlijk regime de terugkomst van karakteristieke soorten bevordert.
- Er is goede literatuur beschikbaar over ecologisch relevante hydrologische parameters, die zich laten samenvatten onder de omvang, timing, frequentie, duur en snelheid van verandering van afvoeren.
- Naast een variatie van de waterstand gedurende het jaar, is waterstandvariatie (in dezelfde maanden) tussen jaren zeker zo belangrijk voor diversiteit van oevervegetatie.

- Hoogwaters tijdens het groeiseizoen beïnvloeden de vegetatiezonering in uiterwaarden sterk.
- Bovenstaande punten zijn geïllustreerd met de groei van wilgen op de oevers.
- Voor KRW soorten is waterstandvariatie van belang omdat zij ten eerste zorgt voor dynamische processen en diversiteit aan habitat qua waterdiepte en droogval, ongeacht de periode van variatie. Ten tweede zijn er soorten die specifiek reageren op waterstandvariatie, met name op droogval van oevers. In de hoofdgeul en uiterwaardplassen zijn er kansen voor plantminnende soorten. Bij de beekmondingen, stuwpasserende nevengeulen en stroomopwaarts in het stuwpand zijn de omstandigheden meer stromend, en zijn er kansen voor reofiele soorten.
- Waterstandvariatie op vlakke oevers geeft meer aan variatie blootstaand habitat dan waterstandvariatie op steile oevers.

3 Hydrologie Gestuwde Maas

In stuwpanden kunnen op een tweetal manieren waterstandvariaties worden bewerkstelligd. Ten eerste door variatie in de natuurlijke afvoer en ten tweede door het stuwpeil te variëren. Om inzicht te krijgen in de mogelijkheden voor waterstandvariaties door stuwpeilbeheer in het stuwpand, zijn de mogelijkheden onderzocht van de waterstandvariatie ten gevolge van afvoerfluctuaties en rechtstreekse verlaging of verhoging van het stuwpeil.

Zoals in paragraaf 1.2 beschreven worden in het rapport de volgende definities gehanteerd: stuwpeil is gerelateerd aan waterstanden direct bovenstrooms van de stuw, en met waterstand worden de waterstanden in de rest van het stuwpand bedoeld. Dus, met de maatregel stuwpeilvariatie bevordert men de waterstandvariatie in het stuwpand.

3.1 Mogelijkheden per stuwpand voor stuwpeilvariatie

De mogelijkheden om het stuwpeil te variëren zijn beperkt door een hele reeks van randvoorwaarden die in een quickscan zijn onderzocht. De belangrijkste randvoorwaarde, de aanleiding om de stuwen te bouwen, is de bevaarbaarheid van de Maas. Het scheepvaartverkeer bepaalt de minimale hoogte van het stuwpeil omdat de schepen een minimaal gegarandeerde vaardiepte nodig hebben bij de drempel van een sluis; bestaande uit de diepgang en een minimum kielspeling. De vaarwegen (inclusief de sluizen) worden in klassen van maximaal toegelaten diepgang ingedeeld (afhankelijk van de locatie is dat 3,00 of 3,50 m). Voor sommige sluizen kan een afwijkende maximale diepgang worden vastgesteld (bv. Sluis Grave: 3,20 m en sluis Lith: 4,00 m). In de sluizen is een minimale kielspeling van 0,70 m vereist. Op de rivier (of het kanaal) moet een minimale kielspeling van 40% van de op die vaarweg maximaal toegelaten diepgang in stand gehouden worden middels onderhoudsbaggerwerk. Door het natuurlijk verhang van de bodem is de waterdiepte bovenstrooms in het stuwpand het kleinst, en de vaardiepte ter plekke bepaalt de minimaal noodzakelijke waterstand ter plaatse. De bodemhoogte met daarbij opgeteld de minimale vaardiepte geeft de minimale waterstand ten behoeve van de bevaarbaarheid weer. In tabel 3.1 vindt men de stuwpeilen en de minimaal benodigde waterstanden ter plaatse van betreffende sluizen, dit laatste op basis van door RWS-DLB aangegeven sluisdrempelhoogten en minimale vaardiepte (diepgang + kielspeling) in betreffende sluizen.

Aan benedenstroomse zijde van de stuwpanden is normaal gesproken meer ruimte voor stuwpeilverlaging dan aan bovenstroomse zijde. Uit overleg met de klankbordgroep kwam naar voren dat in eerste instantie de bovenstroomse sluis bepalend is voor het stuwpeil, maar dat andere factoren (ondiepten, steigers, woonboten, en dergelijke) ook minimale waterstanden langs het stuwpand kunnen bepalen. Het is ook mogelijk een deel van het jaar een diepgangbeperking in te stellen, zoals bij Roermond-beneden en Linne-beneden, waar het streefpeil alleen wordt gehaald bij hogere afvoeren op de Maas.

Tabel 3.1 Stuwpeilen en minimale lokale waterstanden t.b.v. scheepvaart. Indien de minimale waterstand t.b.v. de scheepvaart het stuwpeil overschrijdt is er sprake van een knelpunt. De lokaal benodigde waterstanden worden bepaald door de sluisdrempelhoogte en de vaardiepte ter plaatse, afhankelijk van de locatie is dat 3,70, 3,90, 4,20 of 4,70 m. Achter de sluis is de betreffende rivierkilometer aangegeven (rkm).

Pand / stuw	Stuwpeil (m+NAP)	Locale waterstand t.b.v. scheepvaart ¹⁾ (m+NAP)	Opmerkingen
Roermond	+16,85		
Roermond-boven (rkm 80)		+11,90 + 3,70 = +15,60	Bij deze locatie is stuwpeilverlaging mogelijk
Linne-beneden (rkm 74)		+13,40 + 3,70 = +17,10	Alleen haalbaar met verhang op de rivier (anders diepgangbeperking)
Belfeld	+14,15		
Belfeld-boven (rkm 100)		+7,26 + 4,20 = +11,46	Bij deze locatie is stuwpeilverlaging mogelijk
Heel-beneden (rkm 85)		+9,97 + 4,20 = +14,17	Hier is geen waterstandverlaging mogelijk zonder hinder scheepvaart.
Roermond-beneden		+10,71 + 3,70 = +14,40	Alleen haalbaar met verhang op de rivier (anders diepgangbeperking)
Lith	+4,90		
Lith-boven (rkm 200)		-0,25 + 4,70 = +4,45	Bij deze locatie is stuwpeilverlaging mogelijk
Grave-beneden²⁾ (rkm 176)		+1,01 + 3,90 = +4,90	Hier is geen waterstandverlaging mogelijk zonder hinder scheepvaart.

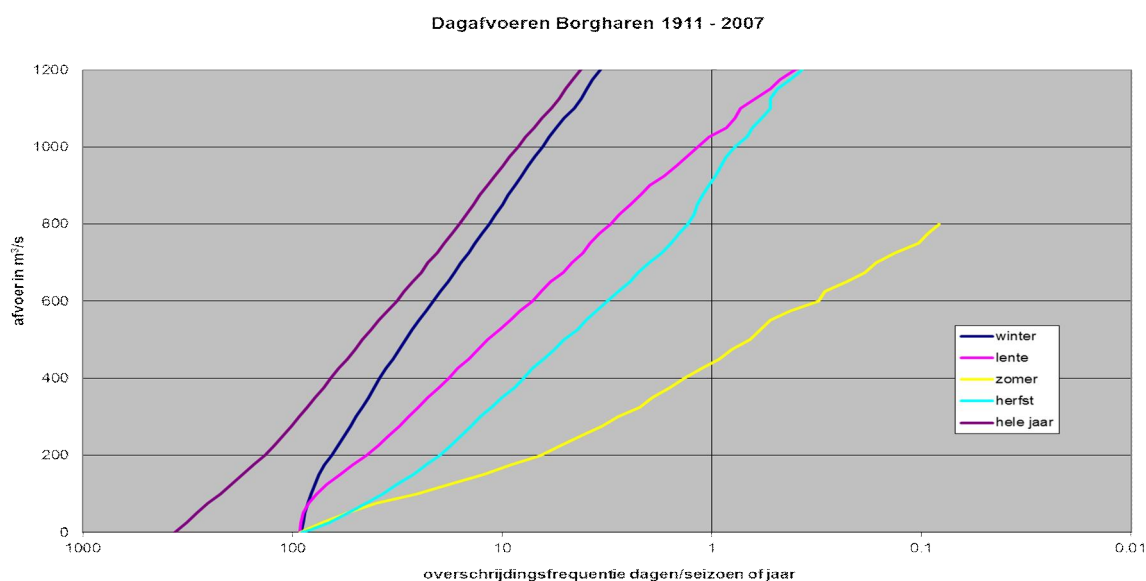
¹⁾De lokaal gewenste waterstand is gelijk aan de "sluisdrempelhoogte" + "diepgang scheepvaart" + "kielspeling".

NB. bij Linne en Roermond is de gewenste waterstand hoger dan het stuwpeil.

Naast het verlagen van het stuwpeil, kan het stuwpeil ook worden opgezet om ecologische variatie te bereiken. Het opzetten van het stuwpeil is voor de scheepvaart geen probleem maar wordt eventueel beperkt door de minimale doorvaarthoogte bij bruggen. Dit laatste is pas het geval bij hogere waterstanden ($>1200 \text{ m}^3/\text{s}$) en voor peilvariatie bij lagere afvoeren is het niet direct relevant. Het is echter niet direct duidelijk of er vanuit hydraulisch oogpunt een bovengrens is. Een bovengrens kan worden bepaald door andere randvoorwaarden en vanuit de ecologie. Bijvoorbeeld wanneer oevers als geheel langdurig onder water komen te staan waarbij terrestrische oevervegetatie en habitat voor oeverbewoners als oeverwaluw verdwijnen.

3.2 Afvoeren Borgharen

De afvoeren van de Maas bij Borgharen beïnvloeden de waterstanden in de stuwpannen (zie figuur 3.3). De grootte van de waterstandvariatie verschilt per stuwpan en wordt kleiner naarmate het pand meer benedenstrooms in de rivier ligt. Voor de ecologie is de afvoeroverdeling over de verschillende seizoenen van belang. Op basis van gegevens van de gehele meetreeks van Borgharen (periode 1911-2007) zijn de overschrijdingsfrequenties berekend van de afvoeren over het hele jaar en opgesplitst naar seizoen, zie figuur 3.1. Na Borgharen stromen alleen kleine rivieren de Maas in, en deze leveren slechts een kleine bijdrage aan de totale afvoer. De gegevens van Borgharen volstaan om het afvoerregime van de stuwpannen te karakteriseren in deze studie.



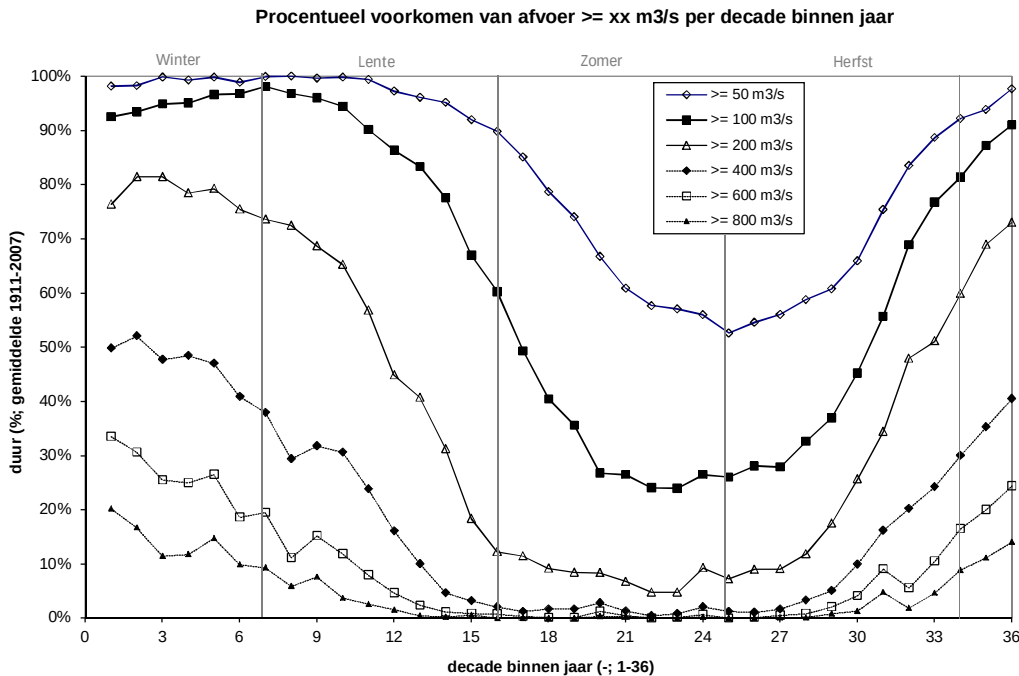
Figuur 3.1 De overschrijdingsfrequentie van afvoeren (m^3/s) in dagen (x-as logaritmisch) van afvoeren Borgharen over het gehele jaar (365 dagen) en de meteorologische seizoenen (gemiddeld 91 dagen).

De figuur 3.1 laat zien dat de hoogste afvoeren in de winter en lente voorkomen, terwijl de zomer de laagste afvoeren laat zien. In tabel 3.2 zijn de overschrijdingen als getal gegeven, zowel per seizoen als jaartotaal. Als voorbeeld kan men aflezen dat een afvoer hoger dan $200 \text{ m}^3/\text{s}$ minder dan 6,6 dagen per zomer voorkomt. Voor de berekeningen zijn meteorologische seizoenen aangehouden. Meteorologische seizoenen beginnen, om de klimatologische berekeningen eenvoudig en uniform te houden, steeds op de eerste dag van de maanden december (winter), maart (lente), juni (zomer) en september (herfst).

Tabel 3.2 Aantal dagen overschrijding van de afvoeren bij Borgharen (m^3/s) per meteorologisch seizoen.

Afvoer	Winter	Lente	Zomer	Herfst	Totaal
50	87,1	88,6	54,9	54,5	285,0
75	84,5	83,7	39,6	44,5	252,3
100	81,5	76,6	25,5	37,0	220,6
150	74,5	59,3	12,3	26,6	172,6
200	64,9	44,6	6,6	20,0	136,1
300	49,6	28,0	2,8	12,7	93,1
400	38,2	18,0	1,4	7,9	65,4
500	28,9	11,7	0,7	5,1	46,3
600	21,2	7,2	0,3	3,2	31,9
700	15,8	4,7	0,2	2,0	22,6
800	11,5	3,0	0,1	1,3	16,0
900	8,7	2,0		1,0	11,7
1000	6,4	1,2		0,8	8,3

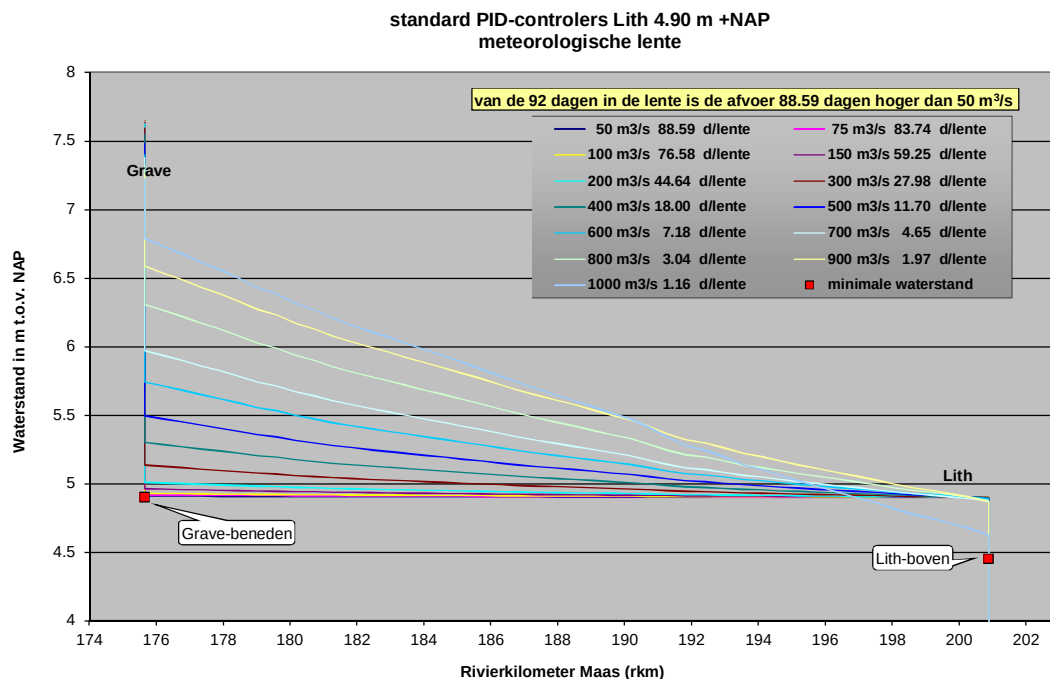
In figuur 3.2 zijn de overschrijdingen als percentage gegeven van het voorkomen per 10-daagse periode (decade) gedurende jaren uit de meetreeks 1911 tot en met 2007. Goed is te zien dat in de decaden 16 tot 24 (Zomer) de afvoeren in ongeveer 10% van het aantal meetjaren niet boven de $200 \text{ m}^3/\text{s}$ komt, dus in 90% van het aantal jaren lager dan $200 \text{ m}^3/\text{s}$ is.



Figuur 3.2 Het procentueel voorkomen van de afvoeren (50 tot 800 m³/s) in de jaren 1911-2007 bij Borgharen per 10 daagse periode (decade) van een jaar. De seizoenen in decaden zijn Lente 7-15, Zomer 16-24, Herfst 25-33 en Winter 34-6. De zomerafvoeren komen in ongeveer 90% van de jaren niet boven de 200 m³/s uit.

3.3 Bestaande waterstandvariatie

Hoe groot is de reeds bestaande waterstandvariatie in de stuwpanden? Om deze vraag te beantwoorden zijn voor alle stuwpanden SOBEK berekeningen gedaan met (lokale) maximale afvoeren tot 1000 m³/s, of te wel een afvoer die (bij Borgharen) gemiddeld ongeveer 7 dagen per jaar voorkomt en met name in de winter, zie tabel 3.2. Om inzicht te krijgen in de afvoervariatie per seizoen, zijn de peilvariaties opgesplitst naar de 4 meteorologische seizoenen. In figuur 3.3 is een voorbeeld te zien van het resultaat van de SOBEK berekeningen voor stuwpand Lith in het lenteseizoen. De resultaten voor andere stuwpanden staan in de bijlage "H3 Stuwkrommen".



Figuur 3.3 Waterstandvariatie als gevolg van afvoerfluctuaties. De y-as geeft de waterstanden ten opzichte van NAP, de x-as geeft locatie in rivierkilometers. In dit voorbeeld van stuwpand Lith is te zien dat er tussen een afvoer van 50 en 1000 m³/s een fluctuatie zit van ongeveer 1,80 m. Met rode vierkanten zijn de gewenste waterstanden t.b.v. scheepvaart uit tabel 3.1.

De figuur laat zien dat in de huidige situatie de waterstanden gaan stijgen vanaf een afvoer tussen de 100 en 200 m³/s, aanzienlijke waterstandverhogingen komen echter pas voor bij afvoeren groter dan 400 m³/s, die vanzelfsprekend minder vaak voorkomen (tabel 3.2). Ter indicatie 200 m³/s is iets minder dan de langjarige gemiddelde afvoer van de Maas (230 m³/s) en wordt gedurende het jaar 136 dagen overschreden m.a.w. gedurende 229 dagen is de waterstand nagenoeg horizontaal in het stuwpand. Bij hogere afvoeren laat de stuw meer water door om de waterstand direct bovenstrooms van de stuw te handhaven, waardoor de waterstand benedenstrooms van de stuw stijgt. In figuur 3.4 is dit voor de stuw Grave weergegeven waarbij “Grave-Boven” (= waterstand direct bovenstrooms van stuw Grave) helemaal benedenstrooms in stuwpand Grave ligt (net voor de stuw) en “Grave-Beneden” (= waterstand direct benedenstrooms van de stuw Grave) de start is van het volgende stuwpand (Lith). Op de x-as staat de afvoer weergegeven, een stijgende afvoer leidt dus tot hogere waterstanden benedenstrooms van de stuw (= bovenstroomse kant van het volgende stuwpand).

Wat opvalt, is dat het stuwpeil van Grave iets daalt bij hogere afvoeren, dit is om de waterstand bij de ingang van het Maas-Waalkanaal niet te laten stijgen, zodat sluis Heumen zo lang mogelijk open kan blijven staan (sturing op waterstand bij sluis Heumen, i.v.m. doorvaarthoogten onder bruggen in het Maas-Waalkanaal).

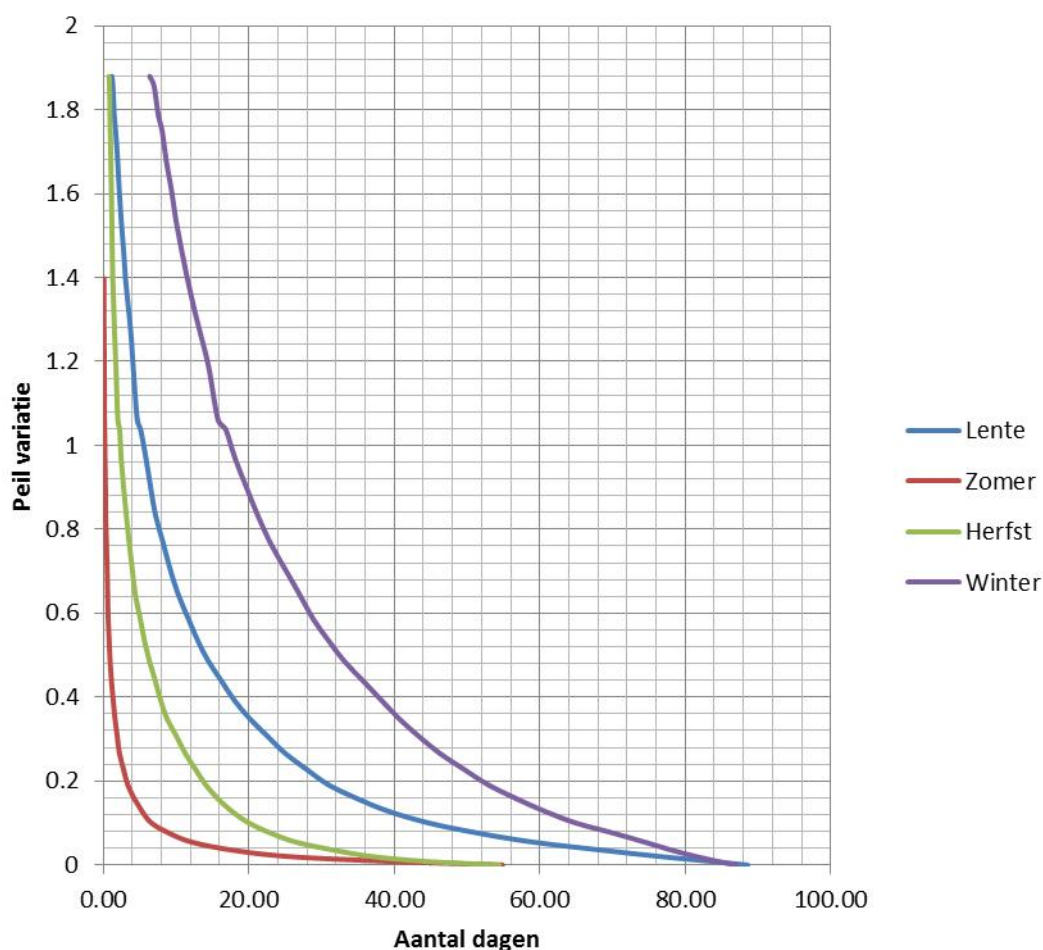


Figuur 3.4 De werking van een stuw bij stijgende afvoer, voorbeeld stuw Grave. Afgezien van de daling vanwege sluis Heumen (zie tekst) wordt bovenstrooms het stuwpeil constant gehouden, benedenstrooms neemt de waterstand toe bij toenemende afvoer, totdat het boven de 1000 m³/s nagenoeg even hoog staat, de stuw wordt dan geopend (gestreken) waarna de Maas vrij afstroomt.

De bestaande variatie is dus het grootst aan de bovenstroomse zijde van het stuwpand en neemt afhankelijk van het verval van de rivier, grofweg lineair af met de afstand vanaf de bovenstroomse stuw, zie figuur 3.3. Aan de benedenstroomse zijde van het stuwpand is de waterstandvariatie zeer gering, (in dit voorbeeld bij stuw Grave, maar dit geldt voor elke stuw in de drie beschouwde stuwpanden). De waterstand direct bovenstrooms van de stuw stijgt pas wanneer de Maas bij zeer hoge afvoeren vrij afstroomt.

3.4 Conclusies per stuwpand (huidige waterstanden)

De bestaande waterstandvariatie is het grootst in de bovenstroomse delen van de drie beschouwde stuwpanden. De grootte van deze waterstandvariatie varieert met de afvoeren en de ligging van het stuwpand. In figuur 3.5 is te zien hoe groot de waterstandvariatie bovenstrooms in het stuwpand Lith is, en hoeveel dagen deze voorkomt per seizoen. In de lente (maart-april-mei) is de waterstandvariatie nog behoorlijk groot, in de zomer (juni-juli-augustus) is deze laag. Deze waarden zijn gemiddelden over de periode 1911 tot en met 2007. Daarnaast is ook de interjaarlijkse variatie van invloed op de ecologie (zie hoofdstuk 2).



Figuur 3.5 Voorbeeld stuwpand Lith. Bestaande variatie van waterstanden bovenstrooms in het stuwpand ten opzichte van de laagst voorkomende waterstand (= stuwpeil). Uitgezet is het gemiddeld aantal dagen dat het waterstandsverschil voorkomt in de vier seizoenen (op basis van afvoerstatistiek Borgharen 1911-2007).

Tabel 3.3 Grootte van waterstandvariatie bovenstrooms in het stuwpand (in meter t.o.v. stuwpeil) met gemiddeld aantal dagen overschrijding per seizoen (afvoerstatistiek Borgharen 1911-2007). De laagst optredende waterstand is gelijk aan het Stuwpeil. In de zomer is er vrijwel geen waterstandvariatie.

