

**Methodiek voor de evaluatie en
optimalisatie van routine waterkwaliteits-
meetnetten**

Deel III: stappenplan voor meetnetoptimalisatie



98

17



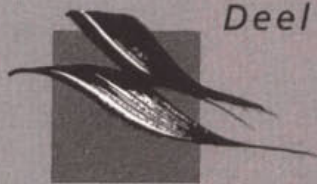
Landbouwwuniversiteit Wageningen

stowa

Stichting Toegepast Onderzoek Waterbeheer

Methodiek voor de evaluatie en optimalisatie van routine waterkwaliteitsmeetnetten

Deel III: stappenplan voor meetnetoptimalisatie



ICWS

98 17

Redactie

Ir. M.W. Blind

Drs. P.J. van der Wiele

Arthur van Schendelstraat 816

Postbus 8090, 3503 RB Utrecht

Telefoon 030 232 11 99

Fax 030 232 17 66

Publicaties en het publicatie-overzicht van de STOWA kunt u uitsluitend bestellen bij:

Hageman Verpakkers BV

Postbus 281

2700 AC Zoetermeer

o.v.v. ISBN- of bestelnummer en een duidelijk afleveradres.

ISBN 90.5773.029.4

INHOUDSOPGAVE

TEN GELEIDE

1 INLEIDING	1
1.1 ONDERZOEKSKADER	1
1.2 PROJECTDOELSTELLINGEN	2
1.3 OPBOUW TOTALE RAPPORTAGE	3
1.4 LEESWIJZER DEEL 3	3
2 ALGEMEEN THEORETISCH KADER	5
2.1 INLEIDING	5
2.2 VAN DATA NAAR INFORMATIE	6
2.3 DE RELATIE TUSSEN MEETNETOPTIMALISATIE EN HET OPZETTEN VAN ONDERZOEK	7
2.4 DE MONITORINGCYCLUS	8
2.5 ALGEMEEN STAPPENPLAN VOOR MEETNET-OPTIMALISATIE	10
2.5.1 INLEIDING	10
2.5.2 PLAATS VAN HET ALGEMEEN STAPPENPLAN VOOR MEETNETOPTIMA- LISATIE IN DE MONITORINGCYCLUS	11
3 TOELICHTING ALGEMEEN STAPPENPLAN	13
3.1 DEFINITIE INFORMATIEBEHOEFTE (STAP I)	13
3.1.1 DE PRIMAIRE INFORMATIEBEHOEFTE	13
3.1.1.1 WAT IS DE MEETDOELSTELLING?	13
3.1.1.2 VOOR WELK MEETCOMPARTIMENT GELDT DEZE MEETDOEL- STELLING?	14
3.1.1.3 OP WELKE MEETPUNTEN MOET GEMETEN WORDEN?	14
3.1.1.4 WELKE VARIABELEN MOETEN GEMETEN WORDEN?	15
3.1.1.5 HOE BETROUWBAAR MOET DE INFORMATIE ZIJN?	16
3.1.1.6 WELKE 'HOEVEELHEID' INFORMATIE IS RELEVANT?	17
3.1.1.7 WANNEER MOET DE INFORMATIE BESCHIKBAAR ZIJN?	17

3.1.2 DE SECUNDAIRE INFORMATIEBEHOEFTE	18
3.1.2.1 HOE MOET DE INFORMATIE UIT DE DATA WORDEN VERKREGEN?	18
3.1.2.2 HOE MOET DE TOEKOMSTIGE MEETFREQUENTIE BEPAALD WORDEN?	18
3.1.2.3 WELKE LOKALE OMSTANDIGHEDEN KUNNEN EEN ROL VAN BETEKENIS SPELEN?	19
3.1.2.4 WELKE ANDERE MEETNETTEN ZIJN VAN BELANG? WELKE AFSTEMMING IS NOODZAKELIJK?	19
3.1.2.5 WAT IS DE FINANCIËLE STRUCTUUR VAN HET HUIDIGE MONITOREN?	19
3.1.2.6 WAT IS DE LOGISTIEKE STRUCTUUR VAN HET (HUIDIGE) MONITOREN?	21
3.2 VERZAMELEN INFORMATIE (STAP II)	23
3.3 ANALYSE HISTORISCHE DATA - BEREKENING NOODZAKELIJKE KENGETALLEN (STAP III)	24
3.4 KWANTIFICEREN MEETDOELSTELLING (STAP IV)	24
3.4.1 INFORMATIE-INHOUD	25
3.4.2 MINIMALE INFORMATIEBEHOEFTE	25
3.4.3 MINIMALE BENODIGDE MIDDELEN (MEETFREQUENTIE)	26
3.4.4 MAXIMALE INFORMATIEBEHOEFTE	26
3.4.5 MAXIMALE NUTTIGE MIDDELEN (MEETFREQUENTIE)	26
3.4.6 INFORMATIE-OPBRENGST	26
3.4.7 RELEVANTE MARGE	26
3.4.8 HET BEPALEN VAN DE RELEVANTE MARGE	27
3.5 HAALBAARHEIDSONDERZOEK INFORMATIEBEHOEFTE (STAP V)	28
3.6 BIJSTELLEN MEETDOELSTELLING (STAP VI)	29
3.7 BESTEDINGSSCHEMA (STAP VII)	30
3.7.1 INLEIDING	30
3.7.2 BESTEDINGSALGORITMEN	31
3.7.3 'STOP'-CRITERIA VOOR HET BESTEDINGSPROCES	33
3.8 OPTIMALISATIE (STAP VIII)	33
3.9 AFSTEMMING MET ANDERE MEETDOELSTELLINGEN EN/OF RESULTATEN MEETNETDICHTHEIDSANALYSE (STAP IX)	34
3.10 OPSTELLEN MEETPLAN (STAP X)	34

4 INVULLING STAPPENPLAN PER MEETNETDOELSTELLING 35

4.1 INVULLING STAPPENPLAN MEETNETOPTIMALISATIE VOOR NORMTOETSING EN ALGEMENE WATERKWALITEITSBESCHRIJVING	35
4.1.1 WAT IS DE MEETDOELSTELLING (2 SPOREN)?	35
4.1.2 MEETDOELSTELLING: HET GEMIDDELDE (SPOOR 1)	36
4.1.2.1 DEFINITIE INFORMATIEBEHOEFTE (STAP I)	36
4.1.2.1.1 DE PRIMAIRE INFORMATIEBEHOEFTE	36
4.1.2.1.2 DE SECUNDAIRE INFORMATIEBEHOEFTE	38
4.1.2.2 VERZAMELEN INFORMATIE (STAP II)	41
4.1.2.3 ANALYSE HISTORISCHE GEGEVENS - BEREKENING NOODZAKELIJKE KENGETALLEN (STAP III)	41
4.1.2.4 KWANTIFICEREN MEETDOELSTELLING (STAP IV)	41
4.1.2.5 OVERIGE STAPPEN (V-X)	44

4.1.2.6 CASE (SPOOR 1): DE AFHANKELIJKHEID VAN DE BREEDTE VAN HET BETROUWBAARHEIDSINTERVAL VAN HET AANTAL WAARNEMINGEN	44
4.1.3 MEETDOELSTELLING: DE OVERSCHRIJDINGSKANS (SPOOR 2)	46
4.1.3.1 DEFINITIE INFORMATIEBEHOEFTE (STAP I)	46
4.1.3.1.1 DE PRIMAIRE INFORMATIEBEHOEFTE	46
4.1.3.1.2 DE SECUNDAIRE INFORMATIEBEHOEFTE	47
4.1.3.2 VERZAMELEN INFORMATIE (STAP II)	49
4.1.3.3 ANALYSE HISTORISCHE GEGEVENS - BEREKENING NOODZAKELIJKE KENGETALLEN (STAP III)	50
4.1.3.4 KWANTIFICEREN MEETDOELSTELLING (STAP IV)	50
4.1.3.5 OVERIGE STAPPEN (V-X)	51
4.2 INVULLING STAPPENPLAN MEETNETOPTIMALISATIE VOOR DETECTIE VAN MONOTONE TRENDS	52
4.2.1 DEFINITIE INFORMATIEBEHOEFTE (STAP I)	52
4.2.1.1 DE PRIMAIRE INFORMATIEBEHOEFTE	52
4.2.1.2 DE SECUNDAIRE INFORMATIEBEHOEFTE	54
4.2.2 VERZAMELEN INFORMATIE (STAP II)	56
4.2.3 ANALYSE HISTORISCHE GEGEVENS - BEREKENING NOODZAKELIJKE KENGETALLEN (STAP III)	56
4.2.4 KWANTIFICEREN MEETDOELSTELLING (STAP IV)	57
4.2.5 OVERIGE STAPPEN (V-X)	59
4.2.6 CASE: DE AFHANKELIJKHEID VAN DETECTEERBARE MONOTONE TRENDS VAN HET AANTAL WAARNEMINGEN	59
4.3 INVULLING STAPPENPLAN MEETNETOPTIMALISATIE VOOR DETECTIE VAN STAPTRENDS	61
4.3.1 DEFINITIE INFORMATIEBEHOEFTE (STAP I)	61
4.3.1.1 DE PRIMAIRE INFORMATIEBEHOEFTE	61
4.3.1.2 DE SECUNDAIRE INFORMATIEBEHOEFTE	63
4.3.2 VERZAMELEN INFORMATIE (STAP II)	66
4.3.3 ANALYSE HISTORISCHE GEGEVENS - BEREKENING NOODZAKELIJKE KENGETALLEN (STAP III)	66
4.3.4 KWANTIFICEREN MEETDOELSTELLING (STAP IV)	67
4.3.5 HAALBAARHEIDSONDERZOEK INFORMATIEBEHOEFTE (STAP V)	67
4.3.6 OVERIGE STAPPEN (VI-X)	68
4.3.7 CASE: DE AFHANKELIJKHEID VAN DETECTEERBARE STAPTRENDS VAN HET AANTAL WAARNEMINGEN	68
4.3.8 TOT SLOT	69
4.4 INVULLING STAPPENPLAN MEETNETOPTIMALISATIE VOOR VRACHT- EN BALANSBEREKENINGEN	70
4.4.1 DEFINITIE INFORMATIEBEHOEFTE (STAP I)	70
4.4.1.1 DE PRIMAIRE INFORMATIEBEHOEFTE	70
4.4.1.2 DE SECUNDAIRE INFORMATIEBEHOEFTE	73
4.4.2 VERZAMELEN INFORMATIE (STAP II)	75
4.4.3 OVERIGE STAPPEN (III-X)	75

5 ANALYSE EN HERINRICHTING VAN RUIMTELIJKE DICHTHEID IN MEETNETTEN	77
5.1 INLEIDING	77
5.2 BESCHRIJVING METHODEN	79
5.2.1 OVERAL EN ALTIJD INFORMATIE: MODELLEN	79
5.2.1.1 PROCESMODELLERING VAN HET AQUATISCHE SYSTEEM	79
5.2.1.2 TOEPASSING VAN GEOSTATISTIEK	79
5.2.2 ALLE DATA WORDEN VERTAALD IN INFORMATIE - ANALYSE (POTEN- TIEEL) DATAGEBRUIK & COMBINATIE MEETNET MET ANDERE MEET- NETTEN	80
5.2.3 ALLE MEETPUNTEN ZIJN REPRESENTATIEF	80
5.2.4 OPTIMAAL MEETNET IS GEBIEDDEKKEND - TOEPASSING VAN GEOGRAFISCHE INFORMATIE EN GIS	81
5.2.5 MEETPUNTEN LEVEREN UNIEKE INFORMATIE	85
5.2.5.1 ONDERLING VERGELIJK VAN MEETPUNTEN OP BASIS VAN DE GEMIDDELDEN (MEDIANEN)	85
5.2.5.2 LINEAIRE REGRESSIE TUSSEN TWEE MEETPUNTEN	89
5.2.5.3 MULTIPLE LINEAIRE REGRESSIE VAN ÉÉN MEETPUNT MET OMLIGGENDE MEETPUNTEN	94
5.2.6 COMBINATIE VAN METHODEN	95
5.3 SAMENVATTING, CONCLUSIES EN DISCUSSIE	95

LITERATUUR

TEN GELEIDE

De regionale waterbeheerders onderhouden allemaal een routinemeetnet, waarbij op een groot aantal meetpunten, meestal maandelijks de waterkwaliteit wordt bepaald. Met het onderhouden van een dergelijk meetnet zijn aanzienlijke kosten gemoeid. Voor al deze meetinspanningen worden diverse doelstellingen gehanteerd, zoals het bepalen van de actuele waterkwaliteit, het toetsen aan normen, de detectie van trends en het opstellen van massabalansen.

Al deze doelstellingen vragen de toepassing van verschillende statistische technieken en daaraan gerelateerd verschillende meetstrategieën. In het algemeen wordt hier bij het inrichten van meetnetten weinig aandacht aan geschonken, met als gevolg dat de informatie die resulteert vaak niet voldoende is om specifieke onderzoeksvragen te beantwoorden. In dit verband spreekt men wel van het '*Data Rich, Information Poor*' syndroom, waaraan veel meetnetten leiden.

Om die reden heeft de STOWA het International Centre of Water Studies (ICWS) en de LU Wageningen, vakgroep Waterkwaliteitsbeheer en Aquatische Ecologie in 1996 opdracht gegeven een studie uit te voeren met als doel het ontwikkelen van een methodiek voor de evaluatie en optimalisatie van routine waterkwaliteitsmeetnetten, waarmee tegen zo gering mogelijke kosten zo veel mogelijk informatie kan worden verkregen.

De studie is uitgevoerd door het International Centre of Water Studies (ICWS) te Amersfoort en de LU Wageningen, leerstoelgroep Aquatische Ecologie en Waterkwaliteitsbeheer. Projectteam: drs. P.J. van der Wiele en ing. L.G. de Vree (ICWS), ir. M.W. Blind en ir. R.H. Aalderink (LU Wageningen). Het onderzoek is begeleid door een door de STOWA ingestelde begeleidingscommissie, bestaande uit mw. ir. A.E. Dommering en ir. H. de Ruiters (Hoogheemraadschap van Schieland), drs. R.H.C. van den Heuvel (Zuiveringschap Limburg), mw. ir. H.H. Kielich (Waterschap Regge en Dinkel), dr. S.P. Klapwijk (STOWA), ir. R. Maasdam (Waterschap Friesland), ing. J. Stroom (Hoogheemraadschap van Rijnland) en ing. T-W. van Urk (RIZA).

Namens de STOWA, de begeleidingscommissie en de uitvoerders spreek ik de hoop uit dat dit rapport zal leiden tot optimalisaties van meetnetten bij waterbeheerders en tot het bestrijden van het '*Data Rich, Information Poor*' syndroom.

Utrecht, februari 1998

De directeur van de STOWA,

drs. J.F. Noorthoorn van der Kruijff

1 INLEIDING

1.1 ONDERZOEKSKADER

Sinds de invoering van de WVO in 1970 - en in sommige delen van Nederland ook al geruime tijd daarvoor - wordt de kwaliteit van de oppervlaktewateren in Nederland structureel onderzocht. Dit onderzoek dat door RIZA (alleen rijkswateren) en de regionale waterkwaliteitsbeheerders wordt uitgevoerd, is gebaseerd op een min of meer vast meetprogramma. Na enige vorm van gegevensbewerking (veelal toetsing aan normen) vindt een deel van de verzamelde meetgegevens zijn weg naar jaarverslagen, notities en onderzoeksrapporten. Deze informatie vormt een basis voor de ontwikkeling van nieuw of voor aanpassingen van bestaand beleid.

Waren in het begin het vaststellen van de actuele waterkwaliteit en normtoetsing de belangrijkste meetnetdoelstellingen, in de loop der tijd is de informatiebehoefte van de beheerders en beleidsmakers toegenomen (Kader 1-1; Whitfield, 1988; Semmekrot en Knobben, in voorber.).

Kader 1-1

Een routinematig meetnet dient uiteenlopende doelen. De meest voorkomende zijn:

- norm- en functietoetsing;
- beschrijving algemene (actuele) waterkwaliteit;
- detecteren van langjarige (monotone) trends (trenddetectie);
- berekening van vrachten en opstellen van balansen;
- evaluatie van effecten van uitgevoerde beleidsmaatregelen (staptrend of trendbreuk).

In de praktijk blijkt dat de routinematig verkregen data onvoldoende mogelijkheden bieden om de voor de beheerder noodzakelijke informatie te verkrijgen. Dit heeft onder meer te maken met de verschuiving in de wijze van interpretatie van data: in plaats van visuele analyse en berekening van kengetallen voor normtoetsing bestaat allengs meer behoefte aan statistische dataverwerking. Het is bijvoorbeeld inmiddels gebruikelijk om niet alleen aan te geven dat er iets is veranderd, maar ook aan te geven of deze verandering significant is. Het is ook steeds vaker gewenst om aan te geven hoe groot de kans is dat een toetsingsuitkomst fout is.

De verschuiving naar statistische verwerkingsmethoden leidt onherroepelijk tot de conclusie dat het huidige meetsysteem een onevenwichtige informatie-opbrengst veroorzaakt. Door de verschillen in datastructuur (variabiliteit in de data respectievelijk in het systeem) is de hoeveelheid informatie van de in een meetnet opgenomen meetpunten en variabelen in beginsel verschillend. De gevraagde informatie laat zich derhalve soms gemakkelijk, soms moeilijk en soms niet uit de routinematig verzamelde data extraheren. Een en ander kan ertoe leiden dat knelpunten niet (tijdig) onderkend worden of dat deze niet adequaat kunnen worden geprioriteerd.

Om bovengenoemde redenen is de doelmatigheid van beleid niet altijd optimaal. Bijgevolg wordt de laatste jaren steeds vaker de vraag gesteld of routinematig verzamelde gegevens voldoende basis bieden voor een gefundeerde beantwoording van de vanuit het beleid gestelde vragen, en of de verzamelde informatie nog wel voldoende actualiteitswaarde heeft (toetsing aan informatiebehoefte; o.a. Breukel en Schäfer, 1991; Klavers, 1992 en Adriaanse, 1993).

