

LEIDRAAD STURING OP WATERKWALITEIT

Rapport aan de klankbordcommissie van het Delft Cluster project onder thema 6 Integraal waterbeheer en subthema sturing op waterkwaliteit. Deze leidraad geeft een weerslag van de bevindingen uit het onderzoek naar sturing op waterkwaliteit en is opgesteld door de Technische Universiteit Delft in samenwerking met WL/Delft Hydraulics en Nelen & Schuurmans Consultants.

Juni 2002

<i>Auteurs:</i>	<i>ir. A. Hof</i>	<i>Technische Universiteit Delft.</i>
	<i>ir. K.J. Breur</i>	<i>Technische Universiteit Delft.</i>
	<i>ir. J. Icke</i>	<i>WL/Delft Hydraulics.</i>
	<i>ir. P.E.R.M. van Leeuwen</i>	<i>WL/Delft Hydraulics / Technische Universiteit Delft.</i>
	<i>Dr. ir. W. Schuurmans</i>	<i>Nelen & Schuurmans Consultants.</i>



Nelen & Schuurmans
consultants



 **Delft Cluster**

Deze leidraad is gebaseerd op de nog te verschijnen proefschriften van ir. A. Hof en ir. K.J. Breur

Hof A., "Water Quality and Operational Control", werktitel van nog te verschijnen proefschrift bij de sectie Land en Waterbeheer, Faculteit Civiele Techniek en Geowetenschappen, Technische Universiteit Delft, verwacht verschijningsdatum eind 2002.

Breur K.J., "Integrale sturing van polder-boezensystemen", werktitel van nog te verschijnen proefschrift bij de sectie Land en Waterbeheer, Faculteit Civiele Techniek en Geowetenschappen, Technische Universiteit Delft, verwacht verschijningsdatum begin 2003.

Inhoudsopgave

1	Inleiding	1
1.1	De achtergrond van de leidraad.....	1
1.2	Sturen op kwaliteit biedt mogelijkheden.....	1
1.3	Voor wie is de leidraad?	1
1.4	De reikwijdte van de leidraad.....	2
1.5	Opstellers en klankbordgroep.....	2
1.6	Leeswijzer	3
2	Van brongericht naar effectgericht beheer.....	5
2.1	Verschillende benaderingen	5
2.2	Effectgerichte aanpak.....	5
2.3	De functiegerichte aanpak in Vierde Nota Waterhuishouding.....	6
3	Drie niveaus bij het ontwerp van sturing.....	7
3.1	Inleiding.....	7
3.2	Het strategische niveau	7
3.3	Het tactisch niveau.....	8
3.4	Het operationele niveau.....	8
3.5	Opmerkingen bij het kader.....	8
4	Strategisch Niveau.....	9
4.1	Inleiding	9
4.2	Formuleren sturingsdoelstelling	9
4.3	Vaststellen performance-index	10
4.4	Resultaat strategisch niveau.....	11
5	Tactisch niveau	13
5.1	Inleiding	13
5.2	Inventarisatie van de huidige situatie.....	13
5.2.1	Inventarisatie van bronnen en stromen	13
5.2.2	Inventarisatie huidig boezembeheer	14
5.2.3	Analyse huidige situatie.....	14
5.3	Sturingsmechanismen.....	15
5.3.1	Inleiding.....	15
5.3.2	Verdunnen	16
5.3.3	Verplaatsen.....	16
5.3.4	Verwijderen.....	16
5.3.5	Vasthouden.....	17
5.3.6	Sturen op waterkwaliteitsprocessen: via stroomsnelheid en verblijftijd.....	17
5.4	Vaststellen systeemkarakteristieken	18
5.5	Vaststellen gewenst systeemgedrag.....	19
5.5.1	Ontwerpprobleem	19
5.5.2	Formuleren van het gewenst systeemgedrag.....	20
5.5.3	Voorbeelden	21

5.6	Resultaat tactisch niveau	22
6	Operationeel Niveau.....	25
6.1	Algemeen.....	25
6.2	Feedback control.....	25
6.3	Feedforward control.....	26
6.4	Open Loop control.....	27
6.5	Welk type sturing?.....	29
6.5.1	Technische overwegingen	29
6.5.2	Beschikbare meettechniek.....	30
6.5.3	Personele overwegingen en automatisering.....	30
6.5.4	Beperkingen met de beschikbare regelkunstwerken.....	30
6.5.5	Bestuurlijke overwegingen	30
6.6	Afstemming tussen waterkwaliteit en waterkwantiteit	31
6.7	Resultaat operationeel niveau.....	32
7	Wijze van beoordeling van effectiviteit van sturen	33
7.1	Algemeen.....	33
7.2	Beoordeling.....	33
7.2.1	Beoordeling op louter kwantiteitsvariabelen.....	33
7.2.2	Beoordeling op fracties.....	33
7.2.3	Beoordeling op belastingen.....	34
7.2.4	Beoordeling op concentraties	35
7.3	Opstellen van beoordelingscriteria.....	35
7.3.1	Algemeen.....	35
7.3.2	Ruimtelijke aspecten.....	35
7.3.3	Tijdsaspecten	36
7.3.4	Prioriteiten of matigen van de wens.....	37
7.3.5	Prestatie-index.....	38
8	Ontwikkelen van sturing binnen een projectmatige aanpak.....	39
8.1	Inleiding.....	39
8.2	Projectmatige aanpak.....	40
8.2.1	Algemeen.....	40
8.2.2	Initiatieffase.....	41
8.2.3	Haalbaarheidsstudie.....	41
8.2.4	Functioneel Ontwerp.....	42
8.2.5	Definitief ontwerp.....	42
8.3	De rol van modellen in het proces.....	43
8.3.1	Algemeen.....	43
8.3.2	Hydrodynamisch model.....	43
8.3.3	Fractiesommen model.....	43
8.3.4	Beperkt waterkwaliteitsmodel.....	44
8.3.5	Volledig waterkwaliteitsmodel.....	44

8.3.6	Sturingsmodel.....	44
9	Sturing op waterkwaliteit in Rijnlands boezem.....	47
9.1	Strategisch niveau.....	47
9.1.1	Formuleren van het sturingsdoel.....	47
9.1.2	Keuze van representatieve variabelen.....	47
9.1.3	Wijze van beoordeling.....	48
9.1.4	Opstellen beoordelingscriterium.....	49
9.2	Tactisch niveau.....	49
9.2.1	Inventarisatie bronnen.....	49
9.2.2	Boezembeheer.....	52
9.2.3	Effecten huidig beheer.....	52
9.2.4	Systeemkarakteristieken.....	55
9.2.5	Gewenst systeemgedrag.....	55
9.3	Operationeel niveau.....	58
9.3.1	Type sturing.....	58
9.3.2	Afstemmen kwaliteit en kwantiteit.....	59
9.3.3	Implementatie.....	59
10	Sturing op waterkwaliteit in de Rotteboezem.....	61
10.1	Strategisch niveau.....	61
10.1.1	Formuleren van het sturingsdoel.....	61
10.1.2	Keuze van representatieve variabelen.....	61
10.1.3	Wijze van beoordeling.....	62
10.1.4	Opstellen beoordelingscriterium.....	62
10.2	Tactisch niveau.....	63
10.2.1	Inventarisatie systeem.....	63
10.2.2	Effecten huidig beheer.....	63
10.2.3	Systeemkarakteristieken.....	64
10.2.4	Sturingsmechanismen.....	65
10.2.5	Bepalen gewenst systeemgedrag.....	65
10.3	Operationeel niveau.....	66
10.3.1	Type Sturing.....	66
10.3.2	Keuze regelaar.....	66
10.3.3	Afstemming kwaliteit en kwantiteit.....	66
10.4	Aanbeveling.....	66
11	Slotbeschouwing.....	69
11.1	Inleiding.....	69
11.2	Adequate doelen.....	69
11.3	Inzicht in het watersysteem.....	69
	Literatuur op het gebied van sturing op waterkwaliteit.....	71

1 Inleiding

1.1 De achtergrond van de leidraad

Watersystemen zijn dynamische systemen waarvan het functioneren onder meer afhangt van de inzet van de kunstwerken in het systeem. Zo wordt het verloop van peilen en debieten in een boezem mede bepaald door de grootte van de af- en aangevoerde volumes in tijd en ruimte. Door de inzet slim te kiezen kan het functioneren van het systeem worden afgestemd op de doelstellingen van het waterbeheer. Sturen is daarom een belangrijk beheersinstrument in het waterbeheer.

Vooraf voor het water*kwantiteits*beheer wordt sturen al met succes ingezet. Bijvoorbeeld bij het handhaven van het streefpeil. In recent onderzoek [Delft Cluster, 2001] is ook de relevantie van sturen voor de water*kwaliteits*doelen aangetoond. Zo werd bijvoorbeeld duidelijk dat een verdere kwaliteitsverbetering bereikt kan worden wanneer de thans toegepaste eenvoudige doorspoelregimes worden aangepast.

Deze leidraad is onderdeel van de tweede fase van het Delft Cluster project 'Sturen op Waterkwaliteit'. Het doel van de leidraad is de beschikbare kennis toegankelijk te maken voor een brede toepassing in het waterbeheer.

1.2 Sturen op kwaliteit biedt mogelijkheden

Het bovengenoemde sturingsonderzoek is uitgevoerd in de vorm van een haalbaarheidsstudie. De opzet was de mogelijkheden van sturen op waterkwaliteit in beeld te brengen. De belangrijkste conclusie is dat er vaak mogelijkheden zijn om met sturen de waterkwaliteitsdoelen (beter) te bereiken. Die mogelijkheden zijn er met name in de zomerperiode. Het kwaliteitsbeheer is dan vaak kritisch terwijl er in het kwantiteitsbeheer ruimte is voor de nodige ondersteuning. Het is in de zomer namelijk veelal niet nodig de volledige capaciteiten van de kunstwerken in te zetten ten behoeve van het kwantiteitsbeheer. Daarom kan de keuze van de inzet van de kunstwerken dan mede worden afgestemd op het kwaliteitsbeheer, waardoor kwaliteitsverbetering mogelijk is.

1.3 Voor wie is de leidraad?

De leidraad is ontwikkeld voor waterbeheerders die de mogelijkheden van sturing op waterkwaliteit willen inschatten en eventueel in een volgende stap sturing willen gaan realiseren.

In de leidraad komen toepassingsgericht de verschillende aspecten van sturen op kwaliteit aan de orde:

- Wat wil je er precies mee bereiken?
- Wat zijn de kwaliteitsprocessen die van belang zijn voor de knelpunten met betrekking tot de waterkwaliteit?
- Hoe stuur je op waterkwaliteit?

Er worden technieken gegeven om de mogelijkheden van sturing in te schatten en om de inzet van de kunstwerken te bepalen. Tevens wordt een stappenplan beschreven voor een projectmatige aanpak van het realiseren van een sturingssysteem.

Sturing is een effectgerichte aanpak waarbij het effect van verontreinigingsbronnen wordt geanalyseerd en zo mogelijk verminderd. Deze leidraad geeft argumenten voor en voorbeelden van het nut van sturen als invulling van de effectgerichte aanpak als aanvulling op de brongerichte aanpak.

De technische aspecten zijn relevant voor waterbeheerders die zich bezighouden met kwaliteits- en kwantiteitsprocessen. Beleidsmakers en vergunningverleners zullen meer belang hechten aan de beleidsmatige aspecten van deze effectgerichte benadering. De leidraad biedt een gemeenschappelijk kader voor deze betrokkenen bij het ontwikkelen van een sturingsstrategie.

1.4 De reikwijdte van de leidraad

Bij een zorgvuldige aanpak van de waterkwaliteitsproblematiek dienen alle mogelijke maatregelen in samenhang met elkaar te worden bekeken en afgewogen. Dus zowel bron- als effectgerichte maatregelen. In deze leidraad is de focus op de effectgerichte maatregel sturen. Het is echter nadrukkelijk de bedoeling die in samenhang met andere maatregelen in te zetten.

De kwaliteitsproblemen in watersystemen zijn vaak gerelateerd aan de herkomst van het water. Boezemstelsels zijn ingericht op het ontvangen en afvoeren van uiteenlopende waterstromen, afkomstig uit de polders, ingelaten water en effluent van zuiveringsinstallaties. De belangrijkste problemen in deze systemen zijn verzilting, eutrofiëring, zuurstofloosheid en de waterbodempromblematiek als gevolg van de bezinking van zwevende stof met geadsorbeerde zware metalen en organische microverontreinigingen. De leidraad richt zich op polder-boezemsystemen, maar de principes zijn ook toepasbaar voor stedelijke watersystemen en irrigatiestelsels. Voorwaarde is wel dat er iets te sturen valt aan de waterkwaliteit: het kwantiteitsbeheer moet ruimte laten voor sturing op waterkwaliteit, er zijn kunstwerken om mee te sturen, en er zijn watersoorten van verschillende kwaliteiten aanwezig.

Om te kunnen sturen moeten waterkwaliteitsparameters meetbaar, toetsbaar, beïnvloedbaar en modelleerbaar zijn. Het begrip waterkwaliteit wordt daarom vertaald in chemische parameters, uitgedrukt in concentraties. Deze concentraties van stoffen zijn, in samenhang met stromingscondities en de inrichting van het watersysteem, gekoppeld aan ecologie en belevingswaarde en daarmee aan het al dan niet voldoen aan de gebruiksfuncties die aan het watersysteem zijn toegekend.

Deze leidraad vormt een handvat voor beheerders van watersystemen om het sturingsvraagstuk op te pakken. Dat neemt niet weg dat voor de uitwerking van bepaalde aspecten deskundigen nodig zijn zoals modelleurs, kwaliteitsdeskundigen, ecologen, meet- en regeltechnici en automatiseringsdeskundigen. De leidraad biedt een overzicht op grond waarvan met de diverse specialisten kan worden gecommuniceerd.

De laatste stap bij het maken een sturingsstelsel is de implementatie van hardware. Dat aspect is een op zich zelfstaand specialisme dat daarom hier niet wordt behandeld.

1.5 Opstellers en klankbordgroep

De Leidraad Sturing op Waterkwaliteit is opgesteld door de Technische Universiteit Delft met medewerking van WL | Delft Hydraulics en Nelen & Schuurmans Consultants. De inhoud van de leidraad is gebaseerd op de nog te verschijnen proefschriften van ir. A. Hof en ir. K.J. Breur. De cases zijn uitgewerkt door O.A.C. Hoes, E.M. Meijers en R.J.K. de Blois

Het projectteam voor deze leidraad bestond uit:

Ter illustratie van de beschreven aanpak maar zeker ook als inspiratiebron geven de hoofdstukken 9 en 10 een beschrijving van case-studies zoals deze zijn uitgevoerd op Rijnlands' boezem en op de Rotteboezem.

Deze leidraad zal worden afgesloten met een slotbeschouwing.

2 Van brongericht naar effectgericht beheer

2.1 Verschillende benaderingen

Verbetering van de waterkwaliteit door sturing vraagt om een andere benadering van waterkwaliteitsvraagstukken dan de laatste decennia gebruikelijk was. In plaats van reductie van vuiluitwerp aan de bron heeft sturing betrekking op het ingrijpen op het functioneren van het watersysteem. Deze verandering in benadering kan worden omschreven als een omschakeling van brongericht beheer naar effectgericht beheer.

De brongerichte aanpak is sinds de invoering van de Wet Verontreiniging Oppervlaktewateren standaard bij het oplossen van waterkwaliteitsvraagstukken. De brongerichte aanpak richt zich op het voorkómen, of zoveel mogelijk verminderen, van de belasting van het oppervlaktewater met verontreinigende stoffen. Deze aanpak is in het verleden zeer succesvol gebleken en leidde tot een aanzienlijke verbetering van de waterkwaliteit. Om maatschappelijke, technische of economische redenen is het echter vaak niet mogelijk om emissies op het watersysteem verder te reduceren. Met sturing is het soms wèl mogelijk om verdere verbeteringen van de waterkwaliteit te realiseren.

Voorbeeld: Stedelijk waterbeheer

In stedelijke watersystemen wordt vaak een combinatie van bronmaatregelen en effectgerichte maatregelen toegepast om de overstortproblematiek te verminderen en de waterkwaliteit te verbeteren. Tijdens overstortingen uit het rioolstelsel komen zuurstofconsumerende stoffen vrij, waardoor de zuurstofconcentratie acuut sterk verslechterd. De belangrijkste bronmaatregel is het reduceren van de vuiluitwerp uit het rioolstelsel, door de aanleg van bergbezinkvoorzieningen en het sluiten van overstorten.

Overstortingen uit gemengde rioolstelsels kunnen op korte termijn niet volledig teruggedrongen worden. In aanvulling op de brongerichte maatregelen worden daarom vaak effectgerichte maatregelen voorgesteld. Daarbij kan gedacht worden aan het opstellen van doorspoelbeleid, het aanleggen van een circulatiesysteem en het inrichten van natuurvriendelijke oevers.

Doorspoelen is een voorbeeld van het sturen op water- en stofstromen. Het stedelijk watersysteem wordt verdund met water uit het landelijk gebied, dat van een betere kwaliteit is. Het circulatiesysteem is een voorbeeld van het sturen op waterkwaliteits*processen*. De reëratie van water met zuurstof is mede afhankelijk van de stroomsnelheid van het water. Het circulatiesysteem houdt het water in beweging, waardoor de reëratie van het water gestimuleerd wordt. Na afloop van een riooloverstorting zal de zuurstofconcentratie zich sneller herstellen.

Verbeteringen zoals in dit voorbeeld zijn mogelijk doordat de waterkwaliteit niet alleen afhangt van de emissies van de bronnen, maar ook van het functioneren van het watersysteem. De stroomsnelheid en de verversing van het watersysteem kan via sturing beïnvloed worden.

2.2 Effectgerichte aanpak

De effectgerichte aanpak kan op verschillende manieren gestalte krijgen. Zo staan bij het ecologisch herstel van meren volgens een effectgerichte aanpak drie sporen open: het chemische, het biologische en het hydrologische spoor. Deze drie sporen zullen elk met een voorbeeld geïllustreerd worden: het

terugdringen van de nutriëntenbelasting (chemisch spoor), het wegvangen van vissen volgens Actief Biologisch Beheer (biologisch spoor) en het introduceren van peilvariëaties (hydrologisch spoor).

Het terugdringen van de nutriëntenbelasting

De laatste 10 tot 15 jaar is de nutriëntenbelasting door puntlozingen al sterk teruggebracht door *bronggerichte* maatregelen zoals het gebruik van fosfaatvrije wasmiddelen en defosfatering bij zuiveringsinstallaties. De nutriëntenconcentraties in het oppervlaktewater zijn daardoor sterk teruggelopen. De laatste jaren lijkt het eind van deze afname echter in zicht. Omdat de meeste puntlozingen inmiddels gesaneerd zijn worden de diffuse bronnen, bijvoorbeeld uitspoeling van meststoffen uit landbouwgronden, bepalend voor de nutriëntenbelasting. Het terugdringen van deze diffuse bronnen via bronmaatregelen is echter een stuk lastiger. Een *effectgerichte* aanpak heeft hier nog wel potentie. Zo'n effectgerichte aanpak is bijvoorbeeld, de beperking van de toestroom van nutriënten naar een kwetsbaar meer door waterstromen met hoge nutriëntenconcentraties een overheersende stromingsrichting van het meer af te geven.

Actief Biologisch Beheer

Grote hoeveelheden brasem en karper kunnen met het omwoelen van de waterbodem significante hoeveelheden nutriënten die in de waterbodem gebonden waren doen opwerpen. Hoeveelheden brasem en karper vanaf 100 kg/ha kunnen de nutriëntenconcentraties in het water aanzienlijk doen stijgen. Bovendien zorgt het opwoelen van slib voor een verdere verslechtering van het lichtklimaat onder water. De hoeveelheid licht die op de waterbodem valt is mede bepalend voor het herstel van de waterplantenvegetatie. Door het wegvangen van bodemwoelende vissen kan deze belasting met nutriënten en zwevende stof voorkomen worden. (zie bijvoorbeeld Hoesper 1997).

Het introduceren van peilfluctuaties

Het derde type effectgerichte maatregel is het toelaten van peilfluctuaties. Het toestaan van peilfluctuaties is gunstig vanuit het oogpunt van waterconservering. In de winter stijgt het peil door de neerslag die valt, de overtollige neerslag wordt afgevoerd. In de zomermaanden zal als gevolg van verdamping het waterpeil geleidelijk aan dalen. Door in de winter de neerslag zoveel mogelijk vast te houden kan in de zomer de inlaat van water van een slechtere kwaliteit voorkomen worden.

Bij flinke peilfluctuaties kunnen in de wintermaanden ook de oeverlanden onder water komen te staan. Wienk (2000) beschrijft de mogelijkheid dat hierdoor nutriënten in oevervegetatie worden vastgelegd en daardoor niet meer beschikbaar zijn in het water. De ondergelopen oeverlanden functioneren dan als paaiplaatsen voor vissen zoals de snoek. De terugkeer van de snoek komt het aquatisch ecosysteem ten goede, omdat de snoek de predator is van bodemwoelende vissen, zoals de brasem.

Het terugdringen van de nutriëntenbelasting en het introduceren van een flexibel peilverloop zijn maatregelen waarbij sturing een rol kan spelen. Het wegvangen van bodemwoelende vissen past weliswaar in een effectgerichte aanpak, maar valt buiten de context van deze leidraad.

2.3 De functiegerichte aanpak in Vierde Nota Waterhuishouding

De Vierde Nota Waterhuishouding (NW4) biedt bestuurlijk juridische ruimte voor een effectgerichte aanpak. In de nota is namelijk een normdifferentiatie geïntroduceerd. Voorheen golden landelijke normen voor nutriënten en andere waterkwaliteitsparameters, maar NW4 geeft ruimte voor een functiegerichte normering: een norm voor een specifieke functie in een specifiek systeem. De effectgerichte aanpak, waarbinnen sturen op kwaliteit past, is gericht op het bereiken van een zekere waterkwaliteit op een locatie om een gebruiksfunctie te ondersteunen en past daarmee binnen de gedachte van NW4.

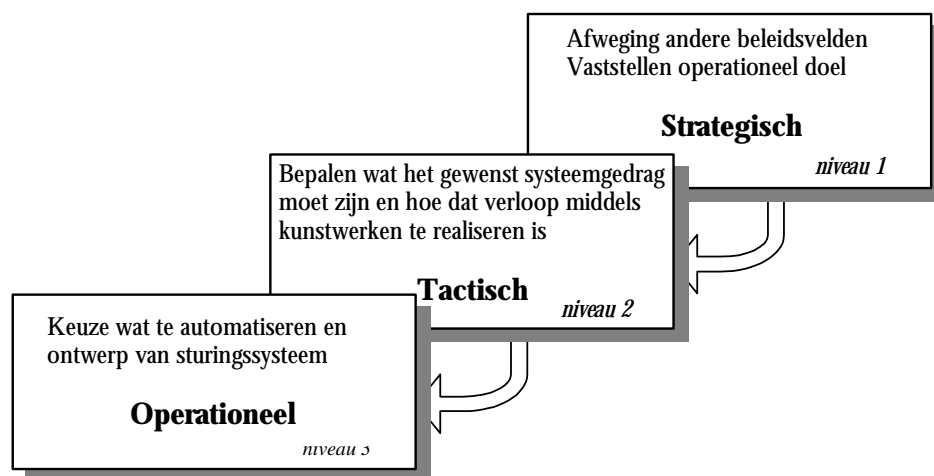
3 Drie niveaus bij het ontwerp van sturing

3.1 Inleiding

In sturingsproblemen worden doorgaans drie niveaus onderscheiden (zie ook Figuur 3-1):

- strategisch,
- tactisch en
- operationeel.

Deze indeling is ook goed te hanteren bij het sturen op waterkwaliteit. In de volgende paragrafen worden de drie niveaus daarom eerst kort toegelicht. Het vervolg van de leidraad is op deze indeling gebaseerd.