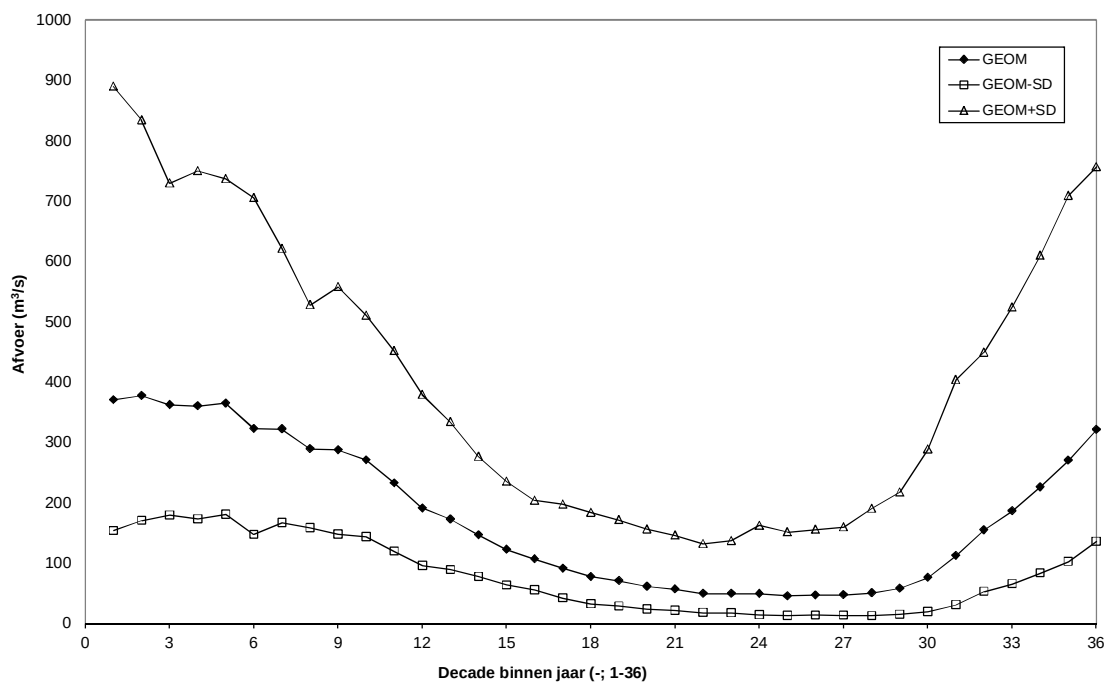
Stuwpand	Aantal dagen overschrijding per seizoen	Winter	Lente	Zomer	Herfst
Linne - Roermond	1 dag	3,16	2,62	0,84	2,28
	7 dagen	2,49	1,36	0,24	1,11
	30 dagen	0,98	0,42	0,06	0,10
	Laagste (absoluut m + NAP)	16,85	16,85	16,85	16,85
Roermond - Belfeld	1 dag	2,95	2,16	0,50	1,66
	7 dagen	1,91	0,86	0,12	0,50
	30 dagen	0,60	0,22	0,02	0,04
	Laagste (absoluut m + NAP)	14,14	14,14	14,14	14,14
Grave - Lith	1 dag	2,36	1,93	0,49	1,69
	7 dagen	1,86	0,84	0,11	0,45
	30 dagen	0,54	0,20	0,03	0,04
	Laagste (absoluut m + NAP)	4,90	4,90	4,90	4,90

Ecologische potenties van peilvariatie in stuwpanden van de Maas

3.6 Tussenjaarlijkse variatie in afvoeren

In hoofdstuk 2 is beschreven dat de tussenjaarlijkse variatie van waterstanden van belang is voor de ecologie. In de Maas zijn de waterstanden afhankelijk van de stuwen en de natuurlijke afvoeren. In voorafgaande paragrafen is voor de afvoeren uitgegaan van een gemiddeld aantal dagen overschrijding per jaar, maar wat is de variatie daarin tussen de jaren?

In figuur 3.7 is het (geometrisch) gemiddelde en de standaardafwijking van de Maasafvoer uitgezet per decade, een 10 daagse periode (in sommige maanden in de laatste maandperiode een dag langer of korter dan tien) waarvan er per jaar 36 zijn.



Figuur 3.7 Het geometrisch gemiddelde en de standaardafwijking (5% en 95% percentiel) van de Maasafvoer bij Borgharen per 10 daagse perioden (decaden) over de periode 1911 tot 2008. De seizoenen in decaden zijn Lente 7-15, Zomer 16-24, Herfst 25-33 en Winter 34-6 Kunnen seizoengrenzen afgebeeld worden?. De grafiek laat goed zien dat de afvoeren tussen de jaren flink verschillen, waarbij de grootste verschillen optreden in de winter en de zomer juist voorspelbaarder is.

De grafiek (figuur 3.7) laat zien dat de afwijkingen van de afvoer tussen de jaren groot zijn, en de grootste variatie in de winter valt, waarbij afvoeren in de zomer (decade 16-24) in 95% van de gevallen niet boven de ongeveer 300 m³/s uitkomen. In bijlage "H3 Afvoervariatie 1911-2007" staat voor elk jaar in de meetreeks de procentuele verdeling van het voorkomen van afvoeren weergegeven. In tabel 3.4 is deze reeks afvoeren (uit de bijlage) samengevat in het gemiddeld aantal dagen per jaar, de standaarddeviatie daarvan en het minimum, 10%, 50%, 90% percentiel, en het maximum aantal dagen dat een afvoer in een bepaald jaar is overschreden. In de meetreeks is bijvoorbeeld een jaar (of jaren) waarbij 600 m³/s nooit is voorgekomen (Minimum) en een jaar met 78 dagen overschrijding van 600 m³/s (maximum). De tabel laat zien dat de tussenjaarlijkse variatie in lagere afvoeren groot is, tussen de lagere afvoeren (tot ongeveer 300 m³/s) kan tussen jaren 100 tot 150 dagen verschil in voorkomen zitten (aantal dagen verschil tussen 10 en 90 procent percentiel).

Tabel 3.4 Het gemiddeld aantal dagen en standaarddeviatie (als percentage van het gemiddelde) dat een afvoer overschreden wordt in de meetreeks van 1911 tot 2007 van Borgharen. Daarbij nog het minimum aantal dagen dat de afvoer in een jaar is voorgekomen (minimum); het aantal dagen van de 10% laagst scorende jaren (10% percentiel); het aantal dagen in de helft van de jaren (mediaan); het aantal dagen in de 90% laagste scorende jaren (90% percentiel) en het maximum aantal dagen per jaar dat de afvoer ooit is voorgekomen.

Afvoer (m ³ /s)	Dagen per jaar met afvoer $\geq$ xx m ³ /s					
	50	100	200	400	600	800
Gemiddelde (dag)	302	236	145	68	34	17
Standaarddeviatie (dag)	57	62	51	33	20	12
CV (%)	19%	26%	35%	49%	60%	73%
Minimum (dag)	146	88	41	3	0	0
10% percentiel (dag)	212	160	76	26	7	2
Mediaan (dag)	304	230	151	70	32	15
90% percentiel (dag)	365	312	211	111	64	34
Maximum (dag)	366	360	255	139	78	55

3.7 Conclusies hydrologie

Hieronder, kort de voornaamste conclusies die rechtstreeks uit de hydrologische analyse van de drie onderzochte stuwpanden kunnen worden getrokken.

- In de stuwpanden is een natuurlijke waterstandvariatie al aanwezig als gevolg van afvoerfluctuaties.
- Deze natuurlijke waterstandvariatie is het grootst aan de bovenstroomse zijde van een stuwpand, maar benedenstrooms vrijwel afwezig.
- De natuurlijke waterstandsfluctuaties als gevolg van afvoerfluctuaties nemen stroomafwaards in de Maas af, en variëren tussen maximaal 1,4 m (gemiddeld 7 dagen in de lente, bovenstrooms in stuwpand Roermond) en 0,8 m (gemiddeld 7 dagen in de lente, bovenstrooms in stuwpand Lith).
- De zomer laat de kleinste afvoerfluctuaties zien, waardoor waterstandvariatie in dit seizoen dan ook het kleinst is, maximaal 0,1 tot 0,2 m gedurende gemiddeld 7 dagen (verschilt per stuwpand).
- Bij hele lage afvoeren (<200 m³/s), die gemiddeld de helft van de zomer voorkomen, is het verhang in het stuwpand vrijwel vlak. Juist bij deze lage afvoeren heeft actieve stuwpeilvariatie een vrijwel uniform effect in het hele stuwpand.
- Bij toenemende afvoeren neemt het effect van het verlagen van het stuwpeil in de meer bovenstroomse delen van het stuwpand af.
- De tussenjaarlijkse variatie in afvoeren is aanzienlijk. Voor de in de lente en zomer meer voorkomende lagere afvoeren (<200 m³/s) geldt dat er 100 tot 150 dagen verschil kan zitten in het aantal dagen (per jaar) van de 10% laagste of 90% laagste jaren.
- De variatie van afvoeren is groter in de winter en lente dan in de zomer.

4 Maas en oevers

In voorgaande hoofdstukken zijn de ecologie in de Maas en de mogelijke effecten van stuwpeilbeheer beschreven. Vervolgens is een hydrologische analyse gedaan van de mogelijkheden in drie stuwpanden.

De oeverzone is zeer waardevol. Het is een diverse zone met een hoge biodiversiteit. Strayer & Findlay (2010) geven aan dat de zone veel fysische energie ontvangt en als gevolg hiervan ook veel energie in de vorm van bijvoorbeeld nutriënten kan verwerken. Menselijke activiteit heeft er echter voor gezorgd dat de oeverzones gefixeerd zijn en hun diversiteit bedreigd wordt.

Het terugbrengen van de min of meer natuurlijke waterstandvariatie is één manier om de normale dynamiek enigszins terug te brengen. Om de grootte van het effect van waterstandvariatie over het gehele traject vast te stellen is daarom een oevertypologie opgesteld. Niet alle oevers zijn namelijk even kansrijk: een stenen kade biedt minder mogelijkheden dan een flauwe zandige oever. In komende paragrafen wordt de oevertypologie opgesteld en toegelicht, en worden de ingeschatte effecten per type beschreven.

4.1 Oevertypen langs de gestuwde Maas

Op basis van de in fase 1 uitgevoerde workshops en het oevertypen-onderzoek door Arcadis (Overkamp *et al.*, 2009) is een beknopte oevertypologie opgesteld (tabel 4.1). Op basis van deze oevertypen is in fase 2 de GIS analyse uitgevoerd. Voor inschatting van het effect van waterstandvariatie op de ecologie en specifiek voor de KRW belangrijke soortgroepen, is enerzijds het areaal van belang en anderzijds het proces:

- **Areaal.** Dit hangt samen met het talud. Een waterstandvariatie van 20 cm zal op steile oever met een talud van 1:2 effect hebben over een breedte van 40 cm. Is het talud 1:20, dan gaat het al om 400 cm. Het effect van waterstandvariatie speelt in het laatste geval over een veel groter areaal.
- Factoren die van invloed zijn op het **dynamisch proces en ontwikkeling**.
 - o **Substraat** is, naast hydrologie ook een belangrijke factor voor succes. Op stortstenen oevers is er veel minder mogelijkheid voor waterplantenontwikkeling.
 - o **Golfslag** door scheepvaart en wind speelt een rol omdat dit een stressfactor is voor het aquatisch milieu en dus de kansen wat beperkt. Daarnaast is het van belang voor de verdere ontwikkeling en erosie van de oever: in het Haringvliet zijn bijvoorbeeld vooroeververdedigingen geplaatst om de erosie door golfslag tegen te gaan (zie De Gelder *et al.*, 2003).
 - o **Stroming** is van belang omdat doelen hierop moeten worden afgestemd: in luwe/stilstaande delen zijn de doelen gericht op veel waterplanten met paai- en opgroeigebied voor vis en plantminnende fauna, in stromende delen wordt minder gericht op waterplanten en meer op soorten van stromende wateren en kale oevers.
 - o **Begroeiing**, zowel terrestrisch als aquatisch. Terrestrisch omdat dit de potentie van de droge oever bepaalt, maar ook omdat dit invloed heeft op de aquatische oever. Zoals aangegeven in hoofdstuk 2 kunnen ruigtes een effectieve 'bescherming' bieden tegen vogelvraat van waterplanten. Aquatische begroeiing is zowel een BKE binnen de KRW als een habitatelement voor vis en macrofauna.

Er is voor gekozen om oevers die geen potentie hebben (zeer steil en bekleed met zet- of stortsteen) te scharen onder één oevertype: verharde/steile oever. Het is namelijk niet nodig hier verder onderscheid in te maken.

Tabel 4.1 Overzichtstabel van oevertypen die langs de Maas en uiterwaard voorkomen op basis van een inventarisatie van Arcadis (Overkamp et al., 2009). Alleen geïsoleerde plassen kunnen via het grondwater zijn aangetakt, in mindere mate wanneer de bodem uit een slib/klei laag bestaat

	Deel waterlichaam	Hoofdgeul			Uiterwaard en -weerden		Verharde/steile oever
	Type	Onverhard	Vrij eroderend	Beekmonding	Aangetakte wateren	Geïsoleerde ondiepe plas	-
Areaal	Talud boven water	Flauw	Steil	Flauw	Flauw	Flauw	Steil
	Talud onder water	Flauw	Flauw	Flauw	Flauw	Flauw	Steil
Proces en ontwikkeling	Substraat boven water	Grind, zand	Zand	Zand	Zand, klei	Zand, klei	Stort/zetsteen
	Substraat onder water	Grind, zand, klei	Grind, zand, klei	Zand, grind, artificieel	Zand, klei	Zand, klei	Stort/zetsteen
	Golfslag door scheepvaart	Ja	Ja	-	-	-	Divers
	Stroming	Gestuwd	Gestuwd	Ja	Geen	Geen	Gestuwd
	Begroeiing terrestrisch	Wilg, riet, ruigte, gras, kaal	Kaal	Wilg, ruigte, gras, kaal	Wilg, ruigte, riet, kaal, gras / geen	Wilg, ruigte, riet, kaal, gras	Wilg, ruigte, gras, kaal
	Begroeiing aquatisch	Mogelijk	Mogelijk	Mogelijk	Mogelijk	Mogelijk	Nee

4.2 Ecologisch effect per oevertype

In de volgende paragrafen is in tabelvorm de schatting van het extra ecologisch effect van waterstandvariatie op voor de KRW relevante biologische kwaliteitselementen weergegeven. Deze expert-schatting is gebaseerd op literatuur en interviews met experts. Het effect is weergegeven als reeks van -, 0, +/-, + en ++. Wanneer 0 is gegeven dan zal waterstandvariatie geen extra bijdrage geven. Inhoudelijke nuanceringsen staan tussen haken in elke tabel weergegeven.

Stortstenen oevers zijn apart weergegeven (zie tabel 4.1). Deze worden namelijk als weinig waardevol ingeschat. Er is geen onderscheid gemaakt tussen een stortstenen oever in een aangetakt water of de hoofdgeul.

4.2.1 De hoofdgeul

Bij het inschatten van de ecologische effecten zijn de doelen die in hoofdstuk 2 voor de hoofdgeul zijn gesteld meegenomen. Wanneer hier over vis wordt gesproken gaat het doorgaans om plantminnende vis en dus voornamelijk de deelmaatlat limnofiel. De hoofdgeul kan ondanks het gestuwde karakter echter ook van waarde zijn voor rheofiele vis, en dan met name als paai- en opgroei gebied.

Onverharde oever

De onverharde oevers langs de hoofdgeul zijn divers, zie figuur 4.1. Voor waterstandvariatie interessante flauwe oevers geldt dat deze oever ook onder de waterlijn flauw moet zijn, tot ongeveer de groeidiepte van waterplanten (2 m). Dan is het effect van waterstandvariatie over het grootst mogelijk oppervlakte merkbaar.



Figuur 4.1 Verschillende typen onverharde oevers. Grasoevers trekken grazende watervogels aan zoals ganzen, die langs de oever voorkomende waterplanten kunnen weggrazen. (foto's: Arcadis)

In tabel 4.2 staan de geschatte extra effecten weergegeven van waterstandvariatie op waterplanten, macrofauna en vis. In de tabel is de motivatie tussen haken gegeven.

Er is gedifferentieerd naar substraat en oeverbegroeiing. Grindige oevers zijn over het algemeen minder geschikt voor waterplanten, maar eventueel wel voor macrofauna van kale bodems en vis voor de paai. Wanneer de oever met wilgen is begroeid zijn er meer kansen omdat deze de toegang van grazers tot het water belemmeren en zo een positieve invloed hebben op het voorkomen van waterplanten. Voor macrofauna is het substraat van belang, met name dood hout en waterplanten. Voor vis geldt dat de oever- en waterplantenbegroeiing bepalend is voor paai- en opgroeimogelijkheden.

Tabel 4.2 Het geschatte extra ecologisch effect van waterstandvariatie op onverharde oevers langs de hoofdstroom van de Maas.

Substraat	Begroeiing	Waterplanten	Macrofauna	Vis
Grind	Kaal	0	+	+
			(kale bodem)	(kale bodem voor paai)
Grind/Zand	Wilg, riet, ruigte	++ (geen vraat)	++ (dood hout, goed substraat)	++ (opgroeien/paaien)
Zand/Klei	Wilg, riet, ruigte	++ (geen vraat)	++ (dood hout, goed substraat)	++ (opgroeien/paaien)
Zand/Klei	Kaal/Gras	0 (vraat)	0 (vraat)	0 (vraat)

Vrij eroderende oever

Vrij eroderende oevers worden in de discussies en door experts als kansrijk ingeschat. Ook de evaluatie van Kerkum *et al.* (2009) laat zien dat deze succesvol functioneren: “er ontwikkelt zich een ondiepe waterzone met plaatselijk overhangend bos en staand hout, rijk aan vis en macrofauna”. De oeverontwikkeling zelf is uitgebreid onderzocht. Figuur 4.2 en 4.3 tonen foto's van eroderende oevers langs de Maas.



Figuur 4.2 Vrij eroderende oever met divers oeversubstraat (foto: Arcadis)

Een grotere ondiepe zone op zand zou geschikt moeten zijn voor ontwikkeling van waterplanten en een diverse macrofaunagemeenschap. Effecten van scheepvaart zijn altijd aangevoerd als negatief op waterplanten. Uit studies langs Neder-Rijn en Lek is op te maken dat dit niet altijd de dominante factor is en dat waterplanten wel degelijk in de hoofdgeul kunnen groeien (Van Schie, 2009). Daarbij moet wel vermeld worden dat op de Maas meer scheepvaartverkeer is. In de Maas staan op diverse plaatsen waterplanten langs de hoofdgeul, ontwikkeling langs eroderende oevers lijkt een kwestie van tijd. Voor waterplanten blijken de vrij eroderende oevers momenteel dus al goed te scoren. Dit is echter sterk afhankelijk van de situatie onder water, sommige vrij eroderende oevers zijn onder water nog afgewerkt met stortsteen. Ook kunnen ze zeer steil zijn. In principe bieden ze echter veel potentie.



Figuur 4.3 Vrij erodende oever. Langs deze oever is duidelijk te zien hoe een verscheidenheid aan ondieptes is ontstaan. Dit leidt tot een verscheidenheid aan habitats, denk aan meer en minder stagnant water, ondieper water, water met houtig substraat, etcetera (foto: B. Peters).

Waterstandvariatie zal nog meer diversiteit naar de oevers brengen en de ontwikkeling van waterplanten verder stimuleren. Aangezien de ontwikkelingen nu ook al positief zijn, lijkt hier grote winst te behalen. Steilwanden zorgen er daarnaast voor dat de oevers niet gemakkelijk te bereiken zijn voor grazende watervogels. Wel bieden steilwanden mogelijkheden voor bijvoorbeeld de IJsvogel en Oeverzwaluw. Waterstandsvariatie biedt mogelijk kansen door het creëren van foerageergebied voor Steltlopers en Reigers.

Tabel 4.3 Het geschatte extra ecologisch effect van waterstandvariatie in vrij eroderende oevers.

	Waterplanten	Macrofauna	Vis
Effect	++	++	++
	(ondiepe gevarieerde zone)	(ondiepe gevarieerde zone)	(ondiepe gevarieerde zone)

Beekmondingen

Met het toepassen van tijdelijk een lager stuwpeil in de zomer worden alle gebieden en ecotopen in het zomerbed beïnvloed, dus ook in de Maas uitmondende beken. Een hogere waterstand zorgt namelijk voor opstuwing in de beek. Beekmondingen die zijn bekleed met beton worden niet meegenomen en geschaard onder het type verharde/steile oever.



Figuur 4.4 De Niers, die uitstroomt in de Maas bij Gennep (foto: A.D. Buijse).

Bij beekmondingen met een klein verhang kan stuwpeilverlaging tot een langer stromend traject van de beek in de uiterwaarden leiden. Een waterstandsverlaging van 10 cm in de Maas, levert bij een beek met een verhang van 10 cm per kilometer (0,1 ‰) al gauw een kilometer aan vrij afstromende beek op. Stromend habitat is zeldzaam in de gestuwde Maas, behoud of uitbreiding ervan draagt direct bij aan habitat voor kenmerkende waterplanten en op rheofiele soorten vis en macrofauna. Deze zijn ook van belang voor de KRW. Beekmondingen (en de stuwpasserende nevengeulen/vistrappen) zijn de enige oevers die soorten van stromend water tot doel hebben en daarom zeer van belang. Met betrekking tot overige natuur is geen specifieke literatuur gevonden.

Tabel 4.4 Het geschatte extra ecologisch effect van waterstandvariatie in beekmondingen.

	Waterplanten	Macrofauna	Vis
Effect	+	++	++
	(langer traject)	(langer traject, rheofiele soorten)	(langer traject, rheofiele soorten)

4.2.2 Uiterwaarden en -weerden

Aangetakte wateren

In aangetakte grind- en zandwinplassen, maar ook in eenzijdig aangetakte geulen en strangen werkt de waterstandvariatie direct door op de oevers. Deze oevers kunnen onderscheiden worden in meer natuurlijke flauwe oevers en zandlobben (zie figuur 4.5) en bestaande, vaak met zet- of stortsteen beklede afscheidingen tussen hoofdgeul en plas, geul of strang. Laatstgenoemde oevers worden onder verharde/steile oevers behandeld.



Figuur 4.5 Flauwe oevers en zandlobben geven mogelijkheden voor ontwikkeling van oever flora en fauna, en waterplanten (locatie: Asseltse plassen; foto: B. Peters)

De oevers van aangetakte wateren kunnen ecologisch waardevol zijn. Belangrijke drukken die echter een rol kunnen spelen zijn recreatie op de oevers en begrazing van vee en watervogels, wat afhankelijk is van de oeverbegroeiing. Waterstandvariatie op deze oevers zal in het algemeen positieve effecten hebben omdat het de habitatrijkdom vergroot (zie tabel 4.5). Wanneer de flauwe oever ook onder water een flauw talud heeft en zandig is, zal de kans op waterplanten groter worden (tot maximaal 2 meter diep). Optioneel kan door het aanleggen van zandlobben de oeverlengte worden vergroot (figuur 4.5). Hier gaat het, evenals bij de hoofdgeul met name om plantminnende en limnofiele fauna.

Tabel 4.5 Het geschatte extra ecologisch effect van waterstandvariatie voor oevers langs aangetakte Maasplassen.

	Begroeiing	Waterplanten	Macrofauna	Vis
Effect	Kaal, gras	0	0	0
		(verstoring)	(verstoring)	(verstoring)
	Wilg, riet, ruigte	+	+	+
		(ondiepe gevarieerde zone)	(ondiepe gevarieerde zone)	(ondiepe gevarieerde zone)

Geïsoleerde ondiepe plas

Ook hier geldt dat verstoring door recreatie en begrazing belangrijk kunnen zijn. Bij een zakkend stuwpeil zal het grondwaterpeil zakken en daarmee de doorsijpeling van kwel verminderen. De waterstand zal in de geïsoleerde plassen dus zeer gedempt fluctueren. De verwachting is dan ook dat het toepassen van waterstandvariatie nauwelijks tot geen effect heeft. Er wordt dus aangenomen dat de situatie netto niet verandert.

Tabel 4.6 Het geschatte extra ecologisch effect van waterstandvariatie voor oevers langs Maasplassen.

	Waterplanten	Macrofauna	Vis
Effect	0 (nauwelijks waterstandvariatie)	0 (nauwelijks waterstandvariatie)	0 (nauwelijks waterstandvariatie)

4.2.3 Verharde/steile oever

Het meest voorkomende oevertypen zijn betonnen, bestorte zetstenen oevers, zoals in figuren 4.6 en 4.7 is weergegeven. De oevers worden niet alleen aangetroffen in de hoofdgeul, maar ook zijn er beekmondingen die zijn gestabiliseerd door middel van beton (zie figuur 4.8) en afscheidingen tussen de hoofdgeul en maasplassen (figuur 4.9).

Deze oevers zijn doorgaans ook vrij steil, wat naast de mogelijkheden tot het vestigen van waterplanten en erosie ook het areaal sterk beperkt. Deze oevers worden daarom momenteel niet als waardevol ingeschat. Een positief effect van waterstandvariatie lijkt daarom ook afwezig (tabel 4.7).

Tabel 4.7 Het geschatte extra ecologisch effect van waterstandvariatie voor verharde/steile oevers.

	Waterplanten	Macrofauna	Vis
Effect	0	0	0



Figuur 4.6 Zetstenen oever. De zetstenen zijn duidelijk te zien op deze oever (foto: Arcadis).



Figuur 4.7 Zetstenen oever met grof grind, waarop een ruige vegetatie is opgekomen. De oeverlijn onder water, belangrijk voor waterplanten is meestal steil bij zetstenen oevers (foto: Arcadis).



Figuur 4.8 Betonnen beekmonding (foto: Arcadis)



Figuur 4.9 Stortstenen afscheiding tussen hoofdgeul en plas (foto: Arcadis).

4.3 Korte samenvatting en aanbeveling

De belangrijkste missende waterstandsfluctuaties in de stuwpanden, zijn die bij lagere afvoeren die over significante perioden plaatsvinden tijdens het groeiseizoen. Als bovengrens kan de afvoer van $600 \text{ m}^3/\text{s}$ worden genomen, afvoeren hoger dan deze komen minder dan 7,5 dagen per lente en zomer voor en zijn meer en meer incidenteel in plaats van structureel van belang voor het ecologisch effect van waterstandvariatie.

Extra waterstandsfluctuaties lijkt geen zin te hebben op de verharde oevers, zowel in de Maas als in andere wateren die deel uitmaken van het systeem. Deze zijn nu ook al weinig waardevol. Met name op de vrij eroderende oevers en onverharde begroeide oevers zijn de effecten erg positief. Kerkum (2010) laat ook zien dat de vrij eroderende oevers nu het meest waardevol zijn. Ook beekmondingen springen er in positieve zin uit. Omdat dit de enige stromende elementen zijn binnen het systeem. Op de overige niet verharde oevers (Maasplassen en enkele onverharde oevers) lijken de effecten ook positief te zijn. Druk van recreatie en begrazing zijn eveneens factoren die van invloed zijn op het succes.

Er is bij de beoordeling van uit gegaan dat de oevers die nu worden genoemd onder water relatief flauw zijn, waardoor de oeverzone veel groter wordt en een gradiënt geeft, die de hydrodynamische diversiteit ten goede komt.

De oevers van stuwpanden lijken meer op oevers van meren dan van stromende rivieren. Zeker vanwege het gestuwde karakter is de ontwikkeling van waterplanten zeer waarschijnlijk. Er moet hier dan ook gericht worden op plantminnende fauna. Wel moet het bodemsubstraat geschikt zijn voor waterplanten, dat wil zeggen, niet bestaan uit grof grind of stort- of zetsteen. Bij de beekmondingen en eventuele stuwpasserende structuren kan gericht worden op meer rheofiele fauna.

De oevers die worden aangelegd zijn voornamelijk vrij eroderende oevers en natuurvriendelijke oevers. Juist deze zijn kansrijk. Deze oevers zijn in ieder geval boven het normale stuwpeil vlakker en niet bekleed. Bij de aanleg van natuur(vriende)lijke oevers is het raadzaam rekening te houden met de steilheid van de oever onder water.

5 Stuwpeilvariatie scenario's

In dit hoofdstuk wordt een puntsgewijs overzicht van de belangrijkste conclusies uit de literatuurstudie en de workshops gegeven en een drietal scenario's voor het variëren van de waterstanden in stuwpannen voorgesteld en bediscussieerd. Het resultaat daarvan vormt de input voor de ruimtelijke analyse weergegeven in hoofdstuk 6.

5.1 Relevante conclusies voor het ontwerp van een stuwpeilscenario

Hieronder staan kort de conclusies voor de ecologische en hydrologische aspecten ten behoeve van het ontwerp van een stuwpeilvariatiescenario weergegeven. Zij komen voort uit de vorige hoofdstukken en twee workshops die met de begeleidingsgroep zijn gehouden.