De laatste jaren hebben de waterbeheerders te maken gehad met grootschalige veranderingen in structuur en werkwijze. Een proces dat nog steeds voortduurt. Aanpassingen in de begrenzing van het beheersgebied - bewerkstelligd door reorganisaties om daarmee aan te sluiten bij de inmiddels algemeen geaccepteerde stroomgebiedsbenadering, en de groeiende vraag naar informatie over (het functioneren en de kwaliteit van) watersystemen en daarmee de stijgende kosten van het meetnet, leiden steeds vaker tot een kritische beschouwing van operationele meetnetten.

Veel van de hiervoor geschetste problemen kunnen worden opgelost door het bestaande meetnet te optimaliseren. Optimalisatie van de meetfrequentie kan bijvoorbeeld leiden tot een evenwichtiger informatie-opbrengst, maar ook tot een beter gebieddekkend beeld van de waterkwaliteit.

Om meetnetten echter zodanig te kunnen herinrichten, dat beschikbare budgetten zo efficiënt mogelijk worden ingezet, en alleen die informatie wordt gegenereerd die relevant is voor het beleid, zijn goed gefundeerde stappenplannen en dito technieken een vereiste. Op dit moment bestaat er in Nederland echter geen leidraad of protocol voor de evaluatie en optimalisatie van routinematige kwaliteitsmeetnetten. De (her)inrichting of optimalisatie van menig regionaal en nationaal meetnet heeft hierdoor tot op heden veelal plaatsgevonden vanuit een pragmatische invalshoek en op basis van *expert judgement* in plaats van op gestructureerde, mede op de statistiek gebaseerde methoden. Gezien het complexe karakter van een meetnetoptimalisatie - waarbij met een scala aan randvoorwaarden rekening dient te worden gehouden - en het huidige kennisniveau van statistische verwerkingsmethoden bij de gemiddelde waterbeheerder, is dit niet zo verwonderlijk, maar is er desalniettemin sprake van een ongewenste situatie.

Het ontbreken van een adequaat instrumentarium en de dringende behoefte hieraan - mogelijk mede versterkt door de huidige trend van steeds verdergaande standaardisering van methoden en technieken in het kwaliteitsbeheer - vormden voor STOWA de aanleiding om het onderzoek "*Evaluatie en optimalisatie van meetnetten*" te starten. Gezien de inhoud van het project en de verschillende in de projectperiode in uitvoering zijnde parallelprojecten¹ is deze oorspronkelijke hoofdtitel uiteindelijk uitgebreid tot *Analyse en optimalisatie van oppervlaktewatermeetnetten*.

1.2 PROJECTDOELSTELLINGEN

De belangrijkste doelen van het project zijn:

1. Identificatie en beschrijving van bruikbare statistische verwerkingstechnieken bij de interpretatie van routinematig verzamelde waterkwaliteitsgegevens in relatie tot de belangrijkste meetnetdoelstellingen, en daaraan gekoppeld meetnetoptimalisatie.
2. Illustratie van deze technieken aan de hand van praktijkonderzoek (*case-studies*).
3. Ontwikkeling van richtlijnen (beslisschema's en stappenplannen) bij de keuze en voor een juist gebruik van de beschreven (statistische) technieken.
4. Inventarisatie van bestaande statistische programmatuur die bruikbaar is voor de statistische analyse van waterkwaliteitsgegevens en voor meetnetanalyse (beide met het oog op meetnetoptimalisatie).
5. Het leveren van een theoretisch kader, alsmede een instrumentarium (*tools*) waarmee de waterbeheerder op adequate wijze de analyse en optimalisatie van zijn reguliere meetnet ter hand kan nemen (betreft resp. stappenplannen die ingaan op te maken keuzen en toe te passen technieken en toetsen, formules en het computerprogramma WatQual voor het uitvoeren van analyses en berekenen van kengetallen noodzakelijk voor de optimalisatie).
6. Beperkte evaluatie van de toepassingsmogelijkheden van (geïntegreerde) data-analyse- en meetnetoptimalisatiesoftware.

¹ Optimalisatie grondwatermeetnetten (Jousma et al., 1998) en PIM (Semmekrot en Knoben, in voorber.).

1.3 OPBOUW TOTALE RAPPORTAGE

De eindrapportage bestaat uit 3 delen. De rol en globale inhoud van ieder van deze delen is als volgt:

Deel 1 vormt het hoofdrapport, is probleem-geöriënteerd en geeft in vogelvlucht de belangrijkste aspecten van data-analyse en meetnetoptimalisatie weer. In dit deel worden beslisschema's en stappenplannen met betrekking tot data-analyse en meetnetoptimalisatie op hoofdlijnen beschreven. Het deel is gericht op de manager, die een beknopt overzicht van problemen en oplossingen wil verkrijgen.

De delen 2 en 3 zijn beide oplossingsgericht.

Deel 2 bevat een actueel overzicht van de technieken en methoden die beschikbaar zijn voor de statistische analyse van langjarige meetreeksen met het oog op meetnetevaluatie en -optimalisatie en is geschreven voor de data-analist. Tevens wordt enige aandacht geschonken aan enkele statistische basisbegrippen, daarbij inspeland op de door de begeleidingscommissie aangegeven informatie-behoefte.

Voor wat betreft de vorm is hier gekozen voor een naslagwerk, waarin de technieken naar meetdoelstelling (§ 1.1) zijn geclusterd. Opgenomen beslisschema's vergemakkelijken de keuze van de juiste toets(en). Naast de meest toegepaste (robuuste) methoden worden tevens alternatieve methoden behandeld. Toepassingsgebied, werking en randvoorwaarden voor gebruik worden gegeven. Middels gedetailleerde stappenplannen wordt het gebruik van de beschreven methoden nader toegelicht. Cases die ontleend zijn aan door regionale waterkwaliteitsbeheerders verzamelde meetgegevens en deels ook door hen zelf zijn uitgewerkt², complementeren het geheel en slaan een brug tussen de theorie en het praktisch nut.

Deel 3 (het onderhavige rapport) is geschreven voor zowel de meetnetbeheerder als de eerder in relatie tot deel 2 genoemde data-analist en is te beschouwen als een werkdocument.

In dit deel staat de optimalisatie van het meetnet centraal. In het licht van het behandelde algemeen theoretisch kader wordt een algemeen stappenplan voor meetnetoptimalisatie gepresenteerd. In afzonderlijke hoofdstukken wordt dit algemene stappenplan per meetnetdoelstelling in detail uitgewerkt. Een soortgelijk schema is ook ontwikkeld voor de analyse van de meetnetdichtheid.

Eerdere versies van beide schema's zijn in het verleden bij enkele waterbeheerders toegepast, en hebben destijds hun praktisch nut reeds bewezen (o.a. Blind en Aalderink, 1995a en b).

Voor een uitgebreide leeswijzer van deel 3 wordt verwezen naar § 1.4.

1.4 LEESWIJZER DEEL 3

In hoofdstuk 2 van dit deel worden algemene aspecten van meetnetoptimalisatie behandeld. Na een inleiding wordt ingegaan op de manier waarop informatie uit data wordt verkregen en wat de relatie is tussen het opzetten van onderzoek en meetnetoptimalisatie. Vervolgens wordt ingegaan op de monitoringcyclus: dit is een schema waarin verschillende aspecten van monitoring in relatie tot elkaar en, zeer belangrijk, het beleid/management zijn gezet. Voor de concrete invulling van enkele van de stappen in de monitoring is een stappenplan opgesteld, dat in hoofdstuk 3 wordt gepresenteerd. Een volledige theoretische behandeling van de verschillende stappen wordt gepresenteerd in hoofdstuk 4, nadat in hoofdstuk 3 de inbedding van het stappenplan in de

² Bijdragen zijn geleverd door Hoogheemraadschap van Rijnland, Hoogheemraadschap van Schieland, Waterschap Friesland, Waterschap Regge en Dinkel en Zuiveringschap Limburg.

monitoringcyclus aan de orde is geweest. In hoofdstuk 5 wordt per meetnetdoelstelling het stappenplan verder geconcretiseerd. Daar waar een meetdoelstelling geen specifieke eisen aan de invulling van een stap uit het stappenplan stelt wordt verwezen naar het de relevante paragraaf. Bij de invulling van het stappenplan wordt ervan uitgegaan dat kennis van het theoretische stappenplan aanwezig is. In een optimalisatieproject zullen de theorie en de concrete invulling naast elkaar gelezen worden.

De optimalisatie van de meetnetdichtheid neemt in dit deel een eigen plaats in (hfdst. 6), aangezien het gepresenteerde stappenplan voor deze optimalisatie niet geschikt is.

Statische methoden en technieken die toepasbaar zijn in de meetnetoptimalisatiefase, zijn - evenals de bijbehorende cases - opgenomen in deel 3 en treft u derhalve niet aan in deel 2. Deel 2 beperkt zich tot de methoden en technieken die bruikbaar zijn voor de analyse van historische meetreeksen die met het bestaande meetnet zijn verzameld (§ 1.3).

2 ALGEMEEN THEORETISCH KADER

2.1 INLEIDING

Het waterkwaliteitsbeleid is gericht op onder andere het onderkennen van knelpunten, het nemen van maatregelen en het toekennen van functies en functie-eisen aan oppervlaktewater. Een beleidsmaker formuleert beleid op basis van de hem beschikbare informatie. Het waterkwaliteitsbeleid is onder andere gebaseerd op informatie omtrent (de ontwikkeling van) de waterkwaliteit. Vanuit het perspectief van een beleidsmaker bestaat er behoefte aan relevante informatie: men spreekt in dit kader over de informatiebehoefte van het beleid.

Indien geen of slechts weinig informatie beschikbaar is, is de kans reëel dat beleid inefficiënt is omdat belangrijke beleidsbepalende informatie ontbreekt. Het kan bijvoorbeeld voorkomen dat knelpunten in de waterkwaliteitsontwikkeling te laat onderkend worden.

Voor adequaat beleid dient relevante informatie beschikbaar te zijn. Welke informatie beschikbaar moet zijn, ligt in het algemeen vast door de doelstellingen en acties van het beleid. In het algemeen wordt een belangrijk deel van de beleidsrelevante informatie verkregen uit routinematige metingen in het oppervlaktewatercompartiment. Er wordt getracht de volgende vragen met behulp van de routinematig verkregen meetgegevens te beantwoorden (Whitfield, 1988; Semmekrot, in voorber.):

- hoe verhoudt zich de waterkwaliteit ten opzichte van de normen (norm- en functietoetsing)?
- wat is de actuele waterkwaliteit (beschrijving waterkwaliteit)?
- wat is de ontwikkeling op de lange termijn (monotone trends)?
- wat is het effect van het uitgevoerde beleid (staptrends en trendbreuken)?
- welke vrachten gaan een gebied in en uit (vrachten en balansen)?

De huidige meetstrategie in routinematige meetnetten is echter niet specifiek afgestemd op de informatiebehoefte van het beleid. Onafhankelijk van de informatiebehoefte wordt op veel meetpunten een groot aantal variabelen maandelijks gemeten. Op het moment dat beleidsondersteunende informatie noodzakelijk is, wordt getracht deze informatie uit de routinematig verkregen data te extraheren. Door de ontbrekende afstemming tussen informatiebehoefte en meetinspanning blijkt de informatie slechts moeilijk (of niet) boven tafel te krijgen.

Het afstemmen van de meetinspanning op de informatiebehoefte van de beleidsmakers wordt meetnetoptimalisatie genoemd. De kunst van meetnetoptimalisatie is een praktisch, uitvoerbaar meetplan te ontwikkelen, waarmee optimaal (efficiënt) in de informatiebehoefte voorzien wordt. Hierbij spelen praktische (logistieke) en financiële randvoorwaarden nadrukkelijk een rol. Een optimaal ingericht meetnet levert (in theorie) precies voldoende data om, gegeven een gewenste betrouwbaarheid en specifieke informatie-eisen, precies de gewenste informatie te leveren.

2.2 VAN DATA NAAR INFORMATIE

Data zijn op zichzelf nog geen informatie. Informatie ontstaat pas na adequate verwerking van de data. Hiervoor bestaan verschillende mogelijkheden:

1. De eerste mogelijkheid om data tot informatie te transformeren is visueel interpreteren. Dit betekent dat op basis van figuren de ruwe data getransformeerd worden tot eenvoudige, kwalitatieve uitspraken zoals bijvoorbeeld 'sterk vervuild', 'zeer variabel', enzovoorts.
2. Een tweede, meer kwantitatieve manier om data tot informatie te transformeren is het berekenen van kengetallen van de gegevens, bijvoorbeeld gemiddelden, trends of andere modelparameters. Dit leidt tot duidelijke uitspraken als: het gemiddelde is X, de helling is Y, enzovoorts.
3. Bij bovengenoemde kwantitatieve manier wordt geen rekening gehouden met de variabiliteit in data. Twee datasets met hetzelfde gemiddelde kunnen er (door grote verschillen in spreiding) geheel anders uitzien. Een andere kwantitatieve manier om data tot informatie te transformeren is het statistisch toetsen van hypothesen, al dan niet vooraf gegaan door (proces)modellering van de gegevens. Dit leidt tot kwantitatieve uitspraken als: 'het gemiddelde ligt met 90% zekerheid tussen A en C, de nauwkeurigste schatting is B' of 'met 99% zekerheid is er een verschil tussen twee meetpunten'.

Het statistische karakter van kwantitatieve dataverwerking maakt duidelijk dat de huidige vorm van routinematig meten een onevenwichtige informatie-opbrengst met zich meebrengt: door de verschillen in datastructuur (variabiliteit in de data respectievelijk in het systeem) is de hoeveelheid informatie die een dataset bevat per meetpunt en variabele verschillend. De gevraagde informatie laat zich soms gemakkelijk, soms moeilijk en soms niet uit de routinematig verzamelde data extraheren. Om een evenwichtiger informatie-opbrengst te verkrijgen zou op sommige meetpunten (variabelen) de meetinspanning verlaagd kunnen worden (informatie wordt minder nauwkeurig) en op andere meetpunten (variabelen) juist verhoogd moeten worden (informatie wordt nauwkeuriger). De toe te passen statistische methoden verschillen per doelstelling: bij de statistische verwerking worden verschillende formules en toetsen gebruikt. Met de bepaling van de meetdoelstelling ligt in het algemeen ook de statistische verwerkingsmethode min of meer vast. Het verschil in verwerkingsmethode is één van de oorzaken dat de meetstrategie per meetdoelstelling kan variëren. De variatie in meetstrategie betekent bijvoorbeeld dat de meetinspanning op een meetpunt voor een bepaalde variabele per meetdoelstelling kan verschillen.

In de praktijk blijkt dat niet alle meetdoelstellingen op elk meetpunt zinvol zijn. Bij de optimalisatie van een meetnet kan daarom het beste uitgegaan worden van optimalisaties per meetdoelstelling, met alvast 'in het achterhoofd' de overige meetdoelstellingen waarmee vervolgens afstemming moet plaatsvinden. Het is echter belangrijk dat indien ook de meetnetdichtheid geanalyseerd (en eventueel verlaagd) moet worden, deze bewerking eveneens parallel wordt uitgevoerd, zodat geen meetpunten in doelstellingsgerichte meetnetten worden opgenomen, die achteraf geen toegevoegde waarde blijken te hebben.

2.3 DE RELATIE TUSSEN MEETNETOPTIMALISATIE EN HET OPZETTEN VAN ONDERZOEK

De basis voor meetnetoptimalisatie is zeer sterk verbonden met het theoretische kader van het opzetten van 'goed onderzoek'. In Schema 2-1 is dit op hoofdlijnen in schema gezet. Omdat dit algemene schema in principe toepasbaar is op ieder type van onderzoek, wordt ook bij de optimalisatie of herinrichting van routinematige meetnetten getracht om dit schema zo goed mogelijk te volgen.

Schema 2-1: Algemeen theoretisch kader voor het opzetten van 'goed' onderzoek

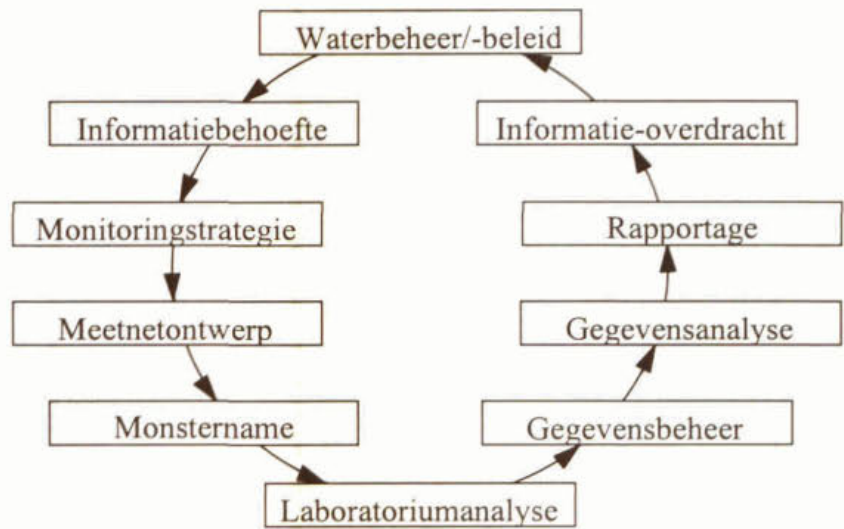
Stap 1:	<ul style="list-style-type: none">● Formuleer de hypothese. De hypothese is vergelijkbaar met (een deel van) de informatiebehoefte van het beleid, bijvoorbeeld: <i>er is een verschil in chloride op de meetpunten A en B.</i>
Stap 2:	<ul style="list-style-type: none">● Selecteer de verwerkingsmethode(n) van de meetresultaten, bijvoorbeeld de t-toets op verschillen in gemiddelden.
Stap 3:	<ul style="list-style-type: none">● Selecteer de te meten grootheden, bijvoorbeeld de chlorideconcentratie.
Stap 4:	<ul style="list-style-type: none">● Maak een a priori inschatting van de orde van grootte van de kengetallen, bijvoorbeeld spreidingen en verschillen tussen gemiddelden, die nodig zijn voor het uitvoeren van de toets.
Stap 5:	<ul style="list-style-type: none">● Stel op basis van de geselecteerde verwerkingsmethode (2) en de a priori inschatting van verschillende grootheden (4) het onderzoeksplan (meetplan) op. In het kader van meetnetoptimalisatie is dit bijvoorbeeld de berekening van benodigde meetfrequenties.
Stap 6:	<ul style="list-style-type: none">● Voer het onderzoeksplan uit. In het kader van waterkwaliteitsmeetnetten is dit bijvoorbeeld routinematig meten over een periode van 10 jaar.
Stap 7:	<ul style="list-style-type: none">● Analyseer de resultaten.● Toets de opgestelde hypothesen (1). In het kader van meetnetoptimalisatie is dit bijvoorbeeld een trendanalyse na tien jaar monitoring.
Stap 8:	<ul style="list-style-type: none">● Trek conclusies.● Evalueer de methode.● Rapporteer.