Figuur 3-1 Aspecten van operationeel beheer

3.2 Het strategische niveau

Op het strategische niveau wordt vastgesteld wat het doel van sturen is. Dit gebeurt op grond van beleidsafwegingen, waarbij afstemming met alle relevante beleidsvelden plaats vindt. Het doel van sturen zal in eerste instantie als een beleidsvoornemen geformuleerd worden. Voor sturen moet het doel worden uitgedrukt in termen van meetbare en regelbare grootheden. Meetbare grootheden zijn de concentraties van stoffen in het water, regelbare grootheden zijn het debiet en de waterstand in het watersysteem.

Een waterkwaliteitsdoel dat van origine is beschreven als “*De gebruiksfunctie van het watersysteem is recreatiewater*” moet vertaald worden naar de eisen die aan de concentraties van stoffen, het doorzicht, de waterdiepte, de stroomsnelheid gesteld worden.

De sturingsdoelstelling zal veelal niet beperkt zijn tot het ondersteunen van één gebruiksfunctie in één apart te beheren deel van het watersysteem. Bij de formulering wordt daarom veelal het hele beheersgebied betrokken. Het zal niet altijd mogelijk zijn om alle doelen tegelijkertijd te halen. Soms zijn de doelen conflicterend, soms blijken de sturingsmogelijkheden die het watersysteem te bieden heeft, ontoereikend te zijn. Bij de afwegingen worden expliciete keuzes gemaakt en prioriteiten gesteld.

3.3 Het tactisch niveau

Op het tactisch niveau wordt op basis van de doelstelling en de mogelijkheden voor sturing het gewenste systeemgedrag vastgesteld. Het gewenste systeemgedrag beschrijft welke grootte (of grootheden) hoe moet(en) verlopen in tijd en ruimte- om te voldoen aan de doelen die op het strategisch niveau zijn vastgesteld. Het gewenste systeemgedrag is een stap specifiekere dan de sturingsdoelstelling. Zo kan de reductie van de fosfaatbelasting op een meer (de doelstelling) worden bereikt door een waterstroom met een hoge fosfaatconcentratie om het meer te leiden (het gewenste systeemgedrag).

Op tactisch niveau is inzicht in de water- en stofstromen, de bronnen van verontreiniging, de waterkwaliteitsprocessen en de mogelijkheden om deze te beïnvloeden van cruciaal belang.

3.4 Het operationele niveau

Op het operationele niveau worden de sturingsregels ontworpen. Via deze regels worden uiteindelijk de sturingsacties bepaald. Sturingsacties kunnen de inzet van de kunstwerken en het inlaten van water zijn. De sturingsregels bepalen de sturingsacties op grond van metingen in het systeem van de waterstanden, debieten, concentraties van opgeloste stoffen en op basis van informatie over de ontwikkelingen in de nabije toekomst.

De sturingsregels worden vastgelegd in een sturingsalgoritme.

Het gaat bij het ontwerpen van het sturingsalgoritme in eerste instantie om de hydraulica. De kunstwerken waarmee gestuurd kan worden, zijn alleen van invloed op hydraulische factoren zoals debieten, waterstanden en stroomsnelheden. Hierbij spelen tal van randvoorwaarden die voortkomen uit lokale beheerstechnische eisen, eisen vanuit de hardware, inzetmogelijkheden en niet in de laatste plaats vanwege de waterkwaliteitsdoelstellingen. Op het operationele niveau kunnen technieken uit de Meet- en Regeltechniek of de operations research aan de orde zijn. Uiteindelijk wordt op dit niveau ook besloten welke stappen in het bepalen van de inzet worden geautomatiseerd en welke door de operator worden uitgevoerd.

3.5 Opmerkingen bij het kader

De keuzes die op het tactische, strategische en operationele niveau gemaakt worden, hangen sterk met elkaar samen. Het heeft geen zin een gewenste systeemgedrag vast te stellen zonder zicht te hebben op de technische mogelijkheid dit ook daadwerkelijk te realiseren.

Juist door deze samenhang is het ontwerpen van sturing vaak een iteratief proces, waarbij de diverse niveaus meerdere malen worden doorlopen. Beslissingen op het ene niveau kunnen als randvoorwaarden of adviezen consequenties hebben op andere niveaus.

De uitwerking van de niveaus vereist steeds andere deskundigheden. Strategische beslissingen worden genomen door beleidsmakers op de tijdschaal van een beleidscyclus. Tactische en operationele beslissingen vereisen kennis van sturing en procesdynamiek. Hoofdstuk 8 beschrijft de concrete uitwerking van een sturingsproject.

4 Strategisch Niveau

4.1 Inleiding

De eerste stap om te komen tot een succesvolle sturing is het vaststellen van de doelen die men met sturing wil bereiken. Zo zal het nodig zijn om de functies van het watersysteem uit te drukken in grootheden die meetbaar zijn en door sturing zijn te beïnvloeden. Tevens zal het noodzakelijk zijn om de verschillende doelstellingen binnen het watersysteem op elkaar af te stemmen.

4.2 Formuleren sturingsdoelstelling

Het formuleren van de sturingsdoelstelling begint bij de waterkwaliteitsdoelstelling. Deze is via afwegingen binnen het waterbeheer en afwegingen met andere beleidsterreinen vastgesteld. Startpunt daarbij was een inventarisatie van de toegekende functies, bestaande knelpunten en aandachtspunten zoals deze in het waterhuishoudingsplan zijn vastgelegd.

Bij het ontwerpen van sturing moeten de waterkwaliteitsdoelstellingen zodanig worden geformuleerd dat ze de basis kunnen vormen voor sturing. Dit betekent dat ze niet alleen uitgedrukt moeten worden in termen van meetbare fysische en chemische grootheden, maar dat deze grootheden ook middels sturing te beïnvloeden moeten zijn. Het is daarbij zaak om de juiste grootheden te selecteren bij de toegekende functies.

Tabel 4-1 beleidsdoelstellingen met de bijbehorende grootheden en mogelijke maatregelen

Beleidsdoelstelling waterkwaliteit	Meetbare grootheid	Stuurbare grootheid	Sturingsmiddel	Andere maatregelen
“Gezond stadswater”	Zuurstofconcentratie	Stroomsnelheid	Circulatiegemaal	Overstorten saneren
“Helder meer”	Zichtdiepte Chlorophyl-a Stikstof en fosfaat Zwevende stof	Inlaatdebiet Waterpeil	Boezemgemalen Waterinlaten	Effluentkwaliteit verbeteren Actief Biologisch Beheer
“Hoogwaardige landbouw”	Chloride	Stroomrichting inlaatwater	Gemaal Inlaatkunstwerk	Andere inrichting watersysteem
“Scheepvaart”	Baggeraanwas	Stroomsnelheid	Gemaal Inlaatkunstwerk Verdeelkunstwerk	Slibvang aanleggen Regelmatig baggeren

De beschikbare speelruimte om met sturing de waterkwaliteit te verbeteren, wordt ingeperkt door een aantal randvoorwaarden. De inrichting van de waterhuishouding en het watersysteem (inclusief de beschikbare kunstwerken voor sturing) zal in het algemeen een gegeven zijn. Ook liggen de bronnen van water en verontreinigingen min of meer vast. De sturing van boezemstelsels richt zich primair op

peilhandhaving. Sturing op waterkwaliteit mag hier niet strijdig mee zijn, maar moet ingepast worden binnen de ruimte die naast peilbeheer overblijft. Het bouwen van kunstwerken en het graven of verleggen van watergangen is een kostbare zaak. De uitdaging ligt dan ook vooral in het bereiken van een betere waterkwaliteit met de beschikbare sturingsmogelijkheden. Een waterkwaliteitsdoelstelling kan in veel gevallen alleen met een combinatie van maatregelen bereikt worden. Sturing op waterkwaliteit kan heel goed gebruikt worden om bronmaatregelen te ondersteunen.

4.3 Vaststellen performance-index

De kwaliteit van het oppervlaktewater wordt bepaald door onder meer fysische, chemische en biologische processen. Het verbeteren van de waterkwaliteit door sturen komt neer op het ingrijpen op deze processen. Bij het formuleren van de sturingsdoelstelling is het noodzakelijk de gewenste waterkwaliteit te karakteriseren in termen van de chemische en fysische variabelen die in die processen een rol spelen. Deze moeten meetbaar en stuurbaar zijn.

De sturingsdoelstelling wordt uiteindelijk geformuleerd in de zogenaamde performance index (PI), een via sturing te optimaliseren wiskundige doelfunctie. Welke variabelen in de PI worden opgenomen hangt af van de knelpunten met betrekking tot de waterkwaliteit, de gebruiksfuncties en ook van de omgevingsfactoren. Zo zal in Zeeland voor het ondersteunen van de landbouw de chlorideconcentratie van belang zijn, terwijl dat in Twente niet aan de orde is omdat daar geen chlorideprobleem is. Een ander voorbeeld van de invloed van omgevingsfactoren is het karakteriseren van de waterkwaliteit in stedelijk oppervlaktewater in de nabijheid van riooloverstorten in termen van zuurstofloosheid. Enkele voorbeelden van waterkwaliteitsproblemen met mogelijke performance indexen zijn weergegeven in tabel 4-2:

Tabel 4-2 Waterkwaliteitsproblemen en voorbeelden van performance indexen

waterkwaliteitsprobleem	voorbeeld van een Performance-index	eenheden	sturingsdoel
eutrofiëring in meren en stagnante wateren	concentratie nutriënten in het water belasting van het watersysteem met nutriënten verblijftijden	mg N/l en mg P/l mg N/m ² en mg P /m ² dagen, weken	[N] < 2,2 mg N/l [P] < 0,15 mg P/l
verzilting van landbouwgebieden	chlorideconcentraties	mg/l	[Cl] < 200 mg/l
zuurstofloosheid	concentratie O ₂ en BZV	mg O ₂ /l Tewor-toets	[O ₂] > 3 mg O ₂ /l Tewor-score < 5
waterbodempromatiek in kanalen	stroomsnelheid ¹	m/s	v < τ _{crit} ²

¹ In dit voorbeeld is de stroomsnelheid de sturende factor voor de bezinking van zwevende stof

² τ_{crit} is de kritische stroomsnelheid voor sedimentatie

4.4 Resultaat strategisch niveau

Het resultaat van het strategische niveau is een concrete formulering van de waterkwaliteitsdoelen in een performance index. In hoofdstuk twee is bij de beschrijving van de niveaus al opgemerkt dat het doorlopen van de niveaus een iteratief proces is. Het concretiseren zal met andere woorden in de praktijk veelal niet in één keer definitief kunnen gebeuren.

Met het ontwikkelen van de eerste eenvoudige sturingsalternatieven wordt het inzicht in het functioneren van het watersysteem vergroot. Modellsimulaties laten zien hoe effectief de sturingsalternatieven zijn voor het bereiken van de waterkwaliteitsdoelstellingen. Dit kan aanleiding geven tot verdere verfijning en prioritering van de doelstellingen.

Daarnaast kan de beschikbaarheid van modellen toenemen tijdens het ontwikkelingstraject van een sturingssysteem. Andere doelformuleringen komen dan binnen handbereik. In hoofdstuk 8 wordt beschreven hoe het ontwikkelen van een sturingssysteem in een ontwerptraject verloopt en hoe de wisselwerking tussen de niveaus wordt gerealiseerd.

5 Tactisch niveau

5.1 Inleiding

Op het strategische niveau is een performance index vastgesteld die omschrijft hoe het functioneren van het watersysteem moet worden beoordeeld. Op tactisch niveau wordt vervolgens het gewenst systeemgedrag vastgesteld dat deze index optimaliseert.

Het gewenst systeemgedrag beschrijft hoe de relevante grootheden in het boezemsysteem moeten verlopen om het functioneren van het systeem op de sturingsdoelen af te stemmen.

In dit hoofdstuk worden de invulling en de wijze van vaststellen van het gewenst systeemgedrag besproken.

5.2 Inventarisatie van de huidige situatie

De eerste stap op weg naar het vaststellen van het gewenste systeemgedrag is een inventarisatie van de huidige situatie. Deze inventarisatie geeft inzicht in de oorzaken van de knelpunten in de waterkwaliteit. Op basis van dat inzicht kan in een volgende stap worden begonnen met het ontwikkelen van het gewenst systeemgedrag.

5.2.1 *Inventarisatie van bronnen en stromen*

Een boezemstelsel is een vergaarbak van polderlozingen van wisselende kwaliteit, effluent van rioolwaterzuiveringsinstallaties, water van nabijgelegen boezemstelsels. Water van relatief goede kwaliteit wordt gemengd met water van mindere kwaliteit. Deze nivellering van waterkwaliteit is nadelig in situaties waar het boezemwater wordt ingelaten voor peilhandhaving en doorspoeling van natuurgebieden, meren en landbouwgebieden met gevoelige gewassen, zoals bloembollenteelt en boomkwekerijen.

Op basis van een analyse van de bronnen van water wordt vastgesteld welke stoffen een rol spelen. De inventarisatie begint met het in kaart brengen van de bronnen van die stoffen. Voor elke bron worden de locatie, de omvang van het lozingsdebiet en de concentraties van de relevante stoffen in het geloosde water vastgelegd.

Het water dat van een bron afkomstig is, kan worden omschreven als een 'watersoort': het heeft een specifieke samenstelling. Voor de inventarisatie is het zinvol de verschillende watersoorten te classificeren. Deze classificatie kan plaatsvinden op basis van de stoffen die in het water voorkomen, of op basis van de herkomst van het water.

Een aantal voorbeelden van classificaties op basis van concentraties van stoffen is :

- Chloridegehalte. Deze klasse-indeling zou gebaseerd kunnen worden op de tolerantie van landbouwgewassen voor chloride;
- Rijk of arm aan nutriënten. Dit is een maat voor de voedselrijkdom van het water en daarmee voor de kans op algenbloei;
- Zuurgraad en macro-ionensamenstelling. Bij een afwijkende chemische samenstelling wordt ook wel gesproken van 'gebiedsvreemd water'. Het voorkomen van specifieke

vegetatie in natuurgebieden hangt samen met de hydrochemie van grondwater en oppervlaktewater;

- Hygiënische aspecten en het risico op toxische stoffen.

Een aantal voorbeelden van classificaties op basis van de herkomst is:

- Zoet / brak kwelwater;
- Perceelswater/ drainagewater;
- Rijnwater;
- Effluent, overstortwater.

De watersoorten van de verschillende bronnen verplaatsen zich door de boezem. Een waterstroom in een boezem is samengesteld uit verschillende watersoorten. De waterkwaliteit op een bepaalde locatie, uitgedrukt in concentraties, is in het algemeen een mengsel van meerdere watersoorten.

5.2.2 *Inventarisatie huidig boezembeheer*

De wijze waarop de watersoorten zich door de boezem verplaatsen is de resultante van het operationeel beheer van de boezem, de locatie van de lozingspunten en de lay-out van de boezem. Problemen hoeven zich niet altijd dicht bij de bron voor te doen. De locatie van waterkwaliteitsknelpunten is mede afhankelijk van de plaatsen waar kritische functies aan het watersysteem zijn toegekend.

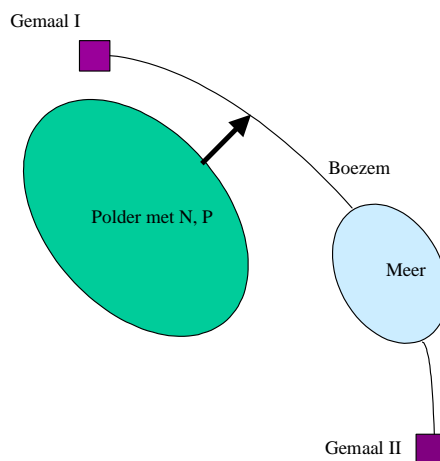
Om inzicht te kunnen krijgen in de oorzaken van de knelpunten met betrekking tot de waterkwaliteit, worden na het inventariseren van de bronnen ook de waterstromen in de boezem in kaart gebracht. Die waterstromen zijn het resultaat van het huidige beheer, ofwel van de wijze waarop thans de kunstwerken worden ingezet. Het huidige beheer is voornamelijk gericht op kwantiteitsbeheer. Boezemsystemen zijn ontwikkeld, uitgebreid en aangepast met als hoofddoel het water zo goed mogelijk af te voeren. Daarnaast speelt de boezem vaak ook een belangrijke rol in de aanvoer van water gedurende droge perioden.

Bij kwantiteitsbeheer wordt hoofdzakelijk gekeken naar aan- of af te voeren volumes. De inzet van de kunstwerken wordt daarop afgestemd. Wanneer bijvoorbeeld niet de totale capaciteit van alle kunstwerken op een boezem ingezet hoeft te worden, dan kan het huidige beheer zo zijn, dat bij wateroverschot het waterbezwaar afgevoerd wordt via vrij afwaterende kunstwerken omdat dat goedkoper is dan bemalen. De waterstromen zijn dan richting vrij afwaterend kunstwerk.

Overigens zijn er ook perioden dat kwantiteitsbeheer nauwelijks een rol speelt, water inlaten of afvoeren is nauwelijks nodig. Ook dan worden in het huidige beheer kunstwerken ingezet voor bijvoorbeeld doorspoelen. Er is dan sprake van kwaliteitsbeheer. Dit is ook een aspect van het huidige beheer dat bijdraagt aan het in beeld brengen van de waterstromen. Bovendien is dat beheer soms impliciet gebaseerd op zinvolle kennis over het functioneren van het watersysteem.

5.2.3 *Analyse huidige situatie*

Nu de waterstromen in de boezem en de watersoorten waaruit die stromen bestaan bekend zijn, kan een link worden gelegd met de waterkwaliteitsproblemen. De relatie tussen de waterstromen en de waterkwaliteitsproblemen is soms evident zoals in onderstaand voorbeeld te zien is.



Figuur 5-1 voorbeeld sturing op waterkwaliteit.

In de figuur hierboven is een lijnvormige boezem geschematiseerd met aan beide uiteinden een kunstwerk. Een nutriëntrijke bron is gesitueerd vlak bij gemaal I. In het meer is sprake van overmatige algengroei. In het huidige beheer wordt gemaal II het meest gebruikt, als gevolg hiervan is er een overheersende waterstroom in het systeem te onderkennen in de richting van het lozingspunt naar het meer. Hierdoor ondervindt het meer een hoge nutriëntenbelasting en is een verband met de overmatige algengroei in het meer snel gelegd.

Soms is de relatie tussen de waterstromen en de waterkwaliteitsproblemen lastiger te leggen. Een modelstudie waarin fractiesommen worden gemaakt kan dan helpen. Met behulp van fractiesommen is het mogelijk om de herkomst van het water op elke willekeurige plek in het watersysteem te bepalen. Mogelijke problemen die zich in de huidige situatie voordoen kunnen verklaard worden met de samenstelling en herkomst van het water. De samenstelling van het water op representatieve punten wordt hiertoe bekeken. Voor eutrofiëringsproblemen zullen dat bijvoorbeeld meren en stagnante wateren zijn. Bij verziltingsproblemen zijn dit de punten waar polders water inlaten uit de boezem. Als er in de uitgangssituatie problemen zijn op een dergelijke locatie, dan zal het aandeel vuil water op een dergelijke locatie relatief groot blijken te zijn. De fractiesommen-benadering zal laten zien dat op plaatsen waar nu een overmatige algengroei voorkomt het aandeel nutriëntrijk water groot is.

Met inzicht in de relatie tussen waterstromen en waterkwaliteitsproblemen is een goed uitgangspunt verkregen voor het bepalen van het gewenste systeemgedrag.

5.3 Sturingsmechanismen

5.3.1 Inleiding

Een eerste stap op weg naar het formuleren van het gewenste systeemgedrag is het in beeld brengen van de mogelijke sturingsmechanismen. Het sturen van watersystemen komt neer op het regelen van debieten, waterstanden en waterpeilen. Dat zijn de grootheden die mede bepaald worden door de inzet van de kunstwerken. Volgens vier verschillende mechanismen kan middels waterstromen op de waterkwaliteit worden ingegrepen. De vier sturingsmechanisme zijn:

- Verdunnen, door het mengen van waterstromen.
- Verplaatsen, door het scheiden van waterstromen.
- Verwijderen, door het afvoeren van waterstromen.
- Vasthouden, door het conserveren van waterstromen.

In de volgende paragrafen worden deze vier sturingsprincipes en de wijze waarop ze de waterkwaliteit beïnvloeden beschreven. De vier sturingsprincipes zijn allen gebaseerd op het beïnvloeden van het stoftransport. Veranderingen in de waterstroming kunnen daarnaast ook van invloed zijn op waterkwaliteitsprocessen, zoals sedimentatie en reëratie. Aan dit aspect zal ook aandacht gegeven worden.

5.3.2 *Verdunnen*

Bij verdunnen wordt een als vuil geclassificeerde waterstroom gemengd met een als schoon geclassificeerde waterstroom. De concentraties in de gemengde waterstroom worden daarmee lager dan in de vuile waterstroom.

Om te kunnen verdunnen is het nodig schoon water ter beschikking te hebben. De mate waarin verdunning te realiseren is, hangt af van de debieten van de waterstromen en van de vuilvrachten in die stromen. Het directe effect van verdunning is dat de stofconcentraties omlaag gaan.

5.3.3 *Verplaatsen*

Bij verplaatsen wordt een als vuil geclassificeerde watersoort bij een knelpunt vervangen door een als schoon geclassificeerde watersoort. De basis voor het mechanisme verplaatsen is om de beschikbare watersoorten aan de functies in een gebied te koppelen. De oplossingen wordt daarmee: de juiste watersoorten naar de juiste functies brengen.

Verplaatsen is mogelijk wanneer de waterkwaliteitsproblemen duidelijk gelokaliseerd zijn. Goede voorbeelden van verplaatsen zijn ook te vinden in de case studies van Rijnlands' boezem en de Rotteboezem zoals deze verderop in deze leidraad beschreven staan. In beide systemen zijn meren aanwezig die te leiden hebben onder een overmatige algengroei. Onderdeel van de sturingsmaatregelen is het omleiden van nutriëntrijke waterstromen opdat deze niet of in veel mindere mate in de meren uitstromen. Het effect van deze maatregel is een lagere belasting van de meren met nutriënten. Daarmee draagt deze sturingsmaatregel bij aan de bestrijding van de overmatige algengroei in deze boezemmeren.

5.3.4 *Verwijderen*

Door waterstromen van slechte kwaliteit via een zo kort mogelijke route uit het systeem af te voeren, worden als vuil geclassificeerde watersoorten uit het systeem verwijderd.

Een goed voorbeeld van verwijderen is te vinden in de case studie van Rijnlands' boezem. Veel verontreinigingen op Rijnlands' boezem worden geloosd aan de grenzen van het stelsel. Door deze waterstromen zo snel mogelijk uit te malen, wordt voorkomen dat deze zich gaan verplaatsen door de rest van het systeem. Het effect van deze maatregel is dat de gevolgen van verontreinigingen maar in een klein deel merkbaar zijn.

In het algemeen kan gesteld worden dat het effect van verwijderen is dat verontreinigingen zich beperken tot een kleiner deel van het watersysteem en dat zij gedurende een kortere periode optreden.

Een kritische kanttekening is hier overigens wel op zijn plaats. Het afwentelen van waterkwaliteitsproblemen op benedenstrooms gelegen gebieden is geen duurzame oplossing van een milieuprobleem.

5.3.5 *Vasthouden*

Er zijn situaties dat gebiedseigen water van betere kwaliteit is dan water dat in perioden met neerslagtekorten moet worden ingelaten. In deze situaties is het zinvol gebiedseigen water vast te houden. Daartoe worden de als schoon geclassificeerde stromen in het systeem geïsoleerd en opgeslagen. Hierbij kan concreet gedacht worden aan het vasthouden van schoon, nutriëntarm kwelwater door het toestaan van een flexibel peil. Het effect van deze maatregel is dat hiermee vermeden wordt dat de lokale waterkwaliteit verslechtert als gevolg van het nutriëntrijke inlaatwater. Deze maatregel is overigens alleen zinvol als het gebiedseigen water van een betere kwaliteit is dan het gebiedsvreemde water.