Ecologie:

- Waterstandvariatie versterkt het ecologisch functioneren van bestaande en toekomstige oevers waar hydromorfologische processen op kunnen aangrijpen, zoals bij vrij eroderende oevers. Binnen het groeiseizoen levert dit de meeste winst op, maar ook hierbuiten stimuleert het dynamische processen en werkt het habitatvormend, bijvoorbeeld door het creëren van steilwanden zoals in recente hoogwaters is gebeurd.
- De maatregel stuwpeilvariatie heeft langs de Maas alleen zin bij natuurvriendelijke oevers en in het bijzonder de vrij eroderende oevers.
- Vlakke oevers langs zijwateren (aangetakte plassen, geulen, strangen en beken), mits zandig of grindig, zijn kansrijk voor ecologie en kunnen onder invloed van waterstandvariatie in een bredere oeverzone een divers habitat vormen.
- Het bevorderen van groei van waterplanten, stuurt de oeverontwikkeling en is een habitat voor van waterplanten afhankelijke soorten macrofauna en vis.
- De vrij eroderende oevers lijken ecologisch zeer kansrijk voor waterstandvariatie. Van de aquatische ecologie van vrij eroderende oevers zijn in 2008 en 2010 gegevens verzameld. De gegevens van 2010 zijn nog niet geanalyseerd, en beide jaren zijn niet onderzocht op effecten van waterstandvariatie. De aanbeveling is dit te doen.
- Ecologie is gebaat bij waterstandvariatie binnen en tussen jaren. Een vast stuwpeilregime, zowel vast in stuwpeil als een vaste jaarlijkse cyclus, geeft een suboptimale ecologische respons. Beter is het zowel binnen jaren als hierbuiten te variëren.

Hydrologie:

- De waterstand bovenstrooms in een stuwpan fluctueert als gevolg van afvoerfluctuatie, benedenstrooms in stuwpannen fluctueert deze nauwelijks.
- Natuurlijke waterstandvariatie neemt langs de rivier af in benedenstroomse richting, in stuwpan Lith is de waterstandvariatie kleiner dan in de bovenstroomse stuwpannen Belfeld en Roermond.
- Deze waterstandvariatie boven in het stuwpan is echter het gevolg van grotere afvoeren, die in het groeiseizoen nauwelijks voorkomen. Bij de lagere afvoeren in het groeiseizoen is er in het gehele stuwpan nauwelijks waterstandvariatie. Een stuwpeilscenario ten behoeve van ecologie is dus het gunstig wanneer waterstandvariatie bij de lagere afvoeren in het groeiseizoen wordt gecreëerd.

Morfologie:

- Waterstandvariatie heeft meer effect op vlakke oevers.
- De oever begint vanaf 2 meter onder de laagwaterlijn (groeiseizoen). Op deze diepte zit ook bij natuurvriendelijke oevers vaak nog breuksteen en grind.
- Met zandlobben afgewerkte plassen hebben extra veel oeverlengte en diepte variatie.

5.2 Stuwpeilvariatie scenario's

De hydrologische analyse laat zien dat natuurlijke waterstandsvariatie vooral in bovenstroomse delen van de stuwpanden voorkomt, en benedenstrooms nauwelijks. Stuwpeilvariatie heeft dus vooral de meeste invloed op benedenstroomse delen binnen stuwpanden. Verder komen in het groeiseizoen vooral lagere afvoeren voor, de afvoer overschrijdt $600 \text{ m}^3/\text{s}$ maar ongeveer zeven dagen. Scenario's voor stuwpeilvariatie moeten zich bij voorkeur richten op waterstandsvariatie bij lagere afvoeren om de ontbrekende waterstandsvariatie tussen 0 en $600 \text{ m}^3/\text{s}$ in het groeiseizoen te compenseren.

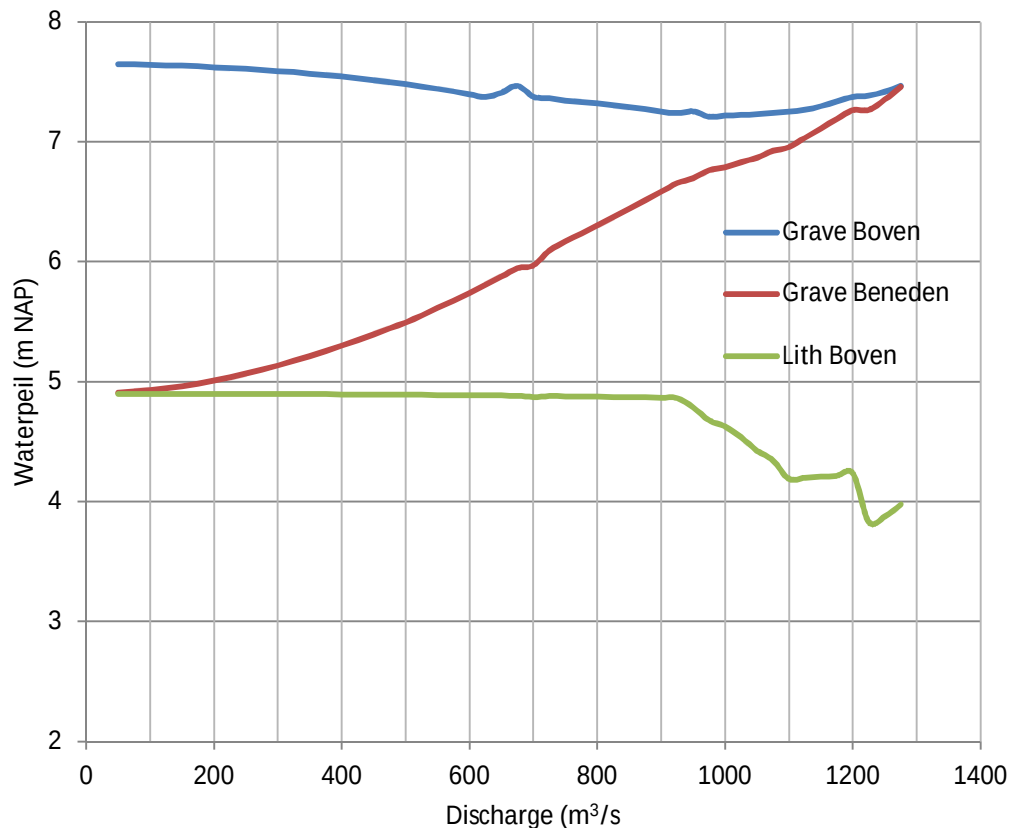
Op basis van bovenstaande conclusies worden, naast het huidige scenario, twee scenario's voor stuwpeilvariatie gepresenteerd:

- 0) Behoud van het huidige regime;
- 1) Het stuwpeil wordt verlaagd bij lagere afvoeren en/of opgezet bij hogere afvoeren,
- 2) Het stuwpeil wordt verhoogd bij lagere afvoeren en/of verlaagd bij hogere afvoeren.

5.2.1 Nul-Scenario: huidig regime

In dit scenario is dus nog geen (extra) stuwpeilvariatie toegepast. Hierbij blijft (1) de huidige waterstandvariatie behouden in bovenstroomse delen van stuwpanden (bij hogere afvoeren, vooral buiten het groeiseizoen); en (2) de tussenjaarlijkse waterstandvariatie blijft ook behouden. Het nadeel is dat benedenstroomse oevers van stuwpanden nauwelijks waterstandvariatie ervaren. Als voorbeeld van de huidige situatie wordt in figuur 5.1 de relatie getoond tussen de afvoeren en de waterstanden in het stuwpand Lith.

Het stuwpeil, helemaal benedenstrooms in een stuwpand, is nagenoeg constant bij lagere afvoeren, zie de blauwe en groene lijnen in grafiek voor twee achter elkaar gelegen stuwpanden. Er is dus weinig waterstandsvariatie benedenstrooms in een stuwpand in het groeiseizoen. Bovenstrooms in het pand varieert het peil met de afvoer, hier is de waterstandsvariatie ten gevolge van afvoervariatie het grootst (zie de rode lijn in figuur 5.1). Het bovenstroomse peil ligt bij lage afvoeren echter even hoog als het peil in het hele stuwpand (bij $50 \text{ m}^3/\text{s}$ ligt de rode lijn op niveau van de groene lijn, vrijwel horizontale waterstand). Bijvoorbeeld bij een toenemende afvoer laat de stuw bij Grave steeds meer water door, waardoor de waterstand bij Grave-Beneden stijgt tot bij ongeveer $1200 \text{ m}^3/\text{s}$ en de waterstanden aan beide zijden van de stuw even hoog zijn geworden. Dan is het waterstandsverschil tussen de boven- en benedenstroomse zijde van het stuwpand maximaal, zie rode en groene lijn bij $1200 \text{ m}^3/\text{s}$ uit de grafiek.



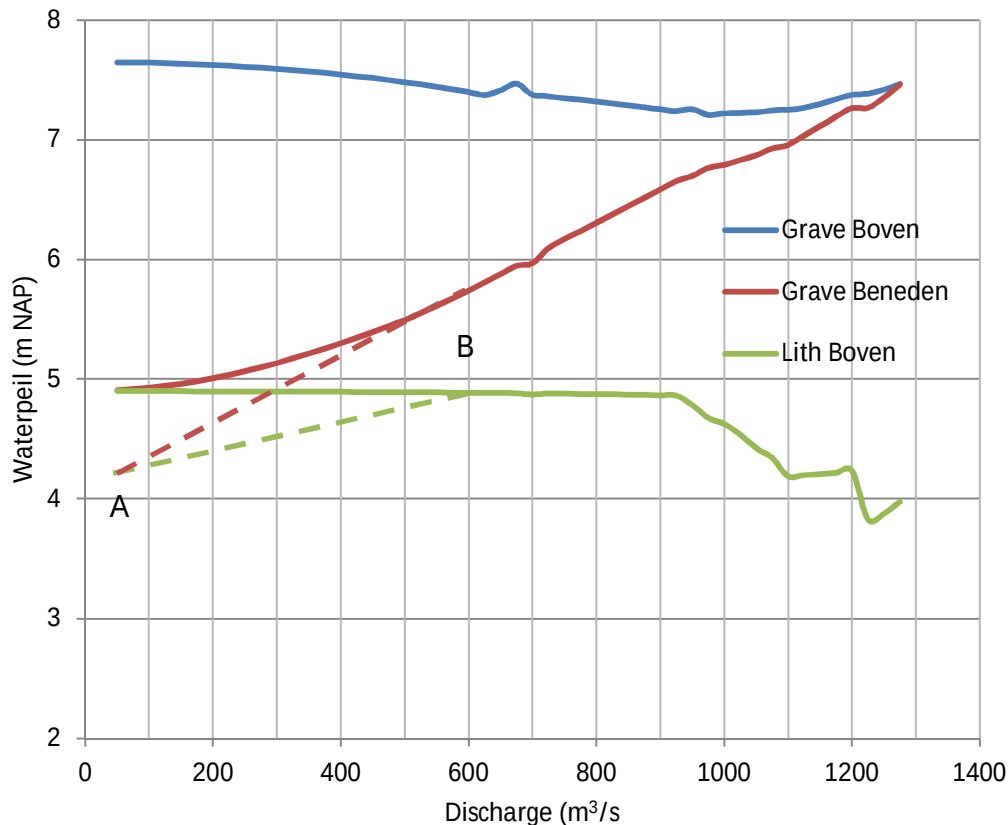
Figuur 5.1 Als principevoorbeeld het waterpeil versus de afvoer (in grafiek Discharge, betreft afvoer Borgharen) rondom stuw Grave en Lith zoals berekend met Sobek op basis van het huidige functioneren. Let op: meetpunt Grave Boven ligt in stuwband Grave, de meetpunten Grave Beneden en Lith-Boven liggen respectievelijk boven- en benedenstrooms in stuwband Lith. Het hoogteverschil tussen de groene lijn (stuwpeil Lith) en rode lijn (Grave-Beneden) is het verhang over het stuwband Lith. Bij lage afvoeren in het groeiseizoen (tot 300 m³/s) is er nauwelijks waterstandvariatie in het gehele stuwband.

5.2.2 Scenario 1: Het stuwpeil volgt de afvoeren omhoog.

In dit scenario wordt de waterstandvariatie benedenstrooms bewerkstelligd door het stuwpeil te laten variëren met de afvoer. De groene en rode stippellijnen in figuur 5.2 geven het principe weer en zijn het belangrijkste voor de veel voorkomende lagere afvoeren (0 tot 600 m³/s). De steilheid van de lijn bepaalt de mate van waterstandvariatie (ook bij zeer lage afvoeren).

Het startpunt van de lijn bij de laagste afvoer bepaalt de laagste waterstand, zie punt A. Optimaal zou zijn dit startpeil zo laag mogelijk te leggen, liefst onder het huidige niveau. Ten eerste is dat gunstig voor beekmondingen, want voor opgestuwde beken is een zo laag mogelijk peil het beste zodat een zo groot mogelijk oppervlak stromend water ontstaat. Ten tweede, een lager beginpeil zorgt voor een steilere lijn en dus extra waterstandvariatie in het bovenstroomse deel; de rode stippellijn in figuur 5.2 krijgt meer bandbreedte. Van stuwpeilverhoging bij hoge afvoeren blijft bovenin het stuwband iets minder over.

Bij afvoeren groter dan 600 m³/s (B) valt de rode stippellijn weer samen met de oorspronkelijke rode lijn omdat de groene stippellijn daar ook weer samen valt met de oorspronkelijke groene lijn (oude situatie). Verder is een lage waterstand bij afvoeren kleiner dan 50 m³/s goed, een dergelijke situatie ontbreekt in het huidige regime, waar de waterstand constant hoog wordt gehouden. Juist in de zomer is de afvoer gedurende 35 van de 92 zomerdagen lager dan 50 m³/s en zou er zonder stuwen dus een zeer laag peil zijn.



Figuur 5.2 Het stuwpeil volgt de afvoeren, scenario 1 (in grafiek Discharge, betreft afvoer Borgharen). De groene stippellijn geeft het(hypothetisch) stuwpeil aan dat varieert met de afvoer, soort gedempte werking van een natuurlijke rivier. De rode stippellijn geeft een indicatie van het peil bovenstrooms in stuwpand Lith (Grave-Beneden), dat bij lage afvoeren het stuwpeil van Lith volgt en bij punt B op de huidige waterstand uitkomt. De waterstandvariatie bovenin het stuwpand (rode stippellijn) neemt toe. De keuze van het startpeil (A) is bepalend voor de mate van mogelijke stuwpeilvariatie (groene stippellijn) en de mate waarin de waterstandvariatie bovenstrooms toeneemt (rode stippellijn). Boven de 600 m³/s volgen het stuwpeil en Grave-Beneden het huidige regime.

De voordelen zijn: (1) ook waterstandvariatie beneden in het stuwpand (groene stippellijn); (2) waterstandvariatie bovenin het stuwpand neemt toe; (3) door afvoerafhankelijke stuwpeilen ontstaat automatisch tussen-jaarlijkse variatie.

Varianten:

- Wanneer een lager startpeil lastig is vanwege scheepvaart randvoorwaarden, dan kan het lagere peil misschien tijdelijk alleen in de zomer worden toegepast, waarbij de aanvaardbare hinder voor scheepvaart moet worden onderzocht.
- De steilheid van de stuwpeilvariatielijn (groene stippellijn) is erg bepalend voor de variatie van afvoer / waterstand in het stuwpond (effectiviteit). Wanneer meer waterstandvariatie gewenst is bij lage afvoeren ($<400 \text{ m}^3/\text{s}$), dan kan de steilheid van de lijn in dat bereik worden vergroot door het stuwbeheer te wijzigen.
- De variatie van het stuwpeil met de afvoeren kan, indien gewenst, ook meer getrapt, bijvoorbeeld per $50 \text{ m}^3/\text{s}$ bij lagere afvoeren of per $100 \text{ m}^3/\text{s}$ bij hogere.

5.2.3 Scenario 2: Waterstandvariatie door gebruik van hogere afvoer om het stuwpeil te kunnen verlagen.

Scenario 2 is een meer hydraulisch geïnspireerde variant waarbij de hogere afvoeren en waterstanden bovenstrooms worden gebruikt om het stuwpeil benedenstrooms te kunnen verlagen. Zoals eerder besproken in hoofdstuk 3, bepaalt de drempelhoogte van de bovenstroomse sluis het minimaal vereiste stuwpeil. Wanneer bij hogere afvoeren de waterstand bovenin het stuwpond minder kritiek is, dan kan het stuwpeil omlaag zonder dat de scheepvaart wordt gehinderd. Bij punt B langs de groene stippellijn in figuur 5.3 is bij $400 \text{ m}^3/\text{s}$ al $0,40 \text{ m}$ speling ten opzichte van laagste stuwpeil. Als deze gehele 40 cm wordt gebruikt om het stuwpeil te verlagen, dan blijft er weinig stuwpeilvariatie over bovenstrooms in het stuwpond (rode stippellijn). Hierin kan een compromis worden gevonden: een minder steile stuwpeilverlaging (groene stippellijn) geeft nog ruimte voor stuwpeilvariatie bovenstrooms in het stuwpond.

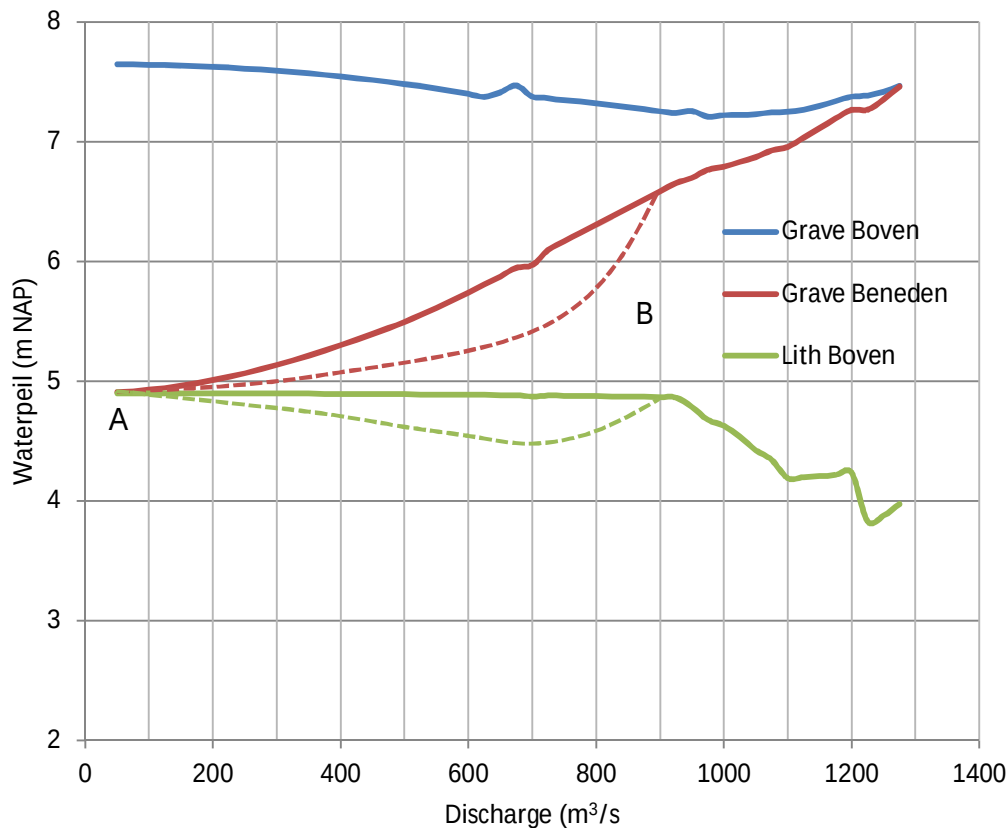
Het gevolg van dit scenario is dat de waterstandvariatie tegen de variatie van afvoer ingaat. Een ander gevolg is dat de waterstandvariatie die aan benedenstroomse zijde van het stuwpond wordt bereikt, ten koste gaat van de waterstandvariatie aan bovenstroomse zijde van het stuwpond door lagere waterstanden als gevolg van de verlaging van het stuwpeil bij hogere afvoeren.

De voordelen zijn:

- (1) naast verminderde waterstandvariatie bovenstrooms, nu ook waterstandvariatie benedenstrooms in een stuwpond;
- (2) door afvoerafhankelijke waterstanden wordt automatisch een tussen-jaarlijkse variatie verkregen.

De nadelen zijn:

- (1) tegennatuurlijke beweging in benedenstroomse deel van het stuwpond, namelijk lagere waterstanden bij hogere afvoeren wat contrasteert met het bovenstroomse deel van het stuwpond en aanpalende stuwponden en cycli van biota zoals waterplantenontwikkeling;
- (2) bovenstrooms in een pond een lagere waterstandvariatie dan de huidige waterstandvariatie bovenstrooms.



Figuur 5.3 Indicatie van een hydraulisch geïnspireerde stuwpeilvariant voor Lith-Boven (groene stippellijn) waarin de extra waterdiepte die bij Grave-Beneden ontstaat bij grotere afvoeren, wordt gebruikt om het stuwpeil van Lith-Boven te kunnen verlagen zonder scheepvaart belemmeringen. Het verschil tussen de vaste rode en groene lijnen blijft bij de stippellijnen ongeveer hetzelfde. Bij punt B is het water niveau van Grave-Beneden (rode stippellijn) en Lith Boven op het oude stuwpeilregime omdat stuwpeilvariatie bij hogere afvoeren ecologisch gezien niet nodig is vanwege het geringe voorkomen van deze afvoeren in de lente en zomer. Eventueel kan deze variant gecombineerd worden met een stuwpeilverlaging bij A (vaardiepte probleem?) zoals bij figuur 5.2.

Conclusies

De scenario's 0 en 1 worden in de kwantitatieve ruimtelijke analyse onderzocht omdat zij het huidige potentieel weergeven (scenario 0) en een realistisch alternatief met het grootste ecologisch potentieel lijken (scenario 1). Scenario 2 is niet als kwantitatief scenario meegenomen omdat het de huidige waterstandvariatie bovenin het stuwband verkleint en de tegengestelde hydraulische werking weliswaar waterstandvariatie oplevert benedenstrooms in het stuwband, maar de ecologische effecten juist door de tegennatuurlijke waterstandvariatie erg ongewis zijn, zie ook paragraaf 2.1. Daarbij komen de hogere afvoeren minder voor dan lagere, waardoor het aantal dagen met lagere waterstand volgens scenario 2 ook tegengesteld zou zijn aan het natuurlijk aantal dagen met lagere waterstand.

6 Ruimtelijk analyse van waterstandvariatie langs de oevers

6.1 Overzicht aanpak

In het hydraulisch onderzoek zijn de waterstanden binnen de stuwpanden berekend en is daaruit de huidige waterstandvariatie afgeleid. Voor goed inzicht in de potentie van de stuwpeilvariatie als KRW maatregel is het belangrijk te weten welke en hoeveel oevers blootstaan aan waterstandvariatie en hoe groot deze waterstandvariatie is. De ruimtelijke analyse legt deze relatie door de lengte en het type oevers per rivierkilometer te koppelen aan de heersende waterstandvariatie. Hieruit kunnen de oevers worden bepaald die nu al wel of juist geen waterstandvariatie ervaren, en daarbij het potentieel aan oevers wat effect kan verwachten van stuwpeilvariatie als KRW maatregel.

Als eerste wordt de methode en de gebruikte data beschreven, vervolgens de bestaande oevers en de verwerkte oevers uit het maatregelenpakket dat in 2015 uitgevoerd moet zijn. Uiteindelijk wordt de huidige waterstandvariatie getoond in de huidige setting, en als laatste het effect van stuwpeilscenario 1 op oevers zoals die in 2015 zijn aangelegd in de drie onderzochte stuwpanden.

6.2 Methode en gebruikte data

De analyse betreft de aquatisch-ecologische interessante oeverzone: de zone net boven de hoogste waterstand tot 1 tot 2 meter onder de laagste waterstand waar waterplanten nog kunnen wortelen. Voor de hoogste waterstand is de hoogste relevante stand in het groeiseizoen gekozen en dat is een afvoer van 600 m³/s die in het voorjaar en de zomer gemiddeld 7 dagen voorkomt. De gebruikte waterstandvariatie op elke oeverlocatie is het verschil tussen de laagste waterstand gegeven door de waterstand bij 50 m³/s en de waterstand ter plekke bij een afvoer van 600 m³/s. De resultaten van dit hoofdstuk zijn ook relevant voor andere afvoeren dan 600 m³/s, de ruimtelijke verdeling van waterstandvariatie is dezelfde, alleen komen ze naar gelang de bijbehorende afvoer vaker of minder vaak voor.

De bruikbare oeverbestanden komen uit de oeverinventarisatie van Arcadis (zie Overkamp *et al.*, 2009) voor de rivieroevers, en het oeverlijnen bestand van de ecotopenkaart voor de oevers van aangetakte wateren. Het lijnenbestand van de oeverinventarisatie van Overkamp *et al.* (2009) betrof alleen de hoofdgeul, hierin waren natuurlijke oevers van stort- en zetstenen oevers te onderscheiden. De aangetakte wateren (plassen, geulen en oude meanders) zijn wel in het lijnenbestand van de ecotopenkaart beschikbaar, maar van de aangetakte plasoevers kon in de ecotopenkaart niet achterhaald worden welke in stort- of zetsteen lagen en welke niet. Dit ecotooptype bestaat wel, maar uit de typering van de hoofdgeul was af te leiden dat alleen de zichtbare vegetatiestructuur was gekarteerd. Wanneer een stort- of zetstenen oever begroeid was, was dit niet als artificiële oever gekarteerd. Dat maakt het bestand niet geschikt voor onze analyse waarin stort- of zetsteen juist cruciaal is in de werking van de oevers.

Verder is kort gekeken of de steilheid van de oever (onder water) nog kon worden achterhaald. Het hoogtebestand van het WAQUA-model, gebaseerd op het DTB, is te grof om op dat detailniveau de lokale steilheid te bepalen. Het lastige is dat het op de grens ligt van de lodingen in het water en laseraltimetrie op de droge oever.

Hieronder de oevertypen die op basis van bestaande gebiedsdekkende GIS informatie kunnen worden geanalyseerd:

- Beklede oevers;
- Onbeklede oevers (natuurvriendelijk / vrij eroderend);
- Vooroever;
- Aangetakte oever (plassen, geulen, en oude meanders).

De gevolgde methode bestaat uit het overbrengen van de SOBEK-resultaten naar een kaart met rivierhectometers en het bepalen van de oeverlengte en oevertype per rivierkilometer uit de genoemde twee oeverbestanden. De SOBEK-resultaten zijn voor elke 500 m gegeven en gekoppeld aan de betreffende rivierhectometer. De rivierhectometerbestanden zijn uit het Arcadisonderzoek overgenomen, sommige hectometerpunten met SOBEK-resultaten ontbraken in de hectometerpuntenkaart, deze zijn met de "midpoint" optie aan de kaart toegevoegd met de rivieras als hulplijn.