Door de omvang van meetnetten en de verschillende, in de tijd variërende informatiebehoeften (stap 1) is het optimaliseren (stap 5) buitengewoon complex. Hierdoor sluit de meetinspanning in de praktijk vaak niet op de informatiebehoefte aan.

2.4 DE MONITORINGCYCLUS

De *UN/ECE Task Force on Monitoring and Assessment* (1994) heeft richtlijnen voor het monitoren en beoordelen van grensoverschrijdende rivieren geformuleerd. Hieruit is een cyclus van stappen ontstaan die continu doorlopen moet worden om kwalitatief hoogwaardig en efficiënt te monitoren. Deze cyclus (Figuur 2-1) staat bekend als de *monitoringcyclus*.

In Kader 2-1 wordt in het kort ingegaan op de inhoud van de afzonderlijke stappen van de cyclus. Voor een meer uitgebreide beschrijving wordt verwezen naar het voornoemde rapport.

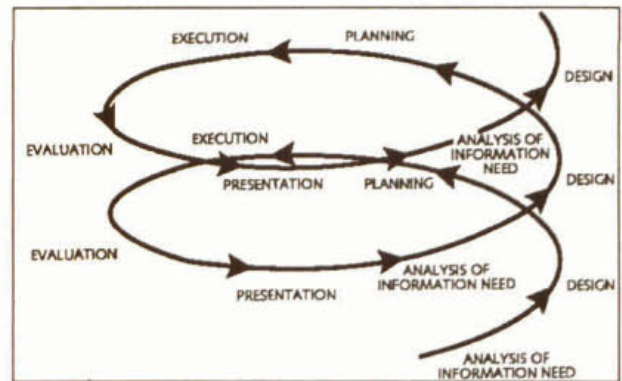


(Bron: UN/ECE, 1994)

Figuur 2-1: De monitoringcyclus ('The Monitoring Cycle')

Voor de goede orde: de gepresenteerde cyclus is een structuur, een raamwerk voor het effectief verzamelen van (beleids)informatie. Het schema is daardoor ook veel minder dwingend dan de opgenomen pijlen wellicht suggereren. Voor de invulling van bepaalde stappen kan het zelfs zinvol zijn om de cyclus in omgekeerde richting te doorlopen.

Door nadat de cirkel volledig is doorlopen na te gaan of de met het meetnet verzamelde informatie voldoet (evaluatie/kwaliteitsborging) en zo nodig de meetstrategie en het meetnetontwerp hierop aan te passen, zal de effectiviteit/kwaliteit van het meetnet in de loop der tijd toenemen. Dit proces is gevisualiseerd in Figuur 2-2.



Bron: Cofino (1994)

Figuur 2-2: Een steeds beter meetnet door tussentijdse evaluatie

<i>Management</i>	De noodzaak voor informatie moet gebaseerd zijn op de kernonderwerpen in het management (beleid). De kernonderwerpen van het management zijn functies en gebruik, problemen en bedreigingen van het watersysteem, en effecten van maatregelen op het watersysteem. Daarnaast moet de noodzaak voor informatie ingegeven zijn door het daadwerkelijk gebruik van de informatie in het beslisproces.
<i>Informatie-behoefte</i>	De definitie van de informatiebehoefte is de belangrijkste stap benodigd voor het kunnen ontwerpen van een meetnet. Informatiebehoefte en meetdoelstellingen moeten dusdanig gedefinieerd en gespecificeerd worden dat hieruit ontwerpcriteria voor de diverse onderdelen van het informatiesysteem (waarvan het meetnet deel uitmaakt) afgeleid kunnen worden. Belangrijke aspecten van deze stap zijn: <ul style="list-style-type: none"> ● definitie informatiebehoefte per kernelement van het beleid; ● opstellen meetdoelstelling met onderbouwing: "Waarom is deze doelstelling noodzakelijk?", "Waartoe en voor welk kernelement van het management dient de informatie?"; ● specificatie informatiebehoefte (welke variabelen, hoe nauwkeurig, enz.).
<i>Monitoring-strategie</i>	Als de informatiebehoefte gespecificeerd is moet een ontwerpstrategie voor de inrichting van een meetnet ontwikkeld worden. In deze stap worden de benadering en de criteria vastgelegd voor een meetnet 'op maat'. In deze stap moet bepaald worden welke informatie reeds beschikbaar is via andere bronnen, hoe eventuele leemtes in kennis, noodzakelijk voor het meetnetontwerp, gevuld kunnen worden, enzovoorts.
<i>Meetnetontwerp, Monstername, Monsteranalyse</i>	Op basis van informatiebehoefte en netwerkcriteria wordt in deze fase het meetnet ontworpen. Belangrijke algemene aandachtspunten zijn: <ul style="list-style-type: none"> ● te bemonsteren compartiment; ● variabelen- en meetpuntkeuze; ● meetinspanning in ruimte en tijd; ● bemonsteringsmethode, transport en opslag; ● analysemethoden. I.h.a. zal reeds bij de definitie van de informatiebehoefte op de meeste van bovengenoemde punten zijn ingegaan. Deze keuzen zijn in het algemeen impliciet aan de informatiebehoefte gekoppeld.
<i>Dataverwerking</i>	Het belangrijkste aspect van de dataverwerking is de validatie en de adequate (toegankelijke) opslag van de meetwaarden.
<i>Data-analyse</i>	De meetgegevens worden idealiter verwerkt via standaardprotocollen gericht op een hoge betrouwbaarheid van de resultaten ³ . De protocollen dienen duidelijk aan te geven wat te doen bij missende gegevens, waarden op detectielimieten, niet-normaliteit, seriële correlatie, etcetera.
<i>Rapportage</i>	De resultaten van de data-analyse moeten bij voorkeur via standaardprotocollen gerapporteerd worden. Hiervoor kunnen rapportageprotocollen ontworpen worden waarin is aangegeven hoe en met welke frequentie naar de verschillende betrokkenen gerapporteerd dient te worden.
<i>Informatiegebruik</i>	Dit punt wordt hier niet nader toegelicht maar behelst de link tussen rapportage en toekomstig beleid. Op basis van de rapportage wordt de informatie dusdanig geanalyseerd dat het management de kernpunten (aandachtspunt van het beleid) kan bevestigen of herdefiniëren.

³ De methode van data-analyse ligt in principe vast door de informatiebehoefte. Bij het inrichten van een meetnet wordt in theorie net als bij ander onderzoek uitgegaan van te toetsen hypothesen. Hieraan zijn in het algemeen een of meerdere analysemethoden gekoppeld.

2.5 ALGEMEEN STAPPENPLAN VOOR MEETNET-OPTIMALISATIE

2.5.1 INLEIDING

Voor de optimalisatie van de meetinspanning met betrekking tot één of meerdere specifieke doelstellingen in de praktijk is een stappenplan opgesteld. Dit stappenplan is weergegeven in Figuur 2-3. Een beschrijving van de afzonderlijke stappen volgt - vanwege de omvang ervan - in een apart hoofdstuk (hfdst. 3).

Het stappenplan volgt in zekere zin de theoretische benadering dat de informatiebehoefte a priori gedefinieerd moet worden. In de

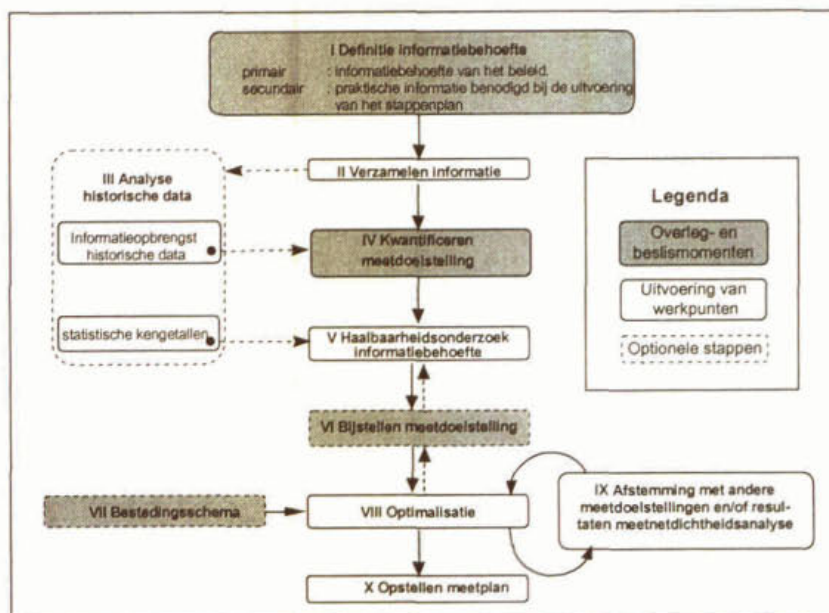
praktijk blijkt het moeilijk te zijn om de informatiebehoefte te kwantificeren. Dit onderdeel van de definitie van de informatiebehoefte is daarom niet in de eerste, maar pas in de vierde stap aan de orde. Bovendien is een bijstelling van de gekwantificeerde informatiebehoefte mogelijk in stap VI.

Niet alle stappen zijn altijd relevant. Indien een meetnet geheel nieuw opgezet moet worden, is bijvoorbeeld de stap data-analyse (stap III) vaak niet mogelijk, aangezien geen data beschikbaar zijn.

Het stappenplan is met name gericht op optimalisatie (of herinrichting) van bestaande meetnetten. Het is niet geschikt om een nieuw meetnet op te zetten, indien geen enkele informatie omtrent de variabiliteit in het onderzoeksgebied beschikbaar is en deze eventueel ook niet via extrapolatiemethoden of systeemkennis (o.a. ook *expert opinion*) verkregen kan worden.

In de praktijk blijkt dat niet alle meetdoelstellingen op elk meetpunt zinvol zijn. Zo is bijvoorbeeld de detectie van staptrends niet zinvol op meetpunten waar deze niet te verwachten zijn en is detectie van langjarige trends niet zinvol op meetpunten waar plotselinge veranderingen worden verwacht. Bij de optimalisatie van een meetnet kan daarom uitgegaan worden van optimalisaties per meetdoelstelling, met alvast 'in het achterhoofd' de overige meetdoelstellingen, waarmee vervolgens afstemming moet plaatsvinden. Met andere woorden: het is niet noodzakelijk de meetnet-optimalisatie vanaf het begin integraal over alle meetdoelstellingen te benaderen.

Voor sommige stappen (I, IV, VI en VII) is overleg en consensus noodzakelijk. De andere stappen houden concrete werkzaamheden in, die door verschillende betrokken personen, maar met name door een data-analist, uitgevoerd zullen worden.



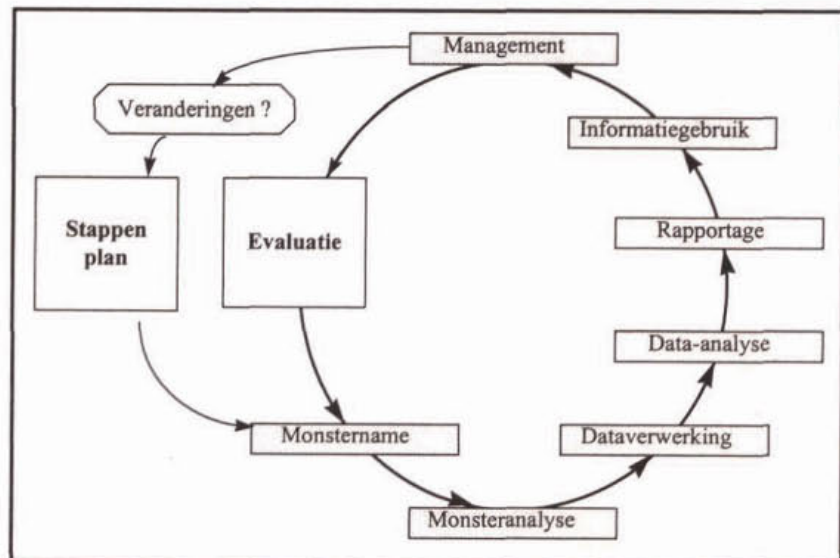
Figuur 2-3: Algemeen stappenplan voor meetnetoptimalisatie

2.5.2 PLAATS VAN HET ALGEMEEN STAPPENPLAN VOOR MEET- NETOPTIMALISATIE IN DE MONITORINGCYCLUS

Figuur 2-4 geeft de plaats van het stappenplan binnen de monitoringcyclus weer. Het volledige stappenplan komt grofweg overeen met de stappen 'Informatiebehoefte', 'Monitoringstrategie' en 'Meetnetontwerp' in de cyclus. Het stappenplan hoeft alleen doorlopen te worden indien daar een reden voor is. Redenen kunnen zijn:

- het management moet andere informatie aangeleverd krijgen (een nieuwe of andere informatiebehoefte is relevant);
- de gevraagde kwaliteit verandert, informatie moet bijvoorbeeld sneller of nauwkeuriger geleverd worden;
- financiële, praktische, of juridische kaders zijn veranderd;
- er zijn ingrijpende veranderingen in het systeem opgetreden.

Indien er geen reden bestaat om het stappenplan volledig te doorlopen kan volstaan worden met een evaluatie: voldoet het meetnet aan de gestelde eisen? Zijn de kengetallen die gebruikt zijn voor de optimalisatie nog actueel?



Figuur 2-4: Plaats stappenplan in monitoringcyclus

3 TOELICHTING ALGEMEEN STAPPENPLAN

3.1 DEFINITIE INFORMATIEBEHOEFTE (STAP I)

Bij de definitie van de informatiebehoefte kan onderscheid gemaakt worden tussen twee typen informatie. De primaire informatiebehoefte is de informatiebehoefte van het beleid en heeft betrekking op de informatie die het meetnet uiteindelijk moet opleveren. Concreet moet bij de definitie van de primaire informatiebehoefte ingegaan worden op de volgende vragen:

1. Wat is de meetdoelstelling?
2. Voor welk meetcompartiment geldt deze meetdoelstelling?
3. Op welke meetpunten moet gemeten worden?
4. Welke variabelen moeten gemeten worden?
5. Hoe betrouwbaar moet de informatie zijn?
6. Welke 'hoeveelheid' informatie is relevant?
7. Wanneer moet de informatie beschikbaar zijn?

De secundaire informatiebehoefte heeft betrekking op de praktische informatie die beschikbaar moet zijn om het vervolg van het stappenplan met succes te doorlopen:

1. Hoe moet de informatie uit de data worden verkregen?
2. Hoe moet de toekomstige meetfrequentie worden bepaald?
3. Welke lokale omstandigheden kunnen een rol van betekenis spelen?
4. Welke andere meetnetten zijn van belang? Welke afstemming is noodzakelijk?
5. Wat is de financiële structuur van het (huidige) monitoren?
6. Wat is de logistieke structuur van het (huidige) monitoren?

Deze vragen zullen veelal extra werkzaamheden met zich meebrengen (stap II). De secundaire informatiebehoefte kan dan ook gezien worden als een actiepuntenlijst: wie moet welke praktische informatie opzoeken?

In het vervolg van de behandeling van deze stap wordt op bovenstaande vragen ingegaan.

3.1.1 DE PRIMAIRE INFORMATIEBEHOEFTE

3.1.1.1 WAT IS DE MEETDOELSTELLING?

Het waterkwaliteitsbeleid is gebaseerd op informatie omtrent de waterkwaliteit. Voor adequaat beleid dient relevante informatie beschikbaar te zijn. Welke informatie beschikbaar moet zijn, ligt in het algemeen vast in de in het beleid genoemde doelstellingen en activiteiten.

Informatie kan op verschillende manieren ingewonnen worden. Voor sommige informatie zullen metingen moeten worden uitgevoerd. De informatiedoelstelling die samenhangt met metingen wordt in het algemeen de meetdoelstelling genoemd.

Tabel 3-1: Verband tussen beleid en meetdoelstelling

Beleid	meetdoelstelling
Gericht op algemene surveillance (o.a. wettelijke meetplicht):	<ul style="list-style-type: none"> ● normtoetsing; ● algemene kwaliteitsbeschrijving.
Gericht op maatregelen met betrekking tot diffuse bronnen (o.a. mestbeleid):	<ul style="list-style-type: none"> ● monotone trends; ● vrachten en balansen.
Gericht op specifieke lokale maatregelen (o.a. sanering overstorten):	<ul style="list-style-type: none"> ● staptrends; ● vrachten en balansen.

De centrale vraagstelling in de optimalisatie van het meetnet is: wat is het doel van de metingen en welke informatie moet de toekomstige meetinspanning opleveren?

De in Nederland relevante doelstellingen met betrekking tot routinematig meten zijn weergegeven in Tabel 3-1. De vertaling van de beleidsrelevante informatiebehoefte in een meetdoelstelling en in een meetplan is in zijn algemeenheid de beantwoording van de volgende vraag: wat moet waar, hoe vaak, hoe lang gemeten worden om nauwkeurig de benodigde hoeveelheid informatie te verkrijgen? Alle aspecten van deze vraag zullen in het stappenplan aan de orde komen.