5.3.6 *Sturen op waterkwaliteitsprocessen: via stroomsnelheid en verblijftijd*

In watersystemen met een korte verblijftijd domineert het stoftransport, in watersystemen met een lange verblijftijd domineren de waterkwaliteitsprocessen. Door het sturen op de waterstromen in het watersysteem verandert niet alleen het stoftransport, maar ook de verblijftijd van het water. De verblijftijd van een watersysteem wordt bepaald door de dimensies van het watersysteem en het verversingsdebiet. Met sturing is het mogelijk om de verblijftijd van het watersysteem te vergroten of te verkleinen. Deze omschakeling speelt in alle watersystemen die stromend of stagnant kunnen zijn, zoals meren, kanalen en stadswateren.

Bij een langere verblijftijd gaan de waterkwaliteitsprocessen domineren. Waterkwaliteitsprocessen kunnen goed uitwerken, of slecht. Gunstige waterkwaliteitsprocessen zijn de processen die bijdragen aan het zelfreinigend vermogen van het watersysteem. Voorbeeld van processen die leiden tot de 'zelfreiniging' van het watersysteem zijn sedimentatie en de afbraak van zuurstofbindende (organische) stoffen. De rioolwaterzuivering is volledig gebaseerd op deze natuurlijke processen, waarbij de mens een handje helpt door zuurstof in het water in te brengen en bezonken slib af te voeren. In een oppervlaktewater kunnen de zuiveringsprocessen eveneens gestimuleerd worden. Een zone met lage stroomsnelheid zal gekenmerkt worden door sedimentatie, het wordt een slibvang. Bij hogere stroomsnelheden neemt de reïeratie met zuurstof toe en zuurstofconsumerende stoffen worden versneld afgebroken.

Een voorbeeld van ongunstige waterkwaliteitsprocessen die tot ontwikkeling kunnen komen in stagnante of weinig doorstroomde wateren zijn zuurstofloosheid door afbraak van zuurstofbindende stoffen, algenbloei als gevolg van de consumptie van nutriënten, bacteriegroei in warm water, blauwalgenbloei. In feite wordt in deze situaties de draagkracht van het oppervlaktewater overschreden met een te grote toevoer van verontreinigende stoffen.

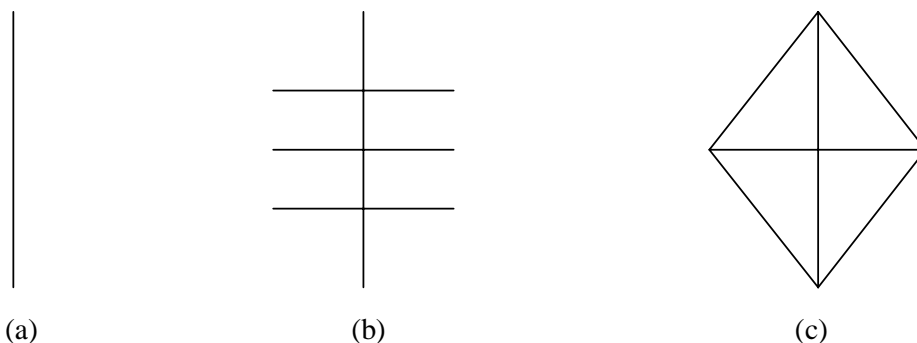
Een groter verversingsdebiet leidt tot een kortere verblijftijd. Het stoftransport gaat dan domineren. Stoftransport is zinvol als hiermee een watersysteem wordt doorgespoeld met relatief schoon water, waardoor voorkomen wordt dat allerlei negatieve waterkwaliteitsprocessen, zoals algengroei, bacteriegroei en zuurstofloosheid optreden. Doorspoelen is weinig zinvol als dit leidt tot een zwaardere belasting van een ecologisch gezond watersysteem met ongewenste stoffen zoals nutriënten, chloride en zwevende stof.

5.4 Vaststellen systeemkarakteristieken

Welke sturingsmechanismen ingezet kunnen worden hangt af van de systeemkarakteristieken en van de locaties van de waterkwaliteitsproblemen. Door het bepalen van de systeemkarakteristieken kan bepaald worden in welke delen van het systeem de waterstromen kunnen worden gestuurd.

De systeemkarakteristieken worden bepaald door de lay-out van het boezemsysteem en het aantal beschikbare kunstwerken en de locatie van deze kunstwerken. Wanneer de lay-out van boezemsystemen wordt bekeken dat is het mogelijk om een drietal kenmerkende systemen te onderscheiden (zie figuur 5.2):

- a. Lijnvormig systeem;
- b. Vertakt water systeem;
- c. Vermaasd systeem.



Figuur 5-2 Drie verschillende lay-outs van watersystemen.

Per systeem kan eenvoudig een eerste indruk gekregen worden van mogelijkheid in de verschillende delen de waterstromen te sturen. Het is tevens van belang dat de waterstromen kunnen worden gestuurd op die plaatsen waar knelpunten aanwezig zijn met betrekking tot de waterkwaliteit.

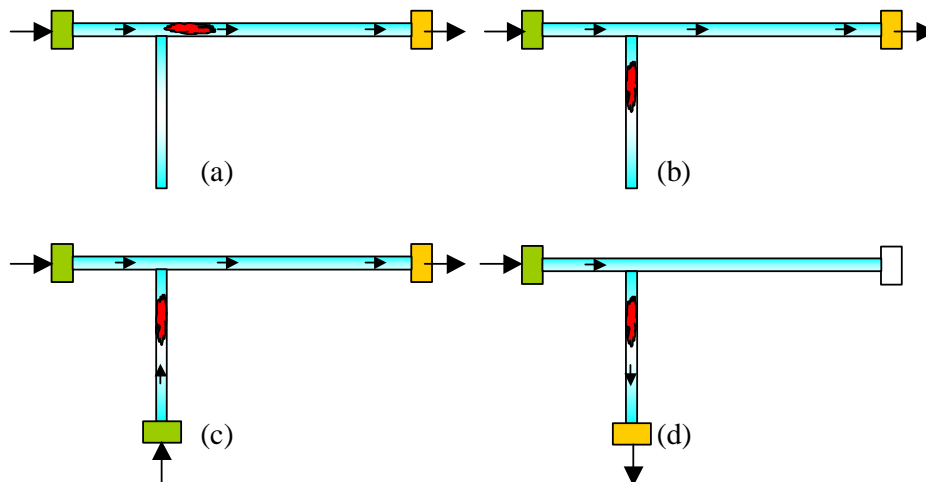
Lijnvormig systeem

In een lijnvormige systeem kan in principe het debiet in de watergang worden ingesteld wanneer men de beschikking heeft over kunstwerken waarmee water kan worden uitgemaal(en) en ingelaten. Daarmee kan een lozing worden verdund of een verontreinigingsprop door het systeem verplaatst.

Vertakte systeem

In een vertakte systeem is het minder goed mogelijk om de waterstromen te sturen. In de hoofdwatergang is meestal wel mogelijk om een debiet in te stellen waardoor deze zich in feite gedraagt als een lijnvormig systeem, zie figuur 5.3a. In de zijtakken zal het veelal niet mogelijk zijn om debieten in te stellen waardoor hier met sturing niet kan worden ingegrepen, zie 5.3b.

Wanneer in de zijtakken echter kunstwerken aanwezig zijn zodat ook in deze zijtakken debieten kunnen worden ingesteld dan valt het systeem in feite uit een in meerdere lijnvormige elementen die ieder voor zich regelbaar zijn 5.3c en 5.3d.



Figuur 5-3 mogelijkheden voor sturing in een vertakt stelsel

Vermaasde systeem

In een vermaasd systeem is het meestal het lastigst de waterstromen te sturen. De stromingspatronen in het systeem zijn voor een groot deel bepaald door de geometrie van het systeem. Wanneer het nodig is om een debiet in een van de takken in te stellen leidt dit veelal ook tot stromingen in andere delen van het systeem waar dat misschien minder gewenst is. Ook kan het mogelijk zijn dat in bepaalde delen van het systeem nauwelijks of geen stroming kan worden opgewekt.

Wanneer meerdere kunstwerken in het systeem aanwezig zijn kan dit de regelbaarheid van het systeem aanzienlijk verhogen. Door de aanwezigheid van bijvoorbeeld verdeelkunstwerken, kunnen verontreinigde stromen worden omgeleid zodat kwetsbare gebieden worden ontzien. Daarnaast zal het eenvoudiger zijn om de stromingen juist daar in het netwerk op te wekken waar ze nodig zijn, zonder dat dit tot ongewenste stromingen in andere delen van het systeem leidt.

In vermaasde systemen is het vaak moeilijk, om zonder een model te gebruiken, een goed inzicht te krijgen in de mogelijkheden waterstromen te sturen.

5.5 Vaststellen gewenst systeemgedrag

5.5.1 Ontwerpprobleem

Het vaststellen van het gewenst systeemgedrag is een typisch ontwerpprobleem waarin vindingrijkheid een hoofdrol speelt. De leidraad kan daarbij wel enig houvast bieden. Een goede basis voor het formuleren van het gewenst systeemgedrag wordt immers gevormd door de gemaakte inventarisatie, de kennis van mogelijke sturingsmechanismen en van de stuurbaarheid van het beschouwde systeem ter plaatse van de waterkwaliteitsknelpunten.

Alvorens globaal te schetsen hoe het gewenst systeemgedrag kan worden afgeleid, wordt kort ingegaan op de wijze waarop het gewenst systeemgedrag kan worden geformuleerd.

5.5.2 *Formuleren van het gewenst systeemgedrag*

Het gewenst systeemgedrag kan op twee essentieel verschillende manieren worden geformuleerd: als een gewenste waarde voor een concentratie of als een voorschrift voor de routes van waterstromen.

Het formuleren van het gewenst systeemgedrag in termen van een concentratie staat het dichtst bij de oorspronkelijke waterkwaliteitsdoelen (zie paragraaf 4.3 van het hoofdstuk *Strategisch niveau*). Een voorbeeld is een lijnvormig watersysteem waarop een polder chloriderijk water loost. Het watersysteem kan worden doorgespoeld met water met lage chlorideconcentraties. Het sturingsdoel is het niet overschrijden van een bepaalde concentratie in de boezem.

Bij het gewenst systeemgedrag wordt voorkomen dat de grenswaarde voor chloride wordt overschreden. Het watersysteem wordt met chloride-arm water doorgespoeld als de chlorideconcentratie boven de norm komt. Dit is een voorbeeld van een eenduidig geformuleerd gewenst systeemgedrag. Het is mogelijk op basis van dat gewenst systeemgedrag en metingen in het systeem de inzet van de kunstwerken te bepalen, door te zorgen dat er stroming is op de boezem tijdens de lozing zodat er verdunning optreedt.

Er zijn echter situaties denkbaar waarvoor het niet mogelijk is de inzet op basis van een als concentratie geformuleerd gewenst systeemgedrag en metingen te bepalen. Het gewenst systeemgedrag kan dan niet worden geformuleerd in termen die dicht bij de oorspronkelijke waterkwaliteitsdoelen liggen.

Een voorbeeld hiervan is het probleem van overmatige algengroei in een meer door te hoge nutriëntenconcentraties. De oorzaak van de problemen is de belasting van het meer met nutriënten gedurende het jaar. Het sturingsdoel is dan te formuleren als het reduceren van de jaarbelasting. Het formuleren van het gewenst systeemgedrag als een maximum jaarbelasting is dan niet zinvol omdat daar niet direct een inzet uit volgt voor de kunstwerken in het watersysteem. De inzet op een bepaald moment heeft namelijk geen directe relatie met de jaarbelasting op het meer.

Wel zinvol is het om het gewenst systeemgedrag te formuleren in routes van waterstromen: de waterstroom met een hoge nutriëntenvracht wordt om het meer heengeleid. Dan is er wel een inzet van de kunstwerken te bepalen omdat je namelijk met die inzet de waterstromen wil realiseren.

De vraag of het gewenst systeemgedrag in termen van de gewenste waarde voor bijvoorbeeld een concentratie of als een voorschrift voor de routes van waterstromen moet worden geformuleerd kan worden bepaald met de Regel index waterkwaliteit. Deze regel wordt in het volgende hoofdstuk over het Operationeel niveau behandeld. Op dit punt is de wisselwerking tussen de niveaus van groot belang. In woorden komt de Regel index waterkwaliteit op het volgende neer:

<p>Wanneer een bepaalde inzet van een kunstwerk een direct meetbare invloed op de waterkwaliteit heeft dan is het zinvol het gewenst systeemgedrag in termen van streefwaarden voor concentraties te formuleren. Wanneer een bepaalde inzet geen direct meetbare invloed op de waterkwaliteit heeft dan is het zinvol het gewenst systeemgedrag in termen van routes van waterstromen en watersoorten te formuleren.</p>
--

Tot slot dient te worden opgemerkt dat in grotere boezemsystemen met meerdere kwaliteitsproblemen een goed gewenst systeemgedrag veelal beide formuleringen bevat. Het traject voor het vaststellen van het gewenst systeemgedrag komt neer op het doorlopen van de volgende stappen:

- Het formuleren van een concrete sturingsdoelstelling (Hoofdstuk 4).
- Een inventarisatie van de bronnen en de classificatie van de watersoorten in het systeem (Paragraaf 5.2.1).
- Relaties tussen waterstromen en knelpunten met betrekking tot de waterkwaliteit (paragraaf 5.2.3).
- Mechanismen om in het onderhavige systeem de waterkwaliteit door sturen te verbeteren (paragraaf 5.3 en 5.4).

Het traject van het vaststellen van het gewenste systeemgedrag behelst het doorlopen van bovengenoemde stappen. Een goede systeemanalyse is van groot belang om de stappen gedetailleerd in te kunnen vullen. Veelal zal het detailleren in stappen gebeuren: bijvoorbeeld eerst een globale inschatting van de mogelijkheden om een mechanisme op een locatie te gebruiken en later een detaillering met behulp van modelstudies. Er kunnen dan alternatieven worden gemaakt die worden vergeleken op grond van de mate waarin de sturingsdoelstelling wordt bereikt, maar ook bijvoorbeeld kosten.

Het is raadzaam om in het kader van het vaststellen van het gewenst systeemgedrag ook de casestudies te bestuderen betreffende Rijnlands' boezem en de Rotteboezem. Deze zijn aangepakt conform de in deze leidraad gepresenteerde aanpak. Ze staan beschreven in hoofdstuk 9 en 10. In de volgende paragraaf staan een paar voorbeelden over de wijze waarop het gewenst systeemgedrag kan worden vastgesteld.

5.5.3 Voorbeelden

In deze paragraaf staan enkele voorbeelden van gewenst systeemgedrag. Dit is geen uitputtende lijst en dient voornamelijk ter illustratie. Ook kunnen natuurlijk combinaties van de onderstaande voorbeelden voorkomen.

1. Gewenst systeemgedrag: *Het water moet stromen van de schone gebieden naar de meer verontreinigde gebieden.*

Een eerste punt waarop sturing vaak al succesvol kan zijn is de routing van de waterstromen. In boezemstelsels stroomt verontreinigd water vaak naar gebieden die juist behoefte hebben aan schoon water. Schone waterstromen kunnen het beste aangewend worden ten behoeve van natuurgebieden, landbouwgebieden zijn al minder kritisch als het gaat om nutriënten.

Het gewenste systeem gedrag kan vaak op meerdere manieren worden bereikt. Hierbij kan gedacht worden aan:

- Het omleiden van stromingen middels een andere inzet van regelkunstwerken of door het plaatsen van nieuwe kunstwerken. Schone en verontreinigde watersoorten stromen gescheiden van elkaar door het boezemstelsel, waardoor kwetsbare gebieden worden ontzien.
- Het omkeren van de stroomrichting.

- Het kiezen van andere inlaatpunten of het creëren van nieuwe inlaatpunten.
- Het veranderen van de prioriteitsvolgorde van de inzet van gemalen.

2. Gewenst systeemgedrag: *het continu inlaten van water met een bepaald debiet.*

Het invoeren of wijzigen van het doorspoelbeleid. Door bijvoorbeeld continu door te spoelen met een klein beetje water. Met continu doorspoelen wordt voorkomen dat verontreinigende lozingen zich als proppen door het systeem verplaatsen. Er zal meer verdunning optreden. Dit is met name geschikt om piekconcentraties af te vlakken.

3. Gewenst systeemgedrag: *Handhaaf een concentratie op een bepaalde lokatie*

De hoeveelheid inlaatwater laten afhangen van de hoogte van een gemeten concentratie. Naarmate de gemeten concentratie hoger is meer water inlaten. Hierdoor wordt bereikt dat niet meer inlaatwater voor doorspoeling wordt gebruikt dan strikt noodzakelijk. Hiervoor moet er dus sprake zijn van een directe relatie tussen de inzet van het inlaatkunstwerk en de gemeten concentratie.

4. Gewenste systeemgedrag: *Water moet worden ingelaten op de boezem als verontreinigende polders op de boezem lozen.*

Of:

Iedere nacht wordt van 22.00 uur tot 6.00 uur water ingelaten met een bepaald debiet en alleen gedurende deze periode mogen verontreinigende polders hun water op de boezem lozen.

Het op elkaar afstemmen van polder en boezembemalingen. Hierdoor kan bereikt worden dat lozingen van polderwater worden verdund in het ontvangende water. Tevens kan dit een middel zijn om te voorkomen dat geloosd polderwater zich op een ongewenste manier door de boezem verspreidt.

5.6 Resultaat tactisch niveau

Het resultaat van het tactisch niveau is een concrete formulering van het gewenst systeemgedrag. In hoofdstuk 3 is bij de beschrijving van de niveaus opgemerkt dat het doorlopen van de niveaus een cyclisch proces is. De wisselwerking van het tactische niveau is er zowel met het strategische als met het operationele niveau.

De wisselwerking met het strategisch niveau uit zich er in dat het bij het doorlopen van het tactisch niveau steeds duidelijker wordt wat er op het gebied van waterkwaliteitsverbetering wel en niet mogelijk is: is een verbetering van een knelpunt mogelijk en leidt dat tot verslechtering elders.

De wisselwerking met het operationele niveau uit zich in de wijze waarop het gewenst systeemgedrag moet worden geformuleerd, als concentratie of als gewenst stromingspatroon. In dit hoofdstuk is globaal uiteengezet hoe daartussen gekozen moet worden, in het volgende hoofdstuk gebeurt dat meer in detail op grond van de invulling van het operationele niveau.

In hoofdstuk 8 wordt beschreven hoe het vaststellen van het gewenste systeemgedrag in wisselwerking met de andere stappen in het ontwerptraject van een sturingssysteem verloopt.

6 Operationeel Niveau

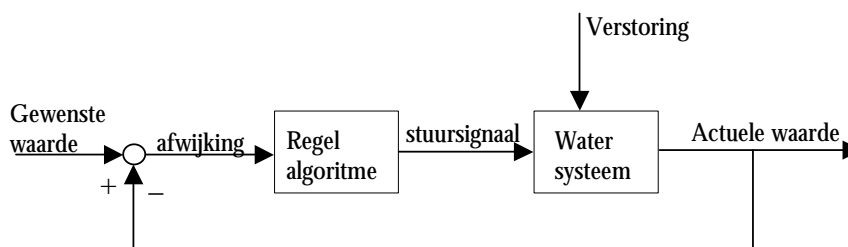
6.1 Algemeen

Nu het gewenst systeemgedrag bekend is, moet dat operationeel worden gemaakt. Dit gebeurt door het ontwerpen van de sturingsregels. Sturingsregels bepalen de inzet van de kunstwerken waarmee het gewenst systeemgedrag wordt bereikt.

Voordat we ingaan op de sturingsregels behandelen we eerst een aantal basisprincipes van sturing die in deze regels een rol spelen. Ofschoon het ontwerp van sturingsregels een specialisme is, is het toch van belang voor de waterbeheerder enige kennis te hebben van deze principes. Ten eerste om met de regelspecialisten te kunnen communiceren. De uitwisseling van kennis over regelen en kennis over waterbeheer is van groot belang om een goede regelaar te maken. Ten tweede om in te kunnen schatten of een dergelijke regelaar en daarmee een gewenst systeemgedrag in termen van een te handhaven of niet te overschrijden concentratie, een te realiseren optie is.

6.2 Feedback control

Teruggekoppelde regeling, beter bekend als *feedback control*, is een regeling gebaseerd op metingen van de actuele systeemtoestand. Deze actuele metingen worden vergeleken met de gewenste waarden. Op grond van het verschil tussen de actuele waarde en de gewenste waarde wordt een actie gegenereerd door een regelalgoritme.

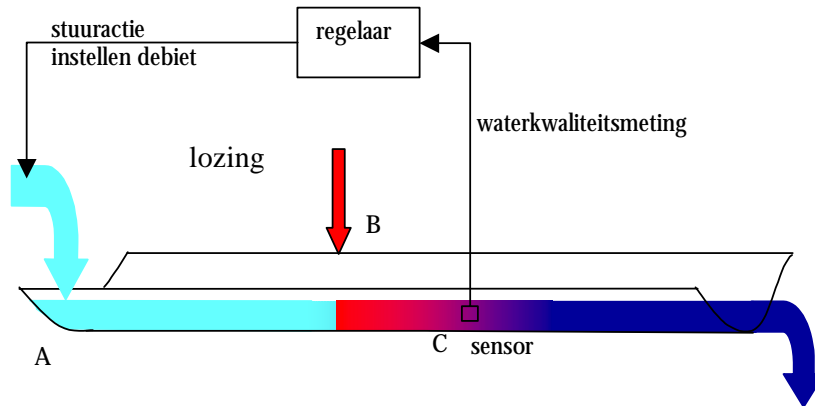


Figuur 6-1 Feedback control

In het geval van waterkwaliteitssturing kan bijvoorbeeld de actuele chloride-concentratie worden gemeten en vergeleken met de gewenste waarde. Op basis van het verschil tussen die waarden kan een standaard algoritme uit de regeltechniek zoals bijvoorbeeld een PID regelaar of een zogenaamde optimale regelaar de inlaat van het systeem bijsturen.

Het toepassen van feedback control heeft als voordeel dat het in principe mogelijk is om de gewenste waarden nauwkeurig te handhaven. Een ander sterk punt van feedback control is dat het reageert op alle verstoringen ongeacht hun oorzaak. Een ander sterk punt is dat een feedback systeem niet zo gevoelig is voor veranderingen in de systeemeigenschappen.

Tegenover deze voordelen staat als nadeel dat een feedback systeem niet anticipeert op verstoringen en het daarom altijd achter de feiten aanloopt. Het systeem komt pas in actie als een afwijking ten opzichte van een gewenste waarde wordt gevonden. Hierdoor is toepassing van een feedback regelaar voornamelijk geschikt in systemen die relatief snel reageren.



Figuur 6-2 Feedback control

In de bovenstaande figuur is feedback sturing op basis van waterkwaliteitsgegevens in een kanaal weergegeven.