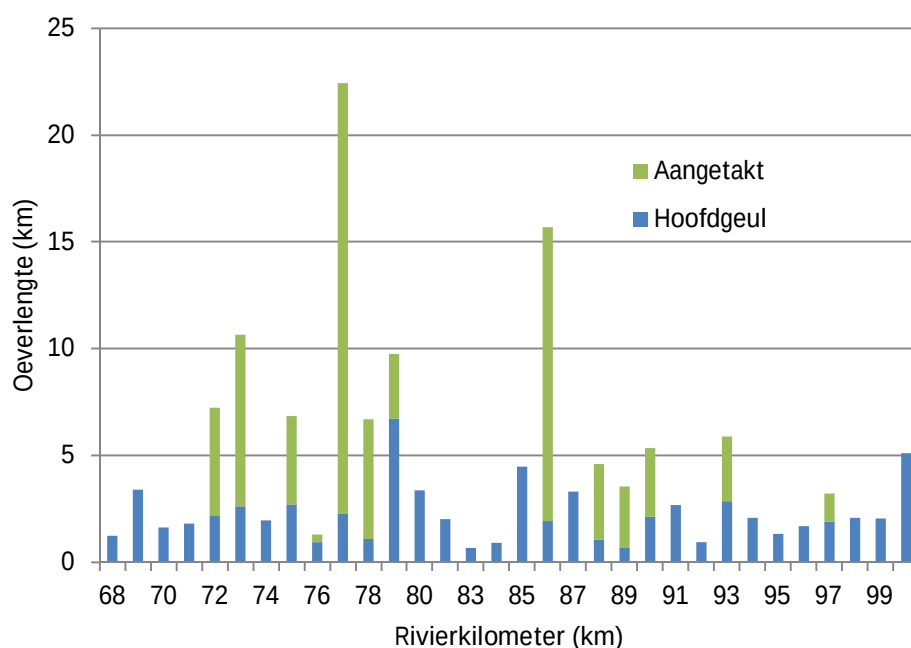
De gevolgde stappen in GIS zijn globaal:

1. Leg koppeling tussen SOBEK-model kilometers en echte rivierkilometers in Excel en "join" deze in gis aan rivierkilometerkaarten.
2. Maak een GIS-kaart met oevers van de hoofdgeul en aangetakte wateren en snij deze per rivierkilometer; bereken de oeverlengte.
3. Koppel de waterstandvariatie aan de oeverlijnen kaart (per rivierkilometer).
4. Analyseer in Excel de relatie waterstandvariatie oeverlengte en oevertype door draaitabellen te maken op waterstandvariatieklasse, oevertype en som van oeverlengte.

Deze analyse is uitgevoerd voor het huidig stuwpeil regime en deze resultaten vormen de basis voor de analyse voor het toekomstig stuwpeilscenario waarbij het stuwpeil positief varieert met de afvoer (scenario 1 uit H5).

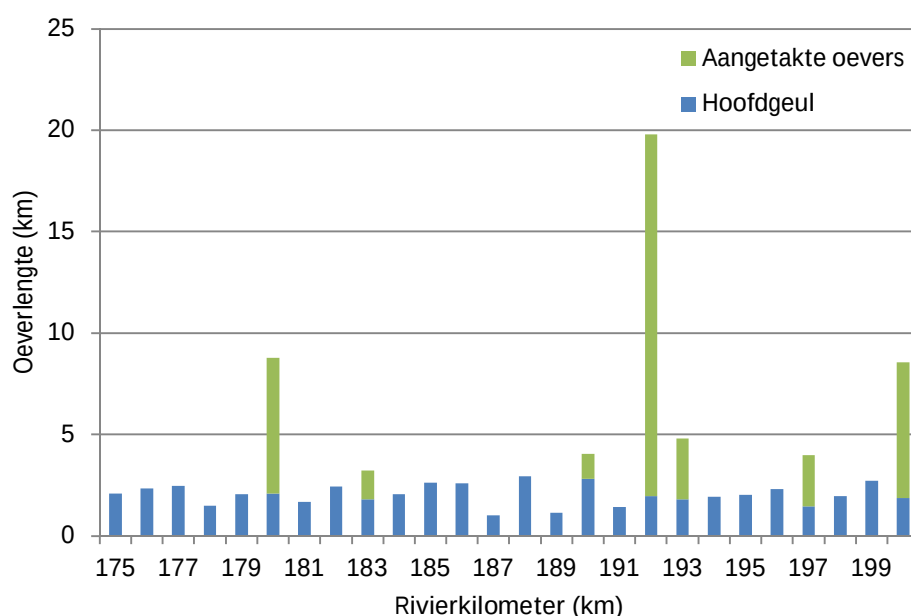
6.3 Oevers voor en na uitvoering maatregelen 2015

De huidige oevers bestaan uit die van de hoofdgeul en aangetakte wateren. Het onderzoeksgebied bevindt zich tussen rivierkilometers 69 - 100 (stuwpannen Roermond en Belfeld) en 176 – 200 (stuwpannen Lith). De totale oeverlengte op basis van het ecotopenlijnen bestand bedraagt 125 km hoofdgeul en 113 km aangetakte oever. De hoofdgeuloeverlengte uit het bestand van Arcadis bedraagt 110 km, daarin zijn extra oevers rond sluizen en een haven niet meegenomen. De oeverlengte van aangetakte wateren is niet gelijk verdeeld langs de oevers (zie figuur 6.1).



Figuur 6.1 Verdeling van oevers in de Stuwpannen Roermond en Belfeld met de totale oeverlengte (y-as, m) per rivierkilometer van de Maas (x-as, km) voor de hoofdgeul en aangetakte oevers. Wanneer een rivierkilometer meer hoofdgeuloeverlengte dan 2 keer 1 km heeft, komt dit door onregelmatige oevers en extra oeverlengte bij havens of sluiscomplexen, met name bij rivierkilometer 79 en 100.

In het stuwpannd Roermond en Belfeld is goed de bijdrage van de Maasplassen aan de totale oeverlengte te zien, zeker tussen rivierkilometer 72 en 79 (zie figuur 6). Een deel van deze plassen liggen bovenstrooms in hun stuwpannen, de stuw bij Roermond ligt tussen rivierkilometer 80 en 81.



Figuur 6.2 Verdeling van oevers in het stuwpannd Lith met de totale oeverlengte (y-as, m) per rivierkilometer (x-as, km) voor de hoofdgeul en aangetakte oevers.

In figuur 6.2 is de oeverlengte per rivierkilometer uitgezet voor het stuwpand Lith. In vergelijking met de stuwpanden Roermond en Belfeld zijn de aangetakte oevers minder goed verdeeld over het stuwpand. Juist in stuwpand Lith liggen de meeste aangetakte oevers benedenstrooms in het pand, vanaf rivierkilometer 192 (Gouden Ham).

In tabel 6.1 staan de maatregelen die in de onderzochte stuwpanden gepland zijn en effect hebben op de aanwezige oevers. In tabel 6.2 zijn deze maatregelen omgezet in oeverlengten per oevertype voor de hoofdgeul. Vooral het aandeel onbekleed neemt toe; hieronder vallen alle vrij eroderende oevers. Van maatregelen in aangetakte plassen is niets bekend, aangenomen is dat hier geen maatregelen worden getroffen.

Tabel 6.1 Maatregelen opgenomen in analyse uit de eerste en tweede tranche (Bron: RWS-DLB, RWS BPRW, 2009)

Projectnaam	Tranche	Oever L/R	Maas km begin	Maas km eind	Lengte (km)	Stuwpand
Buggenum	2	L	85,7	86,4	0,70	Belfeld
Biesweerd - Hanssummerweerd	2	R	86,9	89,1	2,20	Belfeld
Beesel	2	R	92,3	95,1	2,80	Belfeld
Stuw Grave (GR 8)	1	L	175,11	175,32	0,21	Grave
Lage Wijth	1	L	176,09	177,56	1,47	Lith
Balgoij	1	R	177,03	178,96	1,93	Lith
Keentse oevers	1	L	177,68	178,79	1,11	Lith
Neerloon	2	L	179,7	181,2	1,50	Lith
Niftrik	1	R	181,99	182,75	0,76	Lith
Niftrikse waarden	2	R	182,95	184,24	1,29	Lith
Middelwaard - Demen	2	L	182,95	186,3	3,35	Lith
Megen	2	L	190,6	192,35	1,75	Lith
De Waarden	2	L	192,45	193,15	0,70	Lith
Maasbommel	2	R	192,55	196,55	4,00	Lith
Ossekamp 1	1	L	193,3	194,27	0,97	Lith
Ossekamp 2	1	L	194,28	194,405	0,125	Lith
Ossekamp 3	1	L	194,47	194,81	0,34	Lith
Alphen 1	2	R	197,5	198,7	1,20	Lith
Alphen 2	2	R	199,2	200,6	1,40	Lith
Stadsweide Roermond ¹⁾	2015	R	80	81	4,8	Roermond/ Belfeld
Hoogwatergeul Keent	2015	L	179,5	179,5	6,0	Lith
Aantakken strang Batenburg	2015	R	185,8	185,8	4,0	Lith
Oevers Hemelrijksewaard	2015	L	200,0	200,0	4,0	Lith
Diedensche waarden	2015	L	188,3	190,0	3,0	Lith

¹⁾ Deze nevengeul functioneert vooral als beek bij lagere waterstanden (<600 m³/s) over het verval van de stuw. Het grootste deel van de oevers zal niet blootstaan aan peilvariatie; maar alleen een onbekend deel van de uitstroompopening. Deze oeverlengten zijn niet meegenomen in de analyse.

Tabel 6.2 Oeverlengten van de hoofdgeul in stuwpanden Roermond, Belfeld en Lith (samen 55 rkm) voor en na uitvoering van de maatregelen in het KRW-pakket eerste en tweede tranche (voor 2015 uitgevoerd).

Type oever	Oeverlengte (km) 2010	Oeverlengte (km) 2015
NVO ¹⁾	9,6	54,4
Bekleed	100,5	72,7
Eindtotaal ²⁾	110,1	127,1

¹⁾Verschillende typen aan te leggen natuurvriendelijke oever zijn onder de noemer NVO opgenomen, dus inclusief vrij eroderende oever, natuurvriendelijke oever en oevers met vooroevers (2,8 km).

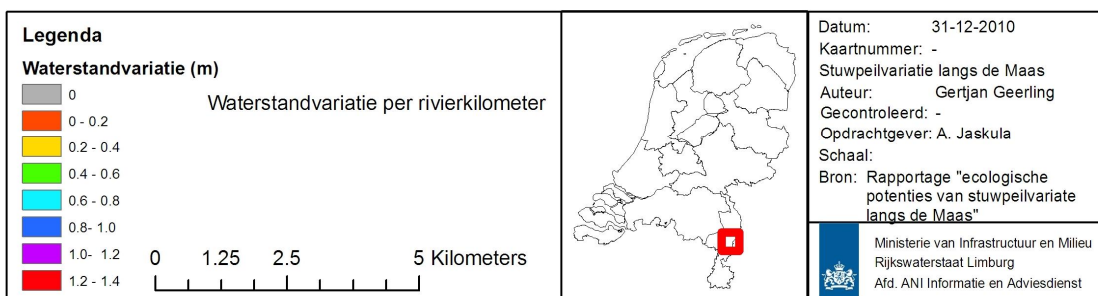
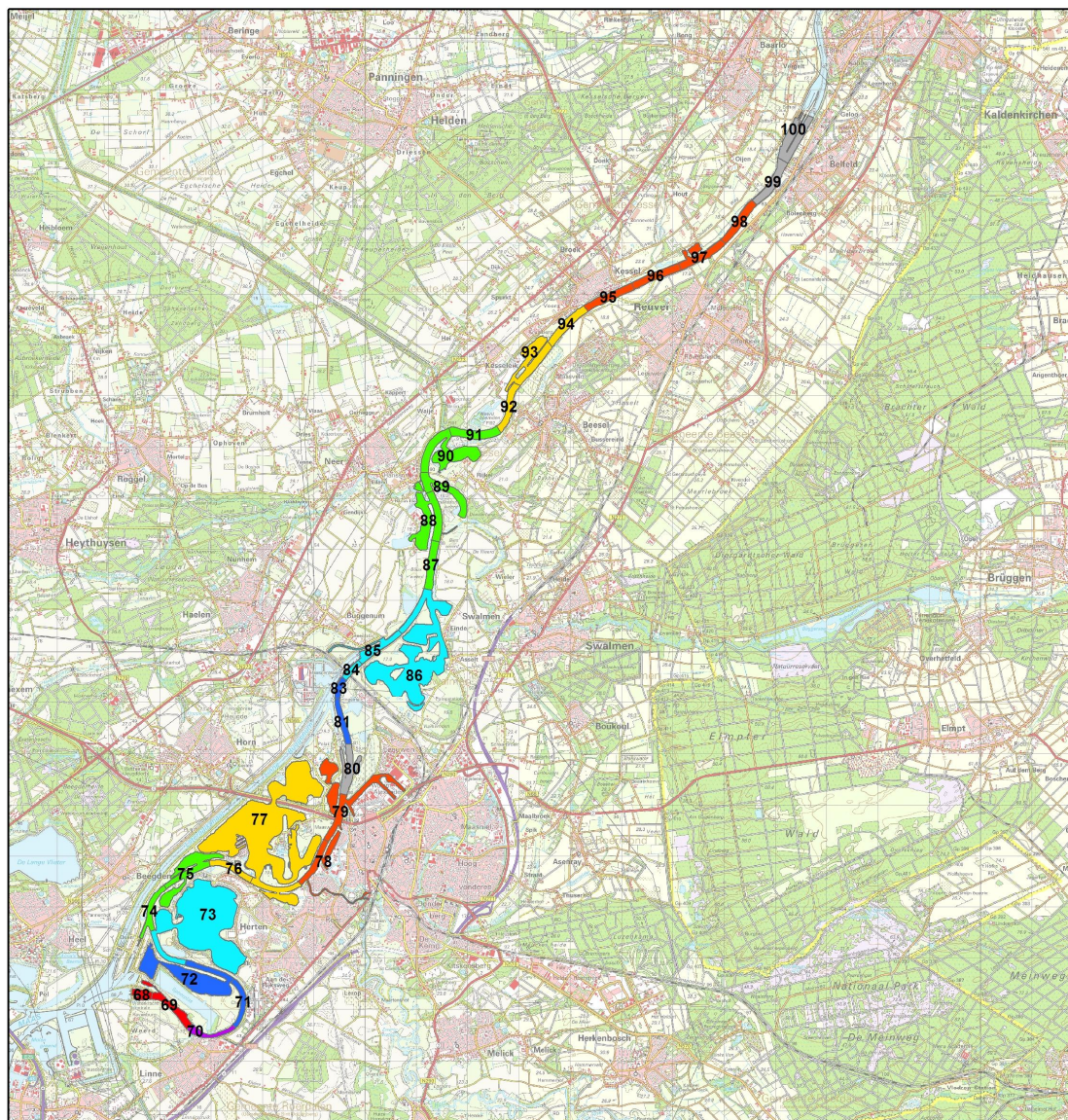
²⁾Een aantal oevers (laatste 4 uit lijst in tabel 6.1) zijn nieuwe meevariërende oevers, de totale oeverlengte is daarom vergroot.

6.4 Resultaten huidige waterstandvariatie

De waterstandvariatie tussen de afvoeren 50 m³/s en 600 m³/s is uitgezet langs de rivierkilometers, de hydraulische achtergrondinformatie hiervoor is te vinden in de digitale excel-bijlagen per stuwpand. In deze bijlagen zijn alle SOBEK stuwkrommen opgenomen voor elke afvoer tussen de 50 m³/s en 1200 m³/s, met stappen van 25 m³/s. De waterstanden zijn per 500 meter berekend, maar in de resultaten weergegeven per rivierkilometer.

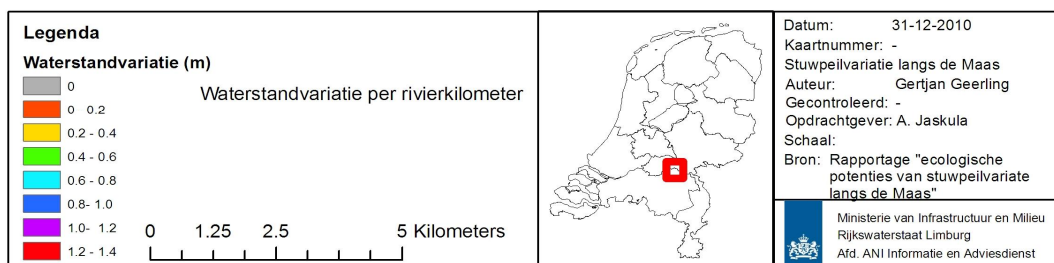
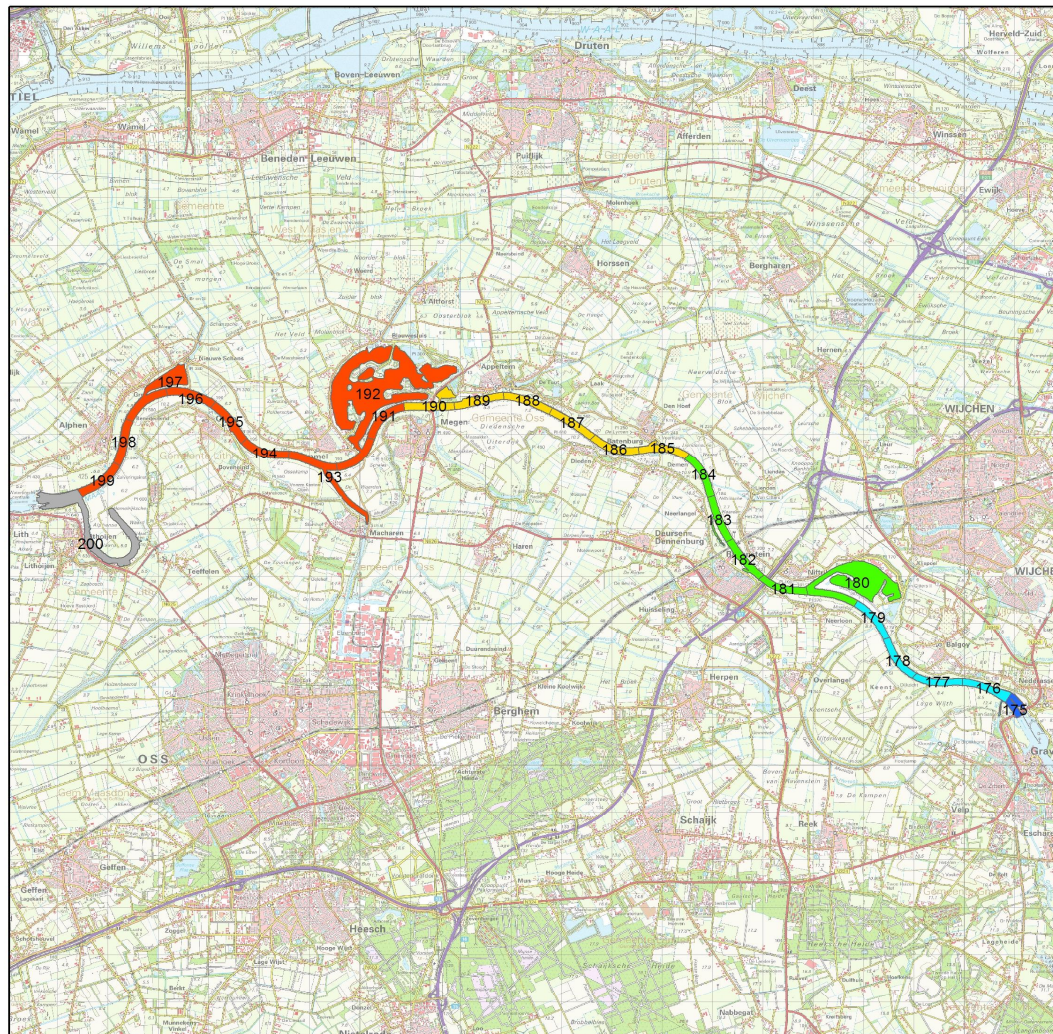
In figuur 6.3 staat de mate van waterstandvariatie weergegeven in de stuwpanden Roermond (rkm 69-80) en Belfeld (rkm 81-100). De hoogste waterstandvariatie is te vinden bij de Lus van Linne (rkm 69-70) van 1,35 m en na de stuw bij Roermond tot 1 m (rkm 81). Naarmate de locatie binnen een stuwpand zich dichterbij de benedenstroomse stuw bevindt, wordt de waterstandvariatie kleiner en nadert bij de stuw zelf tot nul. De grote plassencomplexen bij rkms 72, 74 en 86 (Asseltse plassen) hebben een relatief matig tot hoge waterstandvariatie. Het plassencomplex (zuidplas en noordplas) bij rkm 77 heeft een relatief lage waterstandvariatie.

Waterstandvariatie stuwpanden Roermond en Belfeld (0 - 600 m³/s)



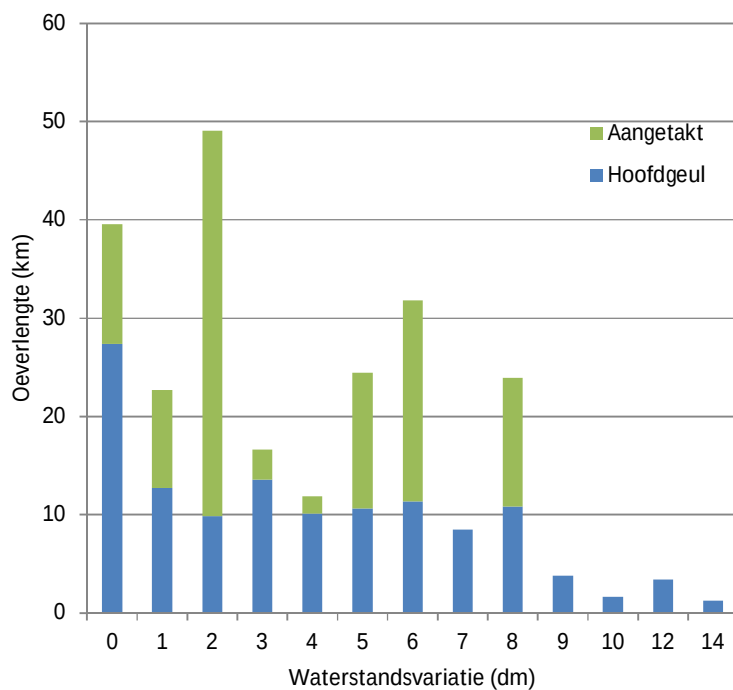
Figuur 6.3 Waterstandvariatie langs oever van stuwpanden Roermond en Belfeld. De stuwen liggen op rivierkilometer (rkm) 68 (Linne) en 80-81 (Roermond). Vlak na deze stuwen is de waterstandvariatie het hoogst (1,35m bij Linne, tot 1m na stuw Roermond).

Waterstandvariatie stuwpand Lith (0 - 600 m³/s)

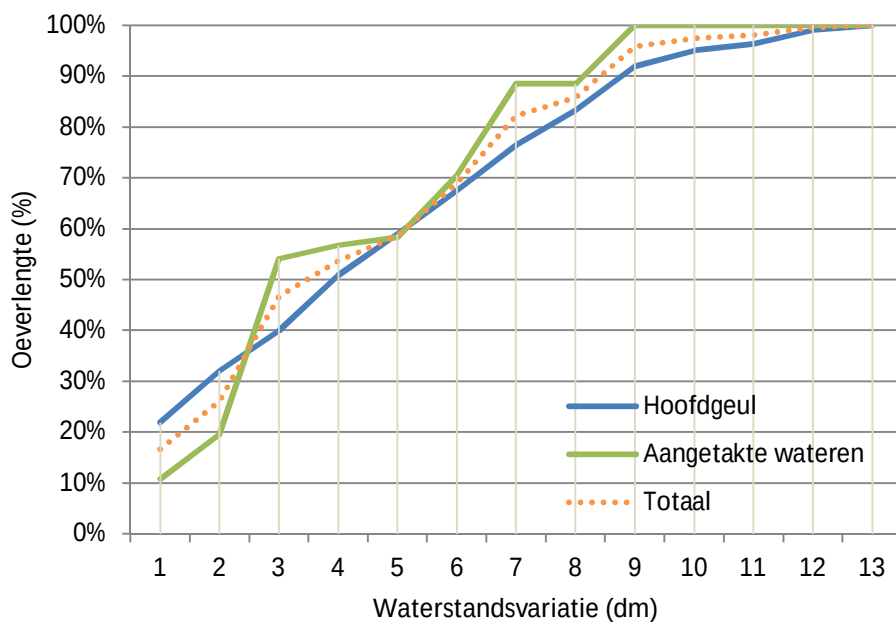


Figuur 6.4 Waterstandvariatie langs oever van stuwpand Lith. Omdat dit stuwpand stroomafwaards ligt van de ander stuwpanden is de hoogste waterstandvariatie kleiner, tot 0,8m vlak na stuw Grave.

In stuwpand Lith is de maximale waterstandvariatie kleiner dan bij de bovenstroomse stuwpanden Belfeld en Roermond. Verder zijn er relatief weinig aangetakte oevers, de aangetakte oevers die er zijn ondervinden zeer weinig waterstandvariatie (De Gouden Ham en bij de stuw de oude Maasmeander langs de Hemelrijkse en Alphen Waarden).



Figuur 6.5 Oeverlengte (m) uitgesplitst naar waterstandvariatie (dm) op oevers langs de hoofdgeul en oevers langs de aangetakte wateren.



Figuur 6.6 Percentage cumulatieve oeverlengte per waterstandvariatie-klasse van hoofdgeul (100% = 125 km), aangetakte wateren (100% = 113 km) en het totaal van alle oevers. Vijftig procent van de hoofdgeuloevers ondervinden minder dan 0,4 m waterstandvariatie per 7 dagen in de lente en zomer.

De oeverlengte van alle oevers in de hoofdgeul en aangetakte oevers in het onderzoeksgebied (stuwpanden Roermond, Belfeld en Lith) versus de waterstandvariatie is uitgezet in figuur 6.6. Ongeveer de helft van alle oevers ervaart geen tot een lage waterstandvariatie (0-0,3 m), de andere helft een matig tot hoge waterstandvariatie. De aangetakte wateren ondervinden geen tot weinig waterstandvariatie tot een matige waterstandvariatie. Waarbij uit figuur 6.4 blijkt dat de meeste aangetakte wateren van stuwpand Lith zeer weinig waterstandvariatie kennen.

6.5 Waterstandvariatie op beekmondingen

De beken die uitmonden in de onderzochte stuwpanden staan weergegeven in tabel 6.3. Vijf van de twaalf beken liggen dicht bij een stuw waardoor de waterstandvariatie laag is, en het opstuwend effect in de beek maximaal is. Slechts 3 beken hebben een variërende waterstand van 80 cm of hoger tussen 50 en 600 m³/s.

Tabel 6.3 Waterstandvariatie van beekmondingen in de onderzochte stuwpanden. Vijf van de twaalf beken ervaren nauwelijks waterstandvariatie (in grijs weergegeven); het opstuwend effect van de stuwen is in deze beken dan ook maximaal.

Naam	Oever L/R	Rivierkm	Waterstandvariatie bij 600 m ³ /s
Vlootbeek	R	70,20	1,06
Hambeek	R	78,60	0,11
Roer	R	79,20	0,04
Maasnielderbeek	R	81,40	0,92
Swalm	R	88,40	0,51
Huilbeek	R	94,10	0,27
Tasbeek	L	96,80	0,10
Schelkensbeek	R	97,40	0,07
Neerbeek	L	89,10	0,49
Graafse Raam*)	L	176,20	0,80
De Vliet	L	190,10	0,24
Teeffelse Wetering	L	199,70	0,01

*) Herstel van de monding van de Graafse Raam is als KRW maatregel opgenomen, zie ook tabel 6.1

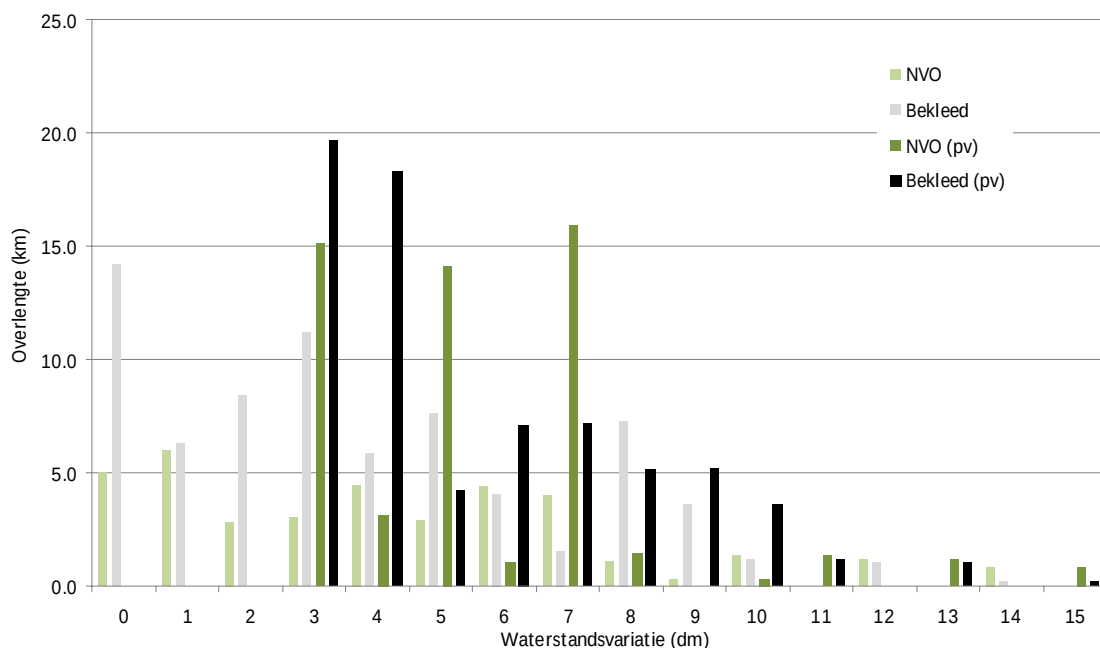
Voor de aan benedenstroomse zijde van stuwpanden uitmondende beken geldt dat stuwpeilverlaging de enige mogelijkheid is om een groter stromend oppervlak te krijgen. Omdat stuwpeilverlaging in het hele stuwpand evenredig doorwerkt bij lage afvoeren (>100 à 200 m³/s) heeft een lager startpeil (scenario 1, Hoofdstuk 5) in de lente en zomer effect op drie beken in stuwpand Lith, in stuwpand Belfeld op vijf beken en in stuwpand Roermond op drie beken.