3.1.1.2 VOOR WELK MEETCOMPARTIMENT GELDT DEZE MEETDOELSTELLING?

Afhankelijk van het beleid en de informatiebehoefte moet het meetcompartiment (oppervlaktewater, sediment, drainwater, slib, biota) gekozen worden. In het kader van deze rapportage wordt ervan uitgegaan dat de benodigde informatie gewonnen wordt uit standaard fysisch-chemische metingen (het huidige routinematige fysisch-chemisch monitoringprogramma). Het strekt echter tot aanbeveling bij concrete maatregelen de mogelijkheden van andere compartimenten te evalueren. Zeker met betrekking tot (organische) microverontreinigingen kan het alleen al uit analytisch oogpunt voordelig zijn een ander meetcompartiment te kiezen.

3.1.1.3 OP WELKE MEETPUNTEN MOET GEMETEN WORDEN?

Niet elke meetdoelstelling is relevant voor elk meetpunt. In het algemeen kan al een voorselectie van relevante meetpunten gemaakt worden (Tabel 3-2). De doelstelling van deze voorselectie is om overbodige werkzaamheden te voorkomen en de overzichtelijkheid te vergroten.

Het spreekt voor zich dat de in deze paragraaf genoemde voorbeelden niet algemeen geldend zijn. Voorts zal de keuze van meetpunten in dit stadium van de meetnetoptimalisatie nog niet definitief zijn. Aangezien het a priori niet duidelijk is voor welke meetpunten de meetdoelstellingen realiseerbaar zijn, moeten alleen die meetpunten die zeker niet relevant zijn in het vervolg buiten beschouwing gelaten worden. Alle gelijkwaardige meetpunten moeten bij de vervolganalyse betrokken worden. Op basis van andere criteria kan in een later stadium een verdere beperking plaatsvinden. In sommige gevallen zijn bijvoorbeeld verschillende, voor een bepaalde meetdoelstelling in principe gelijkwaardige meetpunten beschikbaar, terwijl er geen behoefte bestaat aan alle meetpunten in het uiteindelijke meetnet. In dit stadium kan aangegeven worden of er groepen (clusters) van meetpunten zijn waarvan uiteindelijk slechts één of enkele meetpunt(en) in het meetnet opgenomen moeten worden. Uit dergelijke groepen meetpunten worden uiteindelijk die

meetpunten in het meetnet opgenomen op basis waarvan de gewenste informatie op de meest eenvoudige en/of meest kosteneffectieve wijze kan worden verkregen.

Tabel 3-2: Meetdoelstelling en meetpuntkeuze

Meetdoelstelling	meetpuntkeuze
Normtoetsing:	Alleen die meetpunten zijn interessant die representatief zijn voor de omgeving. Om een gebiedsbeeld te verkrijgen moet de meetnetdichtheid uitgewogen zijn (hfdst. 6) - overeenkomsten tussen meetpunten kunnen een onevenwichtig totaalbeeld opleveren.
Algemene kwaliteitsbeschrijving:	Zie normtoetsing.
Monotone trends (autonome, met het landelijke/mondiale beleid samenhangende ontwikkelingen):	Meetpunten moeten representatief zijn voor een groter gebied en mogen niet sterk beïnvloed worden door lokale omstandigheden, bijvoorbeeld door lozingen of overstortingen.
Staptrends (effecten van lokaal beleid):	Alleen de meetpunten zijn interessant waarop het lokale beleid direct of indirect effect kan hebben. Het effect van lokaal beleid manifesteert zich op relatief kleine tijdschaal. Het ligt daarom voor de hand projectmatig te meten. De invulling van meetcampagnes voor staptrends moet worden ingevuld, voordat de maatregelen zijn uitgevoerd. Het is zinvol om behalve de relevante meetpunten ook referentiemeetpunten te bemeten.
Vrachten en balansen:	Alleen meetpunten op in- en uitlaatpunten van (deel)gebieden zijn van belang.

3.1.1.4 WELKE VARIABELEN MOETEN GEMETEN WORDEN?

De huidige monitoringsituatie houdt geen rekening met het belang van verschillende variabelen voor het beleid. Toch kan het variabelenpakket op grond van de meetdoelstelling in het algemeen beperkt worden (Tabel 3-3). Het spreekt voor zich dat genoemde voorbeelden niet algemeen geldend zijn. De keuze van variabelen is in grote lijnen maatwerk en afhankelijk van de lokale omstandigheden en mogelijkheden.

De keuze van de variabelen in dit stadium van de meetnetoptimalisatie hoeft niet definitief te zijn. Aangezien het a priori niet duidelijk is voor welke variabelen de meetdoelstellingen realiseerbaar zijn, moeten alleen die variabelen die zeker niet relevant zijn in het vervolg buiten beschouwing gelaten worden. Gelijkwaardige variabelen moeten alle bij de vervolganalyse betrokken worden. Op basis van bijvoorbeeld het gemak waarmee informatie met behulp van de variabelen verzameld kan worden, kan in een later stadium een verdere beperking plaatsvinden.

Bijvoorbeeld:

Totaalstikstof en nitraat kunnen beide geschikt zijn om het effect van de mestwetgeving te onderzoeken. Op statistische gronden kan het echter zijn dat de vereiste nauwkeurigheid met veel minder metingen bereikt kan worden als nitraat gemeten wordt in plaats van totaalstikstof. Een voorbarige keuze voor totaalstikstof leidt dientengevolge tot een duur, inefficiënt meetnet.

Tabel 3-3: Meetdoelstelling en variabelenkeuze

Meetdoelstelling	variabelenkeuze
Normtoetsing:	<ul style="list-style-type: none"> alleen die variabelen zijn interessant waarvoor ook duidelijke normen zijn opgesteld.
Algemene kwaliteitsbeschrijving:	<ul style="list-style-type: none"> alleen algemene indicatorvariabelen zijn relevant (een kwaliteitsbeschrijving wordt in het algemeen niet bepaald door 'detailvariabelen').
Monotone trends (autonome, met het landelijke/mondiale beleid samenhangende ontwikkelingen):	<ul style="list-style-type: none"> in principe kunnen alle variabelen van belang zijn; voor toetsing van (inter)nationaal beleid is het aantal variabelen echter beperkt (bijv. mestwetgeving \Rightarrow meten van één of enkele stikstofcomponenten).
Staptrends (effecten van lokaal beleid):	<ul style="list-style-type: none"> alleen die variabelen zijn interessant waarop het lokale beleid direct of indirect effect kan hebben; door het projectmatige karakter van lokaal beleid ligt het voor de hand projectmatig te meten; om te beoordelen of het daadwerkelijk de uitgevoerde maatregel is, die het effect veroorzaakt, moet bij de meetcampagne een variabele betrokken worden die niet door de maatregel beïnvloed wordt; in sommige gevallen zal gecorrigeerd moeten worden voor beïnvloedende factoren (bijv. stroming); ook dit stelt specifieke eisen aan het variabelenpakket.
Vrachten en balansen:	<ul style="list-style-type: none"> alleen die variabelen zijn van belang waarop het emissie-, immissie-, of (inter)nationale beleid zich richt, bijvoorbeeld nutriënten in het kader van het Noordzeeverdrag.

Elke waterkwaliteitsvariabele heeft zijn eigen informatie. Voor het beleid kan het verschil tussen verschillende variabelen echter minder relevant zijn. Is het bijvoorbeeld voor een algemene omschrijving van de eutrofiëring noodzakelijk om alle gerelateerde fysisch-chemische variabelen te meten? In dergelijke gevallen kunnen eisen gesteld worden aan variabelenpakketten. In het uiteindelijke meetnet worden alleen die variabelen opgenomen die de meeste informatie opleveren. De doelstellingen van de a priori selectie van variabelen zijn het voorkomen van overbodige werkzaamheden en het vergroten van de overzichtelijkheid.

Bijvoorbeeld:

Van alle eutrofiëringsvariabelen worden de drie meest geschikte voor een specifieke meetdoelstelling in het meetplan opgenomen. Als aanvullende eis kan gelden dat één fosfaat- en één stikstofgerelateerde variabele deel uitmaakt van de selectie. Per meetpunt kan een variabelenpakket voor eutrofiëring worden samengesteld dat ideaal is afgestemd op de informatiebehoefte.

3.1.1.5 HOE BETROUWBAAR MOET DE INFORMATIE ZIJN?

Om een meetnet in te richten moet a priori vastgesteld worden met welke nauwkeurigheid of betrouwbaarheid de informatie beschikbaar moet zijn. Elke toets of berekende grootte is namelijk met een zekere statistische onnauwkeurigheid behept. Foute conclusies op basis van de meetgegevens zijn daardoor onvermijdbaar. Er wordt natuurlijk naar gestreefd om zo min mogelijk foute conclusies te trekken.

In de statistiek wordt nauwkeurigheid in het algemeen omschreven door de betrouwbaarheid $1-\alpha$. De betrouwbaarheid is de kans dat een hypothese terecht wordt aangenomen. De kans dat de hypothese terecht verworpen wordt is het onderscheidend vermogen $(1-\beta)$. Voor een uitgebreide beschrijving van de genoemde termen wordt verwezen naar deel 2.

In het waterkwaliteitsbeheer wordt in het algemeen een betrouwbaarheid $(1-\alpha)$ van 0.9 aangehouden. Indien een onderscheidend vermogen ook gedefinieerd kan worden, wordt veelal 0.8 aangehouden.

Ook in het geval dat de meetresultaten niet aan hypothesen getoetst worden is het noodzakelijk een betrouwbaarheid $(1-\alpha)$ te definiëren. Als geen hypothesen getoetst worden, moet de meetinspanning erop gericht zijn dat de metingen de werkelijke situatie zo goed mogelijk benaderen: het gemeten gemiddelde mag bijvoorbeeld niet te sterk afwijken van het werkelijke gemiddelde. Oftewel bij een zekere betrouwbaarheid mag de werkelijkheid niet sterker afwijken van de berekening dan een nader te definiëren streefwaarde.

3.1.1.6 WELKE 'HOEVEELHEID' INFORMATIE IS RELEVANT?

Een belangrijk onderdeel van de definitie van de informatiebehoefte is het kwantificeren van de informatiebehoefte. Welke informatie is relevant voor het beleid? In de praktijk blijkt het meestal niet mogelijk te zijn deze hoeveelheid op voorhand te definiëren. Analyse van historische data levert vaak enige houvast bij het definiëren van de informatiebehoefte. Het kwantificeren van de informatiebehoefte komt daarom pas in stap IV aan de orde, nadat in stap III de data zijn geanalyseerd.

3.1.1.7 WANNEER MOET DE INFORMATIE BESCHIKBAAR ZIJN?

Voor de berekening van de meetfrequentie of het aantal metingen dat noodzakelijk is om bepaalde informatie te vergaren, moet bekend zijn op welke termijn de metingen moeten worden uitgevoerd. Hiervoor bestaan, afhankelijk van de meetdoelstelling, verschillende mogelijkheden (Tabel 3-4).

Tabel 3-4: Meetdoelstelling en tijdsbestek

Meetdoelstelling	tijdsbestek
Normtoetsing:	<ul style="list-style-type: none"> ● seizoen (zomer); ● jaar.
Algemene kwaliteitsbeschrijving:	<ul style="list-style-type: none"> ● seizoen (zomer); ● jaar; ● meerdere jaren.
Monotone trends (autonome, met het landelijke/mondiale beleid samenhangende ontwikkelingen):	<ul style="list-style-type: none"> ● meest gangbaar: 10 jaar.
Staptrends (effecten van lokaal beleid):	<ul style="list-style-type: none"> ● afhankelijk van het beleid; in het algemeen enkele jaren voor en na de implementatie van maatregelen.
Vrachten en balansen:	<ul style="list-style-type: none"> ● seizoen; ● periode; ● jaar.

Aanvullende randvoorwaarden kunnen vanuit de statistiek gelden. Zo is voor een betrouwbare berekening van een langjarige trend een meetreeks van tenminste 5 jaar een vereiste. Om een nauwkeurige schatting van de historische spreiding te kunnen maken, mag er in de periode waarop de meetreeks betrekking heeft, geen trendbreuk in de meetreeks aanwezig zijn.

Op de verschillende aspecten van tijdschalen wordt in de relevante hoofdstukken per meetdoelstelling ingegaan.

3.1.2 DE SECUNDAIRE INFORMATIEBEHOEFTE

3.1.2.1 HOE MOET DE INFORMATIE UIT DE DATA WORDEN VERKREGEN?

Om de toekomstige data om te zetten in informatie zullen de gegevens verwerkt moeten worden. In veel gevallen zal dit samengaan met het toetsen van hypothesen.

De verwerkingsmethode hangt af van de meetdoelstelling en ligt dus in grote lijnen vast (Tabel 3-5). Meestal bestaan er verschillende verwerkingsmethoden (toetsen) die aansluiten op de tekstuele beschrijving van de verwerkingsmethode in de tabel. Welke verwerkingsmethode het meest geschikt is hangt af van de karakteristieken van de data (deel 2). In Tabel 3-5 staan de beste verwerkingsmethoden voor verschillende informatiebehoeften.

Tabel 3-5: Meetdoelstelling en verwerkingsmethode

Meetdoelstelling	verwerkingsmethode
Normtoetsing:	<ul style="list-style-type: none"> ● berekening van de kans dat de data aan de gestelde normen voldoen; ● (statistisch) toetsen of aan de norm wordt voldaan.
Algemene kwaliteitsbeschrijving:	<ul style="list-style-type: none"> ● (nauwkeurig) berekenen en/of toetsen van kengetallen.
Monotone trends (autonome, met het landelijke/mondiale beleid samenhangende ontwikkelingen):	<ul style="list-style-type: none"> ● berekenen en toetsen van monotone trends.
Staptrends (effecten van lokaal beleid):	<ul style="list-style-type: none"> ● berekenen en toetsen van staptrends (verschillen tussen deelreeksen).
Vrachten en balansen:	<ul style="list-style-type: none"> ● (nauwkeurig) berekenen en toetsen van vrachten.

3.1.2.2 HOE MOET DE TOEKOMSTIGE MEETFREQUENTIE BEPAALD WORDEN?

De informatie die uit data verkregen wordt (bijv. de toekomstig te detecteren trend), hangt onder meer af van het aantal waarnemingen. Indien de meetfrequentie (n) deel uitmaakt van de wiskundige formule van de betreffende statistische verwerkingsmethode, dan kan deze formule in beginsel worden opgelost naar n . Dit geeft een goede indruk van de toekomstige meetfrequentie die nodig is om een bepaalde hoeveelheid informatie te verkrijgen. Echter, in sommige gevallen ontbreekt het aantal data in de wiskundige formule die voor de dataverwerking wordt gebruikt. In voorkomende gevallen dat andere aanvullende methoden noodzakelijk zijn.

De keuze van de methode om de meetfrequentie te berekenen, ligt in het algemeen vast door de meetdoelstelling. Op basis van de formule voor de berekening is duidelijk welke grootheden nog onbekend zijn: onafhankelijk van de gekozen methode zal dit op zijn minst de toekomstige variabiliteit van de data zijn en eventueel ook in hoeverre toekomstige data onderling afhankelijk zijn. Meestal bestaan er verschillende verwerkingsmethoden (toetsen) die aansluiten op de tekstuele beschrijving van de verwerkingsmethode in de tabel. Welke verwerkingsmethode het meest geschikt is, hangt af van de karakteristieken van de data. In Tabel 4-5 wordt uitgebreid ingegaan op de beste verwerkingsmethoden voor verschillende informatiebehoeften.

3.1.2.3 WELKE LOKALE OMSTANDIGHEDEN KUNNEN EEN ROL VAN BETEKENIS SPELEN?

Om de geschiktheid van meetpunten en variabelen met betrekking tot meetdoelstellingen te beoordelen, is het noodzakelijk inzicht te hebben in de verschillende beïnvloedende factoren (en het relatieve belang), waaronder:

- lozingen (volume, variantie, kwaliteit);
- overstortingen (volume, variantie, kwaliteit);
- landbouw en overige diffuse bronnen (omvang, type, etc.);
- beleid ten aanzien van hydrologie (inlaatbeheer: volume, variantie en kwaliteit van ingelaten en uitgeslagen water);
- watertype en -functie;
- kwel (volume, variantie, kwaliteit).

3.1.2.4 WELKE ANDERE MEETNETTEN ZIJN VAN BELANG? WELKE AFSTEMMING IS NOODZAKELIJK?

In dit kader moet onderzocht worden in hoeverre op meetpunt- en variabelenniveau afstemming gezocht kan worden met andere meetdoelstellingen en andere meetnetten. Om tot een dergelijke afstemming te komen moeten de overige meetnetten in kaart gebracht worden, en moeten hun eventuele eisen ten aanzien van meetfrequenties en variabelenpakketten geïnventariseerd worden. Men kan denken aan de volgende meetnetten: oppervlaktewaterkwantiteitsmeetnetten, eco(toxico)logisch meetnet en grondwaterkwantiteits- en kwaliteitsmeetnetten.

3.1.2.5 WAT IS DE FINANCIËLE STRUCTUUR VAN HET HUIDIGE MONITOREN?

Bij de optimalisatie van een meetinspanning zal soms blijken dat het budget limiterend is. In dat geval moet een bestedingsschema voor de beschikbare middelen opgesteld worden. Uitgangspunt hierbij is dat de gewenste informatie zo kostenefficiënt mogelijk verzameld wordt of dat een beperkte hoeveelheid middelen maximale informatie oplevert. Aangezien het budget niet per definitie limiterend is, is het opstellen van een bestedingsschema optioneel. De discussie over een dergelijk schema wordt daarom later in het optimalisatieproces gevoerd: een uitgebreide beschrijving van bestedingsschema's komt daarom pas in stap VII aan de orde.

Om aan te geven wat de financiële consequenties van het meetnet zijn, moet de financiële structuur van het monitoren in kaart worden gebracht. De belangrijkste aspecten van de financiële kaders passeren hieronder de revue⁴.