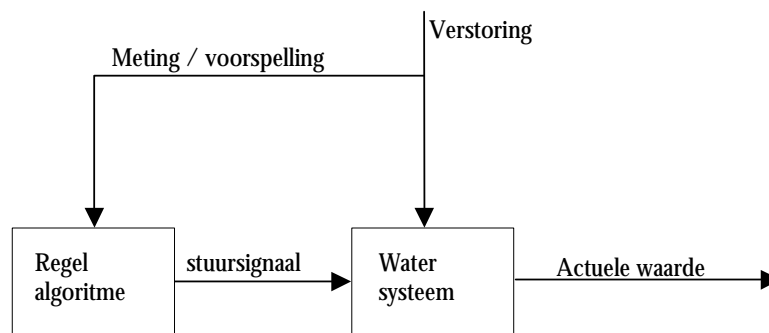
Ter hoogte van locatie B is een lozing weergegeven op het kanaal die begint op tijdstip $t=0$. Een eindje benedenstrooms van B ter hoogte van locatie C wordt een stofconcentratie te meten. Een teruggekoppelde regelaar kan worden gebruikt om de waterinlaat bij A aan te passen zodat de lozing bij B wordt verdund opdat een maximaal toelaatbare concentratie ter hoogte van C wordt gehandhaafd.

Als bij A extra water wordt ingelaten dan zal het echter enige tijd (T_1) duren voordat de waterbeweging B bereikt. Vanaf die tijd zal water afkomstig van bovenstrooms van B mengen met de lozing en deze zal daardoor verdund worden. Het zal wel nog enige tijd duren voordat de effecten hiervan merkbaar zijn op locatie C. De veranderde waterkwaliteit bij B zal zich met de stroomsnelheid richting C verplaatsen en zal daar na een tijd T_2 aankomen. Er zit een vertraging tussen actie en meetbaar gevolg in het systeem van T_1+T_2 . Alvorens de meting bij C is waargenomen is er ook al een tijd T_2 verstreken. Dit betekent dat als er heel goed wordt geregeld (dwz: de ingreep bij A is de beste om gewenste resultaat te bereiken) er toch gedurende T_1+2*T_2 een verstoorde waterkwaliteit is. Er is daardoor gedurende enige tijd een verstoring van de waterkwaliteit. De exacte duur van die verstoring hangt af van hoe geavanceerd de regelaar is. In de praktijk zal deze duur minimaal $2*(T_1+T_2)$ zijn, maar waarschijnlijker zijn waarden van bijvoorbeeld $5*(T_1+T_2)$.

6.3 Feedforward control

Wanneer in hetzelfde voorbeeld als in de vorige paragraaf op tijdstip $(T_1 + T_2)$ van tevoren (vrij nauwkeurig voorspeld kan worden dat een bepaalde lozing gaat optreden, dan kan er tijdig geanticipeerd worden op de te verwachten lozing of verstoring. Dit staat ook wel bekend als voorwaarts regelen of feedforward control.

Wat er gebeurt bij feedforward regeling is dit: er wordt gezorgd dat de stroming al op gang is als de lozing bij B begint. Op die manier wordt de lozing onmiddellijk verdund met het voorbij stromende water



Figuur 6-3 Feedforward control

De voor- en nadelen van feedforward control zijn precies tegengesteld aan die van feedback control. Zo anticipeert feedforward control snel op verstoringen, maar is nauwkeurig beheer erg moeilijk. Verder reageert feedforward control alleen op verstoringen die gemeten kunnen worden of die voorspeld kunnen worden. Als laatste nadeel kan worden aangevoerd dat een feedforward controller erg gevoelig is voor onnauwkeurigheden.

Het zal in de praktijk over het algemeen echter niet haalbaar zijn om over voldoende nauwkeurige voorspellingen van alle lozingen op de boezem te beschikken om feedforward control toe te kunnen passen. De praktijk is namelijk veel gecompliceerder dan het geschetste voorbeeld: er is veelal sprake van meerdere lozingen met verschillende concentraties van verschillende stoffen. Ook is te zien dat voor een traag systeem een grotere voorspellingshorizon nodig is, terwijl voorspellingen minder nauwkeurig zijn naarmate de tijdshorizon groter wordt. Kortom, een feedforward regeling vraagt om gegevens die soms lastig te verkrijgen zijn, maar het is zeker een zinvolle techniek waarvan de mogelijkheden in voorkomende gevallen het onderzoeken waard zijn.

Gezien de respectievelijke voor- en nadelen die feedforward en feedback control hebben, vormen zij een sterke combinatie. Enerzijds zijn sommige verstoringen zoals polderlozingen op een boezem goed meetbaar en dus beschikbaar voor het anticiperend regelen met een feedforward controller. Anderzijds is het vaak ondoenlijk om elke kwaliteitsverstoring die op een boezem komt voldoende nauwkeurig te gaan meten of te voorspellen. Ook is het niet altijd mogelijk om de gevolgen van een dergelijke verstoring exact te voorspellen. Op deze verstoringen zou dan met een feedbackregelaar kunnen worden gereageerd.

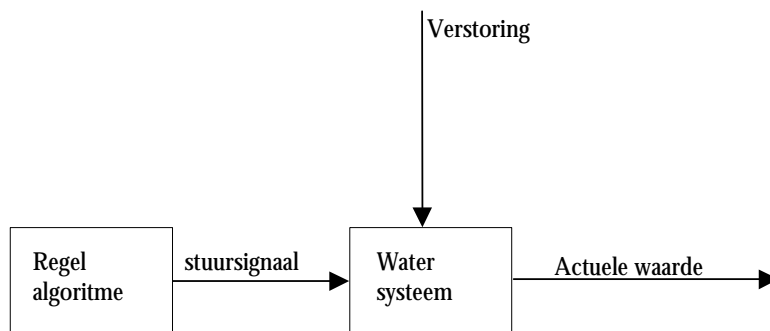
6.4 Open Loop control

Bij de hiervoor behandelde basisprincipes feedforward en feedback control is er altijd sprake van een relatie tussen een actueel meetgegeven en de sturingsactie die op het systeem plaats vindt.

Dit is echter niet altijd noodzakelijk. De sturingsregels kunnen ook onafhankelijk van de actuele systeemtoestand zijn geformuleerd. Dit noemt men ook wel open loop control (zie figuur 6-4). Voorbeelden van dergelijke sturingsregels zijn:

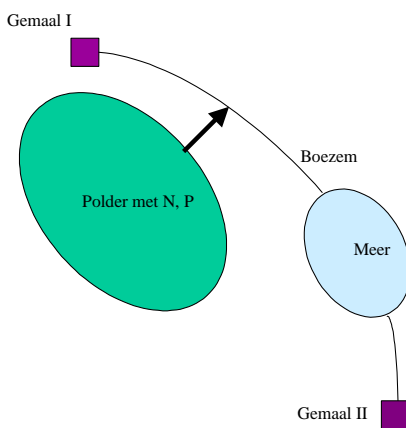
- Elke vrijdag doorspoelen
- Als gemaal inzet nodig is voor peilbeheer dan heeft gemaal A prioriteit vanwege de gevolgen op de waterkwaliteit

Het grote voordeel van een open-loop sturing is dat geen meetgegevens nodig zijn, dit is echter ook tevens het grote nadeel. Er is geen controle op het effect en de relevantie van een bepaalde sturingsactie. Een regel als doorspoelen op elke vrijdag kan in het algemeen redelijk voldoen, maar wanneer het voor de waterkwaliteit helemaal niet nodig zou zijn om door te spoelen, dan wordt het toch gedaan en een andere keer is het misschien op dinsdag al nodig om door te spoelen en is er dus sprake van een slechte waterkwaliteit tot vrijdag.



Figuur 6-4 Open loop control

Bij sturing op waterkwaliteit ligt zoals eerder in deze leidraad behandeld, de nadruk op het sturen van water- en stofstromen. Heel vaak zal dit betekenen dat het gewenste systeemgedrag als een gewenste stromingsrichting is aan gegeven. Het zal dan niet nodig zijn om deze stromingsrichtingen in te stellen op basis van actuele waterkwaliteitsgegevens en kan dus gebruik gemaakt worden van een open-loop control. Door een vooraf bepaalde uitgekende inzet van kunstwerken kan voorkomen worden dat bepaalde ongewenste water- en stofstromen zich verplaatsen naar kwetsbare gebieden. Er wordt als het ware waterscheiding in het watersysteem bewerkstelligd. Een simpel voorbeeld van dergelijke open loop sturingsregels is gegeven in het onderstaande voorbeeld:



Figuur 6-5 schematische weergave van een boezem met een meer waarop water vanuit een nutriëntrijke polder wordt geloosd.

Voorbeeld

In Figuur (6.5) zien we een boezemstelsel dat deels uit een meer bestaat. Op deze boezem wordt water geloosd vanuit een nutriëntrijke polder. Wanneer nu prioriteit wordt gegeven aan gemaal I zal het meeste van het geloosde polderwater bij gemaal I uit het systeem worden gemalen. Hierdoor wordt het meer minder met nutriëntrijk water belast dan wanneer de prioriteit bij gemaal II had gelegen. In dit geval wordt niet gestuurd op basis van actuele meetgegevens, maar wordt bij het beheer wel rekening gehouden met de waterkwaliteit door de inzetprioriteit bij gemaal I te leggen.

6.5 Welk type sturing?

Vaak is het al snel in te schatten welke type sturingsregels moeten worden gebruikt. Enerzijds wordt dit bepaald door de technische mogelijkheden van de verschillende sturingsprincipes, anderzijds kunnen ook andere overwegingen een rol spelen zoals de beschikbare meettechnieken, personeelsinzet, automatisering, beperkingen in de beschikbare kunstwerken en bestuurlijke overwegingen. Deze punten zullen in de volgende sub-paragrafen aan de orde komen.

6.5.1 Technische overwegingen

Bij het behandelen van de feedback control was al aangegeven dat dit type sturing ongeveer een tijd van $2 \cdot (T1+T2)$ tot $5 \cdot (T1+T2)$ nodig heeft om het systeem na het optreden van een verstoring weer terug te brengen in de gewenste toestand.

Hierbij staat $T1$ voor de tijd die nodig is om het water in beweging te brengen ter plekke van een lozing en $T2$ voor de tijd die het water er over doet om van het lozingspunt naar de meetlocatie te stromen.

De verhouding tussen de duur van de verstoring en de karakteristieke tijd ($T1+T2$) van het systeem bepaalt of feedback alleen zal voldoen. Wanneer immers de duur van de verstoring van de waterkwaliteit korter is dan de tijd die het systeem nodig heeft om deze verstoring weg te regelen, dan is het niet mogelijk die verstoring met zo een regelaar weg te regelen. Als vuistregel kan hiervoor de regel index waterkwaliteit worden gebruikt:

$$\text{Regel Index Waterkwaliteit} = \frac{T1+T2}{\text{Tijdsduur verstoorde waterkwaliteit}^*}$$

* Tijdsduur verstoorde waterkwaliteit is tijdsduur zonder toepassing van sturing.

Regel Index Waterkwaliteit	Type sturing
> 0,5	Open-loop / sturingsstrategie
Tussen 0,1 en 0,5	Feedback misschien toepasbaar
< 0,1	Feedback toepasbaar

De toepassing van een feedforward controller is afhankelijk van de tijdshorizon waarbinnen nog een betrouwbare voorspelling gedaan kan worden van verstoringen op het watersysteem. Er kan vanuit gegaan worden dat feedforward tot de mogelijkheden behoort als de tijdshorizon met betrouwbare voorspelling groter is dan $T1$, die tijd die nodig is om het water ter hoogte van de lozing in beweging te brengen.

6.5.2 *Beschikbare meettechniek*

Een reden met een heel andere achtergrond om te kiezen voor open-loop control zijn beperkingen in de beschikbare meetgegevens. Zo is het in de praktijk nog niet mogelijk om alle waterkwaliteitsvariabelen min of meer continu te bepalen. De laatste jaren zijn er ook op dit gebied weliswaar vele ontwikkelingen gaande, maar momenteel is er slechts een continue monitoring mogelijk van een beperkt aantal waterkwaliteitsvariabelen. Monitoring van chlorideconcentraties is goed uitvoerbaar, maar metingen van bijvoorbeeld fosfaatconcentraties in het water is al wat lastiger en vraagt veel onderhoud aan de meetapparatuur. Hoewel te verwachten valt dat deze technieken in de nabije toekomst zullen verbeteren, kan het vooralsnog aanleiding zijn om af te zien van bijvoorbeeld feedback sturingsregels.

6.5.3 *Personele overwegingen en automatisering*

Tenslotte kunnen eenvoudige sturingsregels ook zinvol zijn op grond van personele overwegingen en te hoge automatiseringskosten zoals blijkt uit het voorbeeld van het doorspoelen van de Amsterdamse grachten (Grotenbreg, 1995). Bij het doorspoelen van de grachten wordt een relatief groot aantal kunstwerken gebruikt en automatisering werd destijds gezien als te duur. Hierdoor moest de instelling van de kunstwerken handmatig gebeuren. Voor de personeelsinzet bleek het makkelijker te zijn om het doorspoelen volgens een vast schema te laten gebeuren en niet afhankelijk van de actuele zuurstofconcentraties in het water. Op basis van een modelstudie en praktijkproeven is toen een vast doorspoelschema opgesteld voor de zomerperiode en de winterperiode. Het grote voordeel hiervan was dat de medewerkers wisten wat voor handelingen op welke dag van de week verricht moesten worden en iedereen daarop ingesteld was.

6.5.4 *Beperkingen met de beschikbare regelkunstwerken*

Ook de eigenschappen van de beschikbare kunstwerken in een watersysteem kunnen hun invloed hebben op de uiteindelijke vorm van de sturingsregels. Zo kan het voorkomen dat door getijwerking op het buitenwater niet altijd water geloosd kan worden onder vrij verval. Hierdoor is de inzet van kunstwerken niet volledig vrij, maar aan regels gebonden.

Een veel voorkomend probleem is dat de debieten door de kunstwerken niet traploos instelbaar zijn. Wanneer bijvoorbeeld een continu debiet van 3 m³/s gewenst is, maar eenemaal kan alleen worden ingesteld op 0 of 5 m³/s, hoe moet hier dan mee worden omgegaan. Kan er worden afgerond op 5 m³/s? En zo ja, moet dit dan ook continu zijn of gedurende 60% van de tijd. Welke consequenties heeft dit voor de waterkwaliteit? Zo zal een groter debiet gedurende 60 % van de tijd ongewenst zijn, als er gebruik gemaakt wordt van het verdunningsprincipe omdat er dan gedurende 40% van de tijd niet verdund wordt.

In het geval aan de inzet van kunstwerken randvoorwaarden bestaan ten aanzien van hun functioneren (zoals sluzen alleen openen bij klein verval, niet traploos instelbare gemalen), dan moet bij het formuleren van het gewenst systeemgedrag daar rekening mee gehouden worden.

Een andere optie is dat de kunstwerken worden aangepast. Dit kan bijvoorbeeld gebeuren in het kader van een renovatie of wanneer de voordelen dusdanig groot zijn dat nieuwe investeringen verantwoord zijn.

6.5.5 *Bestuurlijke overwegingen*

Vaak spelen ook bestuurlijke overwegingen een rol bij de invulling van de sturingsregels. Zo kunnen de poldergemalen, die lozen op de boezem, in principe worden aangestuurd op basis van zowel de situatie in de polder alsook de situatie in de boezem. Dit zou bijvoorbeeld kunnen door de inzet van polder- en

boezemgemalen op elkaar af te stemmen. De sturingsregels kunnen zo worden ontworpen dat eerst een stroming op gang wordt gebracht waarna vervolgens poldergemalen worden ingeschakeld om zo direct een verdunning te realiseren. Wanneer om bestuurlijke redenen wordt gekozen voor het ten alle tijde autonoom sturen van de poldergemalen dan zullen dergelijke geavanceerde sturingsregels niet kunnen worden toegepast.

6.6 Afstemming tussen waterkwaliteit en waterkwantiteit

In deze leidraad ligt de nadruk op de waterkwaliteit. Steeds moet men echter in het oog houden dat waterkwantiteits- en kwaliteitssturing niet los van elkaar kunnen worden gezien. Met betrekking tot de vraag hoe kwantiteitsbeheer en kwaliteitsbeheer zich tot elkaar verhouden zijn drie mogelijkheden te onderscheiden.

1. Kwantiteitsbeheer heeft prioriteit

In de praktijk zal het zo zijn dat wanneer een situatie met betrekking tot (grond)waterstanden echt kritiek gaat worden het kwantiteitsbeheer zal prevaleren boven het kwaliteitsbeheer. Bij kritieke toestanden kan dan gedacht worden aan extreem hoge of lage waterstanden in het watersysteem met gevaar voor wateroverlast of schade aan gewassen en zelfs gevaar voor mensenlevens. De kwaliteitsdoelstellingen raken dan op de achtergrond.

2. Alle ruimte voor kwaliteitsbeheer

Met name in de zomerperioden zal er ruimte zijn om de inzet van kunstwerken in hoofdzaak te gebruiken ten behoeve van de waterkwaliteit. In niet extreem natte of droge periodes kan sturen op waterkwaliteit in principe gebeuren met een gesloten waterbalans. Bijvoorbeeld door de hoeveelheid water die wordt ingelaten elders weer uit te malen. Netto zal hierdoor geen effect op de waterstanden in het watersysteem optreden.

Dit betekent wel dat voor sturing op waterkwaliteit men de beschikking moet hebben over minimaal twee kunstwerken. Eén van deze twee regelt dan bijvoorbeeld het peil terwijl de inzet van het andere kunstwerk de waterkwaliteit regelt.

In het geval van doorspoelen wordt bijvoorbeeld verontreinigd water uit het systeem gemalen. Hierdoor zou een daling van het waterpeil kunnen optreden. Door het inlaatkunstwerk nu op peil te laten regelen zal deze water inlaten en daarmee voldoen aan kwantiteitsdoelstellingen.

3. Kwantiteitsbeheer afstemmen met kwaliteitsbeheer

In perioden dat het voor het kwantiteitsbeheer volstaat slechts een deel van de mogelijke inzet te gebruiken kan de keuze van de inzet mede afhangen van kwaliteitsaspecten. Gedacht kan worden aan het inzetten van capaciteit op plaatsen in het systeem zodat er een voor de kwaliteit gunstige stroming ontstaat. Een voorbeeld hiervan is terug te vinden in de casestudie van Rijnlands' boezem.

Om in de praktijk te kunnen bepalen wanneer men met welke situatie te maken heeft, is het nodig om regels vast te stellen. Ook zal soms de ene situatie over kunnen gaan in de andere. Die regels zullen van situatie tot situatie verschillen. Enkele praktische voorbeelden zijn:

- Sturen op waterkwaliteit zolang een bepaalde afwateringscapaciteit niet wordt overschreden.
- Sturen op waterkwaliteit als het peil zich binnen een bepaald bandbreedte bevindt
- Sturen op waterkwaliteit gedurende een bepaalde tijd van het jaar

6.7 Resultaat operationeel niveau

Het resultaat van het operationele niveau zijn de sturingsregels. Veel aandacht is hierbij gegeven aan de wisselwerking met de wijze van formuleren van het gewenst systeemgedrag op tactisch niveau. Het ontwerp van sturingsregels is een taak voor deskundigen.

Een regelsysteem heeft veel meer aspecten dan aansluiten bij het gewenst systeemgedrag. Ook zaken als de beschikbare elementaire, beheersfilosofie, wensen met betrekking tot mate van automatiseren etc. spelen een rol. In het volgende hoofdstuk wordt een projectmatig aanpak van het ontwikkelingstraject van een sturingssysteem beschreven waarbij de hier beschreven regelsystemen in die bredere context wordt geplaatst.

7 Wijze van beoordeling van effectiviteit van sturen

7.1 Algemeen

Wanneer bekend is welke variabelen karakteristiek zijn voor de knelpunten met betrekking tot waterkwaliteit en de processen die door sturing beïnvloed kunnen worden zijn geïdentificeerd, komt de vraag op hoe de effectiviteit van sturing beoordeeld moet worden. Uiteindelijk zal dat natuurlijk gebeuren door direct naar de waterkwaliteit te kijken. De effectiviteit van sturen zal in de ontwikkelingsfase echter met behulp van modelstudies moeten worden aangetoond alvorens sturing wordt geïmplementeerd. Wanneer een goed gekalibreerd waterkwaliteitsmodel beschikbaar is, kan de effectiviteit aan de karakteristieke variabele zelf zoals chloride of nutriëntenconcentratie, worden afgemeten. Een gedetailleerd waterkwaliteitsmodel is niet altijd meteen beschikbaar. Er zijn echter verschillende beoordelingsmethoden waarmee toch een uitspraak over de effectiviteit van de voorgestelde sturing kan worden gedaan.

7.2 Beoordeling

7.2.1 *Beoordeling op louter kwantiteitsvariabelen*

Veel waterbeheerders hebben inmiddels de beschikking over een hydrodynamisch model voor simulaties van de waterbeweging, maar (nog) niet over een waterkwaliteitsmodel. Voor sommige kwaliteitsproblemen is het toch mogelijk om een uitspraak te doen over de effectiviteit van sturing op basis van kwantiteitsvariabelen.

Een voorbeeld daarvan is het waterbodemp probleem dat ontstaat als gevolg van de bezinking van zwevende stof. De sedimentatie van gesuspendeerde deeltjes kan worden voorkomen als de stroomsnelheid boven een kritische waarde voor sedimentatie blijft. De effectiviteit van sturing kan dan beoordeeld worden op basis van de stroomsnelheid.

7.2.2 *Beoordeling op fracties*

Het is een kleine stap om een hydrodynamisch model uit te breiden voor eenvoudige kwaliteitsberekeningen op basis van fractiesommen. Met een fractieberekening kan de herkomst van het water op elke plaats in het gemodelleerde watersysteem herleid worden tot de bron. Een fractieberekening maakt het mogelijk om relatieve veranderingen in het aandeel van de verschillende watersoorten te beoordelen. Een fractiesom sluit dus heel goed aan bij een gewenst systeemgedrag dat is uitgedrukt in de routes die de verschillende watersoorten door het watersysteem moeten afleggen.

Deze aanpak maakt gebruik van de mogelijkheid om de bron van de vervuiling op de relevante locaties vast te stellen. De afname als gevolg van sturing van een bepaalde fractie, bijvoorbeeld chloriderijk water, kan zo in beeld worden gebracht. De meest simpele toepassing van een fractieberekening wordt verkregen door het labelen van bronnen in de kwaliteiten 'goed', 'neutraal' en 'slecht'. Wanneer op relevante plaatsen het aandeel van de fractie goed toeneemt heeft de sturing een positief effect.

In de beginfase van een studie naar de mogelijkheden van sturing op waterkwaliteit kan de aanpak met fractiesommen een goede inschatting geven van de mogelijkheden voor sturing op waterkwaliteit. Het voordeel van deze methodiek is dat ze in het algemeen niet arbeidsintensief is en dat ze snel kan worden uitgevoerd. Het is echter niet raadzaam om maatregelen definitief te beoordelen op basis van deze fractiesommen. Wanneer aangetoond is dat er mogelijkheden zijn voor sturing op waterkwaliteit,

verdient het aanbeveling om de effecten in meer detail door te rekenen en ze te beoordelen op belastingen en concentraties.

7.2.3 *Beoordeling op belastingen*

Meren kennen vaak een lange verblijftijd van het water. Inkomende waterstromen worden goed gemengd met het aanwezige water in het meer, concentratiegradiënten vlakken af. De nutriënten die het meer binnenkomen, worden volledig opgenomen in de nutriëntenkringloop. Binnen de nutriëntenkringloop worden de nutriënten effectief gerecycled. Een deel van de nutriënten zal worden afgebroken (stikstof) en bezinken (fosfaat) en daarmee niet langer beschikbaar zijn voor algengroei. Naarmate de toevoer van nutriënten groter wordt, zal ook de beschikbare hoeveelheid voor algengroei toenemen. De belasting van het meer met nutriënten, uitgedrukt in $g\ N/m^2$ en $g\ P/m^2$, is een maat voor het risico op overmatige algengroei. Hoe hoger de belasting, hoe hoger de concentratie chlorophyl-a zal uitvallen. Voor enkele meren zijn drempelwaarden afgeleid voor de nutriëntenbelasting (bijvoorbeeld Klinge et al. 2000).