6.6 Resultaten huidige en aangepaste waterstandvariatie op verschillende oevertypen na uitvoering maatregelen in 2015

Een van de onderzoeksvragen was het effect van stuwpeilverlaging op de hoofdgeuloevers met alle geplande KRW oevermaatregelen die in 2015 zijn uitgevoerd (tabel 6.1).

Hierbij is een variant van het 1^e stuwpeilvariatiescenario toegepast (zie hoofdstuk 5) waarbij als startpeil het huidige stuwpeil is aangehouden. Het scenario bestaat uit een stuwpeilopzet van 0 m bij 50 m³/s dat toeneemt tot 0,3 m bij 600 m³/s. Figuur 3.5 laat zien dat stuwpeilopzet niet evenredig doorwerkt in het stuwpand; bijvoorbeeld 0,3 m stuwpeilopzet bij stuw Roermond geeft 10 km stroomopwaarts een verhogend effect van 0,1 m. Terugvertaald naar effecten op oevers betekent dit dat stuwpeilopzet het meest effect heeft op de dichter bij de benedenstroomse stuw gelegen oevers en afneemt naarmate de oever meer stroomopwaarts ligt in het stuwpand.

Figuur 6.6 laat het effect van 30 cm stuwpeilvariatie zien op de hoofdgeuloevers (anno 2015) van alle drie onderzochte stuwpanden. De hoofdgeuloevers schuiven op naar een hogere waterstandvariatie; dat geldt zeker voor de 42,5 km oevers in de onderste 3 klassen (0 tot 2 dm). De hoogste waterstandvariatie klasse van 14 dm schuift op naar 15 dm. In deze analyse zijn alleen de hoofdgeuloevers meegenomen omdat alleen daarbij informatie beschikbaar was over de al of niet aanwezig zijnde bekleding. Opvallend is dat het aandeel beklede oevers (na uitvoering 2015) in de onderste waterstandvariatie klassen (tot en met 3 dm) nog groot is. Deze oevers ondervinden wel de effecten van het stuwpeilvariatie-scenario, maar hier is geen ecologisch effect te verwachten.



Figuur 6.6 Waterstandvariatie op hoofdgeuloevers (anno 2015) in het huidige stuwpeilregime en met een stuwpeilvariatiescenario (pv) van 0 m bij 50 m³/s en 0,3 m bij 600 m³/s. De vooroevers en onbekte oevers zijn voor het overzicht samen in een klasse natuurvriendelijke oever (NVO) opgenomen. Oeverlengten onder het huidige stuwpeilregime staan in lichtgrijs (bekte) en lichtgroen (NVO); de oeverlengten onder een stuwpeilvariatie staan in zwart (bekte) en donkergroen (NVO). In totaal is 42,5 km oever uit de klassen 0 tot 2 verschoven naar hogere klassen na toepassing van het extra stuwpeilregime.

In tabel 6.4 staan dezelfde gegevens nogmaals weergegeven in tabelvorm, nu met het onderscheid tussen onbekte oevers en oevers met vooroever.

Tabel 6.4 Oeverlengten van NVO (alle typen) en beklede oevers (status 2015) van de hoofdgeul onder het huidige regime en een stuwpeilvariatie scenario (afvoer-variërend tot 0,3 m bij 600 m³/s). Hierbij bij 42 km oever met nagenoeg geen waterstandvariatie de waterstandvariatie 0,3 m groter geworden.

Waterstandvariatie (dm)	Normaal stuwpeilregime		Stuwpeilvariatie scenario	
	NVO	Bekleed	NVO	Bekleed
0	5,0	14,2	0,0	0,0
1	6,0	6,3	0,0	0,0
2	2,9	8,4	0,0	0,0
3	3,0	11,2	15,1	19,7
4	4,4	5,8	3,2	18,3
5	2,9	7,6	14,1	4,2
6	4,4	4,1	1,1	7,1
7	4,0	1,6	15,9	7,2
8	1,1	7,3	1,4	5,1
9	0,3	3,6	0,0	5,2
10	1,4	1,2	0,3	3,6
11	0,0	0,0	1,4	1,2
12	1,2	1,1	0,0	0,0
13	0,0	0,0	1,2	1,1
14	0,9	0,2	0,0	0,0
15	0,0	0,0	0,9	0,2

Het opzetten van stuwpeilvariatie heeft direct invloed om ongeveer de helft van de oevers. De grootte van de stuwpeilvariatie bij de stuw werkt direct door op de benedenstroomse oevers in het stuwpand, maar bovenstroomse oevers profiteren ook.

In de tabel is ook te zien dat onder het huidige regime, nog meer dan 40 km beklede oever al een waterstandvariatie van 40 cm of meer heeft (oeverlengten vanaf 4 dm onder kolom bekleed). Deze oevers hebben dus ook zonder stuwpeilvariatie potentie voor oeverontwikkeling.

In dit voorbeeld is uitgegaan van het huidige stuwpeil bij een afvoer van 50 m³/s en een langzaam lopende opzet tot 30 cm bij een afvoer van 600 m³/s. Eenzelfde effect kan worden bereikt door bij lage afvoeren het startpeil te verlagen tot -30 cm ten opzichte van het oorspronkelijke stuwpeil, en bij een afvoer tot 600 m³/s het stuwpeil op te laten lopen tot 0 cm. Een stuwpeilverlaging is gunstiger voor de beekmondingen, maar geeft mogelijk hinder voor de scheepvaart.

6.7 Conclusies ruimtelijke analyse

De ruimtelijke analyse gaat uit van een waterstandvariatie tussen een afvoer van 600 m³/s en het stuwpeil. De genoemde getallen voor stuwpeilvariatie zijn echter afhankelijk van de daadwerkelijk voorkomende afvoeren en kunnen qua dagen voorkomen flink per jaar verschillen, en moeten ook in dat licht gelezen en geïnterpreteerd worden. De relatieve verschillen tussen bovenstroomse en benedenstroomse delen van stuwpanden blijven, behalve bij zeer lage afvoeren waarbij het stuwpeil ook de waterstand is in het hele stuwpand.

Uit de hydraulische analyse blijkt dat bovenstrooms in de stuwpanden al waterstandvariatie aanwezig is van 0,8 m tot 1,4 m bij 600 m³/s, dus 7 dagen per lente en zomer. Benedenstrooms in het stuwpand ondervindt de helft van de oevers 0 m tot 0,4 m variatie (per 7 dagen lente-zomer).

Van deze oevers langs de hoofdgeul is nog meer dan 40 km bekleed, en deze hebben onder het huidig regime al extra potentie als hierop NVO-maatregelen worden genomen.

De bestaande waterstandvariatie heeft effect op de hoofdgeul en aangetakte wateren, waardoor de oeverlengte per waterstandvariatie-klasse nogal verschilt. In de stuwpanden Roermond en Belfeld zijn relatief veel aangetakte wateren met een matige waterstandvariatie ($>0,4$ m in gemiddeld 7 dagen per lente en zomer) waar nu al gebruik van kan worden gemaakt door de oeverbekleding te verwijderen. In het stuwpand Lith liggen de aangetakte wateren juist benedenstrooms in het stuwpand, en hebben nagenoeg geen waterstandvariatie. Stuwpand Lith profiteert daarom relatief veel van een extra waterstandvariatie.

De extra waterstandvariatie heeft invloed op ongeveer de helft van oevers van de hoofdgeul, waarbij de geteste verhoging van $0,3$ m bij $600 \text{ m}^3/\text{s}$ rechtstreeks deze oevers beïnvloed. Deze stuwpeilverhoging bij hogere afvoeren heeft ook positieve effecten heeft op bovenstrooms in het stuwpand gelegen oevers, maar het effect wordt kleiner naarmate de oevers verder van de stuw liggen. Het aandeel beklede oevers dat profiteert van het stuwpeilverhoging scenario is relatief groot, maar hier zal geen ecologisch effect kunnen worden verwacht.

Vijf van de twaalf beken die in de onderzochte stuwpanden uitmonden, ondervinden geen waterstandvariatie omdat ze dicht bij de stuw hun monding hebben. Deze beken profiteren van een stuwpeilverlaging zodat het vrij afstromend oppervlak toeneemt en de beek zijn natuurlijke loop kan volgen.

7 Randvoorwaarden

In dit hoofdstuk zijn de randvoorwaarden voor extra stuwpeilvariatie nader verkend. Het gaat hier om de randvoorwaarden die andere functies in de stuwpanden stellen aan het stuwpeilbeheer. Voor de verkenning van de effecten op deze functies is geput uit bestaande kennis. Dit hoofdstuk is door de heer E.Kater (Alterra) geschreven.

Voor elke functie van het stuwpeilbeheer van de stuwpanden worden de effectrelaties beschreven. Vervolgens wordt op basis van een inventarisatie van de functie en objecten in de stuwpanden een inschatting gegeven van de effecten van een stuwpeilverhoging of -verlaging van 0,3 m op de betreffende functie. Waar mogelijk wordt aangegeven of dit effect alleen geldt in een afgebakende periode in een jaar.

7.1 Scheepvaart en havens

7.1.1 Vaardiepte

Het belangrijkste effect van stuwpeilvariatie voor de scheepvaart is de vaardiepte in het stuwpand en boven de drempels van sluizen. In paragraaf 3.1 is dit onderdeel al uitgebreid behandeld als sturende factor in het bestuderen van de mogelijkheden voor stuwpeilvariatie. Daarbij is al uitgegaan van de toekomstige stuwpeilen en drempelhoogten ná realisatie van het Maasrouteproject (2020). Hieruit blijkt dat vooral de benedenstroomse drempel van de sluizen aan bovenstroomse zijde van het stuwpand kritisch zijn voor stuwpeilverlaging als er nauwelijks tot geen afvoer is (zomerperiode). Uit Tabel 3.1 blijkt dat voor alle stuwpanden stuwpeilverlaging niet mogelijk is zonder hinder voor de scheepvaart.

De stuwpanden Belfeld (Maasroute) en Roermond kennen een relatief hoge scheepvaartdruk (70-80 schepen per dag door de sluizen). Stuwpand Lith is minder druk met 40-50 schepen per dag door de sluis (Heijkoop et al., 2009). Indien (tijdelijke) stuwpeilverlaging overwogen wordt, dan zal de (tijdelijke) hinder voor de scheepvaart in kaart gebracht moeten worden.

Als prognose voor effecten op lange termijn voor de scheepvaart moet er rekening mee worden gehouden dat de Maas in de verdere toekomst bevaarbaar moet worden voor grotere schepen (Rijkswaterstaat, 2006a). Dit versterkt de problematiek rondom beperkte diepgang.

7.1.2 Doorvaarthoogte bruggen

De doorvaarthoogte onder bruggen zal ook veranderen door variatie in het stuwpeil. In de stuwpanden kruisen de volgende bruggen de Maas of de monding van toevoerende beken:

- STP Roermond: brug N280 (rkm 79.5), kanaal Horn (rkm 76.3);
- STP Belfeld: spoorbrug Roermond (rkm 84.7);
- STP Lith: spoorbrug Ravenstein (rkm 182.9), brug Macharen (rkm 192.9).

Stuwpeilverhoging kan in principe tot problemen leiden voor de doorvaarthoogte. In het kader van deze studie (stuwpeilvariatie bij lagere afvoeren) is dat echter niet het geval omdat de doorvaarthoogte pas kritisch wordt tijdens hoge afvoeren.

7.1.3 Overige constructies voor beroeps- en pleziervaart

Voor de beroeps- en recreatievaart zijn in het stuwpand ook verschillende typen constructies aanwezig die mogelijk beperkt worden in functionaliteit als een ander stuwpeilbeheer wordt ingesteld. De belangrijkste soorten constructies zijn (jacht-)havens, loskades, (vaste/drijvende) steigers & ligplaatsen.

Voor vaste constructies zoals loskades bestaat de kans dat deze bij een stuwpeilverandering slechter bereikbaar worden voor schepen. Voor drijvende constructies geldt dit in principe ook, maar deze constructies zijn vanzelfsprekend meer flexibel om kleine wijzigingen in het stuwpeil op te vangen (Heijkoop et al., 2008; Rijkswaterstaat, 2006b).

In bijlage "Randvoorwaarden (H7)" is een tabel gegeven met de constructies die relevant zijn voor de beroeps- en pleziervaart. Voor deze constructies was geen gedetailleerde informatie beschikbaar over de exacte bandbreedte aan stuwpeilvariatie in de huidige constructie. In het algemeen mag verwacht worden dat de constructies in het bovenstroomse deel van een stuwband al berekend zijn op een grote bandbreedte in stuwpeilvariatie. Voor constructies in het benedenstroomse deel van het stuwband is de stuwpeilvariatie in de huidige situatie gering, dus hier kan een verandering een relatief groot effect hebben. De stuwpeilvariatie is in deze zone in het stuwband echter het kleinst in de beschouwde scenario's.

7.2 Vispassages

In eerdere studie naar stuwpeilopzet voor verschillende stuwbanden in de Maas zijn geen effecten beschreven op de functionaliteit van vispassages bij stuwpeilvariatie. Bij een bekkenvistrap kan de vistrap bij lagere waterstanden slechter bereikbaar worden voor vis doordat de eerste stapsteen te groot wordt. De benedenstroomse zijde van de stuw is ontworpen op variatie in de waterstand. Aan de bovenstroomse zijde is de eerste trede en de inlaatschuif (debietregulatie) echter ontworpen op stuwpeil. Bij stuwpeilverlaging moeten er eventueel aanpassingen plaats vinden (pers. med. Udo Boot).

Alle Maasstuwen in de bestudeerde stuwbanden (Linne, Roermond, Belfeld, Grave & Lith) zijn voorzien van een bekkenvistrap (Vriese en Kroes, 2009; Google Earth). In de beschouwde scenario's is er sprake van een geringe peilvariatie aan de bovenstroomse zijde van de vispassage (beneden in het stuwband).

In deze paragraaf is niet ingegaan op eventuele vispassages van de Maas naar beekmondingen.

7.3 Waterkrachtcentrales

Moderne waterkrachtcentrales zijn vaak ingericht op variatie in waterstanden. De waterkrachtcentrales in het studiegebied vallen hier ook onder. Een ander aspect dat van belang is bij waterkrachtcentrales is dat deze het meest rendement opleveren bij een groot verval. Als door de stuwpeilvariatie het verval over de stuwen structureel verandert kan dit consequenties hebben voor het rendement van de waterkrachtcentrales.

In het stuwband Roermond is een waterkrachtcentrale aanwezig in het stuwcomplex bij Linne (km 68.2), in stuwband Lith is een waterkrachtcentrale aanwezig in het stuwcomplex bij Lith (km 200.9). Tenslotte zijn er plannen voor de bouw van een nieuwe waterkrachtcentrale in het stuwcomplex bij Grave en mogelijk Belfeld (Heijkoop et al., 2008)

De waterkrachtcentrales in het gebied zijn ingericht op waterstandvariatie, kunnen dus in elk geval blijven functioneren na wijziging van het stuwpeil. Effecten op het rendement van de waterkrachtcentrales dienen nader onderzocht te worden op basis van concrete stuwpeilscenario's aan beide zijden van de stuw.

7.4 Drinkwaterwinning

Stuwpeilverhoging heeft geen nadelige gevolgen voor drinkwaterwinning. Stuwpeilverlaging kan de drinkwaterwinning uit oppervlaktewater (o.a. oeverinfiltratie) bemoeilijken omdat bij lagere stuwpeilen en weinig afvoer de zoetwatervoorraad te laag is, of omdat de waterkwaliteit niet voldoet. De kans dat dit optreedt is reëel, omdat de grootste zoetwatervraag optreedt in de periodes dat de waterstanden het laagst zijn. De gevolgen voor de drinkwatervoorziening lijken echter beperkt bij stuwpeilvariaties van +/- 0,3 m.

Stuwpeilvariatie heeft ook effect op de grondwaterstanden (zie ook paragraaf 7.6). Omdat drinkwaterwinning in Limburg vooral in diepere grondwaterlagen plaatsvindt, is het onwaarschijnlijk dat de stuwpeilvariatie hier enige invloed op heeft.

In het Lateraalkanaal - dat in open verbinding staat met stuwpand Belfeld - wordt drinkwater gewonnen uit oppervlaktewater bij Waterproductiebedrijf Heel (WML, 2010). Bij een te laag stuwpeil is beperkt waterwinning mogelijk, en dient drinkwater te worden gewonnen uit grondwater. Vanwege de effecten op de grondwaterstanden in de omgeving is dit volgens de Provincie Limburg ongewenst (Heijkoop et al., 2008).

7.5 In- en uitlaat van water

Op verschillende punten langs de stuwpanden kunnen in- en uitlaatpunten van bijvoorbeeld koelwater liggen. Bij lagere stuwpeilen kan de inlaat van koelwater onmogelijk worden, of de kosten om het water op te pompen hoger. Bij hogere waterstanden kan de afwatering onder vrij verval worden bemoeilijkt (onmogelijk, of pompkosten).

In alle stuwpanden liggen verschillende buitendijkse bedrijventerreinen waarvoor dit probleem mogelijk speelt. Eventuele binnendijkse bedrijven zijn niet in de inventarisatie opgenomen.

Tabel 7.1 Objecten met buitendijkse bedrijventerreinen met mogelijk in- en uitlaat van water, inclusief variatie bij het beschouwde scenario (RWS DTB, 2009; Google Earth).

Stuwpannd	Object	Variatie (m)
Roermond	Industrie Solvay (rkm 71.4)	0,93
	Inlaat/afvoer koelwater (rkm 71.5)	0,92
	Buitendijks bedrijventerrein (rkm 80.3)	-0,02
Belfeld	Buitendijks bedrijventerrein(rkm 84.1)	0,77
	Buitendijks bedrijventerrein (rkm 93.3)	0,31
	Buitendijks bedrijventerrein (rkm 98.6)	0,01
Lith	Buitendijks bedrijventerrein (rkm 180)	0,60
	Buitendijks bedrijventerrein (rkm 200.1)	0,04

7.6 Grondwater en kwelstromen

Variaties in het stuwpeil in de stuwpanden van de Maas hebben effect op de grondwaterstanden in de omgeving. Uit gedetailleerde grondwaterstudies naar de effecten van stuwpeilverhoging in aanliggende stuwpanden blijkt dat het effect op de grondwaterstanden ruimtelijk gevarieerd is.

In een aantal deelgebieden is er geen effect van de grondwaterstand te zien, en in andere gebieden is het effect op de grondwaterstand vrijwel gelijk aan de verandering in het stuwpeil (Rijkswaterstaat, 2006b; Heijkoop et al., 2008). Met gedetailleerde grondwaterberekeningen voor elk stuwpland kan hierover een uitspraak worden gedaan.

Veranderingen in grondwaterstanden kunnen leiden tot verandering in kwelstromen. In het Maasplassengebied zijn deze kwelstromen van groot belang voor de aanwezige natuur (Heijkoop et al., 2008). Het stuwpeilbeheer in stuwpland Roermond en Belfeld kan hier eventueel invloed op hebben. In de bestaande literatuur is geen informatie gevonden over de mogelijke relatie met stuwpeilverandering. Dit dient eventueel aan de hand van gedetailleerde grondwaterberekeningen nader te worden uitgewerkt.

De veranderingen in de grondwaterstanden en kwelstromen kunnen effect hebben op de volgende functies in en rondom de stuwplanden:

- Natuur, zowel natte als droge natuur
- Landbouw
- Bebouwing

In de volgende subparagrafen wordt op deze thema's ingegaan.

7.6.1 Natuur

In de voorgaande hoofdstukken is uitgebreid ingegaan op de voordelen van stuwpeilvariaties voor natuurontwikkeling in het riviersysteem. Vanuit die invalshoek heeft seizoensfluctuaties positieve effecten op de ecologie. De stuwen hebben natuurlijkheid van het systeem erg aangetast. Het imiteren van seizoensfluctuaties kan dan een grote ecologische winst opleveren.

In deze paragraaf ligt het accent om de natuur in omliggende natuurgebieden die niet specifiek zijn gebonden aan het riviersysteem, maar wel mogelijk effect ondervinden van de stuwpeilveranderingen. De effecten van stuwpeilvariatie op de grondwaterstanden zijn bepalend voor de effecten op deze gebieden.

In de studies naar de effecten van stuwpeilverhoging is geconstateerd dat de stuwpeilvariatie vaak doorwerkt in de grondwaterstanden. Stuwpeilverhoging en daaropvolgende verhoging van de grondwaterstand betekende voor natte natuurgebieden een positief effect, en voor drogere natuurgebieden een negatief effect. In de studies naar stuwpeilopzet zijn de effecten op de kwaliteit van de natuur in omliggende gebieden vrijwel altijd gering als het gaat om stuwpeilverandering van enkele decimeters (Rijkswaterstaat, 2006a+b). De lijn uit deze effectrelatie kan vermoedelijk worden gebruikt voor deze studie (ook stuwpeilverlaging).

Tabel 7.2 Natuurgebieden mogelijk beïnvloed door veranderingen in grondwaterstand, in de tabel staan ook de heersende waterstandvariëaties gegeven uit de analyse van H6 (waterstandvariatie bij $600\text{m}^3/\text{s}$) (Rijkswaterstaat, 2006b).

Stuwpaand	Natuurgebieden	Variatie (m)
Roermond	Benedenloop Vlootbeek	1,07
	Landgoed Hoosden	0,96
Belfeld	Leudal	0,50
	Vuilbenden	0,67
	Swalmdal	0,53
	Weerdbeemden	0,37
	Schellekensbeek	0,06
	6 gebieden langs Lateraalkanaal	
Lith	geen	

7.6.2 Landbouw

Voor de landbouw geldt ook dat de effecten vooral afhankelijk zijn van de effecten op de grondwaterstanden. De ordegrrootte is vergelijkbaar met natuur, alleen de richting is meestal andersom: de landbouw gedijt het best bij een stuwpeilbeheer met lage stuwpeilen in de winter en hogere stuwpeilen in de zomer. Dit is doorgaans tegengesteld aan de natuurlijke dynamiek van de waterafvoer. Het doel van deze studie is het op beperkte schaal nabootsen van de natuurlijke dynamiek van de afvoeren. Dit zal een negatief effect hebben op de landbouw sector. Echter, uit de stuwpeilopzetstudies blijkt het effect op de grondwaterstanden in het buitendijks gebied beperkt. In bijvoorbeeld stuwpaand Grave liggen de grondwaterstanden diep. Enkele decimeters verandering hebben dan ook een beperkte invloed op de landbouw (Rijkswaterstaat, 2006b). Het is te verwachten dat dat bij stuwpeilverlaging ook zo is. Voor het stuwpaand Lith is de verwachting dat het waterstanden in de Maas van beperkt belang is voor de grondwaterstanden in het omliggende gebied. Net als het westelijk deel van stuwpaand Grave worden de binnendijkse grondwaterstanden bepaald door de ontwatering in het binnendijkse gebied (Heijkoop et al., 2008; Rijkswaterstaat, 2006b).

Uit prognoses voor de landbouw in Limburg blijkt dat de sectoren akkerbouw, (glas-) tuinbouw en combinatiebedrijven zullen blijven groeien. Intensieve veehouderij zal sterk dalen. De verwachting is dat in 2015 de akkerbouw uitgegroeid is tot de belangrijkste agrarische bedrijfstak in de regio. Omdat akkerbouw relatief gevoelig is voor de grondwaterstanden, is het van belang de effecten op de grondwaterstanden in een vervolgstudie nader te beschouwen (Rijkswaterstaat, 2006a).

7.6.3 Bebouwing

Verhoging van het stuwpeil kan leiden tot verhoging van de grondwaterstanden. Hierdoor kunnen vochtproblemen ontstaan in de bebouwing (grondwater in de kelder, optrekkend vocht in muren en vloeren). In het stuwpeilopzetplan van de Zandmaas wordt ook gesproken over een (mogelijk) positieve effect: de hoogste grondwaterstand zou worden uitgevlakt. Dit aspect is in deze studie niet uitgewerkt.

In figuur 7.1 (pm) is een voorbeeld gegeven van een schema voor de bepaling of bebouwing effect heeft van verhoging van de grondwaterstand.

Tabel 7.3 Criteria voor de bepaling van de kans op grondwateroverlast in nieuwere woonwijken (Rijkswaterstaat, 2006b).

Referentiesituatie	Effect ingreep op gwstand	Resultaat
gwstand < 0,7 m -mv (nieuw)	> 0,25 m stijging	kans op schade
gwstand < 2,0 m -mv (oud) (natte ref. situatie)	< 0,25 m stijging	geen schade
gwstand > 0,7 m -mv (nieuw)	> 0,05 m stijging	kans op schade
gwstand > 2,0 m -mv (oud) (droge ref. situatie)	< 0,05 m stijging	geen schade

Verlaging van de grondwaterstand geeft doorgaans geen problemen voor de aanwezige bebouwing. Dat geldt overigens niet voor bebouwing in natte gebieden die gefundeerd zijn op houten palen, maar daarvan is in deze stuwpanden geen sprake.

In onderstaande tabel 7.4 is voor de onderzochte stuwpanden een overzicht gegeven van de buitendijkse terreinen die bebouwd zijn. Het binnendijkse gebied is niet onderzocht.

Tabel 7.4 Buitendijkse bebouwde terreinen (Rijkswaterstaat DTB, 2009; Google Earth).

Stuwpaand	Buitendijkse locatie	Rkm	Variatie (m)
Roermond	Camping	79	0,07
Roermond	Camping	80,8	-0,05
Belfeld	Buitendijkse bebouwing	94,6	0,24
Belfeld	Camping + ligplaatsen	96	0,15
Lith	Ligplaatsen + camping	180,4	0,58
Lith	Maasbommel - Gouden ham	191,1	0,2

7.7 Conclusies en aanbevelingen

Van de beschouwde randvoorwaarden is de vaardiepte voor de scheepvaart het meest kritisch ten aanzien van stuwpeilverlaging. Het verdient aanbeveling in een eventuele vervolgstudie dit thema sturend worden mee te nemen in de uitwerking van scenario's voor de variatie in het stuwpeil. Het gaat dan vooral om de hinder voor de scheepvaart door de beperkte vaardiepte bij de drempelhoogtes van de sluizen.