De belangrijkste kosten die met routinematige monitoring samenhangen zijn monstername- en analysekosten. De kosten voor planning, data-opslag, numerieke data-analyse en rapportage zijn uit oogpunt van meetnetoptimalisatie minder of niet relevant. In het algemeen worden de kosten voor monstername en analyse uitgedrukt in ILOW-punten (ILOW staat voor Integraal Laboratorium Overleg Waterkwaliteitsbeheerders). Afhankelijk van het laboratorium komt een ILOW-punt overeen met een zekere geldhoeveelheid.

Kosten voor monstername

De kosten voor monstername zijn niet apart gespecificeerd, maar geïntegreerd met de analysekosten per variabele. Als een compleet variabelenpakket geanalyseerd wordt, worden de kosten voor transport volledig gedekt. In een optimaal meetnet zal echter niet bij elke monstername een volledig variabelenpakket geanalyseerd worden, waardoor een onderschatting van de kosten optreedt. Om met dit aspect rekening te houden moeten in het ideale geval de kosten voor monstername apart gespecificeerd worden. Als dit niet mogelijk is, kan tijdens de optimalisatie financiële ruimte gereserveerd worden, door bijvoorbeeld 10% van het budget te reserveren voor monstername.

Kosten monsteranalyse

Zoals reeds vermeld, worden de analysekosten per variabele uitgedrukt in ILOW-punten. Hierbij wordt rekening gehouden met de analysemethode. Algemeen uitgangspunt daarbij is dat steeds het volledige variabelenpakket geanalyseerd wordt. Dit houdt in dat verschillende variabelen die op hetzelfde apparaat in dezelfde *run* geanalyseerd worden, qua kosten aan elkaar zijn gekoppeld. Als één van de variabelen niet gemeten wordt, nemen de totale kosten niet (noemenswaardig) af. Indien slechts één variabele geanalyseerd wordt, worden de kosten op basis van het ILOW-systeem onderschat. Voor de optimalisatie is het dientengevolge noodzakelijk kennis omtrent de variabelenpakketten per analyseapparatuur te hebben. Door de kosten per variabele te splitsen in vaste apparaatkosten en specifieke variabelenkosten kan tijdens de optimalisatie rekening gehouden worden met variabelenpakketten per analyseapparatuur. Een makkelijkere oplossing is de variabelenpakketten per analyseapparatuur te beschouwen als één enkele variabele: alle variabelen worden elke keer op het apparaat geanalyseerd. In dit geval moet de informatie-opbrengst per apparaat berekend worden (bijv. als som van de per variabele individuele informatie-opbrengsten). Als voor veel variabelen al de maximale informatie verzameld wordt, zullen geen extra middelen naar het meetpunt gealloceerd worden: deze methode is daardoor niet geheel optimaal - in het licht van alle overige (statistische) benaderingen is dit echter niet relevant.

Sommige variabelen worden berekend uit andere, geanalyseerde variabelen. In voorkomende gevallen bedragen de analysekosten 0 (nul) ILOW-punten. Het spreekt voor zich dat de variabelen waaruit de waarde berekend wordt, wel geanalyseerd moeten worden. De werkelijke kosten voor de variabele zijn dus feitelijk de opgetelde kosten van alle variabelen die voor de berekening (nog) geanalyseerd moeten worden.

Overige mogelijke kosten:

- kosten voor de aanleg van een nieuw meetpunt inclusief apparatuur (bijv. voor vrachtbepaling);
- kosten voor de eventuele uitbreiding van de capaciteit monstername;
- kosten voor de eventuele uitbreiding van de laboratoriumcapaciteit.

⁴ Aangezien logistieke problemen veelal financiële oplossingen hebben, moeten deze ook in het kader van de financiële structuur beschouwd worden.

Bepaling beschikbaar budget

Bij de optimalisatie van een meetnet worden middelen steeds naar die meetpunt/variabele-combinaties gealloceerd die de meeste informatie opleveren. De besteding of allocatie van middelen is echter niet onbeperkt. Om drie redenen kan de besteding van middelen stoppen:

1. Verdere besteding levert geen relevante informatie op (Figuur 3-4, pag. 30).
2. De informatie-opbrengst per bestede gulden valt beneden een aangegeven minimum (Figuur 3-4, pag. 30).
3. Het budget is besteed.

In het kader van de analyse van de kostenaspecten is alleen het te besteden budget relevant. In het algemeen is niet duidelijk hoeveel middelen beschikbaar zijn. Aangezien de kosten veelal niet mogen stijgen, kan de huidige bestedingsruimte als leidraad voor de optimalisatie dienen. De huidige bestedingsruimte kan eenvoudig berekend worden uit de meetinspanning van het afgelopen jaar, uitgaande van het ILOW-puntensysteem: de som van het aantal metingen per variabele maal het betreffende aantal ILOW-punten.

3.1.2.6 WAT IS DE LOGISTIEKE STRUCTUUR VAN HET (HUIDIGE) MONITOREN?

De rekenkundige optimalisatie van de meetfrequentie stoort zich niet aan praktische en juridische randvoorwaarden wat betreft de meetfrequentie. Om de praktische uitvoerbaarheid van een geoptimaliseerd meetnet te waarborgen moet a priori onder meer kennis omtrent de juridische en praktische randvoorwaarden met betrekking tot meetfrequenties beschikbaar zijn. Concreet moet het volgende bekend zijn:

1. Welke minimale meetfrequenties (per variabele en meetpuntfunctie) zijn van overheidswege verplicht?

In verband met de normstellingen zijn voor sommige waterkwaliteitsvariabelen minimale meetfrequenties verplicht. Voordat tot optimalisatie wordt overgegaan, moet in kaart gebracht zijn voor welke variabelen en meetpunten dergelijke verplichtingen bestaan. Het moet duidelijk worden op welke meetpunten (voor welke variabelen) speelruimte bestaat tijdens de optimalisatie.

2. Wat is de minimaal aan te houden meetfrequentie?

Bij de berekening van de minimale meetfrequentie wordt geen rekening gehouden met seizoensinvloed (periodiciteit, deel 2). Indien er sprake is van periodiciteit en er niet in elke periode gemeten is, is de uiteindelijk berekende trend niet representatief voor het gehele jaar. In hoeveel perioden een jaar ingedeeld moet zijn en hoeveel metingen dus verricht moeten worden, is mogelijk een punt van discussie. Moet bijvoorbeeld per half jaar of per kwartaal (of nog anders) gemeten worden? Geadviseerd wordt een minimale meetinspanning van één meting per kwartaal, en wel om de volgende redenen:

- seizoenseffecten worden gewoontegetrouw geïdentificeerd binnen kwartalen;
- om binnen afzienbare termijn over een toetsbare meetreeks te kunnen beschikken, zijn kwartaalmetingen te beschouwen sla minimum meetfrequentie⁵.

3. Wat is de maximaal haalbare meetfrequentie en monsternamerefrequentie?

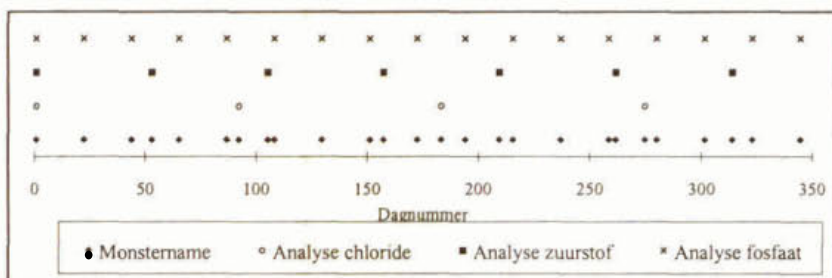
Het is niet noodzakelijk dat elke keer als een monster genomen wordt, alle variabelen gemeten worden. Dit betekent dat er onderscheid gemaakt moet worden tussen de monsternamerefrequentie en de meetfrequentie.

⁵ Bij weinig data moet voorzichtig omgegaan worden met opgegeven kritieke toetsingswaarden.

Onbeperkt meten is praktisch onhaalbaar en door afnemende meeropbrengsten inefficiënt. Welke monsternamenamefrequentie maximaal haalbaar is, hangt af van de capaciteit voor het nemen van monsters. Welke meetfrequentie maximaal haalbaar is hangt af van de capaciteit voor de analyse. Als de voor een bepaalde doelstelling minimaal benodigde meetfrequentie (Figuur 3-4, pag. 30) hoger is dan de maximaal haalbare meetfrequentie, dan is de betreffende meetpunt/variabelecombinatie ongeschikt voor de meetdoelstelling en moet deze buiten beschouwing worden gelaten.

4. Welke (combinaties van) meetfrequenties zijn praktisch uitvoerbaar?

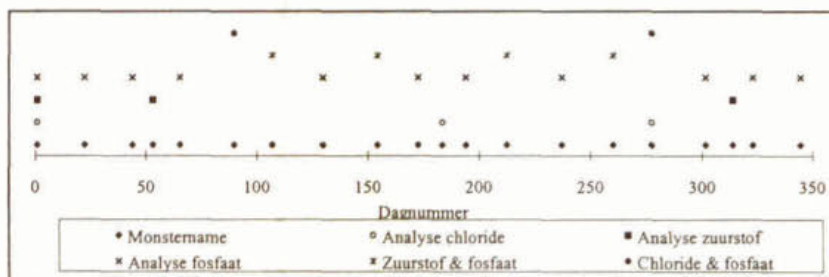
Als geen restricties aan de mogelijke meetfrequenties opgelegd worden, zal de variatie in de meetfrequenties per variabele en meetpunt groot zijn. Op meetpunt A zal bijvoorbeeld chloride 4, zuurstof 7 en fosfaat 17 keer per jaar gemeten moeten worden en op het vol-



Figuur 3-1: Monsternameschema indien alle meetfrequenties toelaatbaar zijn en exact op de aangegeven dagen (equidistant) gemeten wordt (illustratie)

gende meetpunt (B) zijn deze frequenties 5, 6 en 13. Aangezien de berekening van de meetfrequentie en de trendanalyse methodiek ervan uitgaan dat de metingen gelijkmatig in de tijd (equidistant, deel 2) genomen worden, resulteert dit in een onwerkbaar situatie. Alleen al meetpunt A moet 26 keer bezocht worden om een monster te nemen: 1 keer voor alle variabelen, 3 keer voor uitsluitend chloride, 6 keer voor uitsluitend zuurstof en 16 keer voor uitsluitend fosfaat. Voor meetpunt A is dit geïllustreerd in Figuur 3-1. De onderste rij in deze figuur (◆) geeft aan op welke dagen monsters genomen moeten worden. De rijen hierboven geven aan welke analyses op de individuele monsters uitgevoerd worden.

Bij meerdere meetpunten en variabelen wordt dit complexer, zodat het theoretisch optimale meetnet onwerkbaar is (en dus niet optimaal). Wanneer de eis voor equidistante metingen in de tijd soepeler wordt gehanteerd, bijvoorbeeld door slechts een monster te nemen indien analyses minder dan 7 dagen uiteen liggen, dan neemt de monsternamenamefrequentie in bovenstaand voorbeeld af tot 20 (Figuur 3-2).



Figuur 3-2: Monsternameschema indien een monster representatief geacht wordt voor analyses waartussen maximaal zeven dagen liggen (illustratie)

Door slechts enkele meetfrequenties toe te staan, kan het probleem van een 'onwerkbaar' meetprogramma worden voorkomen. Stelregel daarbij is dat de maximaal haalbare bezoekfrequentie

een geheel veelvoud is van alle mogelijke (en toelaatbare) meetfrequenties⁷. Voor de hand liggende, toelaatbare meetfrequenties zijn opgenomen in Tabel 3-6.

Tabel 3-6: *Jaarlijkse, voor de hand liggende en praktisch uitvoerbare meetfrequenties*

Maximale bezoek-frequentie	toelaatbare meetfrequenties
8	2, 4, 8
12	2, 3, 4, 6, 12
24 (26 ⁶)	2, 3, 4, 6, 8, 12 (13 ⁶), 24 (26 ⁶)
16	2, 4, 8, 16
48 (52 ⁶)	2, 3, 4, 6, 8, 12 (13 ⁶), 16, 24 (26 ⁶), 48, (52 ⁶)

5. Welke variabelen zijn aan elkaar gekoppeld?

De analyse van sommige variabelen is onlosmakelijk met andere variabelen gekoppeld, bijvoorbeeld doordat de analyseapparatuur verschillende variabelen simultaan meet (bijv. PO_4^{3-} , NH_4^+ , en $\text{NO}_3^- + \text{NO}_2^{2-}$ op een autoanalyzer) of doordat de variabele afgeleid wordt uit andere variabelen (ammoniak, veelal totaalstikstof). Bij de optimalisatie moet hiermee rekening gehouden worden, verschillende meetfrequenties voor gekoppelde variabelen zijn niet zinvol.

3.2 VERZAMELEN INFORMATIE (STAP II)

Na de definitie van de informatiebehoefte in stap I moet de diverse (relevante) informatie verzameld worden. Hierbij gaat het met name om informatie die onder de secundaire informatiebehoefte is vermeld. Veel praktische informatie zal reeds beschikbaar zijn of zonder veel werkzaamheden verzameld kunnen worden.

De keuze van de verwerkingsmethode van toekomstige data en de methode voor het berekenen van de toekomstige meetfrequentie liggen in het algemeen vast. Om op basis van de formule voor de berekening van meetfrequenties daadwerkelijk meetfrequenties te berekenen zal ook informatie verzameld moeten worden over de *toekomstige* variabiliteit en eventueel de *toekomstige* onderlinge afhankelijkheid van de data. Ervan uitgaande dat variabiliteit en afhankelijkheid onafhankelijk zijn van de tijd (ze zijn dus constant) is de variabiliteit en afhankelijkheid van het verleden een goede schatter van deze grootheden voor de toekomst. De analyse van historische meetgegevens levert de benodigde statistische kengetallen voor meetnetoptimalisatie.

Een goede leidraad voor het kwantificeren van de informatiebehoefte in stap IV is de informatie die in historische data zit. Historische data kunnen een goede indruk geven van wat er in de praktijk voorkomt, bijvoorbeeld welke trends in de praktijk optreden en significant aangetoond kunnen worden.

Voor optimalisatie van een meetnet is de beschikbaarheid van historische gegevens dus van wezenlijk belang. De historische meetgegevens moeten in deze stap dan ook verzameld worden.

Indien bij de optimalisatie ook variabelen waarvan en meetpunten waarvoor nog geen metingen beschikbaar zijn betrokken worden, moeten de benodigde kengetallen op andere wijze geschat worden. Hiervoor zijn (combinaties van) verschillende methoden beschikbaar, waaronder:

- extrapolatie van andere, op basis van andere kennis vergelijkbare, meetpunten (variabelen);
- *worst case*-scenario door de meest ongunstige schattingen uit het routinematige meetnet te gebruiken;
- projectstudie.

⁶ Kleine afwijkingen van equidistante tijdreeksen worden (om praktische redenen) toelaatbaar geacht.

⁷ Bijvoorbeeld: als de maximale bezoek- en analysefrequentie 12 per jaar bedraagt, dan kan voor een variabele een meetfrequentie van 6/jaar worden gehanteerd. Elke tweede keer dat een monster genomen wordt, wordt dit ook op deze variabele onderzocht.

De aanname over de toekomstige statistische kengetallen is alleen geldig als invloeden die bijvoorbeeld de variabiliteit beïnvloeden niet veranderd zijn (bijv. gewijzigde herkomst van het water, lozingen, en dergelijke). Er moet naar gestreefd worden een historische reeks te analyseren die representatief geacht kan worden voor de 'normale' toestand. Indien de variabiliteit in de historische data lager is dan de variabiliteit in de toekomst, worden de meetfrequenties onderschat. Dit betekent in het slechtste geval dat niet aan de minimale informatiebehoefte wordt voldaan.

3.3 ANALYSE HISTORISCHE DATA - BEREKENING NOODZAKELIJKE KENGETALLEN (STAP III)

De analyse van historische data heeft een tweeledige functie:

1. Bij het kwantificeren van de informatiebehoefte (stap IV) verstrekt de informatie die in de historische data ligt opgesloten, een beeld van de orde van grootte waaraan gedacht moet worden⁸. De meetperiode waarover deze data-analyse uitgevoerd moet worden is gelijk aan de meetperiode waarbinnen de toekomstige informatie verzameld moet worden. Als trends over 10 jaar gedetecteerd moeten gaan worden, moet een data-analyse uitgevoerd worden op de afgelopen 10 jaar om inzicht te krijgen in de grootte van trends over een periode van 10 jaar.
2. Voor het berekenen van de toekomstige meetfrequentie moeten statistische kengetallen beschikbaar zijn. Aangezien ervan uitgegaan wordt dat de geschatte statistische grootheden ook voor de toekomst gelden, kan niet een willekeurige meetperiode geanalyseerd worden. Schattingen kunnen beter gebaseerd worden op de data na de laatste plotselinge verandering. Aangezien incidentele uitbijters de schattingen sterk kunnen beïnvloeden, moet voorkomen worden dat uitbijters in de dataset aanwezig zijn. In de praktijk zijn de (parametrische) methoden om de meetfrequentie te berekenen sterk afhankelijk van uitbijters, terwijl voor de verwerking van de data gekozen kan worden voor een methode die niet door uitbijters wordt beïnvloed. In de jaren na optimalisatie zal regelmatig gecontroleerd moeten worden of de schattingen met de werkelijkheid overeenstemmen.