Voor het berekenen van de belasting op meren en stagnante wateren kan in veel gevallen volstaan worden met een stoftransportmodel. In de aanvoerroutes naar de meren zal het stoftransport domineren, waterkwaliteitsprocessen zijn hier van ondergeschikt belang. Voor delen van het systeem zoals meren en stagnante wateren, waarin chemische en biologische processen de waterkwaliteit domineren, geven stoftransportberekeningen een onjuist beeld van de concentraties. Op de randen van deze meren en stagnante wateren kan wel bepaald worden wat de inkomende belasting is.

Door de belasting op het meer - gedefinieerd als het product van het debiet en de stofconcentratie van het binnenkomende water - te verminderen, vermindert de hoeveelheid stof die beschikbaar is voor biologische en chemische processen. Waardoor de nadelige effecten als gevolg van deze chemische en biologische processen ook verminderd kunnen worden. Hierbij kan concreet gedacht worden aan het verminderen van de nutriëntenbelasting en een daarmee samenhangende verminderde algenbloei.

Enige voorzichtigheid bij het gebruik van deze beoordelingstechniek voor eutrofiëringsgevoelige meren is echter wel op zijn plaats. Het al dan niet optreden van algengroei is in de praktijk afhankelijk van zowel de nutriëntenbelasting alsook van de hydraulische belasting van het meer. Een complicatie die kan optreden bij sturing is, dat niet alleen de stofbelasting verandert maar ook de hydraulische belasting. De hydraulische belasting op het meer is weer van invloed op de verblijftijd van het watersysteem en op de verdunning en afvoer van stoffen uit het meer. Een langere verblijftijd kan de positieve gevolgen van een lagere belasting weer teniet doen.

Een voorbeeld van het beoordelen op belasting en de omzichtigheid waarmee dat moet gebeuren is beschreven in de casestudie Rijnland. Hier werd een meer belast met fosfaat vanuit drie verschillende stromen. Middels sturing kon bereikt worden dat twee stromen grotendeels gereduceerd werden, waardoor de fosfaatbelasting op het meer drastisch afnam.

Toch toonden concentratieberekeningen aan dat de fosfaatconcentratie in het meer toenam. De ene stroom die uiteindelijk overbleef was weliswaar de kleinste, maar bevatte wel een hoge concentratie fosfaat. In de nieuwe situatie trad namelijk geen verdunning meer op. Op grond van concentratieberekeningen bleek deze maatregel alsnog ongeschikt te zijn. Hierbij zij opgemerkt dat de twee andere stromen wel zorgden voor een verdunning, maar dat de concentraties in deze stromen dusdanig hoog waren dat nooit de gewenste waarde bereikt had kunnen worden middels verdunning.

Binnen een compleet pakket van maatregelen echter kan deze sturingsmaatregel wel effect hebben door bij het treffen van eventuele bronmaatregelen te focussen op die ene overblijvende stroom. Dit totaal pakket aan maatregelen kan dan de gewenste kwaliteitsverbetering te realiseren.

7.2.4 *Beoordeling op concentraties*

Wanneer een goed waterkwaliteitsmodel in combinatie met een hydrodynamisch model beschikbaar is en de waterkwaliteitsdoelstelling is uitgedrukt in eisen met betrekking tot de concentraties dan kan direct op die concentraties worden beoordeeld.

7.3 **Opstellen van beoordelingscriteria**

7.3.1 *Algemeen*

Voor het beoordelen van de waterkwaliteit is behalve een wijze van beoordelen ook een beoordelingskader nodig: wanneer is de waterkwaliteit voldoende? In principe is het antwoord op deze vraag: 'Als de waterkwaliteit dusdanig is, dat het watersysteem de aan het systeem toegewezen functies kan ondersteunen.' Dit antwoord zal in het algemeen te vaag zijn en onvoldoende houvast bieden bij het toetsen van sturing op effectiviteit. Mede om deze reden is in het voorgaande al een vertaalslag gemaakt waarbij onder meer de chemische samenstelling van het water karakteristiek is gesteld voor de gewenste waterkwaliteit. Het is nu nog zaak om beoordelingscriteria voor de chemische samenstelling van het water op te stellen. Bij het opstellen van beoordelingscriteria spelen verschillende aspecten een rol. In de volgende paragrafen worden deze besproken.

7.3.2 *Ruimtelijke aspecten*

De vast te stellen beoordelingscriteria zullen veelal ook een ruimtelijke component moeten hebben. Daaraan liggen twee zaken ten grondslag:

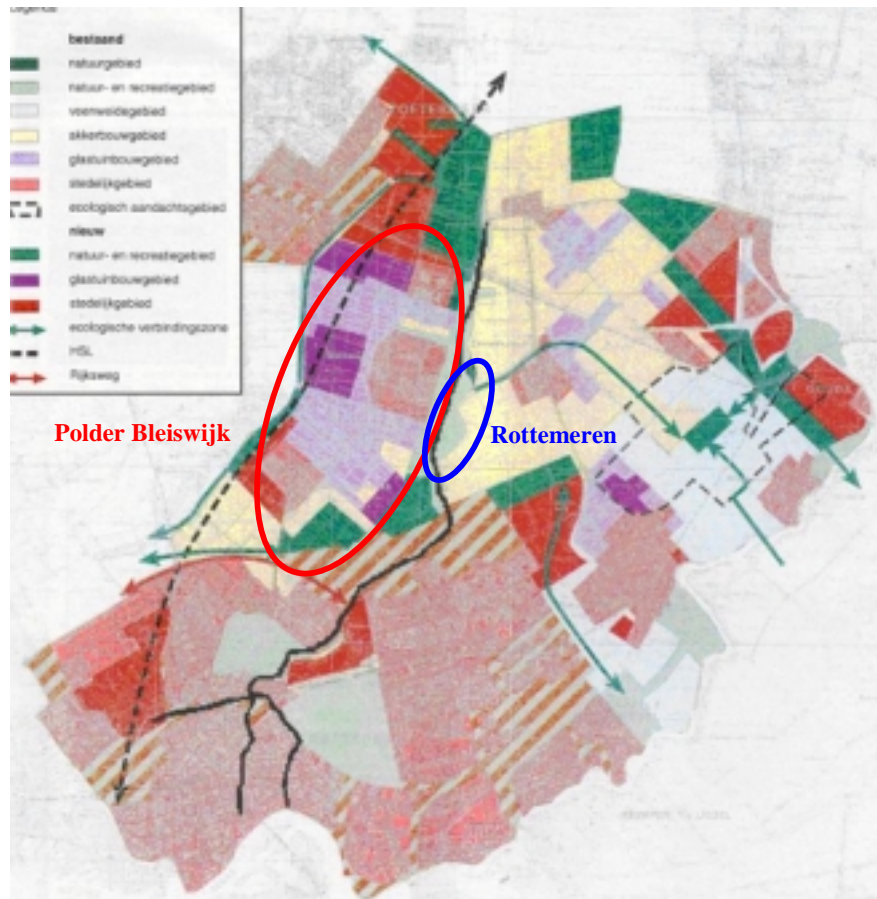
- Aan verschillende gebieden kunnen verschillende functies zijn toegekend;
- Het effect van een sturingsmaatregel is ruimtelijk beperkt waardoor kwaliteitsverbetering in een beperkt gebied geldt, of door interactie de kwaliteit op andere locaties zelfs achteruit gaat.

Een voorbeeld van een gebied met ruimtelijke spreiding in functies is te vinden in het beheersgebied van het hoogheemraadschap van Schieland (zie figuur 7.1).

In het betreffende beheersgebied liggen de Rottemeren die een recreatieve functie hebben. Een belangrijke kwaliteitseis voor deze meren is doorzicht. Doorzicht is afhankelijk van de groei van waterplanten en algen. Vertaald naar meetbare en chemische waarden zijn voor de groei de beschikbaarheid van nutriënten zoals fosfaat en stikstof nodig. Het is in de Rottemeren dus van belang deze nutriëntenconcentraties laag te houden. Een andere grootheid zoals de chlorideconcentratie in de Rottemeren is van minder belang, omdat die geen rol speelt bij het voldoen aan de recreatieve functie van het water.

Binnen hetzelfde beheersgebied ligt ook de polder Bleiswijk met veel glastuinbouw. Voor die polder geldt eigenlijk precies het omgekeerde. De nutriëntengehalten zijn minder belangrijk, maar het is van groot economisch belang om de chloridengehalten zo laag mogelijk te houden.

Het voorbeeld laat zien dat het bij het formuleren van beoordelingscriteria van belang is duidelijk aan te geven welke criteria waar gelden.

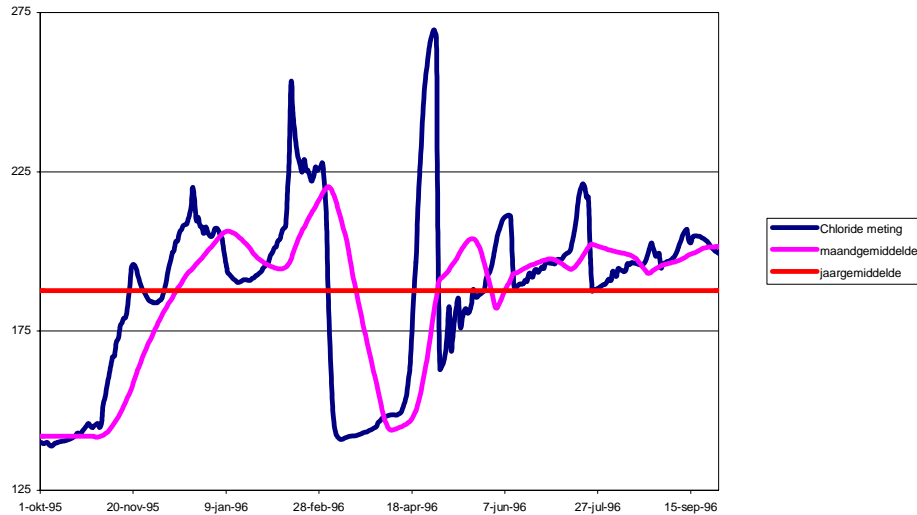


Figuur 7-1 ruimtelijke spreiding van functies en waterkwaliteitsdoelen in het beheersgebied van het hoogheerraadschap van Schieland

7.3.3 Tijdsaspecten

In elk watersysteem zal de waterkwaliteit in de tijd variëren. Figuur 7.2 laat een chlorideverloop in de tijd zien zoals dat kan worden aangetroffen in delen van Laag Nederland.

De verschillende weergaven van dezelfde gegevens illustreren het belang van tijdsaspecten in de beoordelingscriteria: mag een concentratie nooit een waarde overschrijden of zijn er eisen aan de maandgemiddelden? Zo zal het voor nutriënten veelal voldoende zijn om gewenste maandgemiddelde concentraties te formuleren. Want een piek in het verloop van een nutriëntenconcentratie gedurende een aantal dagen zal geen grote effecten hebben op het functioneren van het watersysteem. Daar staat tegenover dat een overschrijding van chloridengehalten gedurende een aantal dagen kan leiden tot een lagere oogstobbrengst. Het is voor chloride dus zaak om het doel te formuleren aan de hand van actuele concentraties en niet op basis van week of op maandgemiddelde waarden.



Figuur 7-2 tijdsaspecten van meetwaarden

Een ander tijdsaspect heeft te maken met de wijze waarop beoordeling plaatsvindt afhankelijk van het jaargetijde. Zo zal een overschrijding in het zomerseizoen kritisch zijn omdat er dan snel schade aan gewassen ontstaat terwijl dat in de winter nauwelijks het geval zal zijn.

Het beoordelingscriterium zal dus ook een tijdselement moeten bevatten. Voorbeelden van tijdselementen zijn:

- de gewenste of maximale waarden in termen van momentane of (maand)gemiddelde waarden,
- de gewenste of maximale waarden afhankelijk van de periode in het jaar,
- het aantal keren dat die waarden in een bepaalde periode mag worden overschreden,
- de duur van die overschrijding,
- de waarden die absoluut niet overschreden mogen worden?

7.3.4 Prioriteiten of matigen van de wens

Die ruimtelijke component van de beoordelingscriteria kan als gevolg hebben dat niet alle doelstellingen tegelijkertijd gehaald kunnen worden. Soms zal bijvoorbeeld als gevolg van sturing de waterkwaliteit in het ene boezemmeer verbeteren ten koste van een ander meer. Voor het beoordelen van die sturing is het dan noodzakelijk om een prioriteit te stellen aan de te ondersteunen functies en daarmee aan de doelen.

Het toekennen van prioriteit betekent het maken van een expliciete keuze tussen twee verschillende doelen of functies. Zo kan het voorkomen dat er een keuze gemaakt moet worden tussen het halen van de landbouwdoelen op een locatie A of de natuurdoelstellingen op locatie B.

Een andere optie kan zijn de doelen op de twee locaties te blijven ondersteunen maar de ambities naar beneden bij te stellen.

7.3.5 *Prestatie-index*

Het beoordelingscriterium is opgezet om de effectiviteit van sturing te beoordelen en ook om bij het ontwerpen van sturing de verschillende sturingsalternatieven met elkaar te kunnen vergelijken. Daartoe is het nodig dat het beoordelingscriterium geformuleerd wordt als een zogenaamde kostfunctie of prestatie-index. Dit is een wiskundige formulering waarin alle in de vorige paragrafen genoemde aspecten zijn opgenomen. Doordat sturingsmaatregelen vaak onderdeel zullen vormen van een totaalpakket aan maatregelen zal een performance-index vaak niet in absolute zin worden afgewogen, maar zal vaak gestreefd worden naar een zeker minimum.

In een prestatie-index worden overschrijdingen of afwijkingen ten opzichte van gewenste waarden gewaardeerd door ze op enigerlei wijze te sommeren. Tevens kunnen gewichten worden gebruikt om prioriteiten tussen doelen onderling tot uitdrukking te brengen.

De prestatie-index kan op meerdere manieren vorm worden gegeven, enkele eenvoudige voorbeelden zijn:

- Het aantal keren dat een bepaalde concentratie per jaar een maximumwaarde gedurende 24 uur of meer overschrijdt.
- De totale belasting met een bepaalde stof van een (deel)systeem gedurende een jaar.
- De totale tijdsduur van alle keren dat een maximaal gewenste concentratie gedurende het groeiseizoen wordt overschreden.
- Het aantal malen per jaar dat de chlorideconcentratie een maximumconcentratie gedurende meer dan 24 uur overschrijdt, opgeteld bij zes keer het aantal malen dat op lokatie B zuurstofloze omstandigheden optreden gedurende de zomerperiode van april t/m september. Hierbij telt dus het aantal keren dat zuurstofloze omstandigheden optreden bij B zes keer zo zwaar mee.

Een duidelijk voorbeeld is ook te vinden in de case studie van de Rotteboezem. In deze case studie werd er naar gestreefd op de nutriëntenbelasting op de Rottemeren te minimaliseren.

8 Ontwikkelen van sturing binnen een projectmatige aanpak

8.1 Inleiding

Wanneer de beschreven stappen van strategisch, tactisch en operationeel niveau onder elkaar wordt gezet, dan ontstaat het volgende overzicht, zie figuur 8.1

Strategisch niveau	verkrijgen van consensus over een functiegericht waterbeheer
	vaststellen van de functies/doelen in het watersysteem
	keuze relevante waterkwaliteitsparameters
	vaststellen prioriteiten
	opstellen van beoordelingscriteria
Tactisch niveau	inventarisatie huidige situatie
	analyse van de huidige situatie
	onderkennen van mogelijkheden
	het bepalen van het gewenste systeemgedrag
Operationeel niveau	keuze voor regelaar of sturingsstrategie
	afstemming met waterkwantiteitsbeheer
	ontwerp van het regelsysteem
	integreren van randvoorwaarden
	verwijderen

Figuur 8-1 Overzicht van de stappen bij het realiseren van sturing

In dit hoofdstuk wordt beschreven hoe een sturingssysteem in de praktijk gerealiseerd kan worden. Realisatie gebeurt door de in de voorafgaande hoofdstukken beschreven stappen in een projectmatige aanpak te doorlopen.

8.2 Projectmatige aanpak

8.2.1 Algemeen

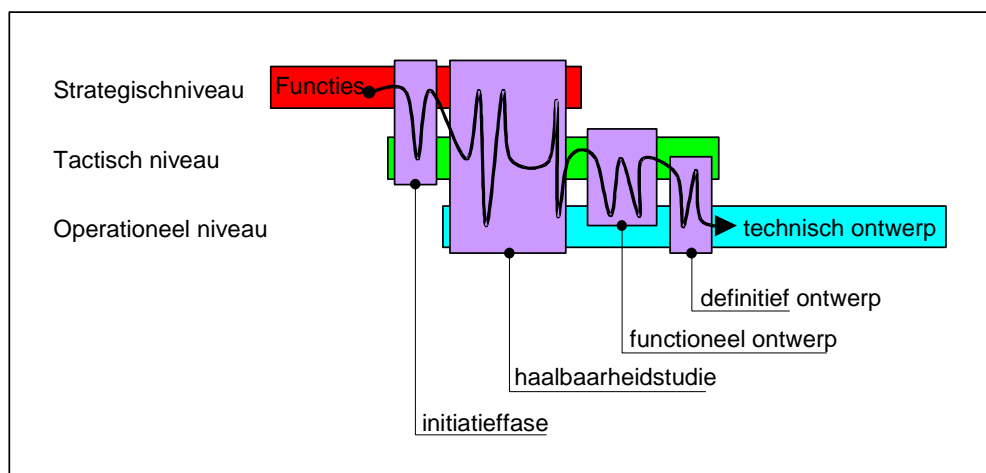
Bij de beschrijving van de drie niveaus in de voorafgaande hoofdstukken is opgemerkt dat het doorlopen van die niveaus geen lineair proces is. In de praktijk blijkt veelal dat een aantal niveaus - geheel of gedeeltelijk - verschillende malen wordt doorlopen. De stappen die daarbij gezet worden, worden dan telkens concreter en sluiten beter op elkaar aan.

In een project om sturing op waterkwaliteit te realiseren is het van belang de stappen zorgvuldig te doorlopen en waar nodig voor terugkoppeling te zorgen. Daartoe is een projectmatige aanpak voorgesteld, waarbij de wisselwerkingen tussen de niveaus in de onderstaande figuur (figuur 8-2) zijn weergegeven. In de figuur staan op de horizontale balken de drie niveaus aangegeven. De van links naar rechts lopende pijl in de figuur geeft het doorlopen van het ontwerpproces aan. De verticale balken zijn de te onderscheiden fases in het ontwerptraject.

De figuur is indicatief: de figuur geeft niet aan hoe vaak er overleg zal moeten zijn tussen bepaalde niveaus. Ook de lengte van de verschillende fases in een project kan van geval tot geval verschillen.

De volgende fases worden onderscheiden:

- initiatiefase
- haalbaarheidsstudie
- functioneel ontwerp
- definitief ontwerp



Figuur 8-2 ontwerp traject en de verschillende niveaus

Te zien is dat het strategisch niveau een belangrijke rol speelt in het begin van het project. Naarmate het project vordert verschuiven de activiteiten via het tactische niveau naar het operationele niveau.

De terminologie van de te doorlopen fases is bekend uit andere projecten in het waterbeheer en daarbuiten. Bij het uitvoeren van die fases komt men bij sturingsprojecten echter hier en daar specifieke zaken tegen. Daaraan wordt in de volgende paragrafen aandacht besteed. Elke fase wordt afgesloten met

een rapportage. In het realisatietraject wordt aan het eind van elke fase besloten of en hoe het project wordt voortgezet.

8.2.2 *Initiatieffase*

In de initiatieffase fase speelt het strategische niveau een belangrijk rol. Het verkrijgen van consensus voor een functiegericht waterbeheer binnen de organisatie is hier van belang omdat het de basis is voor een succesvol vervolg van het project.

Startpunt van de initiatieffase is vaak een inventarisatie van bestaande knelpunten en aandachtspunten uit de relevante beleidsdocumenten zoals het waterhuishoudingsplan en het waterbeheersplan. Aan de hand van de functies en de problemen die in een watersysteem spelen kan een keuze worden gemaakt voor de relevante waterkwaliteitsvariabelen. Ook zullen vaak al beoordelingscriteria worden opgesteld waaraan deze waterkwaliteitsvariabelen moeten voldoen.

In de initiatieffase speelt ook het tactische niveau een rol in de vorm van de globale inventarisatie en analyse van de huidige situatie, ofwel de watersysteemanalyse. Aan de hand van de watersysteemanalyse wordt duidelijk wat de oorzaak is van knelpunten. De mogelijkheden om daar met sturingsmaatregelen wat aan te doen, kunnen in beeld worden gebracht. Daarbij wordt ook duidelijk welke doelen tegelijkertijd kunnen worden bereikt en welk doelen conflicterend zijn. Dat leidt er toe dat die doelen op strategisch niveau moeten worden heroverwogen of geprioriteerd. De watersysteemanalyse wordt dan ook met voldoende diepgang uitgevoerd om dat in beeld te brengen, maar hoeft niet gedetailleerder te worden uitgevoerd.

De initiatieffase wordt afgesloten met een rapportage waarin de volgende onderwerpen zijn opgenomen:

- Consensus over een functiegericht waterbeheer (strategisch);
- Inventarisatie van functies en doelen prioriteitsvolgorde van die doelen en (strategisch);
- Globale watersysteemanalyse (tactisch).

Wanneer de resultaten van de initiatieffase positief zijn wordt de haalbaarheidsstudie opgestart.

8.2.3 *Haalbaarheidsstudie*

Kenmerkend aspect van een haalbaarheidsstudie is dat het hele project op hoofdlijnen wordt doorlopen, met andere woorden: alle stappen van het hele project worden in die mate van detail doorlopen die nodig is om een goed beeld van de haalbaarheid te krijgen.

In het kort komt het op hoofdlijnen doorlopen van het hele project op het volgende neer:

- De doelen zijn de doelen zoals die in de initiatieffase zijn vastgesteld. In de haalbaarheidsstudie worden de watersysteemanalyse en het gewenst systeemgedrag in meer detail uitgewerkt dan in de initiatieffase. Dat kan als gevolg hebben dat de doelen moeten worden bijgesteld.
- Watersysteemanalyse in detail.
- Gewenst systeemgedrag in detail.
- Globaal ontwerp regelsysteem, waarbij detailspecten van het operationele niveau - zoals het al dan niet traploos instelbaar zijn van debieten van de gemalen- achterwege kunnen

blijven. De gebruikte (meet)gegevens en het regelsysteem moeten zo gedetailleerd zijn dat ze in een modelomgeving kunnen draaien.

- De relatie met waterkwantiteitaspecten moet in zoverre duidelijk zijn, dat een reëel beeld wordt verkregen van de periode waarin de waterkwantiteit de ruimte biedt om op waterkwaliteit te sturen.

Bij het vaststellen van de haalbaarheid kan een onderscheid worden gemaakt in de technische haalbaarheid en de financiële haalbaarheid. In deze leidraad ligt de nadruk voornamelijk op de technische aspecten. De beoordeling van de financiële haalbaarheid vindt in het algemeen plaats door een vergelijking tussen de kosten van sturing en die van andere mogelijke maatregelen, waarmee hetzelfde wordt bereikt als met sturing.

De haalbaarheidsstudie wordt afgesloten met een rapportage waarin het doel van sturen, het gewenste systeemgedrag, het sturingssysteem en de relatie met sturen op kwantiteit zijn vastgelegd. Op dit moment kan wederom een besluit vallen over de voortgang van het project.

8.2.4 Functioneel Ontwerp

Wanneer is besloten dat het wenselijk en mogelijk is middels sturing een wezenlijke bijdrage te leveren aan het ondersteunen van de waterkwaliteitsdoelstellingen, is het noodzakelijk om het ruwe ontwerp van de sturing op waterkwaliteit te verfijnen tot een ontwerp van een sturingssysteem waarin zowel waterkwantiteit alsook waterkwaliteit zijn geïntegreerd. Zo een verfijnd compleet ontwerp wordt aangeduid met het functionele ontwerp.