Binnen het thema scheepvaart en havens is de doorvaarhoogte onder de bruggen niet relevant, ook niet bij stuwpeilverhoging. Voor de havens en constructies is nader onderzoek nodig naar de bandbreedte van de constructies bij stuwpeilvariatie. De eerste inschatting is dat de meeste constructies en havens ingericht zijn voor een stuwpeilvariatie van enkele decimeters.

Bij de vispassages en waterkrachtcentrales zijn respectievelijk weinig tot geen aanpassingen nodig. Bij de vispassages is hooguit een aanpassing aan de bovenstroomse zijde van een vispassage nodig. Voor de overige in- en uitlaatconstructies is nadere informatie over de hoogtes vereist om een uitspraak te kunnen doen. Vooruitlopend daarop lijken de problemen mee te vallen. Sommige locaties krijgen te maken met een waterstandvariatie tot ca. 1 m. Deze liggen op locaties waar nu ook al waterstandfluctuaties optreden.

Tenslotte, voor de randvoorwaarden die gerelateerd zijn aan het grondwater is het nu niet mogelijk om een duidelijk beeld te krijgen van de effecten. Uit eerdere studies naar stuwpeilverhoging in aangrenzende stuwpanden zijn - bij een permanente stuwpeilopzet - de effecten gering. Bij stuwpeilvariatie is het effect naar verwachting kleiner en lijkt voor bijvoorbeeld de kwaliteit van natuurgebieden geen belemmering. Echter, gedetailleerde grondwaterberekeningen zijn gewenst om dit te bevestigen.

8 Effecten klimaatverandering op stuwpeilvariatie in gestuwde Maaspanden

8.1 Vraag 'gevolgen van klimaatverandering'.

Het betreft een beknopte verkenning naar de robuustheid van de ecologische winst door stuwpeilvariatie in het licht van klimaatverandering. Mogelijke factoren zijn een veranderende ecologie onder invloed van temperatuur en waterbeschikbaarheid, en (on)mogelijkheden voor stuwpeilvariatie door een veranderd afvoerregime. Dit om te verkennen of voorgestelde aanpassingen ook bij klimaatverandering een duurzaam ecologisch effect hebben. Hiervoor voldoet een korte indicatieve kwalitatieve beschrijving aan de hand van twee klimaatscenario's met (voor temperatuur en waterkwantiteit) verschillende gevolgen.

8.2 Klimaatscenario's

In KNMI (2009) wordt een viertal klimaatscenario's geschetst (zie figuur 8.1). De W-scenario's gaan uit van een stijging van de wereldgemiddelde temperatuur van +2°C in 2050 ten opzichte van 1990. De G-scenario's gaan uit van een stijging van +1°C. Daarnaast wordt nog onderscheid gemaakt in "+" scenario's. Bij deze scenario's wordt uitgegaan van veranderingen in luchtstromingspatronen die hydrologische (natte winters) en temperatuurs (warme winters) veranderingen met zich meebrengen. Alle scenario's voorspellen drogere zomers. Er zijn twee extremen gekozen om de effecten op de maatregel 'stuwpeilvariatie' in te schatten, te weten het G (1°C stijging, ongewijzigde luchtstromingspatronen) en het W+ (2°C stijging, gewijzigde luchtstromingspatronen) scenario.

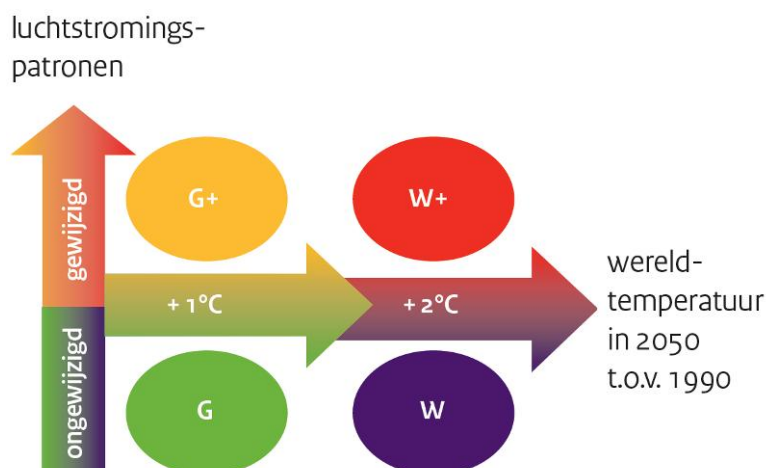


Figure 8.1 Verschillende klimaatscenario's en stuurfactoren (wereldtemperatuur en luchtstroming; KNMI, 2009).

8.3 Robuustheid van de ecologische winst

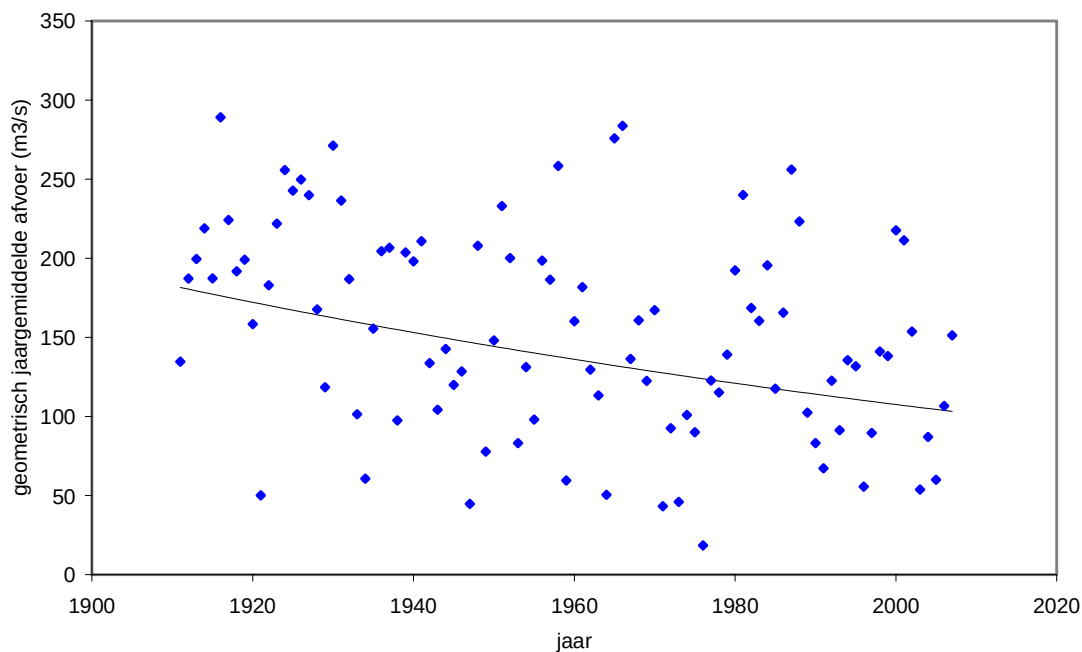
De vraag die wordt gesteld is of de ecologische winst die beoogd is, beïnvloed wordt door effecten van klimaatverandering. Dit wordt aan de hand van hydrologie (verandering in afvoerregime) en temperatuur belicht.

8.3.1 Hydrologie

Hydrologische veranderingen veroorzaakt door klimaatverandering of veranderd landgebruik in het Maasstroomgebied zijn in diverse studies geanalyseerd.

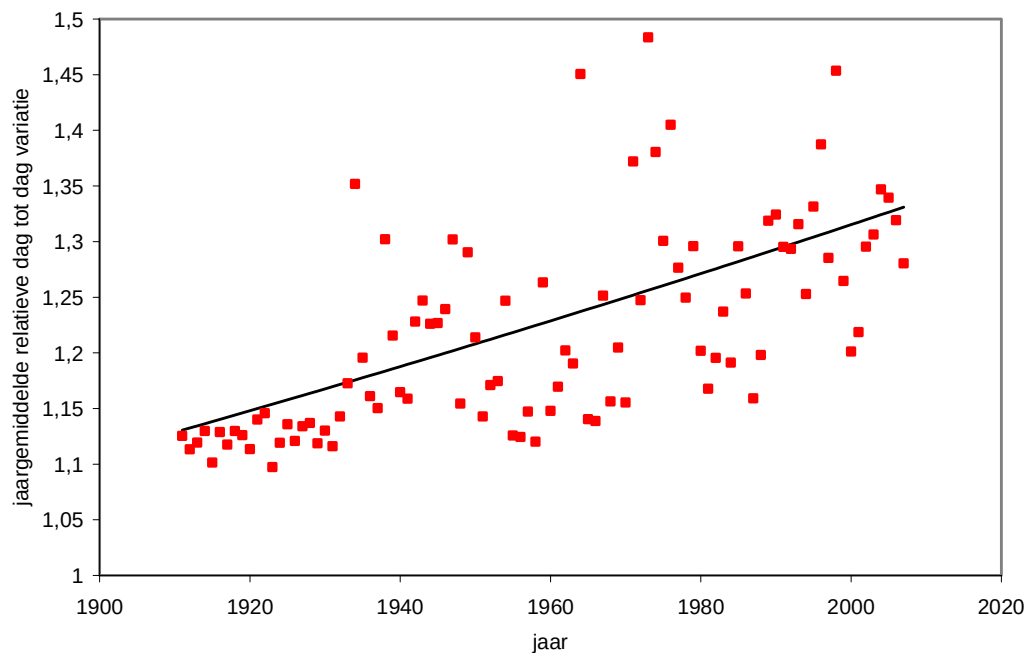
Tu *et al.* (2005) laten zien dat de gemiddelde afvoer van de Maas in het zomerhalfjaar is afgenomen in de periode 1911 tot 2008 en veronderstellen dat dit vooral het gevolg is van verhoogde verdamping, omdat de neerslag nagenoeg stabiel is gebleven. De Wit *et al.* (2007) concluderen op basis van modelsimulaties dat klimaatverandering zal leiden tot een afname van de gemiddelde afvoer tijdens het laagwaterseizoen. Fenicia *et al.* (2009) concluderen dat de afvoer binnen het stroomgebied versneld is door intensieve drainage en rivierregulatie. Daarnaast veronderstellen zij dat veranderd landgebruik en de daarmee samenhangende verdamping mede hebben bijgedragen aan de hydrologische veranderingen in het Maasstroomgebied. Eerder hadden Ashagrie *et al.* (2006) geconcludeerd dat de algehele invloed van veranderd landgebruik te klein is om aan te tonen gegeven de onzekerheid in de beschikbare informatie.

In het kader van deze studie is alle beschikbare dagafvoeren van 1911-2007 geanalyseerd op veranderingen in de gemiddelde afvoer (figuur 8.2), de snelheid van verandering (figuur 8.3) en de variatie binnen een jaar (figuur 8.4 en 8.5).



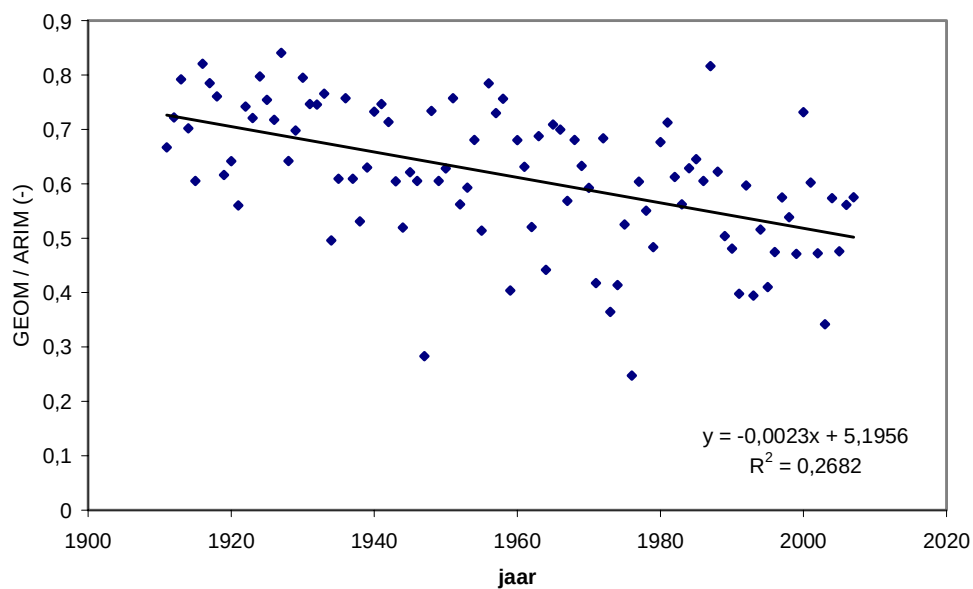
Figuur 8.2 De geometrisch jaargemiddelde afvoer van de Maas bij Borgharen over de periode 1911-2007.

De afvoer van de Maas kent een positief scheve lognormale verdeling. Zodoende is het geometrisch jaargemiddelde van de dagafvoeren bepaald. De geometrisch jaargemiddelde afvoer van de Maas bij Borgharen is over de periode 1911-2007 significant afgenomen van circa 180 m³/s tot iets meer dan 100 m³/s (figuur 8.2; $GEM(\ln(Q_d)) = -0,005881 \cdot \text{jaar} + 16,44$; $R^2 = 0,10$).



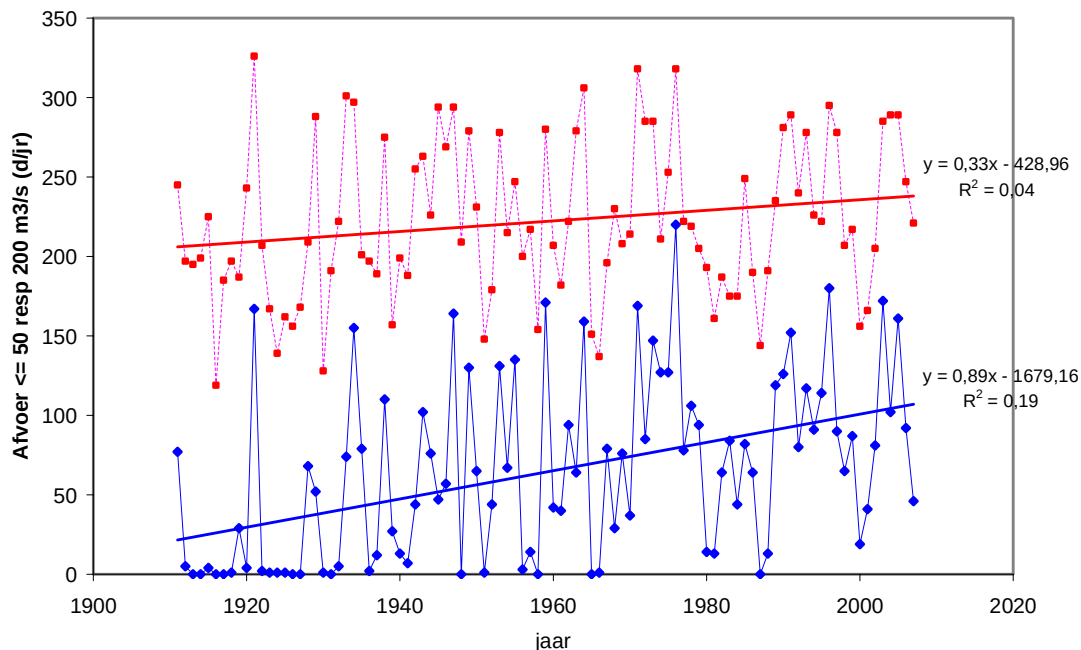
Figuur 8.3 De jaargemiddelde relatieve dag tot dag variatie ($|\ln Q_{t+1} - \ln Q_t|$) gedurende de periode 1911-2007.

De snelheid van verandering is geëvalueerd op basis van de relatieve dag tot dag variatie. Deze relatieve dag tot dag variatie ($|\ln Q_{d+1} - \ln Q_d|$) is significant toegenomen van circa 13 tot 33% in de periode 1911 – 2007 (figuur 8.3; Jaargemiddelde $|\ln Q_{d+1} - \ln Q_d| = 0,0017 \cdot \text{jaar} - 3,126$; $R^2 = 0,44$).



Figuur 8.4 De verhouding tussen de geometrisch (GEOM) en arithmetisch (ARIM) jaargemiddelde afvoer over de periode 1911-2007. Een groot verschil tussen GEOM en ARIM indiceert een grotere variatie in de dagafvoer.

De variatie in de afvoer binnen een kalenderjaar is significant toegenomen. Dit is gekarakteriseerd door de verhouding tussen het geometrisch en arithmetisch jaargemiddelde afvoer (figuur 8.4). Een groot verschil in de verhouding indiceert een grotere variatie in de dagafvoer.



Figuur 8.5 Het voorkomen van afvoeren ≤ 50 (♦) en ≤ 200 (■) m³/s (d/jaar) over de periode 1911-2007.

De toename in de variatie is hoofdzakelijk te wijden aan het vaker voorkomen van afvoeren ≤ 50 m³/s van circa 20 dagen tot meer dan 100 dagen per jaar over de periode 1911-2007 (Figuur 8.5). Afvoeren tot 100 m³/s (niet weergegeven) zijn toegenomen van minder dan 100 tot circa 170 dagen per jaar en afvoeren tot 200 m³/s van iets meer dan 200 tot circa 240 dagen per jaar.

Samenvattend is de afvoer afgenomen en zijn de relatieve dag tot dag variatie en de variatie binnen het jaar toegenomen in de periode 1911-2007. Vooral lage afvoeren komen vaker voor. Een en ander impliceert dat de waterstand bij het huidige stuwpeilbeheer gedurende grote delen van het jaar (ongeveer 8 maanden per jaar) nagenoeg gelijk is in de gehele stuwpanden en dat deze periode tegenwoordig langer is. Opties voor stuwpeilvariatie hebben de grootste doorwerking wanneer variatie gezocht wordt voor afvoeren kleiner dan 200 m³/s. Dan kan tevens de toegenomen dag tot dag variatie doorwerken in een variërend stuwpeil.

8.3.2 Temperatuur

Stijgende temperaturen hebben diverse effecten op aquatische ecosystemen, zoals eutrofiëringseffecten (waaronder algenbloeien), een vergrote kans op zuurstofloosheid, het verdwijnen van soorten van koude milieus en het uitbreiden van warmteminnende soorten (MNP, 2005). Wanneer lage afvoeren en hoge temperaturen tegelijk voorkomen kunnen ze elkaar qua invloed versterken. Wanneer bij lage afvoeren het water in een stuwpand een langere verblijftijd krijgt en de temperatuur hoger is, neemt de kans op algenontwikkeling toe en de daaraan verbonden consequenties voor waterplanten en zuurstofcondities. Verlaging van het stuwpeil vergroot de doorstroming van stuwpanden en verkort de verblijftijd.

Met betrekking tot waterplanten is het van belang de kans op algenontwikkeling te minimaliseren. Dit is mogelijk door verlaging van het stuwpeil, hetgeen de doorstroming van stuwpannen vergroot en de verblijftijd verkort. Daarnaast resulteert stuwpeilvariatie in tijdelijk droogvallende oevers wat denitrificatie processen kan bevorderen. De invloed van beide opties (verlaging respectievelijk variatie) op deze processen (algenontwikkeling, denitrificatie) worden echter gering geacht gezien de beschikbare zoekruimte om stuwpeilen aan te passen.

Voor macrofauna geldt dat de gevolgen vooral afhankelijk zullen zijn van de consequenties van klimaatverandering voor het voorkomen van waterplanten, omdat vegetatieontwikkeling als een bepalende factor wordt gezien voor de samenstelling van macrofaunagemeenschappen. Daarnaast kunnen zuurstofcondities en temperatuurtolerantie nog een rol spelen en leiden tot verschuivingen tussen soorten.

Voor vissen geldt dat de effecten van de temperatuur per soort zullen verschillen. Soorten, die warme omstandigheden prefereren, zullen profiteren door een succesvollere voorplanting mits er voldoende voedsel is. Voor deze soorten resulteren warme zomers vaker in sterke jaarklassen. Dit zal naar verwachting het geval zijn voor de meeste karperachtigen, zoals brasem, blankvoorn of barbeel. Daarentegen zullen soorten, die koude omstandigheden prefereren, achteruitgaan en zelfs verdwijnen. Dit zal het geval zijn voor de zalmachtigen, zoals zalm en forel.

Temperatuursverandering van het Maaswater lijkt door klimaatverschuivingen geen doorslaggevende factor te zijn voor de keuzes in stuwpeilvariatie. Veranderingen in levensgemeenschappen door veranderde temperatuurregimes kunnen niet bijgestuurd worden door stuwpeilvariatie in de stuwpannen van de Maas.

8.4 Conclusies en aanbevelingen

Samenvattend wordt geadviseerd bij de keuze voor verandering in het stuwpeilbeheer rekening te houden met de langjarige en toekomstige veranderingen in het hydrologische regime. Lage afvoeren ($< 200 \text{ m}^3/\text{s}$, maar $< 50 \text{ m}^3/\text{s}$) zullen naar verwachting vaker voorkomen en resulteren in langere perioden met een nagenoeg gelijke waterstand in de gehele stuwpannen. Keuzes voor stuwpeilvariatie hoeven naar onze mening de gevolgen van temperatuursveranderingen niet in beschouwing te nemen, omdat ze elkaar naar verwachting weinig beïnvloeden. Kanttekening hierbij is dat het effect van de maatregel zelf groter zal zijn dan de effecten van klimaatverandering. De beschreven ecologische effecten van de maatregel gelden dus ook als het klimaat volgens de besproken scenario's verandert.

9 Conclusies en aanbevelingen

Hieronder staan de conclusies en aanbevelingen van de studie naar Ecologische potenties van stuwpeilvariatie in de stuwpanden Roermond, Belfeld en Lith (per onderzoeksvraag).

9.1 Wat is het effect van waterstandvariatie op het ecologisch functioneren van het KRW-waterlichaam?

- Gedeeltelijk herstel van het natuurlijke waterstandregime in Maas en zijwateren:
 - o vergroot de diversiteit van de oeverhabitats qua waterdiepte en droogval,
 - o is een dynamisch proces dat de (morfologische) oeverontwikkeling bevordert,
 - o bevordert de terugkomst van karakteristieke riviersoorten,
 - o bevordert soorten, die specifiek profiteren van droogvallende oevers.
- Waterstandvariatie heeft alleen ecologisch effect op vrij eroderende en andere vlakke natuurvriendelijke oevers. Op harde oevers heeft waterstandvariatie geen effect.
- Het huidige peilbeheer zorgt voor een opstuwing in beekmondingen. Peilverlaging vergroot het vrij stromend traject en vergroot de habitat voor stromingsminnende soorten.
- Harde kwantitatieve data over het ecologisch effect van peilvariatie in stuwpanden is in de nationale en internationale literatuur niet aanwezig.

9.2 Bestaande waterstandvariatie o.b.v. huidig stuwpeilbeheer (Scenario 0):

- Algemeen: bij een vrij afstromende rivier is het verhang van de waterspiegel ongeveer gelijk aan het bodemverhang, met waterstanden die variëren met de grootte van de afvoer.
- Algemeen: bij een gestuwde rivier is de waterstand in het stuwpand bij lage afvoeren nagenoeg horizontaal. Bij toenemende afvoeren ontstaat er een verhang in het stuwpand, waarbij de waterstanden boven in het stuwpand toenemen. Deze waterstand t.o.v. het stuwpeil neemt toe in bovenstroomse richting en neemt toe met de afvoer (zie figuur 3.3).
- De waterstandvariatie in het bovenstroomse deel van het stuwpand is matig tot relatief groot en seizoensafhankelijk. In de zomer (juni-augustus) is de variatie van afvoer en waterstanden zeer gering, maar in de lente (maart-mei) relatief groot. Gemiddeld 7 dagen per lente + zomer (6 maanden) is de waterstandvariatie bovenin het stuwpand Roermond 1,40 m, bovenin stuwpand Belfeld 1,00 m en bovenin stuwpand Lith 0,80 m. Bij frequenter voorkomende lagere afvoeren is deze bovenstroomse waterstandvariatie kleiner en onder de 100 m³/s nagenoeg afwezig.
- De waterstandvariatie in het benedenstroomse deel van het stuwpand is matig tot afwezig, zowel in de lente als in de zomer.
- Tijdens grote delen van het groeiseizoen (lente en zomer) zijn de afvoeren zo laag (<200 m³/s) dat er in het gehele stuwpand nauwelijks waterstandvariaties optreden.
- Oevers van zijwateren (plassen, kanalen, beken) die waterstandvariatie vanuit de Maas ondervinden, hebben een aanzienlijke oeverlengte (113 km versus 125 km hoofdgeuloeverlengte) en hebben potentie voor oeverontwikkeling. De waterstandvariatie van zijwateren wordt bepaald door de locatie waar zij aangetakt zijn op de Maas (aan bovenstroomse of benedenstroomse zijde van het stuwpand).
- De oevers van de plassen gelegen aan de bovenstroomse zijde van de stuwpanden Roermond en Belfeld profiteren al van de aanwezige waterstandvariatie. Ook zijn er kansen om meer plassen (Lus van Linne) aan te takken aan de bovenstroomse kant van het stuwpand.
- In het stuwpand Lith daarentegen bevindt de meeste zijwateren zich juist aan de benedenstroomse zijde van het stuwpand, met dus geringe peilvariatie.

- Indien waterstandvariatie een gunstig effect heeft op de ecologische waarde van vrije oevers, dan zou er verschil zichtbaar moeten zijn tussen de vrije oevers boven (met relatief veel waterstandvariatie) en beneden in het stuwpand (met geringe waterstandvariatie).

9.3 Wat zijn mogelijke nieuwe scenario's voor (extra) stuwpeilvariatie?

- De huidige waterstandvariatie wordt vooral bepaald door het voor de scheepvaart laagst toegelaten stuwpeil in de stuwpanden.
- Extra waterstandvariatie is vooral noodzakelijk in het groeiseizoen (grootweg 1 april tot 1 september, dus laatste 2 maanden van de lente en gehele zomer).
- Waterstandvariatie is vooral zinvol bij afvoeren lager dan 600 m³/s, omdat deze meer dan 90% van de tijd voorkomen. Bij hogere afvoeren kan het huidig peilregime worden gevolgd.
- Naast een variatie van de waterstand gedurende het jaar, is waterstandvariatie tussen jaren ook belangrijk voor diversiteit van water- en oevervegetatie. Zodoende wordt geadviseerd de tussenjaarlijkse waterstandvariatie mee te nemen in de scenario-keuze van de stuwpeilvariatie.

9.3.1 Scenario 1: Stuwpeil volgt de afvoer; stuwpeilverlaging bij lage afvoeren (zie figuur 5.2):

- Het meest natuurlijke scenario voor stuwpeilvariatie is die waarbij het stuwpeil de natuurlijke afvoervariatie volgt: bij lage afvoeren een lager stuwpeil dat met grotere afvoeren steeds hoger wordt opgezet. Bij afvoeren boven 600 m³/s kan het huidig regime worden gevolgd. Hiermee wordt in het grootste deel van de lente en zomer zowel de binnenjaarlijkse als de tussenjaarlijkse waterstandvariatie vergroot.
- In het benedenstroomse deel van het stuwpand (met nu geringe waterstandvariatie) neemt de variatie toe door dit scenario (in ongeveer gelijke mate met de stuwpeilvariatie).
- In het bovenstroomse deel van het stuwpand (met nu reeds waterstandvariatie) neemt de waterstandvariatie ook **toe** (met iets minder dan de stuwpeilvariatie).
- Het laagste stuwpeil bij zeer lage afvoeren, startpeil genoemd, wordt bepaald door de aanvaardbare hinder voor de scheepvaart (minimale vaardiepte bij de bovenstroomse sluis).
- Het startpeil moet zo laag mogelijk liggen, liefst de gehele periode of het grootste deel lager dan het huidige peil. Hiermee kan (1) een zo groot mogelijke waterstandvariatie worden bereikt en (2) wordt het opstuwend effect in beekmondingen verminderd.