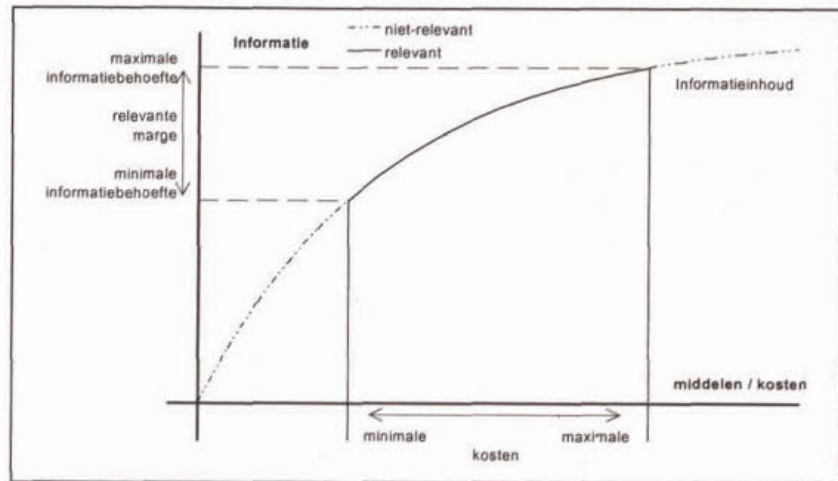
De analyse van historische data is in feite optioneel: indien er geen data beschikbaar zijn, kan de stap niet uitgevoerd worden.

3.4 KWANTIFICEREN MEETDOELSTELLING (STAP IV)

Om een meetnet te optimaliseren moet duidelijk zijn welke informatie de beleidsmaker verwacht. De definitie van de informatiebehoefte is uitermate belangrijk: indien de informatie die het meetnet in de toekomst oplevert niet relevant is voor het beleid, is de meetnetoptimalisatie mislukt. Bij de definitie van de informatiebehoefte draait alles om de term *relevant*: een meetstrategie is geslaagd als zij een zekere hoeveelheid beleidsrelevante informatie oplevert.

⁸ Na een trendanalyse van de historische data bijvoorbeeld wordt duidelijk of er in de toekomst daadwerkelijk een (monotone) trend te verwachten is.

De informatiebehoefte is in het algemeen niet in één getal uit te drukken: veel-
 eer is een beleidsmaker pas geïnteresseerd op het mo-
 ment dat een zekere mini-
 male hoeveelheid infor-
 matie (de minimale infor-
 matiebehoefte) verzameld
 wordt, en is hij niet meer
 geïnteresseerd zodra een
 maximale hoeveelheid in-
 formatie wordt overschre-
 den. De marge tussen deze
 grenzen wordt de relevante



Figuur 3-3: Relevante informatie

De samenhang tussen (relevante) informatie en kosten is geschetst in Figuur 3-3. In de volgende alinea's worden de verschillende termen nader toegelicht.

3.4.1 INFORMATIE-INHOUD

De informatie-inhoud is de hoeveelheid informatie die een dataset bevat. Wat dit precies is, hangt af van de meetdoelstelling (verwerkingsmethode): voor het bepalen van een gemiddelde kan bijvoorbeeld de informatie-inhoud een functie van de breedte van het 90% betrouwbaarheidsinterval zijn. In het algemeen zijn per meetdoelstelling meerdere uitdrukkingen voor de informatie-inhoud mogelijk.

De informatie-inhoud die een dataset bevat, is een functie van het aantal data. Niet elke meting bevat even veel informatie: naarmate meer metingen beschikbaar zijn, neemt de toegevoegde waarde van een extra meting af. Aangezien metingen een zekere financiële inspanning vergen, geldt daarom dat naarmate meer geïnvesteerd wordt, de toegevoegde waarde per gulden lager is.

Op zuiver statistische gronden kan aangetoond worden, dat de hoeveelheid informatie die een oneindige dataset kan bevatten, gelimiteerd is: er is een grens aan nauwkeurigheid.

3.4.2 MINIMALE INFORMATIEBEHOEFTE

De bovenstaande omschrijving van de informatie-inhoud houdt geen rekening met de informatiebehoefte van het beleid. Het beleid heeft echter een minimale behoefte aan informatie. De minimale informatiebehoefte is gedefinieerd als zijnde die hoeveelheid informatie die een meetstrategie moet opleveren, zodat de verkregen informatie relevant is of kan zijn voor beleid en beheer.

Twee voorbeelden:

1. Monotone trends in de zuurstofconcentratie van 5.0 mg/l.j zijn niet relevant aangezien het onwaarschijnlijk is dat deze optreden en als zij optreden, dit a priori bekend zal zijn en de meetinspanning hierop (projectmatig) afgestemd kan worden. Een trend van 0.5 mg/l.j is wellicht wel relevant.
2. De bepaling van het gemiddelde (of een vracht) is niet interessant op het moment dat het betrouwbaarheidsinterval rond het gemiddelde een veelvoud van het gemiddelde bedraagt. Op basis van kennis zoals: 'de gemeten vracht is 10 kg/jaar, de werkelijke vracht ligt tussen de 0 kg/jaar en 20 kg/jaar ($\pm 1 \times$ het gemiddelde)' zal vermoedelijk geen beleid geformuleerd worden anders dan "de vracht moet in de toekomst nauwkeuriger bepaald worden".

3.4.3 MINIMALE BENODIGDE MIDDELEN (MEETFREQUENTIE)

De minimale meetfrequentie is die meetfrequentie waarbij voor het beleid relevante minimale informatie met betrekking tot de meetdoelstelling verzameld wordt. Bij een lagere meetfrequentie is de informatie die - gegeven de meetdoelstelling - verzameld wordt, niet relevant (zie ook § 3.4.2).

3.4.4 MAXIMALE INFORMATIEBEHOEFTE

Behalve een zekere minimale informatiebehoefte bestaat ook de maximale informatiebehoefte: de maximale informatiebehoefte is die hoeveelheid informatie die een meetstrategie mag opleveren opdat de verkregen informatie relevant is of kan zijn voor beleid en beheer. De toegevoegde waarde van extra metingen is voor het beleid niet relevant.

Twee voorbeelden:

1. Monotone trends in de zuurstofconcentratie van 0.01 mg/l.j zijn niet relevant aangezien dergelijke trends geen invloed hebben op beheer en beleid.
2. De bepaling van het gemiddelde (of een vracht) is niet interessant op het moment dat het betrouwbaarheidsinterval rond het gemiddelde een zeer geringe fractie van het gemiddelde bedraagt. Voor de ondersteuning van beleid is een nauwkeurigheid van 0.1% in de meeste gevallen waarschijnlijk overdreven (afwijking van het gemeten t.o.v. het werkelijke gemiddelde).

3.4.5 MAXIMALE NUTTIGE MIDDELEN (MEETFREQUENTIE)

De maximale nuttige meetfrequentie is die meetfrequentie waarbij voor het beleid relevante maximale informatie met betrekking tot de meetdoelstelling verzameld wordt. Bij een hogere meetfrequentie is de informatie die - gegeven de meetdoelstelling - verzameld wordt, niet relevant (zie ook § 3.4.4).

3.4.6 INFORMATIE-OPBRENGST

De informatie-opbrengst is de toename in de hoeveelheid informatie bij een verhoging van de meetfrequentie, respectievelijk bij een verhoging van de kosten.

3.4.7 RELEVANTE MARGE

De relevante marge is de marge tussen de minimale en maximale informatiebehoefte.

Twee voorbeelden:

1. De relevante marge voor monotone trends in de zuurstofconcentratie is bijvoorbeeld 1.0-3.0 mg/l. 10j. [0.1-0.3 mg/l.j]. De meetstrategie moet zodanig ontworpen worden dat de minimaal detecteerbare trend tussen de 1.0 en 3.0 mg/l.10j ligt. Indien de minimaal detecteerbare trend 1.0 bedraagt kunnen alle beleidsrelevante trends worden gedetecteerd.

2. De relevante marge voor het gemiddelde van een concentratie is bijvoorbeeld 5-10% afwijking van het gemeten gemiddelde ten opzichte van het werkelijke gemiddelde. De meetstrategie moet erop gericht zijn deze gewenste nauwkeurigheid te halen⁹.

3.4.8 HET BEPALEN VAN DE RELEVANTE MARGE

Hoe moet de relevante marge worden ingevuld? Om deze vraag te beantwoorden moet allereerst bepaald worden wat er precies op de Y-as in Figuur 3-3 (pag. 25) is weergegeven. Wat is de te maximaliseren informatie? Wat voor de beantwoording van deze vraag voor de verschillende meetdoelstellingen op de y-as kan staan, is in Tabel 3-7 uiteen gezet.

Tabel 3-7: Eenheid van de informatie

Meetdoelstelling	informatiebehoefte
Normtoetsing:	<ul style="list-style-type: none"> • hoe betrouwbaarder de toetsingsuitkomst, des te hoger het informatiegehalte.
Algemene kwaliteitsbeschrijving:	<ul style="list-style-type: none"> • hoe betrouwbaarder het gemiddelde, des te hoger het informatiegehalte; • hoe kleiner het betrouwbaarheidsinterval, des te hoger het informatiegehalte.
Monotone trends (autonome, met het landelijke/mondiale beleid samenhangende ontwikkelingen):	<ul style="list-style-type: none"> • hoe betrouwbaarder de trend, des te hoger het informatiegehalte; • hoe kleiner de detecteerbare trend, des te hoger het informatiegehalte.
Staptrends (effecten van lokaal beleid):	<ul style="list-style-type: none"> • idem.
Vrachten en balansen:	<ul style="list-style-type: none"> • idem.

Daar waar in de tabel sprake is van 'hoe kleiner' komt maximalisatie van de informatie-opbrengst overeen met het minimaliseren van de grootte van de trend of het betrouwbaarheidsinterval. In de uitwerkingen per meetnetdoelstelling wordt uitgebreider op dit aspect ingegaan.

In het ideale geval weet de beheerder exact welke 'hoeveelheid' informatie relevant is. Zonder naar het verleden te kijken (of enige andere informatie met betrekking tot de informatiebehoefte) kan de beleidsmaker aangeven wat de relevante onder- en bovengrenzen zijn. Dit blijkt in het algemeen niet mogelijk. Men is geneigd 'alles' te willen weten: alle trends, hoe klein ook, moeten bijvoorbeeld gedetecteerd worden.

Als leidraad bij het formuleren van de relevante marge wordt daarom gewoonlijk gebruik gemaakt van de informatie die in de historische data zit: aan de hand van de historische trends wordt bijvoorbeeld gezien welke trends in de praktijk optreden en welke trendeisen redelijkerwijze gesteld kunnen worden. Op dit punt is het noodzakelijk aandacht te besteden aan de eenheid van trends. Wordt de relevante marge uitgedrukt in absolute trends, in relatie tot de normstelling, of in relatieve trends, ten opzichte van de historische dataset? Voor verschillende meetdoelstellingen staat in Tabel 3-8 vermeld waaraan de informatie (of relevante marge) gerelateerd kan worden.

⁹ Meetpunten die sterke fluctuaties vertonen (een hoge spreiding) zullen veelal ongeschikt zijn voor een informatiedoelstelling; de benodigde meetfrequenties zullen, onafhankelijk van de eenheden waarin de relevante marge is uitgedrukt, zeer hoog zijn.

Tabel 3-8: Meetdoelstelling en voorbeeld eenheid informatiebehoefte

Meetdoelstelling	eenheid informatiebehoefte
Normtoetsing:	<ul style="list-style-type: none"> • gerelateerd aan normstelling; • absolute waarde ten opzichte van gemiddelde of mediaan; • relatieve afwijking van het gemiddelde of mediaan.
Algemene kwaliteitsbeschrijving:	<ul style="list-style-type: none"> • absolute waarde ten opzichte van gemiddelde of mediaan; • relatieve afwijking van het gemiddelde of mediaan.
Monotone trends (autonome, met het landelijke/mondiale beleid; samenhangende ontwikkelingen):	<ul style="list-style-type: none"> • gerelateerd aan normstelling of streefbeeld; • absolute waarde ten opzichte van gemiddelde of mediaan; • relatieve afwijking van het gemiddelde of mediaan
Staptrends (effecten van lokaal beleid):	<ul style="list-style-type: none"> • absolute waarde ten opzichte van gemiddelde of mediaan; • relatieve afwijking van het gemiddelde of mediaan; • absolute waarde ten opzichte van gemiddelde of mediaan.
Vrachten en balansen:	<ul style="list-style-type: none"> • absolute waarde ten opzichte van gemiddelde of mediaan; • relatieve afwijking van het gemiddelde of mediaan.

Op de voor- en nadelen van de verschillende eenheden wordt in de gedetailleerde beschrijvingen per meetdoelstelling (hfdst. 4) ingegaan.

Op het moment dat de historische informatie als leidraad gebruikt wordt voor het bepalen van de relevante marge, dient er goed op gelet te worden dat de relevante marge bepaald wordt door de informatiebehoefte, en niet door de haalbaarheid van de gestelde eisen.

In theorie kan de informatiebehoefte op elk meetpunt en voor elke variabele verschillen. In de praktijk is het echter ondoenlijk om op een dergelijk detailniveau de informatiebehoefte te bepalen. Bovendien is de toekomstige evaluatie van de meetgegevens en het meetnet uitermate complex als overal andere eisen aan de informatie zijn gesteld. Vandaar dat ernaar gestreefd wordt om overal dezelfde eisen te stellen. Hierdoor wordt echter snel voorbijgegaan aan verschillen tussen variabelen of meetpunten.

Bijvoorbeeld:

Een verandering van 20 mg/l chloride is mogelijkwzijze interessant in zoet water, zeker niet in zout water. Een verandering van 5% ten opzichte van het gemiddelde is in beide milieus interessant.

3.5 HAALBAARHEIDSONDERZOEK INFORMATIEBEHOEFTE (STAP V)

Nadat de informatiebehoefte is gedefinieerd, moet gecontroleerd worden of de eisen haalbaar zijn. De haalbaarheid kan aan de hand van de volgende analyses bepaald worden:

1. Berekening van de te optimaliseren grootheid (bijv. de betrouwbaarheid of trend) bij de maximale meetinspanning. Alle meetpunt/variabele-combinaties die niet aan de minimale informatiebehoefte voldoen zijn in principe ongeschikt voor optimalisatie: zij worden niet bij de optimalisatie betrokken, aangezien zij bij geen enkele haalbare meetfrequentie relevante nauwkeurige informatie opleveren (ter illustratie, zie § 3.7.1, Figuur 3-4, pag. 30).

Indien deze situatie zich bij te veel meetpunt/variabele-combinaties voordoet, kan overwogen worden de minimale informatiebehoefte aan te passen (stap VI). Indien de haalbaarheid van de

minimale informatiebehoefte met name per meetpunt of per variabele onhaalbaar is, kan overwogen worden het aantal meetpunten of het variabelenpakket te beperken.

2. Berekening van de te optimaliseren grootte bij de minimale meetinspanning. Voor alle meetpunt/variabele-combinaties waarop de maximale informatiebehoefte al bij minimale meetinspanning bereikt wordt, is optimalisatie met behulp van een bestedingsschema overbodig. Als dit veelvuldig voorkomt, is herevaluatie van de informatiebehoefte zinvol: in de praktijk zal de maximale informatiebehoefte in het algemeen onderschat zijn.
3. Berekening van de minimale meetfrequentie die noodzakelijk is om aan de minimale informatiebehoefte te voldoen. Dit aantal geeft aan in hoeverre er ruimte is voor optimalisatie. Indien meer metingen nodig zijn om aan de minimale informatiebehoefte te voldoen dan tot nog toe zijn uitgevoerd, betekent dit dat extra geïnvesteerd moet worden. Als deze extra investeringen niet gecompenseerd worden door meetpunten die minder vaak bemeaten moeten worden dan tot nog toe, is er geen ruimte voor optimalisatie: reducties in meetfrequenties zijn onvoldoende om de meerkosten op andere meetpunten te dekken - er zullen of extra middelen beschikbaar gesteld moeten worden of er moet bezuinigd worden door variabelen of meetpunten te saneren of de informatie-eisen aan te passen.
4. In het verlengde van bovengenoemd punt 3. ligt de berekening van de voor optimalisatie beschikbare (totale) bestedingsruimte. Door de kosten van het meetnet dat juist aan de minimale informatiebehoefte voldoet, te vergelijken met het budget, kan bepaald worden in hoeverre geoptimaliseerd kan worden.
5. Vervolgens kan ook nog gekeken worden naar de informatie-inhoud, gegeven de huidige meetinspanning: hoe verhoudt zich de informatie-inhoud tot de informatiebehoefte. Als de informatie-inhoud in het algemeen rond de minimale informatiebehoefte ligt, is er weinig speelruimte voor optimalisatie (bij het huidige budget) en zal extra geïnvesteerd moeten worden om de maximale informatiebehoefte te benaderen. Indien de maximale informatiebehoefte regelmatig overschreden wordt, zijn eventueel bezuinigingen op de meetinspanning mogelijk.

3.6 BIJSTELLEN MEETDOELSTELLING (STAP VI)

Deze stap behelst aanpassing van de diverse keuzen die in de stappen I en IV zijn gemaakt. Op grond van de haalbaarheidsstudie kan bijvoorbeeld alsnog besloten worden:

1. Meetpunten en/of variabelen van de optimalisatie uit te sluiten omdat de informatie niet of alleen bij hoge meetfrequenties verzameld kan worden.
2. Meetpunten van de optimalisatie uit te sluiten omdat de informatie op een ander meetpunt gemakkelijker te verkrijgen is.
3. Variabelen van de optimalisatie uit te sluiten omdat de informatie met een andere variabele gemakkelijker te verkrijgen is.
4. Individuele meetpunt/variabele-combinaties van optimalisatie uit te sluiten omdat niet of alleen bij hoge meetfrequenties verzameld kan worden.
5. De eisen aan het betrouwbaarheidsinterval aan te passen aan de betrouwbaarheid.
6. De relevante marge aan te passen, eventueel per meetpunt/variabele-combinatie. Hierbij moet er voor zorg gedragen worden dat de relevante eisen nog wel afgestemd blijven op de informatiebehoefte van het beleid, en niet uitsluitend bepaald worden door de haalbaarheid van de informatie-eisen.
7. Eventueel: aanpassen van de termijn waarop de informatie beschikbaar moet zijn.

Deze stap is optioneel. Indien de informatiebehoefte overal haalbaar is, en de keuze van variabelen en meetpunten in stap I definitief is, kan deze stap worden overgeslagen.