Om tot een goed onderbouwd functioneel ontwerp te komen is van belang dat de volgende zaken aan de orde komen:

- Een goed uitgewerkt gewenst systeemgedrag (tactisch);
- Detail ontwerp van een regelsysteem (operationeel). Daarbij is er met name aandacht voor de benodigde functionaliteiten: waar moet er gemeten worden, hoe lopen informatiestromen, welke algoritmes ten behoeve van sturing voeren de procescomputers uit;
- Integratie met het kwantiteitsbeheer (operationeel). Wanneer sturen op kwantiteit, wanneer op kwaliteit en wanneer is een combinatie mogelijk?
- Integratie van randvoorwaarden in het functioneel ontwerp, rekening houden met wat er technisch mogelijk is (operationeel).

8.2.5 Definitief ontwerp

Vanaf het functioneel ontwerp ligt de nadruk in het project op de technische invulling van het operationele niveau. Het definitieve ontwerp is een technische uitwerking van het functionele ontwerp. Het geeft onder meer een specificatie van benodigde hard- en software. Dit laatste zal voornamelijk van toepassing zijn in geautomatiseerde systemen en in systemen waarbij gebruik gemaakt wordt van Beslissings Ondersteunende Systemen (BOS).

De details van het technische ontwerp worden meestal bepaald door de ontwerp- en gegevensbeheersfilosofie van het bedrijf of de organisatie die de sturing gaat realiseren. Dit is een specialisme dat buiten het bereik van deze leidraad valt.

8.3 De rol van modellen in het proces

8.3.1 *Algemeen*

Afhankelijk van de fase waarin het proces verkeert, zullen verschillende modellen van het watersysteem nodig zijn. In een aantal gevallen zijn deze beschikbaar, maar in sommige gevallen zal ook modelontwikkeling gaandeweg het proces noodzakelijk zijn. De volgende modellen zullen in de verschillende fasen van het proces noodzakelijk zijn:

- Hydrodynamisch model
- Fractiesommen model
- Beperkt waterkwaliteitsmodel
- Volledig waterkwaliteitsmodel
- Sturingsmodel

8.3.2 *Hydrodynamisch model*

Bij sturen op waterkwaliteit wordt ingegrepen op de waterstromen binnen het watersysteem. Het spreekt voor zich dat gedurende alle fasen van het project het hydrodynamische model noodzakelijk is om de waterstromen in kaart te brengen. Veel waterbeheerders hebben tegenwoordig al de beschikking over een hydrodynamisch model van hun watersysteem. Hoewel dit model vaak voor andere doeleinden gebruikt is, zoals voor hoogwaterstudies, is dit model over het algemeen met geringe moeite aan te passen voor een studie naar sturing op waterkwaliteit. De moeite bestaat eruit dat het model geschikt gemaakt moet worden om langere tijdreeksen zoals jaarreeksen door te rekenen in plaats van een gebeurtenis van een aantal dagen. De moeilijkheid zit met name in het modelleren van het doorspoelbeleid en de inlaat voor peilhandhaving. Bij het opstellen van een model voor wateroverlaststudies zal niet altijd rekening gehouden zijn met operationeel beheer tijdens het zomerseizoen.

8.3.3 *Fractiesommen model*

Met het fractie-model is het mogelijk om de samenstelling van het water op elke willekeurige plek in het watersysteem te herleiden tot de verschillende bronnen van het systeem. Dit modelinstrument zal voornamelijk gebruikt worden in de initiatieffase waarin de mogelijkheden van sturing worden afgetast.

De belangrijkste rol van het fractiesommen model is het verkrijgen van inzicht in de stofstromen binnen het watersysteem. Waar komt welk water vandaan en waar gaat het heen. Dit instrument speelt een belangrijke rol in het analyseren van het watersysteem.

In de initiatieffase en het begin van de haalbaarheidstudie spelen de fractiesommen tevens een belangrijke rol bij het analyseren van veranderende stofstromen als gevolg van een andere inzet van kunstwerken. Hiermee wordt de potentie van sturing in kaart gebracht.

Het grote voordeel van een fractiesommen model is dat deze met relatief weinig inspanning verkregen kan worden uit het hydrodynamische model. De moeite bestaat voornamelijk uit het toevoegen van een label aan alle bronnen in het gemodelleerde water systeem. Door gebruik te maken van een bestaand hydrodynamisch model worden modelleeractiviteiten en calibratie-inspanningen tot een minimum beperkt.

8.3.4 *Beperkt waterkwaliteitsmodel*

Naarmate het proces vordert en meer gedetailleerde informatie nodig is over hetgeen met sturen aan kwaliteitsverbetering te bereiken is, verdient het aanbeveling om een waterkwaliteitsmodel te gaan gebruiken.

In systemen waarin chemische en biologische processen een ondergeschikte rol spelen wordt de waterkwaliteit in hoofdzaak bepaald door het stoftransport. Er kan dan gebruik worden gemaakt van een beperkt waterkwaliteitsmodel waarin het stoftransport wordt beschreven, maar de waterkwaliteitsprocessen vooralsnog buiten beschouwing worden gelaten. De belastingen op deelsystemen kunnen daarmee goed worden voorspeld.

8.3.5 *Volledig waterkwaliteitsmodel*

Wanneer in een watersysteem deelsystemen voorkomen waarin chemische en biologische processen erg dominant zijn, kan het raadzaam zijn om daarvan een volledig waterkwaliteitsmodel te gebruiken. Een voordeel hiervan is dat een voorspelling wordt verkregen van concentraties waarop veelal wordt getoetst zoals bij voorbeeld nutriëntconcentraties in meren. Het grootste nadeel van het gebruik van een dergelijk model is dat nogal eens de meetgegevens ontbreken die noodzakelijk zijn voor een goede calibratie van het model.

8.3.6 *Sturingsmodel*

Afhankelijk van het type regelsysteem dat wordt toegepast en van de gewenste mate van detail van de uitkomsten kan het nodig zijn een sturingmodel te gebruiken om de effecten van sturen te voorspellen. Een sturingsmodel is één van de hierboven beschreven modellen waarin het bovendien mogelijk is om de kunstwerken op grond van berekende waarden (gesimuleerde gemeten waarden) in het model te sturen (in te zetten).

Bijvoorbeeld een PID regelaar in het model die de inzet van het kunstwerken in het model bepaald op basis van in het model berekende concentraties. Dit voorbeeld illustreert wanneer een dergelijk sturingsmodel noodzakelijk is: voor sturingssystemen die een regelaar bevatten.

Voor het testen van andere sturingssystemen, zoals open-loop, is een sturingsmodel niet noodzakelijk. Voor een sturingsstrategie waarin op een bepaalde dag wordt doorgespoeld is geen on-line meting en geen gesimuleerde inzet in het model nodig. Volstaan kan worden met een model waarin de instelling van de kunstwerken op een vooraf ingesteld tijdstip verandert. Overigens dient hierbij te worden opgemerkt dat het om verschillende redenen ook dan vaak nodig is een sturingsmodel te gebruiken. Een reden is dat er een relatie is met kwantiteitssturing zodat het nodig is om de kwantiteitssturing te simuleren en aan te geven wanneer sturen op kwaliteit mogelijk is. Het gaat dan om een sturingsmodel waarin op kwantiteit kan worden gestuurd. Een andere reden voor het gebruik van sturingsmodellen bij sturingsstrategieën is het waarborgen dat alleen wordt ingelaten als water van voldoende kwaliteit is.

Het ontwikkelen van waterkwaliteitsmodellen maar zeker van waterkwantiteitmodellen waarin sturen mogelijk is staat wereldwijd gezien nog in de kinderschoenen.

Bij de sectie Land- en Waterbeheer van de Technische Universiteit Delft is voor onderzoeksdoeleinden het programma MODIS beschikbaar. In dit programma kunnen de hydrodynamica, waterkwaliteit en sturingsalgoritmen aan elkaar gekoppeld en doorgerekend worden.

WL | Delft Hydraulics heeft het commercieel verkrijgbare pakket Sobek ontwikkeld voor de simulatie van 1D stroming en waterkwaliteit in open en gesloten leidingen. In Sobek is het al langer mogelijk te sturen op waterkwantiteit. In het kader van het Delft Cluster onderzoek is een eerste testversie van

Sobek beschikbaar gekomen waarin waterkwaliteitsgegevens gebruikt kunnen worden voor de bepaling van de inzet van kunstwerken. Zowel met MODIS als Sobek is het momenteel mogelijk om Sturing op Waterkwaliteit te modelleren.

9 Sturing op waterkwaliteit in Rijnlands boezem

Deze case zal worden gepresenteerd volgens de methodiek van de hoofdstukken 3, 4, 5 en 6. Het is goed hierbij te beseffen dat in werkelijkheid één en ander een cyclisch proces is waarbij afwegingen op verschillende niveaus elkaar beïnvloeden zoals beschreven in hoofdstuk 8.

9.1 Strategisch niveau

9.1.1 *Formulieren van het sturingsdoel*

In het watersysteem van Rijnland wordt een aantal oppervlaktewaterfuncties onderkend. Deze hangen nauw samen met de ruimtelijke ordening in het gebied. In de functiekaart van Rijnland (Waterbeheersplan 2000-2004, algemeen strategisch deel, functie kaart) worden meerdere functies onderscheiden. De belangrijkste zijn de landbouwfuncties (akkerbouw, veeteelt, (glas)tuinbouw), natuur, recreatie en zwemwater.

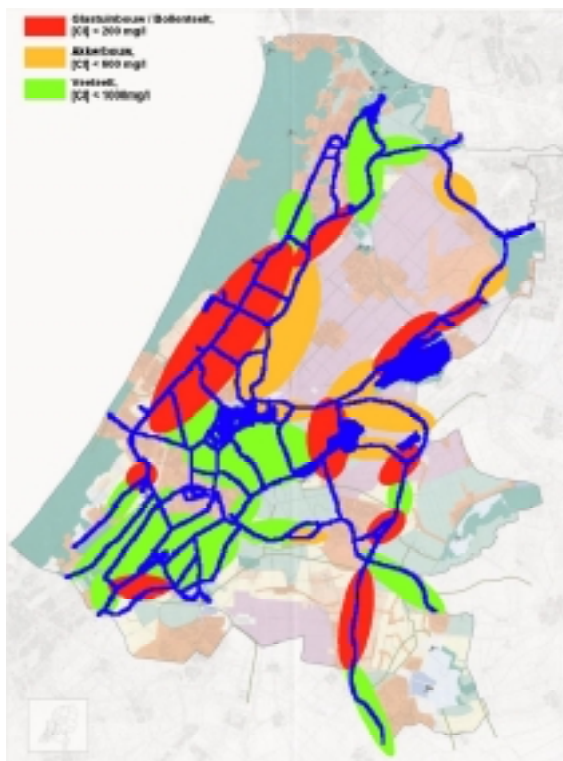
9.1.2 *Keuze van representatieve variabelen*

Twee waterkwaliteitsproblemen spelen een prominente rol in het watersysteem, namelijk verzilting en eutrofiëring. Deze waterkwaliteitsproblemen zijn gekoppeld aan de functies in het beheersgebied.

Knelpunten chloride

De knelpunten liggen hier voornamelijk in de gebieden met de functies glastuinbouw en vollegrondstuinbouw aangezien deze de strengste normen hebben ten aanzien van chlorideconcentraties. Deze zijn in Figuur 9-1 aangegeven in rood.

Verzilting zorgt voor problemen in de landbouw en dan met name bij de chloridegevoelige gewassen. In Figuur 9-1 zijn verschillende deelgebieden in het beheersgebied van het hoogheemraadschap van Rijnland aangegeven met de maximaal toelaatbare chlorideconcentraties.



Figuur 9-1 Chloridegevoelige gebieden

Knelpunten nutriënten

Eutrofiëring zorgt voor een waterkwaliteitsprobleem in de boezemmeren, waardoor er in de zomermaanden overlast is vanwege overmatige algengroei. Daardoor komen de functies natuur, recreatie en zwemwater in de knel.

Deze boezemmeren vormen de belangrijkste knelpunten ten aanzien van nutriënten. Toch zijn er een aantal meren te selecteren waar de prioriteit hoger ligt dan bij andere. In het rapport Optimalisatie Fosfaatlozingen (Rijnland 2001) zijn prioriteiten neergelegd bij diverse wateren in het boezemstelsel van Rijnland. In Figuur 9-2 zijn deze weergegeven.



Figuur 9-2 prioriteiten eutrofiëring

#	Gebied	Prioriteit
1	Zegerplas	1
2	Braassemermeer	1
3	Wijde Aa	1
4	Vlietlanden	1
5	Kagerplassen	1
6	Westeinderplassen	1
7	Valkenburgse meer	2
8	Trekvaart	2
9	Boezemgebied Aalsmeer	2
10	Mooie Nel	2
11	Verbindszone Wijde Aa	3
12	Ringvaart Zuidoost	3
13	Ringvaart Zuidwest	3
14	Ringvaart Noordoost	3
15	Ringvaart Noordwest	3
16	Nieuwe Meer	4

De prioriteiten zijn gerelateerd aan de kwetsbaarheid voor eutrofiëring en het optreden van algenbloei. Categorie 1 is het meest kwetsbaar en categorie 4 het minst. Aan de meren van categorie 1 zijn de functies zwem- en recreatiewater opgehangen. De meren zijn door hun lange verblijftijd gevoelig voor het ontstaan van blauwalgen.

9.1.3 Wijze van beoordeling

Bij de uitvoering van deze studie zijn een aantal verschillende wijzen van beoordeling gebruikt. Deels afhankelijk van de fase waarin het project verkeert deels ook afhankelijk van de stoffen die het betrof.

Zo is in de initiatiefase voornamelijk gekeken naar fractiesommen. Alle bronnen binnen Rijnland waren ingedeeld in schoon, vuil nutriënten, vuil chloriden, vuil nutriënten én chloriden.

Tijdens de haalbaarheidsstudie is de wijze van beoordeling aangescherpt. Hierin zijn de volgende wijzen van beoordeling gebruikt:

- Toetsen op chlorideconcentraties.

Op vier locaties wordt het verloop van de chlorideconcentraties in de gaten gehouden om te kijken of dit geen nadelige effecten heeft op de (glas)tuinbouw. Dit zijn de Aalsmeerringvaart, de Maandagsche Watering, het Noordelijk Trekvaartgebied en de Gouwe. Deze vier punten liggen op strategische plaatsen in de boezem en zijn een indicator voor de chlorideconcentraties in de rest van het boezemstelsel. Het voldoen aan de chlorideconcentraties op deze locaties heeft de hoogste prioriteit.

- Fosfaatvrucht op het Groene Hart (groot deelgebied).

Beoordeling van de *effecten van de sturing* op externe-fosfaatvruchten op het Groene Hart (het schone gebied). Deze wijze van beoordelen is voornamelijk gericht op het toetsen van de effectiviteit het sturen van de stofstromen.

- Fosfaatconcentraties in de meren.

Beoordeling van de *effecten op de waterkwaliteit in de boezemmeren*. Beoordeling op de relatieve verandering van de zomergemiddelde fosfaatconcentraties in vijf boezemmeren, namelijk de Westeinderplassen, de Zegerplas, de Braassemermeer, de Wijde Aa en de Kagerplassen. Deze fosfaatconcentraties geven aan wat er met alleen sturing te bereiken valt. Als de concentraties nog steeds te hoog zijn, dan zullen er maatregelen aanvullend op de sturing nodig zijn om de uiteindelijk gewenste waterkwaliteit te bereiken.

9.1.4 *Opstellen beoordelingscriterium*

Tijdens het haalbaarheidsonderzoek is voor de meren met de hoogste prioriteit de volgende prestatie-index opgesteld:

Prestatie-index = De som van (Zomergemiddelde fosfaatconcentraties – MTR waarden) van alle vijf de meren.

Het beste alternatief heeft de laagste waarde voor de prestatie-index en voldoet aan de randvoorwaarden betreffende de chlorideconcentraties die onder de 200 mg/l moeten blijven op de volgende locaties: Aalsmeerringvaart, de Maandagsche Watering, het Noordelijk Trekvaartgebied en de Gouwe.

Het voldoen aan de chlorideconcentraties heeft de hoogste prioriteit.

9.2 **Tactisch niveau**

9.2.1 *Inventarisatie bronnen*

Sturing op waterkwaliteit op boezemniveau richt zich voornamelijk op de waterstromen en de stoffen die zich in het water bevinden. Deze zijn met name gericht op de principes verwijdering, verplaatsing en verdunning. Om tot goede strategieën te komen dienen de diverse lozingen eerst geanalyseerd te worden en vanwege het grote aantal lozingen, in diverse categorieën geplaatst te worden. Door relatief schone en vuile lozingen te onderscheiden kan er inzicht worden verkregen over de locaties waar het vuil vandaan komt. De vraag hierbij is waar de grens ligt tussen schoon en vuil.

Concentraties

De eerste aanzet van deze analyse is gebaseerd op eerdere studie (Hoes, 2000), waarbij een indeling gemaakt is op basis van de concentratie van stoffen voor de verschillende lozingspunten. Deze aanpak is

goed hanteerbaar voor chloride. Alle lozingen boven de norm van 200 mg/l worden als vuil aangemerkt; de lozingen onder de 200 mg/l als schoon.

Voor fosfaat is het een heel ander verhaal. Bijna alle lozingspunten liggen (ver) boven de norm van 0,15 mgP/l. Om toch een indeling te kunnen maken is er gekeken naar de belasting van een lozing op de waterkwaliteit van het boezemstelsel. De belasting van een lozing wordt bepaald door enerzijds het volume van een lozing en anderzijds de concentratie van de lozing. Een hoge belasting heeft meer effect op de waterkwaliteit. Deze kan op twee manieren bereikt worden, namelijk via een lage concentratie en een groot volume of via een hoge concentraties en een klein volume. Kortom het zit hem in de belastingen van een lozing op het boezemstelsel. Daarvoor zijn de vuilvrachten van fosfaat van de lozingspunten bepaald.

Vuilvrachten

Bij vuilvrachten worden de concentraties van een lozing vermenigvuldigd met het volume van de lozing over de gehele periode. De vuilvrachten zijn berekend met behulp van de zomergemiddelde fosfaatconcentratie in het jaar 1999. In de zomermaanden zijn over het algemeen de concentraties van de verschillende stoffen het hoogste als gevolg van de hoge verdamping en waterbehoefte. De waterkwaliteitsgegevens zijn afkomstig uit de meetset van Rijnland. De volumes van de diverse lozingen komen uit Sobek. Op basis van de relatieve vuilvracht zijn de lozingen in categorieën geplaatst.

Indeling in categorieën en in gebieden

In totaal zal er onderscheid gemaakt worden in vier categorieën; vuil chloride, vuil fosfaat, vuil chloride en fosfaat en algemeen (schoon) water. De grens voor de indeling ligt bij chloride op een concentratie van 200 mg/l. Voor fosfaat is een grens gekozen bij de zwaarste lozingen die samen 70% van de fosfaatlozingen vormen. Deze grens is in eerste instantie bedoeld als indicatie van de ligging van de lozingen.

Het resultaat hiervan is een indeling zoals is weergegeven in figuur 9-3

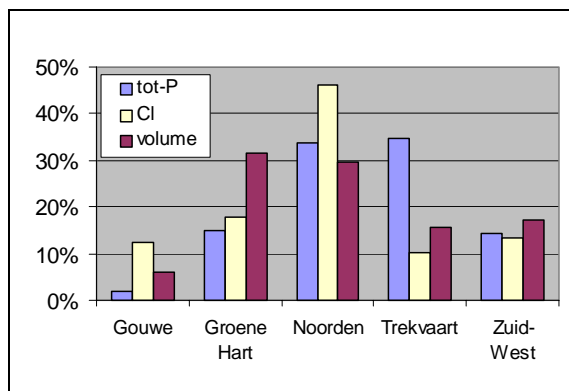


Figuur 9-3 Indeling van de lozingspunten. Tevens een indeling in gebieden met vuilclusters.

Op basis van figuur 9-3 zijn er een aantal gebieden te onderscheiden waar een bepaalde lozingscategorieën sterk aanwezig zijn:

- De Gouwe. Hierop lozen een aantal polders met een hoge chlorideconcentratie. Bij het inlaten van water wordt het chloride dieper het boezemstelsel van Rijnland in geduwd. De hoge concentraties zijn te verklaren door diepe kwelpolders, zoals polder Palenstein, die hun water lozen op de Gouwe.
- Het Trekvaartgebied. Door de bemesting bij de bloembollenteelt net achter de duinen komt hier zeer fosfaatrijk water op de boezem. Tevens spelen hier de afvalwaterzuiveringsinstallaties een grote rol in de belasting van het watersysteem met fosfaat.
- Het Noorden. Door met name de poldergemalen van de Haarlemmermeerpolder wordt hier veel brak water op het boezemstelsel geloosd. Daarnaast is pompstation Lijnden ook nog eens de zwaarste fosfaatbron in Rijnland. Samen met de AWZI Zwanenburg lozen deze twee bronnen 20% van de totale massa fosfaat.
- Het Zuid-Westen. Hier lozen een aantal zoute kwelpolders, de Heinekenbrouwerij en de afvalwaterzuiveringsinstallaties in de buurt van Leiden op de boezem. Naast deze vuile lozingsbronnen zijn er ook nog een groot aantal relatief schone bronnen, zodat het water uit dit gebied niet al te slecht is.
- Het Groene Hart. Hier bevinden zich over het algemeen relatief schone bronnen, met enkele wat vuilere bronnen.

Als wordt gekeken naar alle bronnen binnen een gebied en deze worden uitgezet als percentage van het totale geloosde volume water en massa fosfaat versterkt dit voorgaande conclusies voor fosfaat. Figuur 9-4 geeft deze lozingspercentages weer. Er is duidelijk te zien dat het Groene Hart relatief schone lozingsbronnen heeft aangezien er ongeveer 32% van de totale hoeveelheid water geloosd wordt en slechts 15% van de totale massa fosfaat. Het Trekvaartgebied komt hier slecht uit met ongeveer 15% van het volume water en 35% van de massa fosfaat.



Figuur 9-4 Lozingspercentages per gebied voor volume water en vrachten fosfaat en chloride.

De bronnen die gezamenlijk 70% van de fosfaatlozingsbronnen verzorgen geven dus een goed beeld over waar de belangrijkste fosfaatvrachten vandaan komen.

Naast de fosfaatvrachten zijn ook de chloridevrachten meegenomen. Hieruit valt duidelijk af te leiden dat de meeste chloriderijke lozingsbronnen in het Noorden liggen. Ook gebied de Gouwe komt er niet goed vanaf.

Het is niet helemaal netjes om hier met een chloridevracht te rekenen omdat lozingen met een concentratie hoger dan 200 mg/l pas een probleem zijn. Toch geeft het plaatje een goede indicatie waar zich de belangrijke chloridelozingen bevinden.

9.2.2 *Boezembeheer*

De boezembeheerder heeft vier boezemgemalen waarmee hij het boezemstelsel kan beïnvloeden. De boezemgemalen liggen redelijk verspreid in het stelsel; twee in het noorden Spaarndam en Halfweg, één in het westen (Katwijk) en één in het zuiden (Gouda). Daarmee kunnen de stromingsrichtingen beïnvloed worden en daarmee de grote stofstromen. Inzetvolgorde is afhankelijk van de overheersende windrichting en routinebemaling. In weekenden en in de avonden zal Halfweg prioriteit krijgen, aangezien dit gemaal geautomatiseerd is en op afstand bediend kan worden. Inzet capaciteit wordt afgestemd op weersvoorspelling en peilstijging.