9.3.2 Scenario 2: Stuwpeilverlaging bij hoge afvoeren (zie figuur 5.3):

- In dit alternatieve scenario neemt het stuwpeil af bij toenemende afvoeren, hetgeen tegennatuurlijk is en ecologisch niet wenselijk.
- Dit scenario geeft bij lage afvoeren geen peilvariatie, en de waterstand is in grote delen van het groeiseizoen stabiel.
- In het benedenstroomse deel van het stuwpand (met nu geringe waterstandvariatie) neemt de variatie toe (in ongeveer gelijke mate als de stuwpeilvariatie), maar is tegennatuurlijk.
- In het bovenstroomse deel van het stuwpand (met nu reeds waterstandvariatie) neemt de waterstandvariatie **af** (met iets minder dan de stuwpeilvariatie).
- De maximale stuwpeilverlaging bij hogere afvoeren wordt bepaald door de aanvaardbare hinder voor de scheepvaart (minimale vaardiepte bij de benedenstroomse sluis).

9.4 Wat zijn de belangrijkste randvoorwaarden voor stuwpeilvariatie? Zijn er klimaateffecten die met de maatregel interfereren?

- De vereiste vaardiepte (vooral t.p.v. de sluisdrempels) is het meest kritisch ten aanzien van stuwpeilverlaging. De doorvaarthoogte onder bruggen bij stuwpeilverhoging vormt geen belemmering omdat bruggen op hogere waterstanden gedimensioneerd zijn.

De eerste inschatting is, dat de meeste havens en constructies zijn ingericht op waterstandvariatie van enkele decimeters en geen hinder ondervinden.

- Voor vispassages zijn hooguit geringe aanpassingen aan bovenstroomse zijde nodig.
- WKC's vereisen geen aanpassingen. Voor de overige in- en uitlaatconstructies is meer informatie nodig om een uitspraak te kunnen doen, maar de problemen lijken mee te vallen.
- Voor de randvoorwaarden gerelateerd aan het grondwater (landbouw en natuur) is het onmogelijk om nu een duidelijk beeld van de effecten te krijgen. Eerdere studies naar een permanente peilopzet (t.b.v. scheepvaart en compensatie van waterstanddaling) in andere stuwpanden laten geringe effecten zien. Bij (tijdelijke) stuwpeilvariatie zullen de effecten naar verwachting kleiner zijn, maar gedetailleerde grondwaterberekeningen zijn nodig om dit te bevestigen. NB: Bij peilopzet bij De Maaswerken worden wel schadevergoedingen uitgekeerd.
- De conclusies van deze studie gelden ook bij klimaatsverandering. Bij de keuze van stuwpeilvariatie hoeven de gevolgen van watertemperatuurverandering niet meegenomen te worden. Het gunstige effect van invoering van stuwpeilvariatie zelf zal groter zijn dan het negatieve effect van klimaatverandering.
- Vóór een eventuele introductie van stuwpeilvariatie moeten alle randvoorwaarden nog gedetailleerder bepaald worden.

9.5 Aanbevelingen

9.5.1 Aanbevelingen voor aanleg:

- Ongeacht eventuele extra stuwpeilvariatie leveren natuurvriendelijke of vrij eroderende oevers nu al een verbetering van de ecologische waarde. Aanlegprogramma's vooral laten doorgaan.
- Stuwpeilvariatie heeft meteen effect op bestaande NVOs en aangetakte wateren. Het effect wordt vergroot wanneer meer NVOs in zowel de hoofdgeul als aangetakte wateren worden aangelegd zoals in de periode tot 2015. Voorgesteld wordt om tot 2015 de aanbevelingen voor monitoring en onderzoek uit te voeren zodat het ecologisch effect kan worden gepreciseerd, en de maatregel vervolgens in de 2^{de} SGBP planstudie op te pakken.
- Bij oeverinrichting dient de stortsteenbekleding verwijderd te worden tot ca. 2 m diepte zodat habitat voor waterplanten ontstaat (type ondiepe (<2 m) oever op zand), tenzij andere overwegingen de doorslag geven.
- Vele zijwateren liggen langs trajecten met matige tot relatief grote waterstandvariatie (stuwpanden Roermond en Belfeld) en bieden ruimte om ondiepe waterplantrijke habitats te ontwikkelen, zonder hinder voor scheepvaart.
- In stuwpand Lith liggen aanzienlijke oeverlengten van zijwateren in het benedenstroomse deel van het stuwpand (met geringe waterstandvariatie). Wanneer deze oevers natuurvriendelijk worden ingericht, zullen ze profiteren van vergroting van de waterstandvariatie d.m.v. eventuele stuwpeilvariatie.
- Zorg dat bij de revisie of bouw van stuwen rekening wordt gehouden met mogelijkheden om het stuwpeil enigszins traploos te laten variëren bij afvoeren <600 m³/s, zonder verdere randvoorwaarden in acht te nemen, orde van grootte tot een 1 m variatie.

9.5.2 Aanbevelingen voor beheer:

- Stuwpeilverlaging, en een zo laag mogelijk startpeil bij stuwpeilsценario 1, verdient de voorkeur boven stuwpeilverhoging. Stuwpeilverlaging vergroot de waterstandvariatie evenals de vrije afstroming vanuit beken, terwijl stuwpeilopzet de waterstandvariatie in het bovenstroomse deel van stuwpannen verkleint en extra opstuwing in beekmondingen geeft.
- Vijf van de twaalf beken die in de onderzochte stuwpannen uitmonden, ondervinden weinig waterstandvariatie omdat ze in het benedenstroomse deel van het stuwpan uitmonden. Peilverlaging verbetert het natuurlijk functioneren van de beek en bevordert de reofiele (stromingskarakteristieke) soorten.

9.5.3 Aanbevelingen voor monitoring en onderzoek:

- Monitoring van de waterplantenontwikkeling in en langs oevers van de hoofdgeul en zijwateren is belangrijk en verdient meer aandacht.
- Zorg dat in de ecotopenkaarten de bekleding van de oevers (zowel hoofdgeul als zijwateren) wordt opgenomen; dit is voor het schatten van de ecologische werking van belang.
- De zijwateren bieden veel mogelijkheden voor oeverontwikkeling vanwege de afwezigheid van beroepsvaart. Inventariseer de oevers van zijwateren op huidige status en potentie voor oeverontwikkeling.
- Het is van groot belang dat de ontwikkeling van de oevers in de toekomst gemonitord blijft (ook onder water vanwege vissen, macrofauna en waterplanten).
- Gebruik deze gegenereerde kennis over waterstandvariatie in lopende onderzoeken naar de werking van vrij eroderende oevers en natuurvriendelijke oevers om het ecologisch kennisgat te verkleinen. Analyseer de gegevens over de ecologische ontwikkeling van vrij eroderende en natuurvriendelijke oevers zowel naar oevertype als de thans aanwezige waterstandvariatie. Deze analyse kan aantonen in hoeverre de aanwezigheid van waterstandvariatie een meerwaarde heeft voor ecologische oeverontwikkeling en daarmee een onderbouwing bieden voor eventuele (extra) stuwpeilverlaging.

10 Literatuur

- Bunn, S.E. & A.H. Arthington, 2002. Basic principles and ecological consequences of altered flow regimes for aquatic biodiversity. *Environmental Management* **30(4)**: 492-507.
- Coops (red.), 2002. *Ecologische effecten van stuwpeilbeheer: een kennisoverzicht*. RIZA rapport 2002.040. RIZA, Lelystad, 134 pp.
- De Gelder, A., M. de la Haye & J.M.T. Stam, 2003. *Verkenkende studie vooroevers. Het functioneren van vooroeververdedigingen bij een ander beheer van de Haringvlietsluizen*. Rapport in opdracht van RWS Directie Zuid-Holland, 72 pp.
- De Wit, M. J. M., B. van den Hurk, P.M.M. Warmerdam, P.J.J.F. Torfs, E. Roulin & W.P.A. van Deursen, 2007. Impact of climate change on low-flows in the river Meuse. *Climatic Change* **82**: 351-372.
- DHV, 2008. *Oriënteringsonderzoek Variabel Stuwen Maas. Inclusief deelverkenningen extra bufferen en natuurlijker peilbeheer*. Uitgegeven door Rijkswaterstaat Dienst Limburg, Maastricht, 53 pp.
- Europese Commissie, 2000. *Richtlijn 2000/60/EG van het Europees Parlement en de Raad van 23 oktober 2000, tot vaststelling van een kader voor communautaire maatregelen betreffende het waterbeleid*. Bureau voor publicaties van de Europese Unie, Luxemburg, 88 pp.
- Fenicia, F., H.H.G. Savenije & Y. Avdeeva, 2009. Anomaly in the rainfall-runoff behaviour of the Meuse catchment. Climate, land-use, or land-use management? *Hydrology And Earth System Sciences* **13**: 1727-1737.
- Fenster, M. & C. Knisley, 2006. Impact of dams on point bar habitat: a case for the extirpation of the Sacramento Valley Tiger Beetle, *C. hirticollis abrupta*. *River Research and Applications* **904**: 881-904.
- Haxton, T.J. & C.S. Findlay, 2008. Meta-analysis of the impacts of water management on aquatic communities. *Can. J. Fish. & Aquat. Sci.* **65(3)**: 437-447.
- Heijkoop, N.W. R.A. Wils en A.J.C. van de Kerk, 2008. Oriënteringsonderzoek Variabel Stuwen Maas. DHV, Amersfoort i.o.v. Rijkswaterstaat.
- Peters, B. & A. Klink, 2005. Variabel stuwregime in het stuwpand Lith en ecologische perspectieven voor de Hemelrijkse Waard. Een verkenning. Bureau Drift, Berg en Dal.
- Rijkswaterstaat, 2006a. Tracébesluit Zandmaas/Maasroute - Peilopzetplan
- Rijkswaterstaat, 2006b. Tracébesluit Zandmaas/Maasroute - aanvulling I. Achtergronddocument peilopzet Grave.
- Vriese, T & M. Kroes, 2009. Bekkenvistrap en Hevelvistrap in de Maas. Een onderlinge vergelijking van twee vistrappen bij stuw Roermond. DHV, VisAdvies & atkb iov Rijkswaterstaat.
- WML, 2010. Startnotitie Milieueffectrapportage Realisatie permanente back-up voor Waterproductiebedrijf Heel. Waterleiding Maatschappij Limburg, Maastricht.

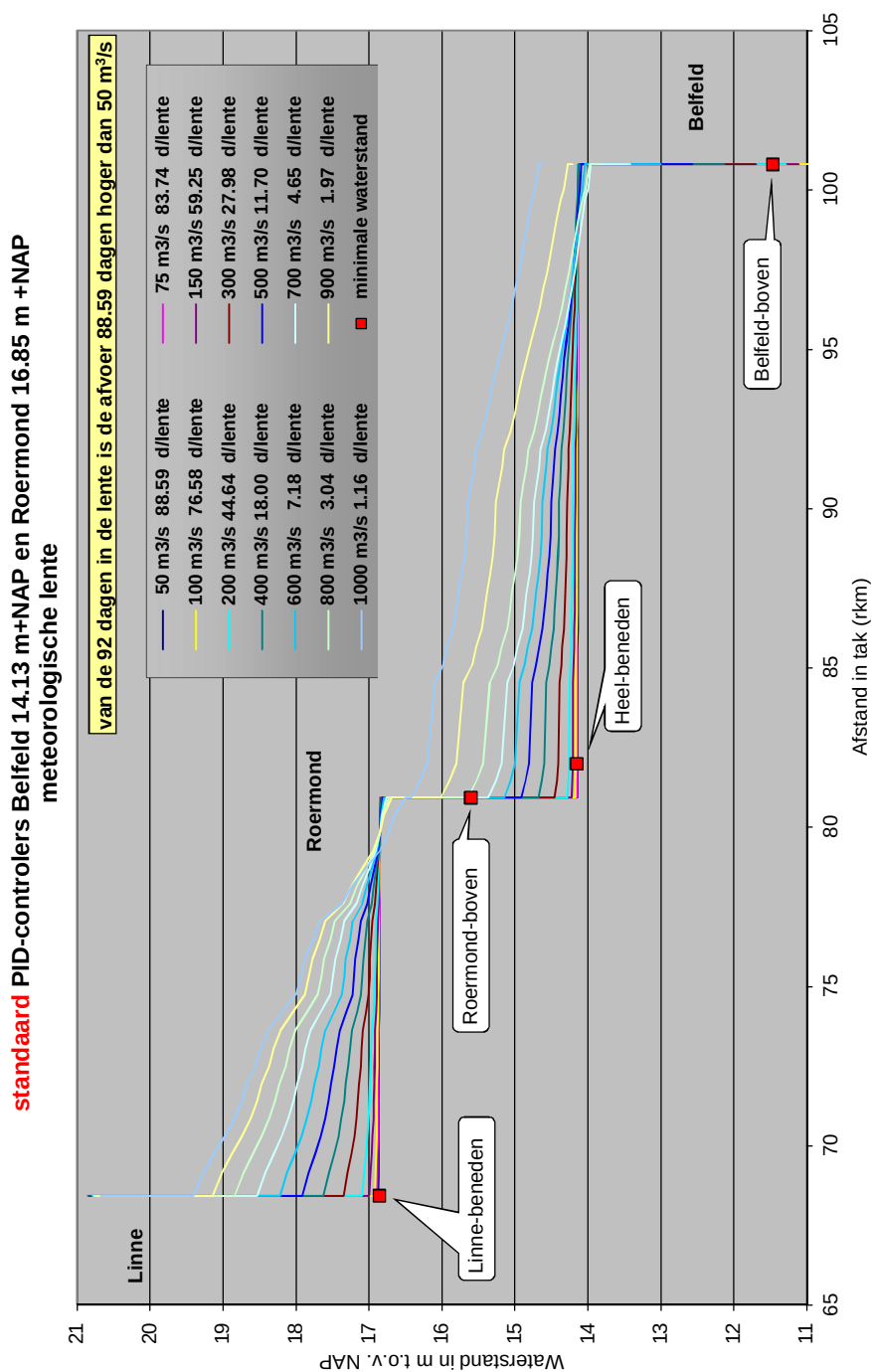
- Ashagrie, A.G., P.J.M. de Laat, M.J.M. de Wit, M. Tu & S. Uhlenbrook, 2006. Detecting the influence of land use changes on discharges and floods in the Meuse River Basin - the predictive power of a ninety-year rainfall-runoff relation? *Hydrology And Earth System Sciences* **10**: 691-701.
- Hill, N., P. Keddy, & I. Wisheu, 1998. A hydrological model for predicting the effects of dams on the shoreline vegetation of lakes and reservoirs. *Environmental Management* **22**: 723-736.
- Hobbs R.J., S. Arico, J. Aronson *et al.*, 2006. Novel ecosystems: theoretical and management aspects of the new ecological world order. *Global Ecology and Biogeography* **15**: 1-7.
- Jansson, R., C. Nilsson, M. Dynesius & E. Andersson, 2000. Effects of river regulation on river-margin vegetation: A comparison of eight boreal rivers. *Ecological Applications* **10(1)**: 203-224.
- Junk, W.J., Bayley, P.B. & R.E. Sparks, 1989. The Flood Pulse Concept In River-Floodplain Systems. In: Doge, D.P.(Ed.). Proc. Int. Large River Symp (Lars). *Can. Spec. Publ. Fish. Aquat. Sci.* **106**: 110-127.
- Kerkum, F.C.M., J. van Schie, R. Hoenjet, A Knotters, B. Peters & I. Spierts, 2009. *Monitoring natuur(vriende)lijke oevers Maas. Deelrapportage 1, jaar 2008*. Rijkswaterstaat Waterdienst, Lelystad, 140 pp.
- Kerkum, F.C.M.J. 2010. *Een natuurlijker Maas. Resultaten monitoringsprogramma Natuur(vriende)lijke oevers Maas. Samenvattende rapportage 2009*. Rijkswaterstaat Waterdienst, Lelystad, 33 pp.
- Klink, A. & B. Peters, 2005. *Variabel stuwregiem in stuwband Lith. Ecologische perspectieven voor de Hemelrijkse Waard*. Hydrobiologisch adviesbureau Klink B.V., Wageningen, 18 pp.
- KNMI, 2009. *Klimaatverandering in Nederland. Aanvullingen op de KNMI '06 scenario's*. KNMI, de Bilt, 34 pp.
- Lytle D.A & N.L. Poff, 2004. Adaptation to natural flow regimes. *Trends in Ecology & Evolution* **19(2)**: 94-100.
- MNP, 2005. *Effecten van klimaatverandering in Nederland*. Met medewerking van het KNMI, RWS-RIZA, RWS-RIKZ, Alterra WUR, VU IVM & UM ICIS, 112 pp.
- Nilsson, C., R.L. Brown, R. Jansson & D.M. Merrit, 2010. The role of hydrochory in structuring riparian and wetland vegetation. *Biological Reviews* **85(4)**: 837-858.
- Nishihiro, J. & I. Washitani, 2009. Quantitative evaluation of water-level effects on "regeneration safe-sites" for lakeshore plants in Lake Kasumigaura, Japan. *Lake and Reservoir Management* **25(2)**: 217-223.
- Ogbeibu, A.E. & B.J. Oribhabor, 2002. Ecological impact of river impoundment using benthic macro-invertebrates as indicators. *Water Research* **36(10)**: 2427-2436.
- Overkamp, E.T.M., C.M. Bolle & S.E.J. Buykx, 2009. *Natuur(vriende)lijke Maasoevers Eijsden-ammerzoden, verkenning kansrijke projecten KRW*. Arcadisrapport C03021/OM7/200033/ws, in opdracht van Rijkswaterstaat Dienst Limburg, 89 pp.

- Peters, B. & A. Klink, 2005. *Variabel stuwregime in het stuwpand Lith en ecologische perspectieven voor de Hemelrijkse Waard*. Bureau Drift, Berg en Dal, 37 pp.
- Peters, B. & G. Kurstjens, 2009. *Rijn in Beeld. Waterplanten in Nevengeulen – inventarisatie 2009*. Bureau Drift/Kurstjens Ecologisch Advies. Berg en Dal/Beek Ubbergen, 20 pp.
- Petts G.E. & C. Amoros (red.), 1996. *Fluvial Hydrosystems*. Chapman and Hall, London, 400 pp.
- Poff, N.L., B.D. Richter, A.H. Arthington, S.E. Bunn, R.J. Naiman, E. Kendy, M. Acreman, C. Apse, B.P. Bledsoe, M.C. Freeman, J. Henriksen, R.B. Jacobson, J.G. Kennen, D.M. Merritt, J.H. O'Keeffe, J.D. Olden, K. Rogers, R.E. Tharme & A. Warner, 2010. The ecological limits of hydrologic alteration (ELOHA): a new framework for developing regional environmental flow standards. *Freshwater Biology* **55**(1): 147-170.
- Richter, B.D., J.V. Baumgartner, D.P. Braun, & J. Powell, 1998. A spatial assessment of hydrologic alteration within a river network. *River Research & Applications* **340**: 329 - 340.
- Richter, B.D., J.V. Baumgartner, J. Powell & D.P. Braun, 1996. Hydrologic Alteration for Assessing within Ecosystems. *Conservation Biology* **10**: 1163-1174.
- Richter, B.D., J.V. Baumgartner, R. Wigington & D.P. Braun, 1997 How much water does a river need? *Freshwater Biology* **37**: 231-249.
- Rijkswaterstaat, 2009. *Beheer- en Ontwikkelplan voor de Rijkswateren 2010-2015. Werken aan een robuust watersysteem*. Rijkswaterstaat, 175 pp.
- Strayer, D.L. & S.E.G. Findlay, 2010. Ecology of freshwater shore zones. *Aquat. Sci.* **72**: 127-163.
- Tockner, K., F. Schiemer & J.V. Ward, 1998. Conservation by restoration: the management concept for a river-floodplain system on the Danube River in Austria. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems* **8**: 71–86.
- Tosserams, M., J.Th. Vulink & H. Coops, 1999. *“Tussen Water en Land”; Perspectief voor oeverplanten in het Volkerak-Zoommeer (Eindrapportage ‘Planten in de Peiling’)*. RIZA rapport 99.031. ISBN 90-369-5255-7.
- Tu, M., P.J.M. de Laat, M.J.M. de Wit & M.J. Hall, 2005. Change of Low Flows in the Meuse River during the 20th Century. *Proceedings of the 2nd international yellow river forum on keeping healthy life of the river V*: 27-37.
- Van den Brink, F.W.B., G. Van Der Velde, A.D. Buijse & A.G. Klink, 1996. Biodiversity in the lower Rhine and Meuse river-floodplains: its significance for ecological river management. *Netherlands Journal of Aquatic Ecology* **30**(2-3): 129-149.
- Van der Molen, D.T. & R. Pot (eds.), 2007. *Referenties en maatlatten voor natuurlijke wateren voor de Kaderrichtlijn Water*. STOWA, Utrecht, 362 pp.
- van Eck, W.H., H.M. van de Steeg, C.W. Blom & H. de Kroon, 2004. Is tolerance to summer flooding correlated with distribution patterns in river floodplains? A comparative study of 20 terrestrial grassland species. *Oikos* **107**: 393-405.
- Van Schie, J., 2009. *Monitoring waterplanten vooroeverproject Lek 2008*. Rijkswaterstaat Waterdienst in opdracht van Rijkswaterstaat, 31 pp.

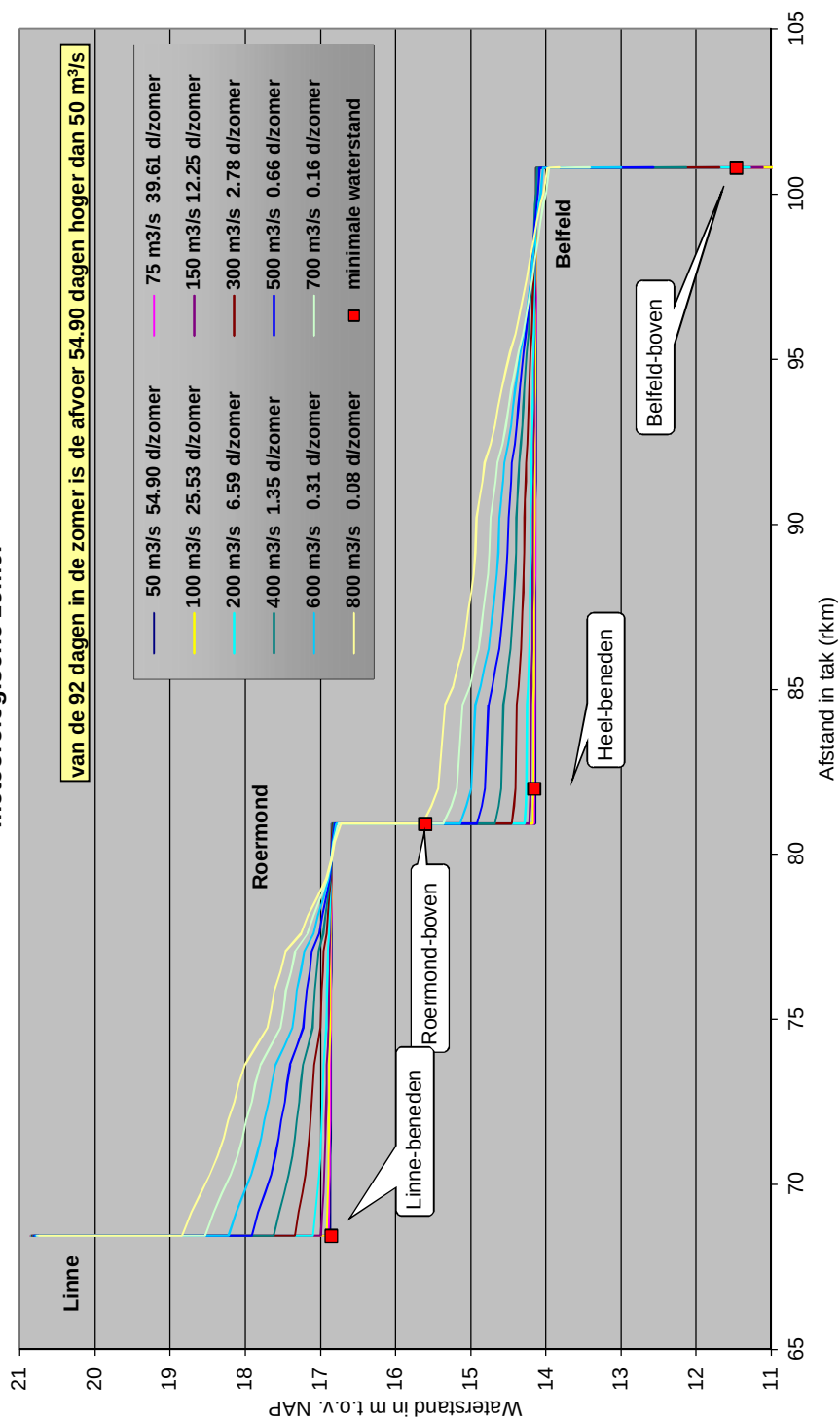
- van Splunder, I., H. Coops, L. Voesenek & C. Blom, 1995. Establishment of alluvial forest species in floodplains: the role of dispersal timing, germination characteristics and water level fluctuations. *Acta Bot. Neerl.* **44**: 269-278.
- Vera, F., 1988 *De Oostvaardersplassen. Van spontane natuuruutbarsting tot gerichte natuurontwikkeling*. IVN/Grasduinen Amsterdam-Haarlem, 168 pp