3.7 BESTEDINGSSHEMA (STAP VII)

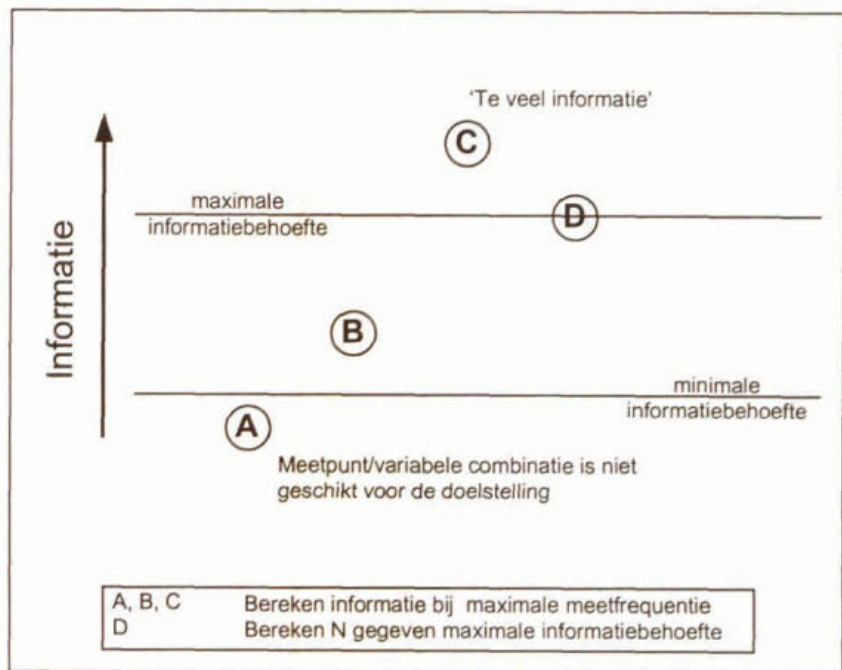
3.7.1 INLEIDING

Uitgaande van het concept van de relevante marge is een meetnet optimaal, als de informatie-opbrengst maximaal is. De informatie-opbrengst van een meetnet is optimaal, indien voor elke individuele meetpunt/variabele-combinatie de informatie-opbrengst maximaal is, dat wil zeggen: de maximale informatiebehoefte bereikt wordt (Figuur 3-3). In dat geval levert de besteding van extra middelen geen extra relevante informatie meer op.

Het ontwikkelen van een bestedingsschema is niet noodzakelijk indien er geen grenzen zijn aan het budget, of indien binnen het beschikbare budget niet overal aan de maximale informatiebehoefte kan worden voldaan.

Om te bepalen of de beschikbare middelen voldoende zijn, moet de kostenfunctie gedefinieerd zijn (zie secundaire informatiebehoefte, pag. 19). Voor de berekening van de benodigde middelen moeten de volgende stappen uitgevoerd worden:

1. Bereken voor de maximale meetfrequenties (pag. 21) de informatie-opbrengst (§ 3.7.2):
 - a) Indien de informatie-opbrengst lager is dan de minimale informatiebehoefte (Figuur 3-4, A) dan is de meetpunt/variabele-combinatie niet geschikt voor de betreffende meetdoelstelling. De hiervoor geldende meetinspanning is '0' of gelijk aan de minimale wettelijke of anderszins gedefinieerde meetinspanning.
 - b) Voor alle meetpunt/variabele-combinaties die bij de hoogste meetfrequentie nog niet aan de maximale informatiebehoefte voldoen, is de optimale meetfrequentie de hoogste meetfrequentie (Figuur 3-4, B).
 - c) Voor alle overige meetpunt/variabele-combinaties (Figuur 3-4, C) moet de praktisch werkbare meetfrequentie bepaald worden waarbij de maximale informatiebehoefte net overschreden wordt (Figuur 3-4, D).
2. Indien variabelen aan elkaar gekoppeld geanalyseerd worden, moeten de meetfrequenties hiervoor gecorrigeerd worden.



Figuur 3-4: Illustratie onderdelen bestedingsschema

3. Indien er sprake is van variabelen- of meetpuntpakketten, dus als van alle variabelen of meetpunten uiteindelijk slechts enkele in het meetnet worden opgenomen, dienen de verschillende varianten te worden doorgerekend.
4. Bereken voor elke meetpunt/variabele-combinatie de benodigde middelen.
5. Tel voor alle alternatieven alle middelen bij elkaar op en vergelijk deze met het budget (o.a. pag. 19)¹⁰.

Indien de middelen onvoldoende zijn, zijn er verschillende mogelijkheden:

1. De eerste mogelijkheid is het alsnog schrappen van meetpunt/variabele-combinaties op basis van een kosten-baten analyse. Sommige variabelen zijn bijvoorbeeld duur in vergelijking met andere. Als bovendien de meetfrequentie hoog moet zijn om aan de minimale meetfrequentie te voldoen kan men overwegen de variabele alsnog buiten beschouwing te laten (*de informatie is te duur*).
2. De tweede mogelijkheid behelst het toepassen van bestedingsalgoritmen, waardoor middelen zodanig over de meetpunt/variabele-combinaties worden verdeeld, dat de maximale informatie-behoefte zo goed en kostenefficiënt mogelijk benaderd wordt.

Om een bestedingsschema op te kunnen stellen moet kennis omtrent de kostenplaatsen, het budget en de (maximaal) mogelijke meetfrequenties beschikbaar zijn. Deze zijn volgens het stappenplan reeds eerder gedefinieerd (§ 3.1.2.5 en § 3.1.2.6). Daarnaast moet een wiskundige formule (algoritme) gedefinieerd worden, waarmee de (informatie-)opbrengst van een besteding of allocatie wordt beschreven. Het vervolg van deze paragraaf behandelt de verschillende berekeningswijzen van de informatie-opbrengst en 'stop'-criteria voor het bestedingsproces.

3.7.2 BESTEDINGSALGORITMEN

De optimalisatie van de meetinspanning draait om de besteding van middelen¹¹. Middelen worden steeds toegekend aan die meetpunt/variabele-combinatie waar de informatie-opbrengst per bestede gulden maximaal is. Om deze opbrengst te kunnen kwantificeren moet een definitie van de informatie-opbrengst beschikbaar zijn. De opbrengst aan informatie is het verschil tussen de hoeveelheid informatie na besteding (I_{na}) verminderd met de hoeveelheid informatie vóór besteding (I_{voor}). In zijn algemeenheid geldt de volgende formule:

$$\text{Informatieopbrengst} = \frac{I_{na} - I_{voor}}{\text{kosten}} \quad (1)$$

Voor verschillende doelstellingen kunnen (verschillende) kengetallen dienen voor de hoeveelheid informatie, bijvoorbeeld:

1. Normtoetsing: breedte van het betrouwbaarheidsinterval rond het gemiddelde (neemt af bij toenemend aantal metingen).
2. Trenddetectie: de nog wel detecteerbare trend (neemt af bij toenemend aantal metingen).
3. Vrachtbepaling: breedte van het betrouwbaarheidsinterval rond de vracht (neemt af bij toenemend aantal metingen).

¹⁰ Indien de kostenfunctie duidelijk omschreven is, waarbij onderscheid wordt gemaakt in monsternamen en analysekosten (en mogelijke andere posten), wordt bovenstaand stappenplan complexer.

¹¹ De optimalisaties worden uitgevoerd per meetdoelstelling. Afstemming tussen verschillende meetdoelstellingen geschiedt 'handmatig', door de verschillende doelstellingsgerichte meetnetten over elkaar te leggen, met budgetten te schuiven en optimalisaties per doelstelling te herhalen. Er is nog geen ervaring opgedaan met simultane bestedingen van middelen over verschillende meetdoelstellingen. Hiervoor is het noodzakelijk de informatie-opbrengst van verschillende doelstellingen met elkaar te kunnen vergelijken. Een mogelijke invalshoek hierbij is de maximalisatie van het onderscheidend vermogen of de betrouwbaarheid. Dit wordt in dit rapport echter niet verder uitgewerkt.

Omdat sommige meetpunten (variabelen) belangrijker kunnen zijn dan andere, kan het nuttig zijn weegfactoren in te voeren:

$$\text{Informatieopbrengst} = \frac{L_i \times V_j \times (I_{na} - I_{voor})}{\text{kosten}} \quad (2)$$

Hierin is:

L_i de weegfactor voor meetpunt i
 V_j de weegfactor voor variabele j

In termen van de relevante marge (pag. 26) is de doelstelling van de meetnetoptimalisatie om de maximale informatiebehoefte (pag. 26) zo goed mogelijk te benaderen. Om dit te bereiken kunnen meerdere wegen worden bewandeld. Zo kunnen middelen (in eerste instantie) worden besteed aan meetpunt/variabele-combinaties, waarvoor de afstand tot de maximale informatiebehoefte gering is, of juist naar combinaties waarvoor deze afstand nog aanzienlijk is. In wiskundige termen wordt dit bereikt door (I_{na}) en (I_{voor}) ieder af te trekken van de maximale informatiebehoefte (I_{max}) en de uitkomst vervolgens tot de macht y te verheffen. Formule (2) wordt dan:

$$\text{Informatieopbrengst} = \frac{L_i \times V_j \times \left([I_{max} - I_{voor}]^y - [I_{max} - I_{na}]^y \right)}{\text{kosten}} \quad (3)$$

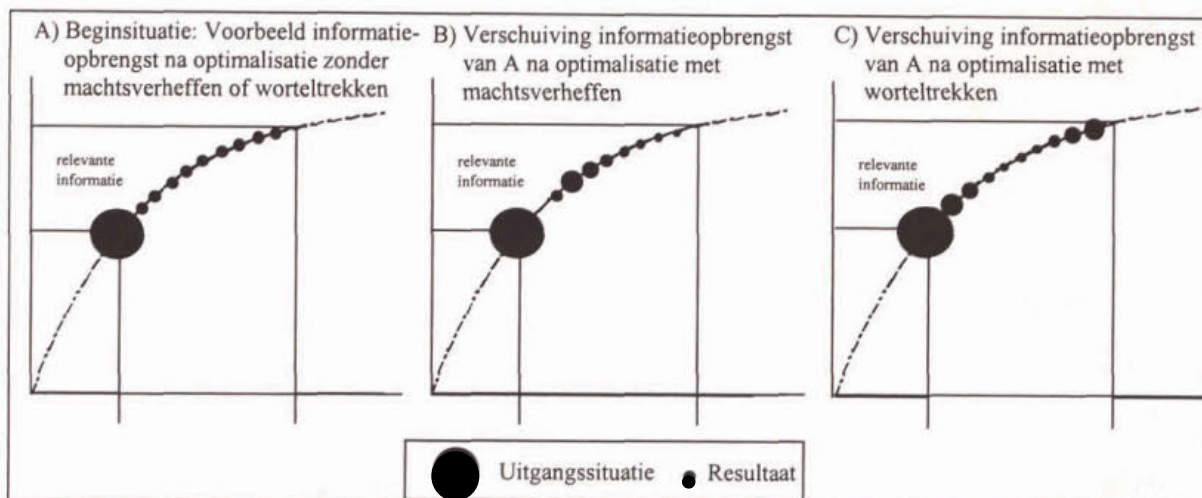
Als $y > 1$ dan worden meetpunten (of variabelen) op grote afstand van I_{max} relatief bevoordeeld ten opzichte van meetpunten (of variabelen) op kleine afstand van I_{max} . Als $y < 1$ dan is dit juist andersom. Ter verduidelijking is in Tabel 3-9 een voorbeeldberekening opgenomen. Hierbij is uitgegaan van een maximale informatiebehoefte (I_{max}) van 10, kosten per meting van 1, en geen weegfactoren (m.a.w.: $L_i = V_j = 1$).

Ter illustratie is het beoogde effect van de verschillende methoden weergegeven in Figuur 3-5 (A-C).

Tabel 3-9: De informatie-opbrengst volgens 3 verschillende bestedingsalgoritmen

	meetpunt (variabele)		
	mp01	mp02	mp03
I_{voor}	8	5.5	2
I_{na}	9	7	3
Informatie-opbrengst (grijs: maximum per rij)			
$y=1$	$[(10-8)^1 - (10-9)^1]=1$	1.5	1
$y=2$	$[(10-8)^2 - (10-9)^2]=3$	11.25	15
$y=1/2$	$[(10-8)^{1/2} - (10-9)^{1/2}]=0.41$	0.39	0.18

In de praktijk is tot nog toe niet gebleken, dat de algoritmekeuze een grote invloed heeft op de uiteindelijk meetnetinrichting. Deze wordt vooral bepaald door andere bestedingsbeperkingen, zoals de maximale meetfrequentie of het bereiken van de maximale informatiebehoefte. Aangezien aan de keuze voor een algoritme een visie over het uiteindelijke meetnet ten grondslag ligt, is discussie hierover wel degelijk zinvol.



Figuur 3-5: Het resultaat van het herhaald toepassen van 3 verschillende bestedingsalgoritmen

3.7.3 'STOP'-CRITERIA VOOR HET BESTEDINGSPROCES

De besteding van middelen is in de regel aan grenzen gebonden. De meest voor de hand liggende grenzen zijn dat alle middelen zijn besteed, of dat op alle meetpunten aan de maximale informatie-behoefte wordt voldaan. In beide gevallen wordt echter geen rekening gehouden met de efficiëntie van de bestedingen. Het ligt daarom voor de hand om eisen aan de minimale informatie-opbrengst (per bestede gulden of ILOW-punt) te stellen¹². De eisen aan de minimale informatie-opbrengst kunnen variëren per variabele, meetpunt of positie ten opzichte van de maximale informatiebehoefte. In het algemeen wordt de informatie-opbrengst in eerste instantie geoptimaliseerd zonder eisen te stellen aan de minimale informatie-opbrengst. Vervolgens wordt de informatie-opbrengst van de laatste bestedingen bepaald. Op basis hiervan worden (indien noodzakelijk) eisen geformuleerd.

3.8 OPTIMALISATIE (STAP VIII)

Als het budget voldoende is om aan de maximale informatiebehoefte te voldoen, is de optimalisatie al uitgevoerd in het stappenplan zoals beschreven in stap VII.

Indien het budget onvoldoende is, moeten (geautomatiseerde) bestedingsalgoritmen toegepast worden om een maximale informatie-opbrengst te bewerkstelligen of moeten extra middelen gevonden worden. Indien gebruik gemaakt wordt van bestedingsalgoritmen, moet worden onderzocht of het 'optimale' meetnet op alle punten aan de gestelde eisen voldoet. In theorie moet het optimale meetnet op dit punt daadwerkelijk optimaal zijn. In de praktijk blijkt echter veelal dat kleine veranderingen (aanpassingen) gewenst zijn. Het is vaak gewenst variabelen- en meetpuntpakketten aan te passen, eventuele weegfactoren in te voeren of aanvullende (praktische) randvoorwaarden te stellen. Deze laatste randvoorwaarden kunnen bijvoorbeeld ingegeven worden door de afstemming met andere meetdoelstellingen (§ 3.9)¹³.

¹² Hierbij moet uitgegaan worden van de originele informatie-opbrengst - een macht van 1.0 in formule (3) - en niet van de informatie-opbrengst die specifieke punten bevoordeelt, aangezien de informatie-opbrengst anders geen zinvolle grootte is.

¹³ Een eenmaal geoptimaliseerd meetnet moet regelmatig geëvalueerd worden. Hierbij moet in het bijzonder gekeken worden naar de statistische kengetallen: zijn deze niet aan veranderingen onderhevig? Als dit zo is, dan moet de optimalisatie herhaald worden.

3.9 AFSTEMMING MET ANDERE MEETDOELSTELLINGEN EN/OF RESULTATEN MEETNETDICHTHEIDSANALYSE (STAP IX)

Bij de afstemming met andere meetdoelstellingen en/of resultaten meetnetdichtheidsanalyse gaat het erom om de eisen die in het kader van een specifieke doelstelling aan variabelen en meetpunten zijn gesteld, (mede) af te stemmen op de eisen die vanuit andere meetdoelstellingen aan diezelfde variabelen en meetpunten zijn opgelegd. Voorbeelden hiervan zijn:

- het verhogen van de minimale meetfrequentie voor sommige variabelen in het meetnet trenddetectie om eveneens normtoetsing mogelijk te maken;
- het verhogen van de minimale meetfrequentie voor sommige variabelen in het meetnet trenddetectie en het meten van debieten om eveneens vrachtbepalingen te kunnen uitvoeren;
- het analyseren van aanvullende variabelen om de fysische gegevens te verkrijgen die ecologische beoordelingen mogelijk maken en/of kunnen aanvullen;
- eventueel verwijderen van meetpunten die op grond van meetnetdichtheidsanalyse kunnen vervallen en die eveneens voor geen enkele specifieke meetdoelstelling geschikt zijn.

3.10 OPSTELLEN MEETPLAN (STAP X)

Bij een zorgvuldig uitgevoerde meetnetoptimalisatie moet de optimalisatie tot een eenvoudig uitvoerbaar meetplan leiden. In deze stap moeten in overleg met de praktische uitvoerders van monsternamen en monsteranalyses werkplannen opgesteld worden. Hierbij moet tevens aan de orde komen of capaciteitsuitbreiding, bijvoorbeeld van analyseapparatuur, noodzakelijk is.

4 INVULLING STAPPENPLAN PER MEETNETDOELSTELLING

4.1 INVULLING STAPPENPLAN MEETNETOPTIMALISATIE VOOR NORMTOETSING EN ALGEMENE WATERKWALITEITSBESCHRIJVING

4.1.1 WAT IS DE MEETDOELSTELLING (2 SPOREN)?

Een algemene waterkwaliteitsbeschrijving is veelal gebaseerd op het gemiddelde van een variabele.

Met betrekking tot normtoetsing is gezien vanuit de huidige meetrichtlijnen weinig ruimte tot optimalisatie van de meetinspanning: er is sprake van meetplicht.

Vanuit statistisch oogpunt kunnen de huidige richtlijnen voor de waterkwaliteit op meetpuntniveau echter op hun geschiktheid bediscussieerd worden. In bijlage 2 van deel 1 wordt een aanzet tot een dergelijke discussie gegeven.