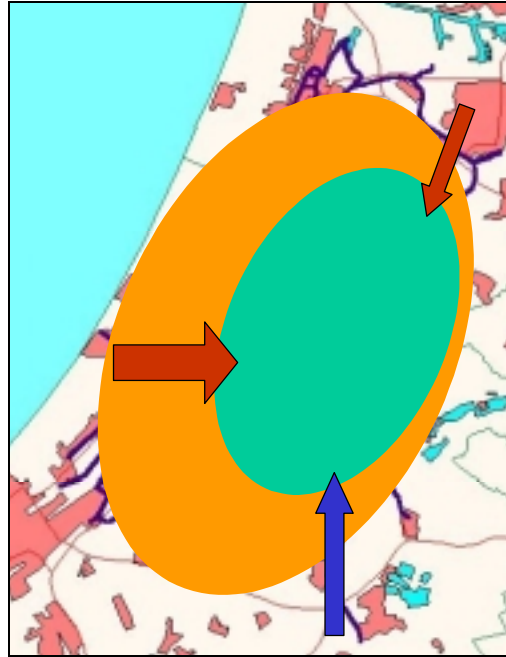
Het inlaten van water in de zomermaanden gebeurt vooral vanwege verziltingsbestrijding. Daarvoor is een doorspoelschema opgesteld. Daarnaast worden op een aantal lokaties de chlorideconcentraties gemeten, waarop eventueel gereageerd kan worden door meer water in te laten

9.2.3 *Effecten huidig beheer*

De effecten van het huidige boezembeheer zijn geanalyseerd met het waterkwaliteits- en waterkwantiteitsmodel van het boezemstelsel van Rijnland. Het boezembeheer is hier in gemodelleerd en geanalyseerd op basis van water- en stofstromen.

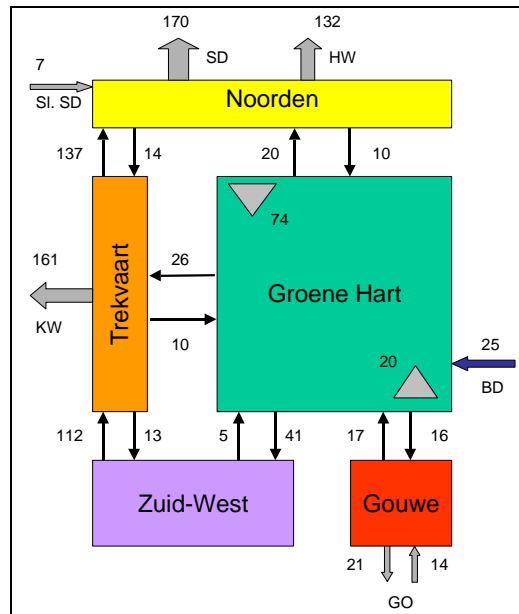
Waterstromen

De hoofdstromen in het boezemstelsel worden voornamelijk in de winter bepaald door de boezemgemalen. Dan is er sprake van een wateroverschot in de polders, waardoor er in het hele gebied veel water op de boezem geloosd wordt. In de zomer echter is er een andere hoofdstroom aanwezig in het gebied. Er is dan een watervraag in het Groene Hart, dit wordt veroorzaakt door de polders en de waterverdamping in de boezemmeren. Dit water wordt aangevoerd via de randen door relatief schoon inlaatwater en doorwater afkomstig van AWZI's uit het Trekvaartgebied, het Zuidwesten en het Noorden. Uit een waterbalans blijkt dat de AWZI's voor een waterschijf van 6,5 mm/dag zorgen. Figuur 9-5 geeft de hoofdstromen in de zomerperiode weer, waarbij de rode pijlen de relatief vuile stromen aangeven en de blauwe het inlaatwater aangeeft.



Figuur 9-5 Hoofdstromen zomerperiode

Figuur 9-6 geeft een schematische weergave van de totale fosfaatvrachten over de periode januari tot en met oktober 1999. De eenheden bij de pijlen zijn in tonnen fosfaat. De grijze driehoeken in het Groene Hart stellen de interne belastingen voor (74 ton voor de lozingen en 20 ton voor de onttrekkingen).

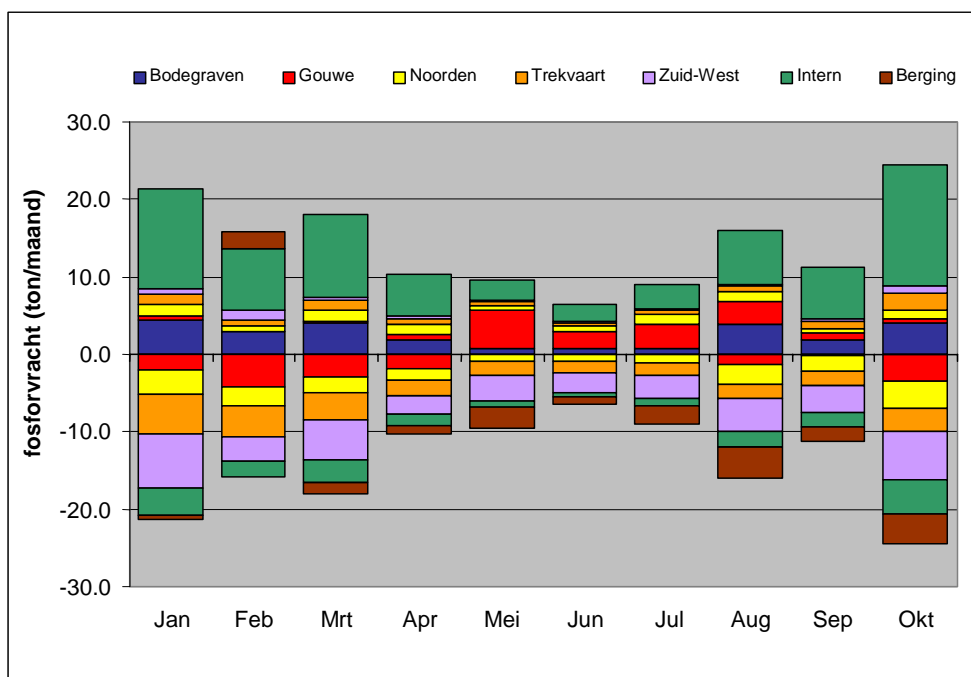


Figuur 9-6 Fosfaatvrachten in ton over de periode jan/okt 1999 in de referentiesituatie

In figuur 9-6 vallen een aantal dingen op:

- De interne fosfaatvracht op het Groene Hart bedraagt ongeveer 74 ton.
- De totale externe fosfaatvracht is 66,1 ton.
- Het water uit Bodegraven zorgt met 24,7 ton voor een forse fosfaatvracht op het Groene Hart en is daarmee de grootste externe belasting. Deze belasting kan niet door sturing worden teruggedrongen, aangezien het hier gaat om de afvoer van Hoogheemraadschap de Stichtse Rijnlanden.
- Het inlaatwater bij Gouda zorgt voor de op een na grootste externe bron.

Als het maandelijkse verloop van de externe belastingen op het Groene Hart bekeken wordt valt de seizoensvariatie tussen zomer en winter duidelijk op (zie Figuur 9-7). De kleuren van de staafdiagrammen corresponderen met de gebruikte kleuren voor de gebieden in het beoordelingsmodel. De positieve waarden stellen de instroom van fosfaat voor, de negatieve waarden de uitstroom vanuit het Groene Hart. De bergingsterm is het verschil tussen uit- en instroom en bevat naast de berging van fosfaat ook de afbraakprocessen in het Groene Hart.



Figuur 9-7 Fosfaatvracht op maandbasis op het Groene Hart in de referentiesituatie in ton fosfaat over de periode januari tot en met oktober 1999. Positief is instroming van fosfaat naar het Groene Hart, negatief de uitstroming.

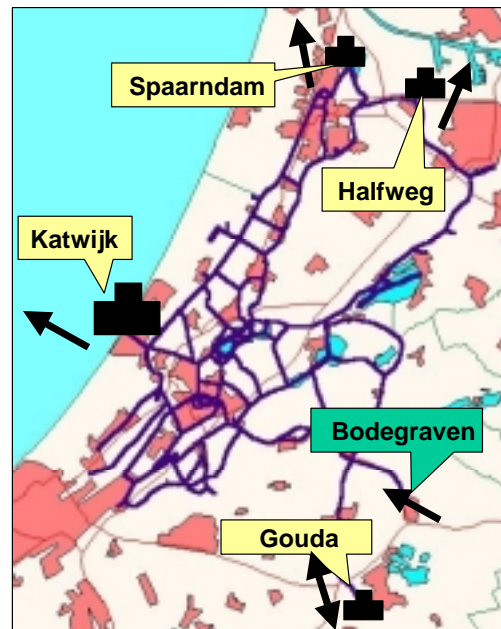
Uit het figuur 9-7 valt op te maken uit welke gebieden het fosfaat vandaan komt en naar welke gebieden het fosfaat naar toe stroomt:

- De grootse vracht is afkomstig vanuit het Groene Hart zelf, en dan met name in de wintermaanden. Dit komt door het neerslag overschot in de winter, waardoor de polders relatief veel water uitslaan. Dit water bevat veel meststoffen.

- In de zomer is de grootste fosfaatvrucht afkomstig uit de Gouwe (rood) en dus afkomstig van het inlaatwater bij Gouda. Reductie hiervan zal een positief effect hebben op de fosfaatvrucht op het Groene Hart.
- In de wintermaanden is het fosfaat voornamelijk afkomstig uit Bodegraven. De overige gebieden geven een redelijk gelijkmatige fosfaatvrucht op het Groene Hart.

9.2.4 *Systeemkarakteristieken*

Figuur 9-8 geeft de structuur van het boezemstelsel en de sturingsmiddelen van Rijnland weer. Het is duidelijk dat hier sprake is van een vermaasd stelsel.



Figuur 9-8 Structuur en kunstwerken

De vier boezemgemalen zijn in geel aangegeven. Alle vier de gemalen kunnen water uitmalen. Er is slechts één inlaat mogelijkheid en die ligt bij Gouda, waar water uit de Hollandsche IJssel kan worden ingelaten.

Mogelijkheden sturing op waterkwaliteit

Het inlaten van water gebeurt in de zomer voor peilbeheer en verziltingbestrijding. De regels hiervan zijn voornamelijk gebaseerd op ervaring. In het huidige beheer wordt geen rekening gehouden met nutriënten.

Tevens wordt er bij de inzetvolgorde van de boezemgemalen geen rekening gehouden met de geïntroduceerde stromingsrichtingen. Hierdoor zouden bepaalde vuile bronnen naar kwetsbare gebieden kunnen stromen.

9.2.5 *Gewenst systeemgedrag*

Het boezemsysteem van Rijnland valt onder de traag reagerende systemen op grond hiervan zal op operationeel niveau gekozen worden voor een sturingsstrategie. Op basis van de hoofdstromingen die

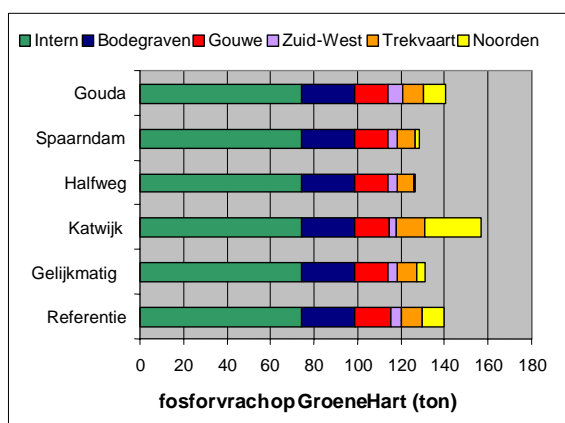
optreden in het boezemstelsel zijn een aantal strategieën opgesteld. Met behulp van de inzet bepaalde boezemgemalen en de inlaat bij Gouda kunnen water- en stofstromen beïnvloed worden. Op basis van de principes verwijdering, verplaatsen en verdunnen kan water wat afkomstig is uit slechte deelgebieden geweerd worden.

De strategieën zijn opgesplitst in strategieën waarmee de inzetvolgorde van de gemalen veranderd is en strategieën waarbij de manier van water inlaten is veranderd.

Inzetvolgorde gemalen

In totaal zijn er vijf strategieën doorgerekend; een strategie met een gelijkmatige inzet van de boezemgemalen en vier strategieën waarbij ieder gemaal een keer de hoogste prioriteit krijgt.

Uit de resultaten (Figuur 9-9) blijkt dat het leggen van de prioriteiten bij de gemalen Spaarndam en Halfweg een gunstige uitwerking heeft op de fosfaatvrachten op het Groene Hart. Belangrijker lijkt nog wel dat de inzet van gemaal Katwijk voor een zeer duidelijke verslechtering zorgt.

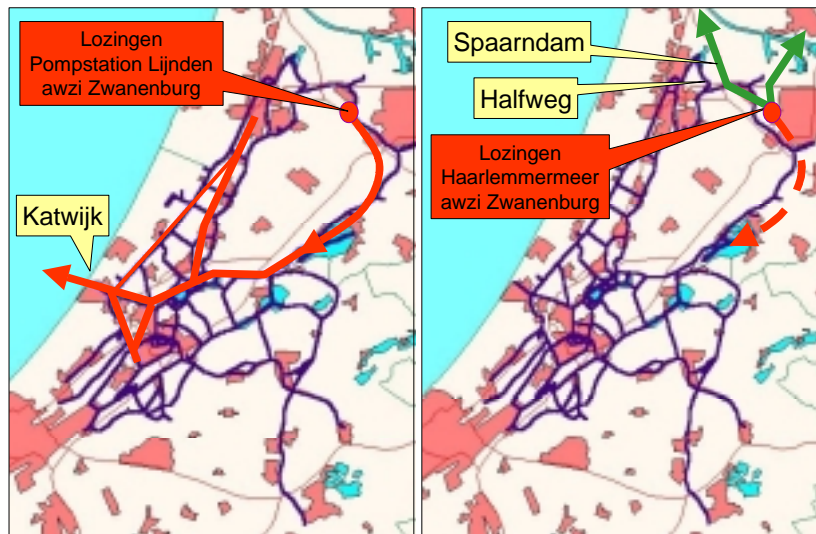


Figuur 9-9 Inzetvolgorde gemalen

Als gemaal Halfweg of gemaal Spaarndam de hoogste prioriteit krijgen, dan zal de externe fosfaatvracht uit het Noorden verder gereduceerd worden. Dit is voornamelijk te verklaren door het feit dat de lozingen van de Haarlemmermeerpolder en de AWZI Zwanenburg niet meer de kans krijgen om naar het Groene Hart te stromen (zie Figuur 9-10). De gemalen Spaarndam en Halfweg hebben hier een grote directe invloed op.

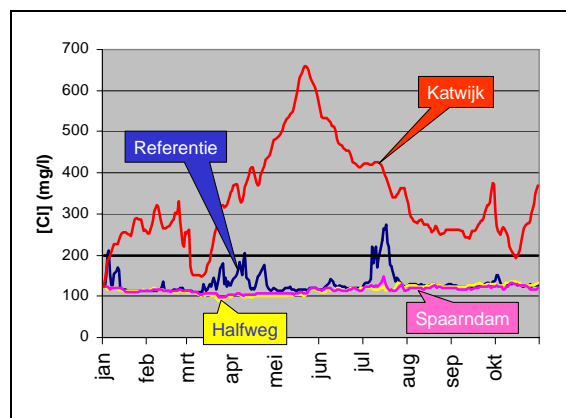
Op de fosfaatconcentratie in de boezemmeren hebben deze strategieën ook een positief effect, waarbij de prioriteit bij Spaarndam de meest gunstige resultaten geeft. In de Kagerplassen en in de Westeinderplassen dalen de fosfaatconcentraties met ongeveer 10-15%.

Prioriteit bij gemaal Katwijk zorgt voor de grotere vracht op het Groene Hart. Dit is te verklaren door de invloed van de Haarlemmerringvaart. Dit fungeert als een soort snelweg, waarover het meeste water afgevoerd wordt. Daardoor wordt er extra water aangetrokken vanuit het Noorden via de oostelijke route om de Haarlemmermeerpolder, zowel in de zomer- als wintermaanden. Dit neemt het relatief vuile water van de Haarlemmermeerpolder en AWZI Zwanenburg mee door het Groene Hart, langs de boezemmeren, naar de gemaal Katwijk. De fosfaatconcentraties in de Kagerplassen en in de Westeinderplassen stijgen nu met ruim 50%.



Figuur 9-10 Prioriteiten bij Katwijk en prioriteiten bij Halfweg (links) of Spaarndam (rechts)

Ook zijn de effecten van de andere gemaalinzet duidelijk terug te zien op de chlorideconcentraties. Met name in de Haarlemmermeerringvaart ter hoogte van Aalsmeer is het effect goed zichtbaar (Figuur 9-11). Ook hier is de invloed duidelijk zichtbaar van de lozing van de Haarlemmermeerpolder.



Figuur 9-11 Chlorideconcentraties bij Aalsmeer

Inlaatbeheer

Uit de resultaten van het inlaatbeheer blijkt dat het continu inlaten van water in de zomermaanden een positief effect heeft op de chlorideconcentraties. Met name de pieken in de chlorideconcentraties in de Gouwe worden afgevlakt door de directe verdunning van de polderlozingen. Op de fosfaatconcentraties in de boezemmeren heeft het continu doorspoelen geen significante effecten.

9.3 Operationeel niveau

9.3.1 *Type sturing*

De voorstellen voor een alternatief boezembeheer zijn voornamelijk gebaseerd op een open-loop sturing. Dit heeft te maken met het de uitgestrektheid en vermaasdheid van dit grote boezemsysteem. De gemalen zijn aan de uiteinden van de boezem gesitueerd en hebben ieder maar op een klein stukje van de boezem een directe invloed. De mogelijkheden voor feedbacksturing zijn hierdoor beperkt.

Mede door de grote hoeveelheid lozingen die plaats vinden op de boezem is het bijna ondoenlijk om deze allemaal én te monitoren én/of te voorspellen, waardoor ook de mogelijkheden van feedforward beperkt zullen zijn.

Bij het bepalen van het gewenste systeemgedrag is echter wel gebleken dat het zinvol is om dominante stromingspatronen in het systeem aan te brengen en in stand te houden. Dit kan uitstekend bereikt worden middels een open-loop waterkwaliteitssturing waarbij de waterkwaliteit aanvullende wensen stelt aan de manier waarop het peilbeheer wordt uitgevoerd. Door een verandering aan de inzetvolgorde en de wijze van inlaten kan een lagere belasting op met name de Westeinderplassen en de Kagerplassen bereikt worden en worden pieken in chlorideconcentraties afgevlakt.

Inzetvolgorde boezengemalen

Aanbevolen wordt om gemaal Spaarndam meer te gebruiken, door deze zowel in de zomer als in de winter een hogere prioriteit te geven dan de overige gemalen. Daardoor worden de lozingen uit de Haarlemmermeerpolder en de AWZI Zwanenburg naar het noorden getrokken en trekken ze minder naar het zuiden, waar de relatief kwetsbare boezemmeren en landbouwgebieden liggen.

De overige gemalen moeten bij een grotere vraag naar maalcapaciteit gelijkmatig ingezet worden. De lozingen die voornamelijk aan de randen van het boezemstelsel liggen worden op deze manier via de kortste route afgevoerd.

Daarnaast wordt het raadzaam geacht om op lokaal niveau 2 feedback regelingen te gebruiken ter ondersteuning van het beheer op regionaal niveau.

Eventueel zou het mogelijk zijn om met eenvoudige instrumenten de stroomrichting in boezemkanalen te bepalen, waardoor voorkomen wordt dat bepaalde lozingen richting het kwetsbare “Groene Hart” stromen. Tevens kan de inzet van gemaal Spaarndam afgestemd worden op lozingen van de Haarlemmermeer. Vervolgonderzoek zou hier meer inzicht in kunnen geven en tot een verfijning van de beheersregels kunnen leiden.

Inlaatbeheer

Het water kan het beste continu ingelaten worden in plaats van in stoten zoals in het huidige beheer. Het grote voordeel hiervan is dat de chlorideconcentraties in de Gouwe meteen afgevlakt worden. In de rest van het boezemstelsel is dit effect, zij het in geringere mate, ook merkbaar. Als in april een stijging van de chlorideconcentraties gemeten wordt in de Gouwe, moet er begonnen worden met het inlaten van water. Gedacht kan worden aan een indicatief inlaatdebiet van 3,5 m³/s (op jaarbasis ongeveer 47 Mm³). Door de chlorideconcentraties te monitoren in de Gouwe kan eventueel het inlaatdebiet tijdelijk worden verhoogd.

Lokale sturing

Naast de hierboven voorgesteld open-loop sturing voor het totale boezemsysteem kan echter overwogen om op lokaal niveau een of twee feedback regelingen toe te passen. Een van de praktische problemen bij de uitvoering van de sturingsstrategie is het probleem met hoeveel water het systeem moet worden doorgespoeld. Dit varieert van jaar tot jaar en is voornamelijk afhankelijk van de hydrologische omstandigheden. Door de chlorideconcentratie in de Gouwe te monitoren en deze met een feedback regeling te koppelen aan de inlaat van water bij de Gouwe kan bereikt worden dat de juiste hoeveelheid water wordt ingelaten om de chloridegehalten op peil te houden.

Een tweede lokale regeling zou men kunnen toepassen op de gemalen te Halfweg en/of Spaarndam. Door het meten van de stromingsrichting in de oostelijke ringvaart kan bepaald worden of de inzet van deze gemalen vereist is. Door het in stand houden van een Zuid – Noord stroming wordt voorkomen dan nutriëntrijk water uit het noorden over de gehele boezem wordt verspreid.

9.3.2 Afstemmen kwaliteit en kwantiteit

Het op elkaar afstemmen van de waterkwaliteitssturing en het peilbeheer is redelijk eenvoudig uit te voeren. De open-loop sturing kan bereikt worden door de huidige prioriteiten volgorde van de gemalen iets aan te passen zodat er rekening wordt gehouden met de wensen ten aanzien van de waterkwaliteit.

Wanneer uitgegaan wordt van een lokale sturing in de Gouwe om de hoeveelheid doorspoelwater te bepalen, dan is een directe afstemming nodig met de hoeveelheid water die nodig is voor peilbeheer. Voorgesteld wordt om twee regelingen naast elkaar te laten draaien, een die de hoeveelheid inlaatwater bepaald die nodig is voor peilbeheer en een die de hoeveelheid doorspoelwater bepaald. Maatgevend is dan die regeling de grootste hoeveelheid inlaatwater vraagt.

Een soortgelijke constructie is mogelijk bij toepassing van de lokale waterkwaliteitssturing van de noordelijke gemalen. De regeling voor peilbeheer en waterkwaliteitsbeheer draaien naast elkaar en degene die het hoogste maaldebiet vraagt wordt uitgevoerd.

Verder is het raadzaam om in ieder geval twee scenario's te definiëren waarbij in het ene geval rekening wordt gehouden met waterkwaliteitswensen (dit zal meestal het geval zijn). In het andere scenario heeft peilbeheer alle prioriteit. Door het definiëren van deze scenario's wordt bijvoorbeeld voorkomen dat water wordt ingelaten tijdens een periode met een groot waterbezwaar.

9.3.3 Implementatie

In Rijnland wordt de gemaalinzet bepaald met behulp van het Automatisch Boezembeheer Rijnland (ABR), een Beslissings Ondersteunend Systeem voor Rijnlands boezem. Daarin zijn beslisregels opgenomen over de te volgen gemaalinzet. De voorgestelde beheersregels kunnen hier waarschijnlijk in opgenomen worden.

10 Sturing op waterkwaliteit in de Rotteboezem

Deze case zal worden gepresenteerd volgens de methodiek van de hoofdstukken 3, 4, 5 en 6. Het is goed hierbij te beseffen dat in werkelijkheid één en ander een cyclisch proces is waarbij afwegingen op verschillende niveaus elkaar beïnvloeden zoals beschreven in hoofdstuk 8.