Bijlagen

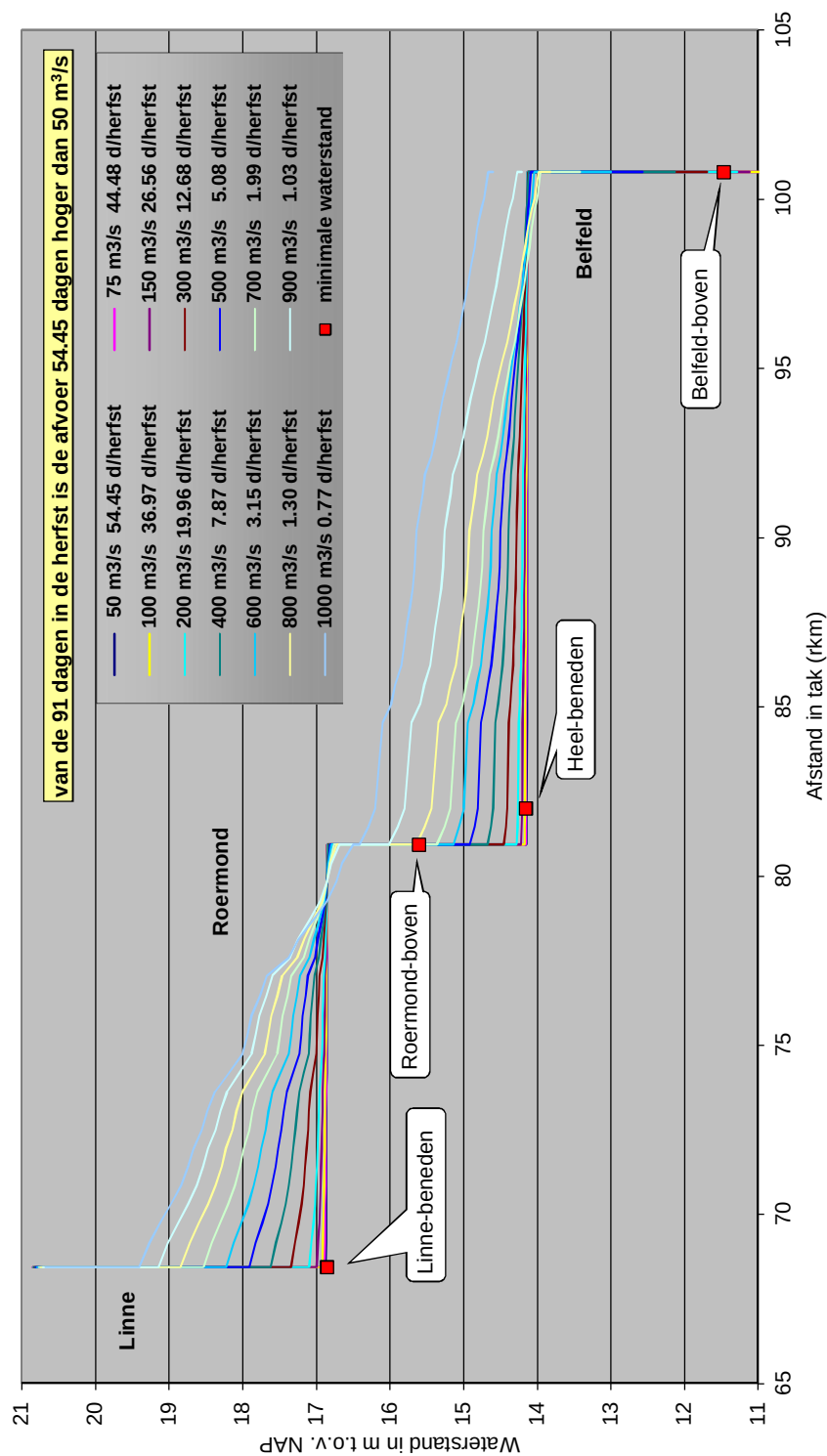
Bijlage H3 Stuwkrommen Linne – Belfeld



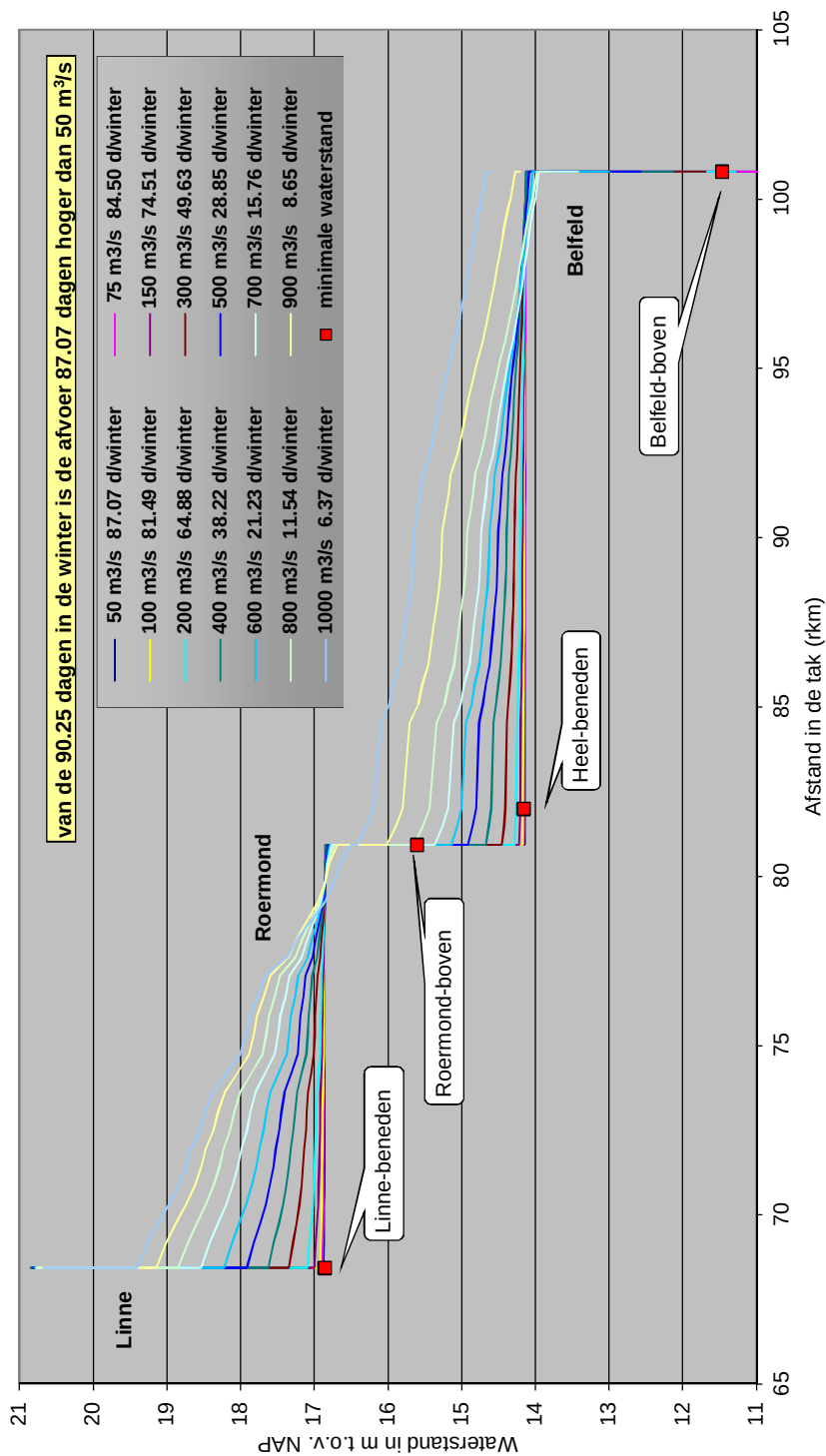
standaard PID-controllers Belfeld 14.13 m+NAP en Roermond 16.85 m +NAP meteorologische zomer



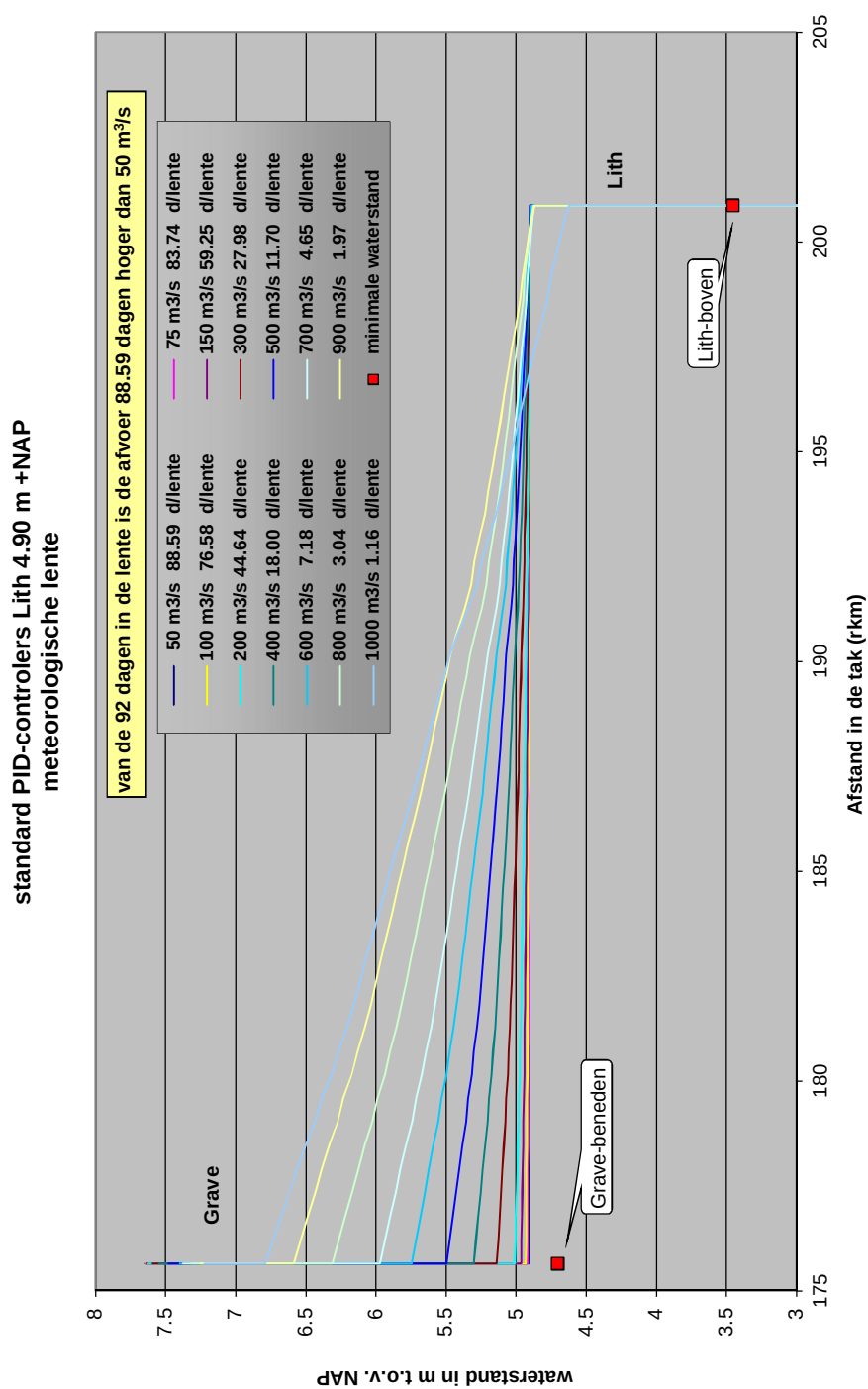
standaard PID-controllers Belfeld 14.13 m+NAP en Roermond 16.85 m +NAP
meteorologische herfst

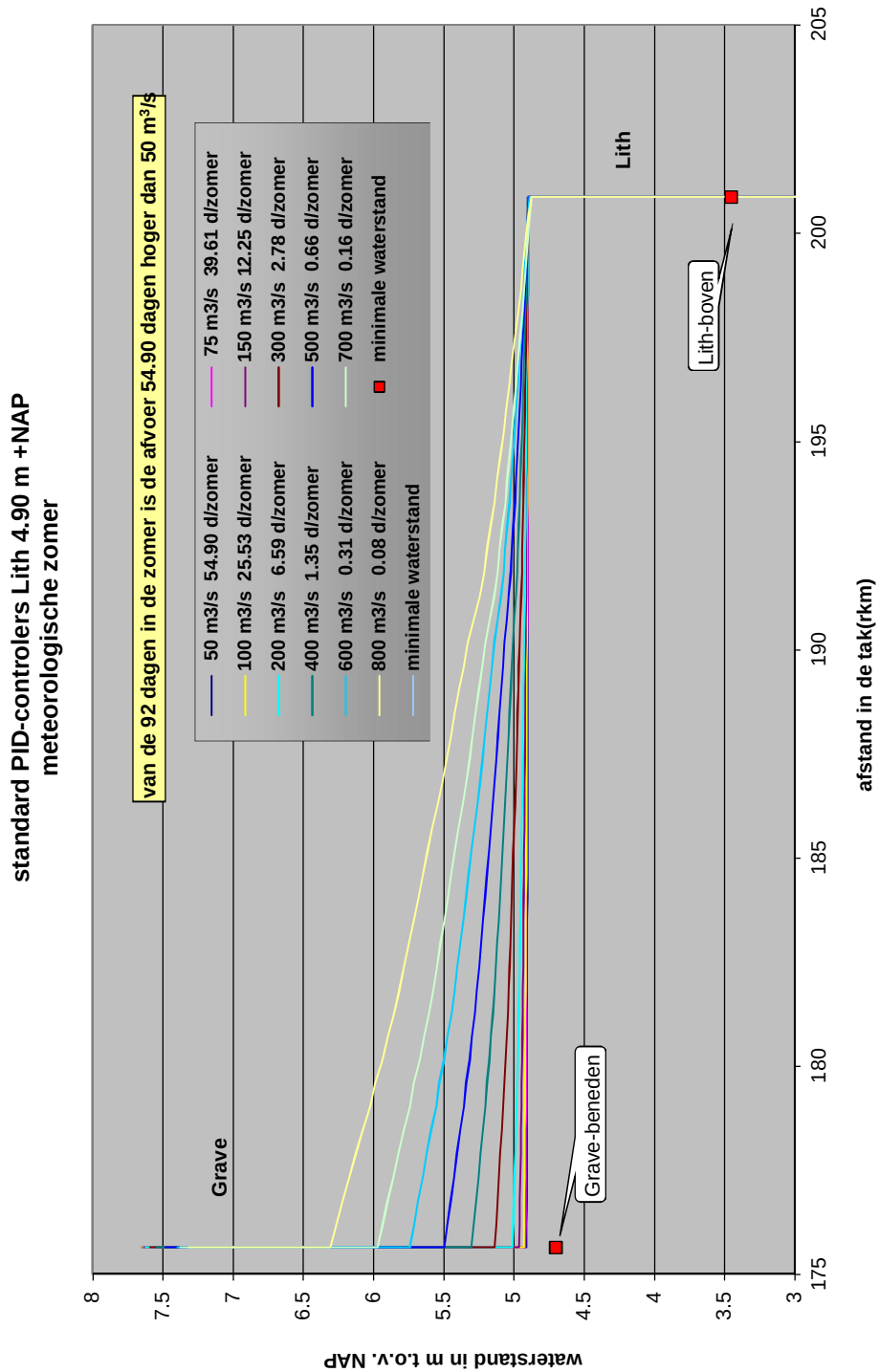


standaard PID-controllers Belfeld 14.13 m+NAP en Roermond 16.85 m +NAP meteorologische winter

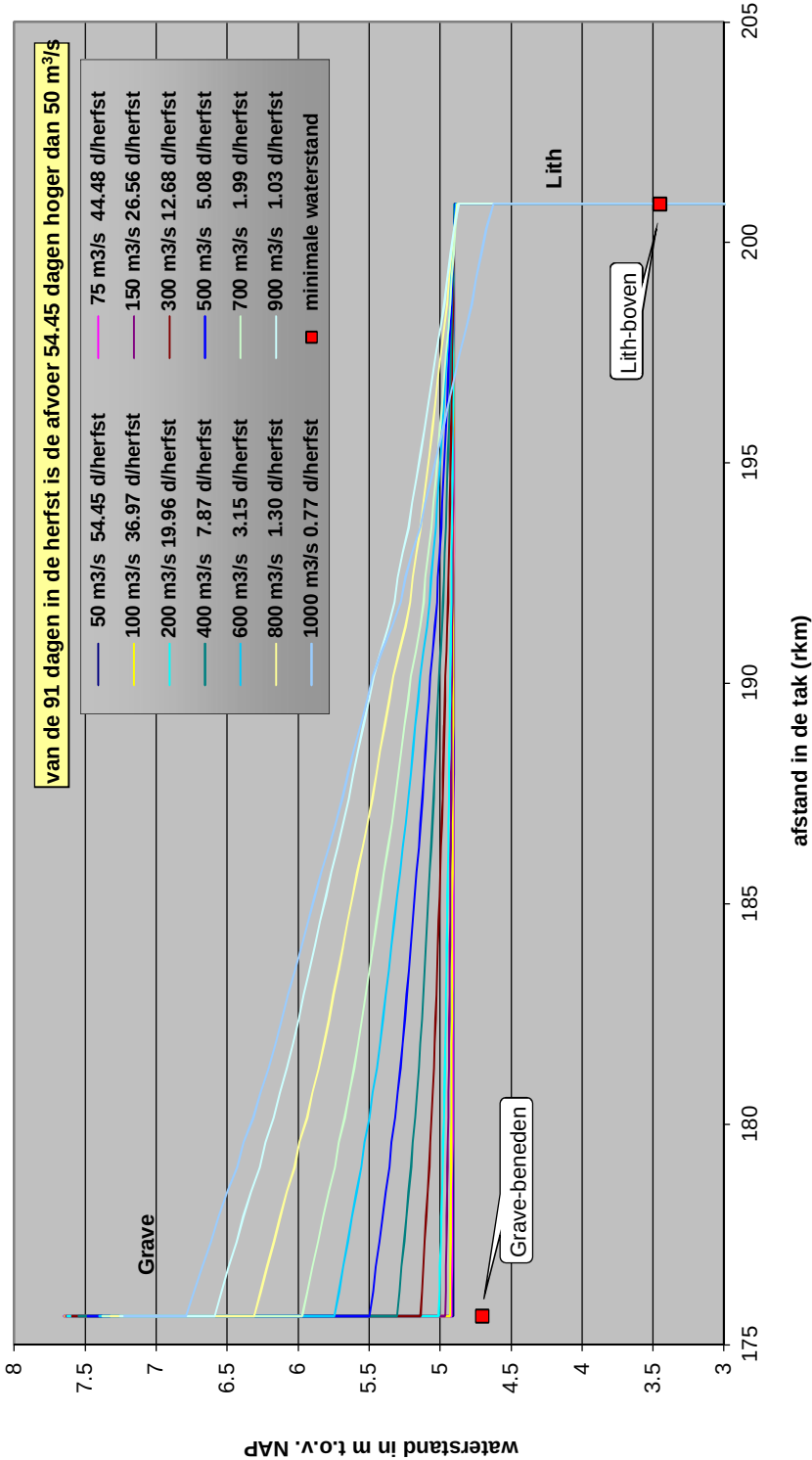


Bijlage H3 Stuwkrommen Lith

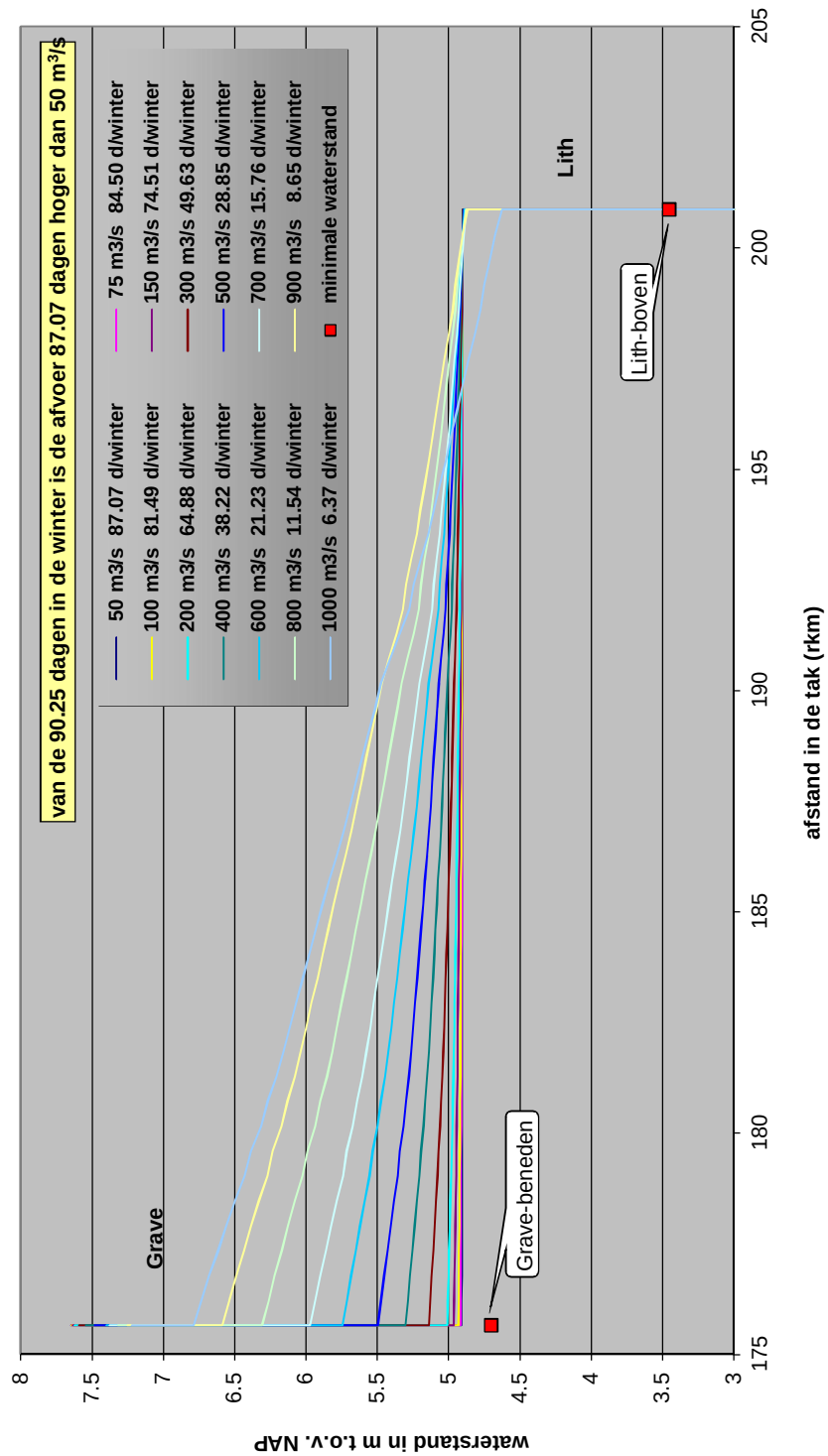




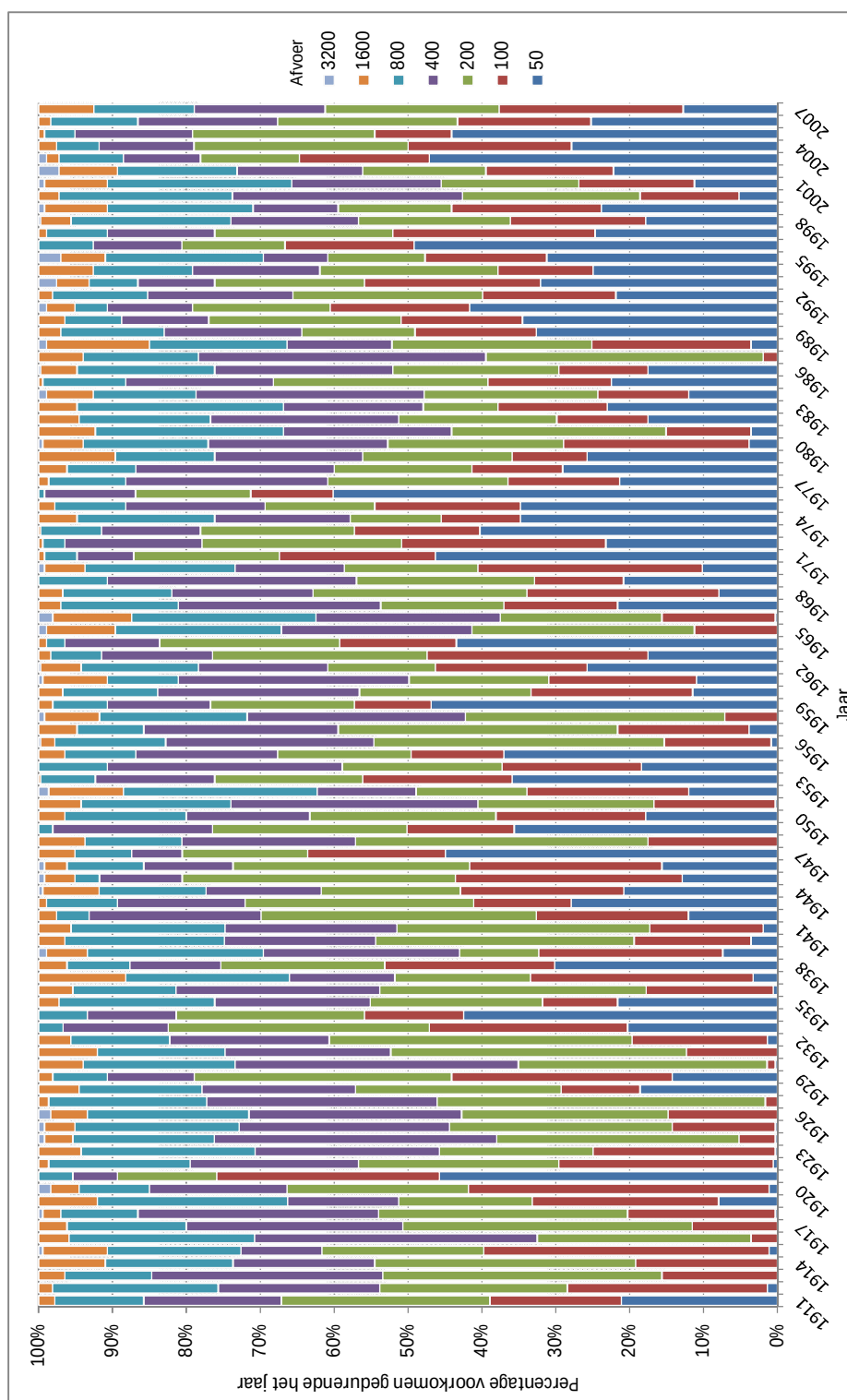
standard PID-controllers Lith 4.90 m +NAP
meteorologische herfst



standard PID-controllers Lith 4.90 m +NAP meteorologische winter



Bijlage: H3 Afvoervariatie 1911-2007



Uit hoofdstuk 3: de procentuele verdeling van voorkomen in tijd van de afvoer categorieën 0-50, 50-100, 100-200, 200-400, 400-800, 800-1600 en 1600-3200 m³/s.

Bijlage: H7 Constructies in stuwpanden

Uit hoofdstuk 7: Tabel met constructies liggende in de stuwpanden Roermond, Belfeld en Grave.

stuwpand	naam	rkm	categorie	relatieve ligging stuwpand in	peilvariatie Q50-Q600
Roermond	loskade	70.1	constructie	boven	1.09
	ligplaats	70.3	constructie	boven	1.06
	steiger	70.6	constructie	boven	1.02
	jachthaven	76.5	haven	midden	0.40
	steiger	76.8	constructie	beneden	0.38
	haven/loswal	76.9	constructie	beneden	0.37
	jachthaven	77.6	haven	beneden	0.23
	jachthaven	78.2	haven	beneden	0.16
	jachthaven Roermond	78.9	haven	beneden	0.08
	jachthaven	79.1	haven	beneden	0.06
	stuw/drempel	80.1	constructie	beneden	-0.01
	jachthaven	80.3	haven	beneden	(0.02)
	loskade	84.4	constructie	boven	0.75
Belfeld	jachthaven	86.2	haven	boven	0.63
	jachthaven Rijkkel	89	haven	midden	0.50
	jachthaven Hanssum	89.2	haven	midden	0.50
	kade met ligplaatsen	89.3	constructie	midden	0.5
	veer Kessel	94.8	constructie	beneden	0.23
	jachthaven Kessel	97.3	haven	beneden	0.07
	loskade	100.2	constructie	beneden	-0.07
	steigers	100.4	constructie	beneden	-0.08
	Van Sasse Gemaal, stuw	175.8	constructie	boven	0.82
Lith	haven	179.7	haven	boven	0.62
	brug A50	181.9	constructie	boven	0.51
	oude Veerstoep	182.2	constructie	boven	0.5
	haven	182.3	haven	boven	0.50
	loskade De Heus	182.7	constructie	boven	0.49
	haven Batenburg	185.7	haven	midden	0.38
	stoomgemaal Appeltern	188.8	constructie	midden	0.28
	duiker	188.9	constructie	midden	0.27
	ligplaats boten	189	constructie	midden	0.27
	loskade	189.7	constructie	midden	0.25
	veer Megen	190.5	constructie	midden	0.22
	veer Megen west	192.5	constructie	midden	0.16
	sluis Macharen	192.8	constructie	beneden	0.15
	haven klein	195.3	haven	beneden	0.09
	veer Ooijen	196.6	constructie	beneden	0.07
	haven Nieuwe Schans	196.7	haven	beneden	0.06
	haven klein	197.3	haven	beneden	0.05
	loskade	198.8	constructie	beneden	0.04
	duiker/gemaal	199.5	constructie	beneden	0.04
	jachthaven	199.8	haven	beneden	0.04