10.1 Strategisch niveau

10.1.1 *Formulieren van het sturingdoel*

In het waterbeheersplan 1999-2003 benadrukt Schieland de afstemming tussen de waterhuishouding en de ruimtelijke ordening die aan de huidige en toekomstige functieverdeling ten grondslag ligt (Schieland, *Waterbeheersplan 1999-2003 Hoogheemraadschap van Schieland*, juli 1999). Tabel 10-1 geeft een overzicht van de aan het oppervlaktewater toegekende functies en de aard van de normen die hieraan verbonden zijn.

Functie/normen	Alle/sommige wateren?	Kwantitatieve normen	Kwalitatieve normen
Berging en transport	Alle	✓ oppervlakte, diepte, ruwheid	
Ecologisch	Alle		✓ nutriënten, O ₂ , chlorofyl
Viswater	alle (van enige omvang)		✓ pH, NH ₄ , NH ₃ , PO ₄ , O ₂
Agrarisch	Sommige	✓ m.u.v. veeteelt	✓ chloride
Recreatie	Sommige	✓ waterdiepte	✓ doorzicht, bacteriën, geur
Natuur	Sommige	✓	✓
Stedelijk	Sommige	✓	

Tabel 10-1 Oppervlaktewaterfuncties met bijbehorende normen

Aan de natuur en recreatie en de landbouwfuncties zijn waterkwaliteitsnormen opgesteld. Deze zouden met het operationele beheer ondersteund kunnen worden.

10.1.2 *Keuze van representatieve variabelen*

Uit het waterbeheersplan en enkele andere rapporten is gebleken dat binnen Schieland de verzilting en eutrofiëring belangrijke aandachtspunten zijn. Op basis hiervan is gekozen voor chloriden (verzilting) en nutriënten (eutrofiëring) als relevante variabelen voor de waterkwaliteit.

Chloride

Naast zoute kwel in de polders, is het inlaatwater tijdens droge zomerperioden de belangrijkste chloridebron voor de Rotteboezem. In normale omstandigheden liggen de chlorideconcentraties op de meeste plaatsen onder de norm. Alleen in extreme droogte, bij langdurige verzilting van de Nieuwe Maas en de Hollandsche IJssel kunnen knelpunten in de zoetwatervoorziening ontstaan.

De meeste glastuinbouw vind plaats in polder Bleiswijk. Deze polder heeft twee inlaatpunten, een ten noorden van de Rotteboezem en een ten zuiden van het lozingspunt van polder Bleiswijk.

Nutriënten

Het fosfaat- en stikstofgehalte op de Rotteboezem ligt op de meeste plaatsen ruim *boven* de ecologische functie-norm. Dit leidt in de zomermaanden tot een overmatige algengroei in de Rottemeren. Deze hebben een belangrijke ecologische en recreatieve functie binnen de Rotteboezem.

10.1.3 *Wijze van beoordeling*

De strategieën worden beoordeeld op twee punten:

- Nutriëntenbelasting op de Rottemeren, zowel voor fosfaat als voor stikstof. Het meetpunt hiervoor ligt ten noorden van het lozingspunt van polder Bleiswijk.
- Chlorideconcentraties bij de beide inlaatpunten voor polder Bleiswijk, vanwege de glastuinbouw in deze polder. Een van deze inlaatpunten ligt ten noorden van de Rottemeren, de andere ten zuiden van het lozingspunt van polder Bleiswijk.

De keuze voor deze beoordelingsmethode hangt sterk samen met het beschikbare modelinstrumentarium. Het beschikbare model van de Rotteboezem beschikte niet over een juiste modellering van de eutrofiëringsprocessen.

Zowel de chloriden alsmede de nutriënten zijn gemodelleerd als conservatieve stoffen. Dit klopt voor chloriden en is voor nutriënten een acceptabele benadering voor de stromende delen van het water systeem. De nutriëntenconcentraties in de Rottemeren zijn echter onderhevig aan chemische en biologische processen en zijn dus niet betrouwbaar. Daarom is er voor gekozen om de effectiviteit van de verschillende alternatieven af te wegen aan de hand van de nutriëntenbelasting op deze Rottemeren.

De mate van verzilting kan wel aan de chlorideconcentraties worden afgemeten.

10.1.4 *Opstellen beoordelingscriterium*

De performance index is als volgt geformuleerd:

Minimaliseer de nutriëntenbelasting op de Rottemeren zonder dat de chlorideconcentraties bij de inlaatpunten de 200 mg/l overschrijden.

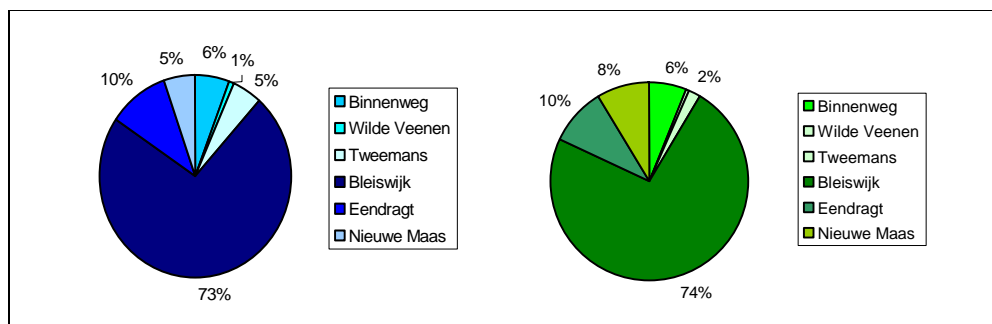
NB: Het handhaven van de chlorideconcentraties is een 'harde' eis waar niet van afgeweken mag worden. Dit betekent dat momenteel de prioriteit ligt bij de agrarische belangen. Om eventueel de prioriteit te verschuiven naar de ecologisch belangen is een nieuwe beleidsbeslissing nodig.

10.2 Tactisch niveau

10.2.1 Inventarisatie systeem

bronnen

Op de Rotteboezem lozen een aantal polders. Van deze polder zijn in *Figuur 10-1* de nutriëntenvrachten tijdens de zomer van 1996 uitgezet. Uit deze “taarten” blijkt dat polder Bleiswijk voor ongeveer driekwart van de totale vracht op de Rotteboezem zorgt. Deze ene polder heeft duidelijk heel veel invloed op de waterkwaliteit. De chlorideconcentraties van de lozingspunten liggen niet of nauwelijks boven de chloridenorm.



Figuur 10-1 Fosfaatvrachten (links) en stikstofvrachten (rechts) op de Rotteboezem in de zomer van 1996.

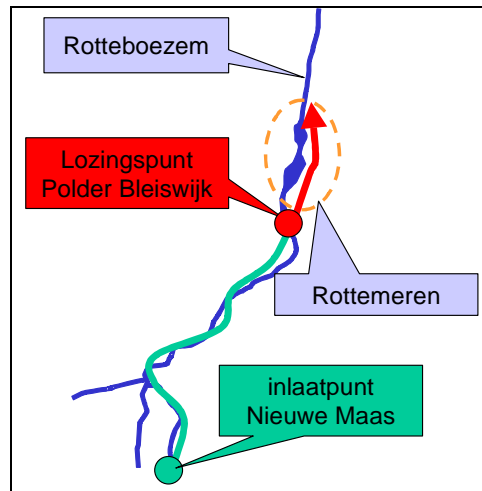
De kwaliteit van het inlaatwater is beter dan dat van de boezem op vele plaatsen en is daarom bruikbaar voor peilbeheer en voor doorspoelen.

Boezembeheer

In de zomer onder normale omstandigheden, met lage chlorideconcentraties op de Nieuwe Maas, wordt alleen de Schilthuisluis voor het inlaten van water gebruikt. Als door verzilting van de Nieuwe Maas ter hoogte van de Schilthuisluis de chlorideconcentratie boven de 300 mg/l ligt, dan wordt er gebruik gemaakt van de inlaat van de Hennipsloot. Daar kan water vanuit de Hollandsche IJssel ingelaten worden via de ringvaartboezem. Bij vergaande verzilting, waarbij het water van de Hollandsche IJssel ook te hoge chlorideconcentraties bevat, kan er water vanuit Delfland aangevoerd worden via de Bergsluis. De capaciteit is echter niet voldoende voor de totale watervraag in de zomer.

10.2.2 Effecten huidig beheer

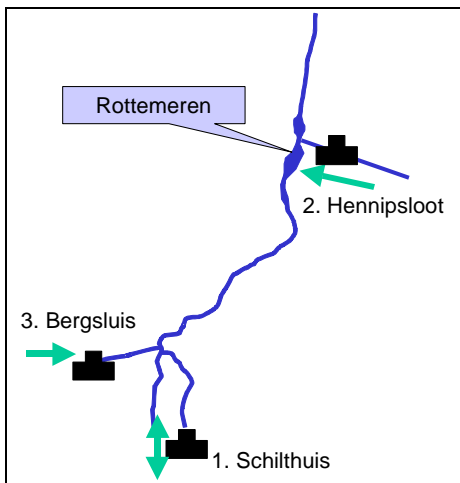
De zomerperiode is voor de Rottemeren en de glastuinbouw de meest kritische periode. Door de waterinname vanuit de Nieuwe Maas wordt nutriëntrijk water uit polder Bleiswijk naar de Rottemeren gevoerd waar de gevoeligheid voor eutrofiëring het grootst is (*Figuur 10-2*). Door het inlaten van water wordt echter het vuile water van polder Bleiswijk de Rottemeren in gedrukt.



Figuur 10-2 Waterstromen in de Rotteboezem.

10.2.3 Systeemkarakteristieken

De Rotteboezem is een lijnvormig systeem, met in het noorden de Rottemeren (Figuur 10-3). De boezembeheerder heeft voor het uitmalen van water alleen gemaal Schilthuis tot zijn beschikking.



Figuur 10-3 Rotteboezem met de beheerskunstwerken.

Daarnaast heeft de boezembeheerder drie mogelijkheden om water in te laten, namelijk:

1. de Schilthuisluis (Nieuwe Maas);
2. de Hennipsloot (Hollandsche IJssel); en
3. de Bergsluis (KWA Delfland).

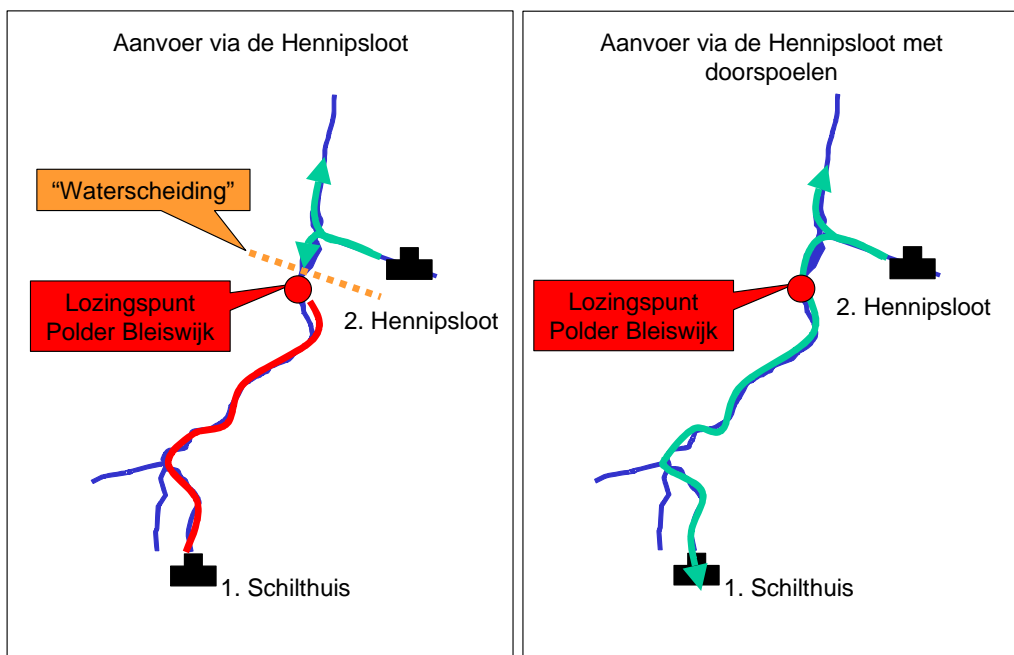
10.2.4 Sturingsmechanismen

Er liggen kansen voor sturing op waterkwaliteit door een ander inlaatpunt te gebruiken. In het huidige beheer wordt er in principe alleen gebruik gemaakt van het zuidelijke inlaatpunt (de Schilthuisluis), terwijl er ook nog een inlaatpunt in het noorden (Hennipsloot) ligt. Er liggen hier mogelijkheden voor het omkeren van de stroomrichting door standaard vanuit het noorden in te laten en in het zuiden uit te malen. In dat geval zou gebruik worden gemaakt van het principe van verwijderen. In plaats dat verontreinigingen verder het systeem worden ingedrukt en vastgehouden zouden ze uit het watersysteem of een deel daar van verwijderd kunnen worden.

10.2.5 Bepalen gewenst systeemgedrag

De kansen voor een ander beheer liggen voornamelijk in het omkeren van de stroomrichting, waardoor het vervuilde water van polder Bleiswijk niet de Rottemeren instroomt. Aan de hand daarvan kunnen een aantal sturingsstrategieën opgesteld worden. De belangrijkste twee strategieën zijn hieronder weergegeven:

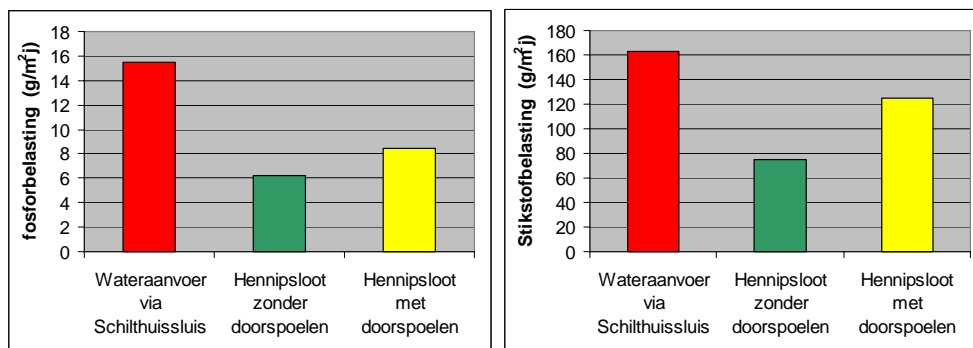
1. Aanvoer van water ten behoeve van peilbeheer via de Hennipsloot. Deze strategie is er op gericht om een scheiding te creëren tussen de schone en de vuile waterstroom (zie ook figuur 10-4 links). De capaciteit van het gemaal in de Hennipsloot moet daarvoor echter wel vergroot worden.
2. Aanvoer van water via de Hennipsloot met doorspoelwater. Deze strategie is gericht op het creëren van een Noord-Zuid stroomrichting, zodat het vuile water afgevoerd wordt via de Schilthuisluis (zie ook figuur 10-4 rechts). Ook bij deze strategie moet de capaciteit van het gemaal in de Hennipsloot vergroot worden.



Figuur 10-4 Sturingsstrategieën

Figuur 10-5 geeft de belastingen op de Rottemeren weer voor de alternatieve sturingsstrategieën. Water inlaten via de Hennipsloot leidt tot een duidelijke vermindering van de nutriëntenbelasting op de

Rottemeren. De belastingen nemen met ongeveer 50% af ten opzichte van de referentie (wateraanvoer via de Schilthuisluis). Het doorspoelen heeft een negatieve invloed op de nutriëntenbelasting. Door het extra inlaten van water voor het doorspoelen worden meer nutriënten ingelaten, zodat uiteindelijk de belasting iets toeneemt ten opzichte van de strategie zonder doorspoelen.



Figuur 10-5 Fosfaatbelastingen (links) en stikstofbelastingen (rechts) op de Rottemeren

Op de chlorideconcentraties hebben de alternatieve strategieën bijna geen invloed. Ter hoogte van het zuidelijke inlaatpunt van polder Bleiswijk nemen als gevolg van doorspoelen de chlorideconcentraties iets af.

10.3 Operationeel niveau

10.3.1 Type Sturing

Bij het bepalen van het gewenste systeemgedrag is gebleken dat het omkeren van de stromingsrichting bijdraagt tot het verbeteren van de waterkwaliteit. Dit kan op een eenvoudige manier bereikt worden door een ander inlaatpunt te gebruiken. Dit kan geclassificeerd worden als een open-loop sturing.

10.3.2 Keuze regelaar

Voor de uitvoering van de voorgestelde wijzigingen is geen specifieke regelaar nodig voor waterkwaliteit. De eisen uit de waterkwaliteit kunnen vertaald worden naar concrete wensen waarmee bij het peilbeheer rekening gehouden dient te worden.

10.3.3 Afstemming kwaliteit en kwantiteit

De hier voorgestelde strategieën hebben een beperkt effect op het kwantiteitsbeheer. Het inlaten van water op de Rotteboezem gebeurt met het oog op peilhandhaving, door echter te kiezen voor een ander inlaatpunt kan dit even effectief gebeuren en worden tevens de waterkwaliteitsbelangen beter gediend.

10.4 Aanbeveling

In het huidige boezembeheer voor de Rotteboezem wordt alleen rekening gehouden met de chlorideconcentraties van het inlaatwater. Uit de resultaten blijkt dat er ook rekening gehouden kan worden met nutriënten door het water op een andere plaats in te laten in de Rotteboezem. Voor het boezembeheer onder normale omstandigheden wordt dan ook aanbevolen om water via de Hennipsloot in te laten.

Onder extremere omstandigheden, waarbij de Nieuwe Maas en de Hollandsche IJssel voor een langere periode verzilt zijn, kan het beste water uit Delfland worden ingelaten. Sturing op nutriënten heeft dan geen prioriteit meer.

Deze sturingsregels kunnen relatief eenvoudig worden uitgevoerd. Toch zijn er nog een aantal praktische zaken die uitgezocht moeten worden, waaronder de capaciteit en de technische staat van gemaal Hennipsloot.

11 Slotbeschouwing

11.1 Inleiding

Het in deze leidraad voorgesteld raamwerk voor het ontwerpen van een “sturing op waterkwaliteit” kan als volgt worden gekarakteriseerd:

Het ontwerpproces wordt beschouwd als een traject waarin beslissingen op drie verschillende niveaus moeten worden genomen. Deze beslissingen en hun onderlinge samenhang worden zo ingevuld dat ze aansluiten bij de mogelijkheden van het watersysteem.

In de volgende paragrafen worden de voordelen van het voorgestelde raamwerk nogmaals in algemene zin samengevat.

11.2 Adequate doelen

Het beschreven raamwerk leidt er toe dat de beleidsmaker wordt uitgedaagd om de potenties van het watersysteem uit te buiten. In de praktijk worden er daardoor beleidsdoelen vastgesteld die er op neer komen dat méér functies béter worden ondersteund. Het raamwerk stimuleert daarmee de uitvoering van een integraal waterbeheer.

Omdat de beleidsdoelen ‘passen’ op de mogelijkheden van het watersysteem en omdat de doelen expliciet worden gemaakt, ligt de eenduidigheid vast waar het operationeel beheer op zal worden afgerekend. Zo kan voorkomen worden dat de beheerder wordt gedwongen de doelen zelf in te vullen en daarmee op de stoel van de beleidsmaker gaat zitten.

11.3 Inzicht in het watersysteem

Het bepalen van het gewenste systeemgedrag dwingt tot nadenken over en het vastleggen van het beheer van het watersysteem. Zoals in de casestudies is gebleken valt er op dit terrein nog veel winst te behalen.

Welke processen zijn relevant, hoe beïnvloeden verschillende processen elkaar, hierbij valt te denken aan het veranderen van de waterstromen en de effecten die dit kan hebben op de verschillende chemische en biologische processen in het watersysteem zoals algenbloei. Welke processen moeten worden gestuurd om welk gewenst verloop te krijgen. Het gewenst systeem gedrag is daarmee een noodzakelijke basis voor het ontwerp van een sturingsstelsel.

Ook heeft het toegenomen inzicht in het watersysteem het voordeel dat andere maatregelen dan sturing beter kunnen worden geëvalueerd.

Literatuur op het gebied van sturing op waterkwaliteit

Hof A., "Water Quality and Operational Control", werktitel van nog te verschijnen proefschrift bij de sectie Land en Waterbeheer, Faculteit Civiele Techniek en Geowetenschappen, Technische Universiteit Delft, verwacht verschijningsdatum eind 2002.

Breur K.J., "Integrale sturing van polder-boezemsystemen", werktitel van nog te verschijnen proefschrift bij de sectie Land en Waterbeheer, Faculteit Civiele Techniek en Geowetenschappen, Technische Universiteit Delft, verwacht verschijningsdatum begin 2003.

Delft Cluster, "Sturing op Waterkwaliteit", haalbaarheidsrapport, Delft Cluster, Delft 1999.

Hof A. en W. Schuurmans, Water quality control in open-channels, Water Science and Technology, vol 42, No1-2, pp.153-159, IWA Publishing, 2000

Hof A., W. Schuurmans, R. Brouwer en S. Dijkstra, "Salinity Control in open-channels", 4th international conference Hydroinformatics 2000, Iowa City, USA, 23-27 June 2000

Hof A., W. Schuurmans, R.R.P. van Nooyen, R. Brouwer "Salinity Control in open-channels", 2000 Joint Conference on Water Resources Engineering and Water resources planning en Management, ASCE, Minneapolis, USA, 2000

Schuurmans J., (1997) Control of water levels in open-channels, Delft University of Technology, Delft, the Netherlands ISBN 9090109951

Hoes, O.A.C., "Operationeel Waterkwaliteitsbeheer van boezemstelsels", Technische universiteit Delft, Faculteit Civiele Techniek en Geowetenschappen, sectie Land en Waterbeheer, afstudeerverslag, 2000.

Blois de, R.J.K., "Sturen op Waterkwaliteit in het Rottesysteem tijdens droge zomerperioden", Technische universiteit Delft, Faculteit Civiele Techniek en Geowetenschappen, sectie Land en Waterbeheer, afstudeerverslag, 2001.

Blois de R., S. Bosch, A. Hof en J. Biesma, " Het Rottesysteem: operationeel waterkwaliteitsbeheer veelbelovend", in H2O, pp. 36-38, nummer 25/26, 2001

Meijers, E.M., "Sturen op waterkwaliteit in het boezemstelsel van Rijnland", Technische universiteit Delft, Faculteit Civiele Techniek en Geowetenschappen, sectie Land en Waterbeheer, afstudeerverslag, 2002.

Lodewijk, M.E., "Verbeteren waterkwaliteitsbeheer van het Zuiderdiep", Technische universiteit Delft, Faculteit Civiele Techniek en Geowetenschappen, sectie Land en Waterbeheer, afstudeerverslag, 2002.

Breur, K.J., P.E.R.M van Leeuwen and A.J.M. Nelen, Er zit muziek in watersystemen, , NVA/TU Delft, Delft, 1999

Grotenbreg, Sturing op waterkwaliteit? de verversing van de stadsboezem van Amsterdam, STOWA report nr. 10, pp. 49-54, 1995.

Icke, J., "Das Delfter Verfahren zur Wasserqualitätsmodellierung", Wasser und Boden, verschijnt 2002

WL|Delft Hydraulics, “Sturing vande Amstellandboezem op waterkwaliteit”, in op dracht van de Dienst Waterbeheer en Riolering.

WL|Delft Hydraulics, “Waterconservering in het beheersgebied van AGV”, in op dracht van de Dienst Waterbeheer en Riolering.

Klinge, M., C.M. Lorenz, H. Wanningen. “Ecologische herstel Zuidlaardermeer. Resultaten met her compartiment (1996-1999) en evaluatie ten behoeve van het toekomstig beheer”, Waterschap Hunze en AA's en Witteveen & Bos 2000.