Indien voornoemde meetplicht niet zou bestaan is optimalisatie mogelijk. De meetfrequentie dient er dan op gericht te zijn betrouwbaar aan te tonen dat al dan niet aan de normen wordt voldaan.

Indien de normen geformuleerd zijn als (half)jaargemiddelden moet de meetfrequentie vervolgens erop gericht zijn dat het gemiddelde zodanig betrouwbaar gemeten wordt, dat het zeker is, dat de normen al dan niet overschreden worden. Indien de normen geformuleerd zijn als absolute grenswaarden (zuurstof, pH), moet de meetfrequentie erop gericht zijn aan te tonen dat de overschrijdingskansen van deze normen hoger, dan wel lager ligt dan de normstelling (in het algemeen het 90-percentiel).

Mogelijk zijn ook de extreme pieken in de concentraties van belang.

Gezien het bovenstaande is het binnen de meetdoelstelling normtoetsing/algemene waterkwaliteitsbeschrijving mogelijk om de informatiebehoefte op verschillende manieren te definiëren:

1. Hoe vaak moet gemeten worden, zodat het gemiddelde nauwkeurig bekend is en onderscheiden kan worden van de normstelling (**spoor 1**)?
2. Hoe vaak moet gemeten worden, zodat de overschrijdingskansen van een grenswaarde nauwkeurig berekend kan worden (**spoor 2**)?

Aangezien vanuit statistisch oogpunt twee bovenstaande vragen een eigen benadering vergen, worden deze vragen in het resterende deel van § 5.1 afzonderlijk behandeld (resp. in § 5.1.2 en § 5.1.3).

De vraag in welk compartiment moet worden gemeten, is in relatie tot de onderhavige meetnetdoelstelling niet aan de orde, want normtoetsing en de algemene waterkwaliteitsbeschrijving hebben per definitie betrekking op de waterfase.

4.1.2 MEETDOELSTELLING: HET GEMIDDELDE (SPOOR 1)

4.1.2.1 DEFINITIE INFORMATIEBEHOEFTE (STAP I)

4.1.2.1.1 DE PRIMAIRE INFORMATIEBEHOEFTE

Op welke meetpunten moet gemeten worden?

Met betrekking tot de huidige normstelling kunnen de volgende opmerkingen over de meetpuntkeuze gemaakt worden:

1. Meten is alleen interessant op meetpunten waar de uitkomst niet bij voorbaat vaststaat. Indien de wettelijke randvoorwaarden het toelaten, zou met minder metingen kunnen worden volstaan, zodra vaststaat dat de normen zeker overschreden zullen worden. Verdere metingen zijn dan overbodig. Als bijvoorbeeld in april en mei 8 mg/l stikstof is gemeten, kan het zomergemiddelde over 6 waarnemingen nooit meer kleiner dan 2.2 mg/l zijn. In de praktijk vereist een flexibele inrichting van de meetinspanning voor normtoetsing een uiterst flexibele organisatie (monster-nemers, laboratorium).
2. Meetpunten die niet aan de gestelde eisen voldoen, worden voor monitoring pas weer interessant op het moment dat er gegronde reden is om aan te nemen dat de kwaliteit veranderd is.
3. Meetpunten moeten representatief voor hun omgeving zijn.
4. Een bepaald watertype mag verhoudingsgewijs niet op te veel of te weinig meetpunten bemonstereerd worden. Op deze wijze ontstaat een beter beeld over de toestand in het beheersgebied.
5. Meetpunten met een sterk afwijkende (hoge) variantie zijn in principe ongeschikt bij lage meetfrequenties (van 12 metingen/jaar), aangezien de nauwkeurigheid van de bepaling van het gemiddelde sterk afhangt van de variantie.
6. Meetpunten die duidelijk door een (incidentele) factor beïnvloed worden, zijn niet geschikt, aangezien dergelijke potentieel normoverschrijdende omstandigheden het monitoren tot een overbodige activiteit kunnen maken. (Als bijv. eenmalig na een overstorting 16 mg/l stikstof is gemeten kan het zomergemiddelde over 6 waarnemingen nooit meer kleiner dan 2.2 mg/l zijn.). Indien de wettelijke randvoorwaarden het toelaten, zou met minder metingen kunnen worden volstaan, indien juist in die situaties gemeten wordt waarin normoverschrijdingen optreden en deze overschrijdingen inderdaad worden gemeten. Verdere metingen zijn dan overbodig.

Voor een algemene kwaliteitsomschrijving zijn in principe alle meetpunten geschikt, afhankelijk van het schaalniveau waarop het algemene kwaliteitsbeeld verkregen dient te worden. Voor een algemene, gebieddekkende omschrijving van de waterkwaliteit zijn de punten 3 t/m 6 van de bovenstaande lijst van toepassing.

Voor een algemene, lokale kwaliteitsbeschrijving kunnen echter juist beïnvloede, niet erg representatieve meetpunten van belang zijn. Men moet zich dan echter wel afvragen wat men met de informatie gaat doen: is het niet zinvoller om projectmatig de invloed van factoren te bepalen?

Welke variabelen moeten gemeten worden?

Het definiëren van variabelenpakketten is alleen relevant voor de algemene kwaliteitsomschrijving. Bij de huidige normstelling ligt het variabelenpakket (eventueel functie- en typegericht) immers vast. De selectie van het variabelenpakket voor de algemene beschrijving van de waterkwaliteit hangt af van de lokale omstandigheden en functies van het oppervlaktewater. Het is denkbaar dat verschillende selecties van variabelen relevant kunnen zijn. Bij de bepaling van het variabelenpakket kunnen de volgende richtlijnen worden gebruikt:

- Geschikt zijn:
- Algemene indicatieve variabelen: een algemene beschrijving van de waterkwaliteit kan beperkt blijven tot algemene indicatieve variabelen. Het variabelenpakket kan lokaal toegesneden worden op functies en knelpunten.
 - Variabelen die volgens de normstelling gemeten moeten worden.
- Minder geschikt zijn:
- Variabelen met een geringe toegevoegde waarde ten opzichte van de indicatorvariabelen. Overwogen moet worden om de meetinspanning bij deze variabelen ten minste te beperken ten faveure van de 'geschikte' variabelen.
 - Variabelen waarvan niet het gemiddelde, maar juist de extreme pieken belangrijk zijn.
- Niet geschikt zijn:
- Variabelen die geen toegevoegde waarde ten opzichte van de indicatorvariabelen hebben.
 - Variabelen met een extreem hoge variantie in tijd en ruimte.
 - Variabelen die niet met een gewenste betrouwbaarheid/nauwkeurigheid geanalyseerd kunnen worden (mogelijk zware metalen en microverontreinigingen).

Hoe betrouwbaar moet de informatie zijn?

Voor de optimalisatie van het gemiddelde moet, afhankelijk van de methode, een betrouwbaarheid aangegeven worden. Gangbaar zijn waarde van $\alpha=0.1$ en $\alpha=0.05$.

Welke 'hoeveelheid' informatie is relevant?

Dit onderwerp komt in stap IV aan de orde.

Wanneer moet de informatie beschikbaar zijn?

Het tijdsbestek voor een algemene beoordeling van de waterkwaliteit is, evenals de normen, in het algemeen vastgelegd op één jaar of seizoen. Gegeven de statistiek en de daarmee samenhangende hoge meetinspanning is het in de toekomst misschien verstandig om statistische analyses over meerdere jaren uit te voeren. Dit kan natuurlijk wel ieder jaar worden gedaan: elk jaar worden nieuwe data aan de te analyseren set toegevoegd en worden de eerste data van de set (het eerste jaar) verwijderd, zodat elk jaar een analyse plaatsvindt van de meest recente jaren. De voordelen hiervan zijn:

- Door elk jaar over de afgelopen 4 jaar te oordelen, worden de uitkomsten minder sterk door jaar tot jaar varianties beïnvloed.
- Het is eenvoudiger om voor seizoensinvloeden te corrigeren.
- De autocorrelatiecoëfficiënt is betrouwbaar vast te stellen (van belang voor methoden die rekening houden met deze vorm van afhankelijkheid).
- Ervan uitgaande dat vanuit statistisch oogpunt veel meer metingen per jaar noodzakelijk zijn is het verlengen van de meetperiode kostenbesparend. Het berekende aantal metingen moet immers binnen het aangegeven tijdsbestek uitgevoerd worden.

Hier staat als nadeel tegenover dat grote ingrepen slechts na enkele jaren hun invloed op het algemene beeld doen gelden.

Vanuit een informatiebehoefte georiënteerd meetnet kan het effect van belangrijke maatregelen veel beter via projectstudies (staptrends) worden beoordeeld. Ter onderstreping van het feit dat de beoordeling van maatregelen aan een andere meet(net)doelstelling is gerelateerd, zou dit onderdeel tevens een andere plaats in waterkwaliteitsverslagen moeten krijgen.

4.1.2.1.2 DE SECUNDAIRE INFORMATIEBEHOEFTE

Hoe moet de informatie uit de data worden verkregen?

Data worden omgezet in informatie door gemiddelden en betrouwbaarheidsintervallen te berekenen. De relevante technieken zijn beschreven in deel 2.

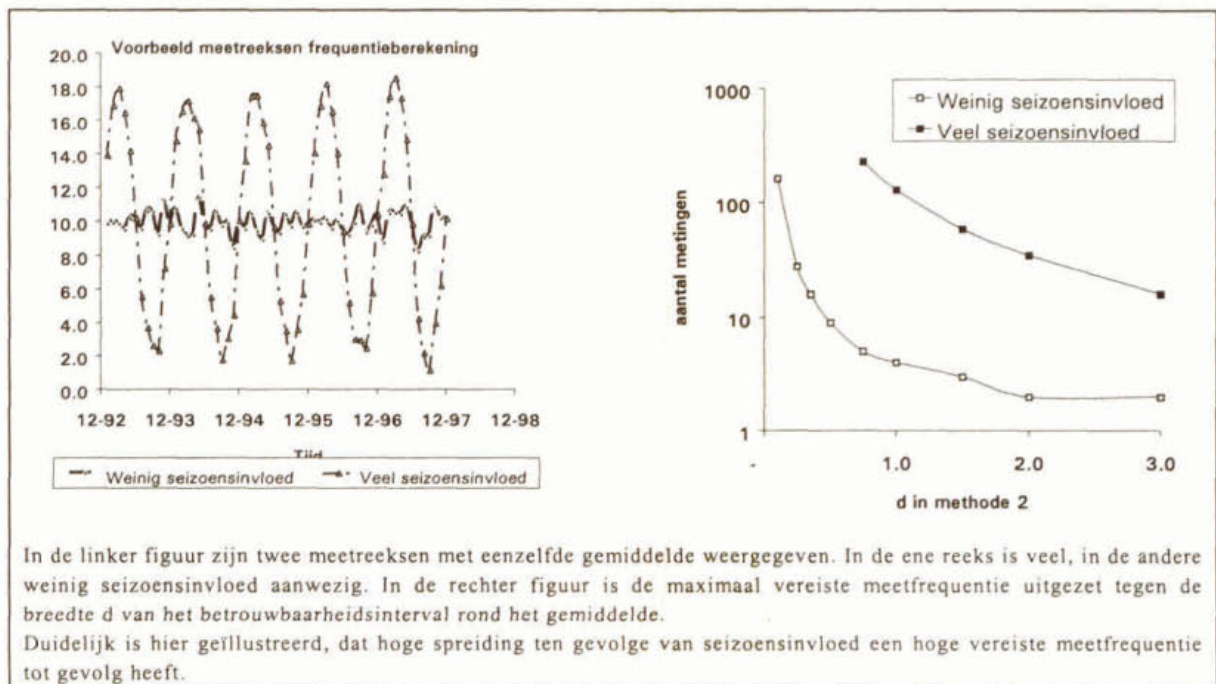
Hoe moet de toekomstige meetfrequentie worden bepaald?

Een algemene kwaliteitsomschrijving van de waterkwaliteit (op jaarbasis) is meestal gerelateerd aan een seizoens- of jaargemiddelde. De diverse methoden die bestaan om het aantal metingen te berekenen dat benodigd is om een gemiddelde met een zekere betrouwbaarheid te bepalen, zijn beknopt weergegeven in Tabel 4-1.

Hoewel de keuze tussen de gepresenteerde methoden vrij is, zal, afhankelijk van de informatiewensen van de beheerder, in het algemeen methode 2 de voorkeur genieten. In Kader 4-1 is de benodigde meetinspanning geïllustreerd uitgaande van deze methode.

Ondanks dat methode 3 rekening houdt met de afhankelijkheid van data, is deze in de praktijk minder geschikt door het grote aantal waarnemingen, dat noodzakelijk is om de methode betrouwbaar toe te kunnen passen. Ten opzichte van methode 1 heeft methode 2 het voordeel dat men zich in het algemeen meer kan voorstellen onder de breedte van een betrouwbaarheidsinterval, dan onder de variantie van het gemiddelde.

Kader 4-1



Aangezien geen van de genoemde methoden parameter vrij is, is het niet mogelijk om een meetinspanning te optimaliseren: het is niet mogelijk om het aantal metingen te bepalen dat noodzakelijk is om het 95-percentiel rond een mediaan binnen gewenste grenzen te houden.

Tabel 4-1: Beknopte beschrijving van de verwerkingsmethoden ter bepaling van de toekomstige meetinspanning

	methode 1	methode 2	methode 3
Richt zich op:	De variantie van het gemiddelde (= s^2/N ; niet de variantie van de data s^2).	Het betrouwbaarheidsinterval rond het gemiddelde	Het betrouwbaarheidsinterval rond het gemiddelde, rekening houdend met afhankelijkheid data.
Formules:	$n = \frac{s^2}{V} \left(1 + \frac{2}{N_1} \right) \quad (4)$	$n = \left(t_{(1-\frac{1}{2}\alpha, n-1)} \frac{s}{d} \right)^2$	$n = \left(t_{(1-\frac{1}{2}\alpha, n-1)} \frac{s}{d} \right)^2 \left(1 + 2 \sum_{l=1}^{n-1} r_l \right)$
Waarin:		$\frac{1}{2}$	
Benodigde meetfrequentie ¹⁴	n	n	n
Historische steekproefvariantie	s^2	s^2	s^2
Aantal metingen voor berekening van s^2	N_1		
Variantie van het berekende gemiddelde	V		
Overschrijdingskans		α	α
Waarde Student-t verdeling (Eenzijdige) breedte van het betrouwbaarheidsinterval.		$t_{(1-\frac{1}{2}\alpha, n-1)}$	$t_{(1-\frac{1}{2}\alpha, n-1)}$
Autocorrelatiecoëfficiënt bij lag 1 ¹⁵		d	d
Randvoorwaarden			ρ_1 ¹⁶
Data zijn normaal verdeeld	+	+	+
Data zijn onderling onafhankelijk ¹⁷	+	+	

Met betrekking tot berekening van gemiddelden tot slot de volgende opmerkingen:

1. Door correcties toe te passen voor seizoensinvloed wordt de steekproefvariantie verlaagd en daalt de benodigde meetinspanning. Verschillende mogelijkheden voor correcties zijn denkbaar. In de literatuur ontbreekt echter elke discussie omtrent de toepasbaarheid (reproduceerbaarheid) en de consequenties voor toekomstige data-analyse. Indien bij de berekening van het gemiddelde gecorrigeerd wordt voor seizoensinvloeden, sluit dit niet meer aan bij de normstelling.
2. Door veelal aanwezige seizoensinvloed zijn de data per definitie niet onafhankelijk. De methoden zijn strikt genomen dus niet toepasbaar op de data.
3. Als data log-verdeeld zijn moeten deze getransformeerd worden. Of waterkwaliteitsdata eerder normaal dan wel log-verdeeld zijn staat niet vast.

¹⁴ Zie pag. 40 indien meetfrequenties moeten worden bepaald binnen een periode, waarin seizoenen voor wat betreft hun lengte en variantie van elkaar verschillen.

¹⁵ Er wordt uitgegaan van een 1^e-orde autocorrelatieproces (AR(1)). Voor een uitgebreide beschrijving zie deel 2.

¹⁶ Het is niet de bedoeling dat de seizoensinvloed bij de schatting van de autocorrelatie betrokken wordt. De methode is feitelijk alleen bruikbaar als de variabele geen seizoensinvloed kent of hiervoor gecorrigeerd kan worden.

¹⁷ Dit is een vanuit de statistiek gestelde eis.

Berekeningswijze optimale meetfrequentie ter bepaling van het gemiddelde van een gestratificeerde populatie

Alle methoden die tot dusverre in dit onderdeel zijn besproken, zijn gebaseerd op een aselechte steekproef. Dit betekent dat ervan wordt uitgegaan, dat de metingen te allen tijde uit dezelfde kansverdeling komen en dat derhalve iedere combinatie van een vast aantal metingen in een begrensde periode statistisch gezien hetzelfde gemiddelde oplevert. Voorts houdt dit impliciet in dat er geen sprake is van bijvoorbeeld periodiciteit, als gevolg waarvan het gemiddelde mogelijk zou kunnen verschillen, afhankelijk van de tijdstippen waarop die metingen binnen de onderzoeksperiode worden uitgevoerd.

Hierna wordt ingegaan op de vraag hoe het totaal aantal benodigde metingen dat eerder met methode 1, 2 of 3 is berekend (Tabel 4-1) over de seizoenen verdeeld moet worden, indien de seizoenen gekenmerkt worden door een verschillende variantie of lengte.

Indien een stratum-/seizoensgedifferentieerde meetfrequentie gewenst is, moet in de hiertoe uit te voeren vervolgberekeningen -in plaats van de variantie- van de gestratificeerde variantie (deel 2) worden uitgegaan, en wordt de meetfrequentie per stratum/seizoen bepaald door:

$$n_p = \left(\frac{N_p s_p}{\sum_{p=1}^P N_p s_p} \right) n \quad (5)$$

Hierin is:

- n_p het aantal benodigde waarnemingen in stratum/seizoen p , uitgedrukt bijvoorbeeld in een aantal dagen
- N_p het totaal aantal mogelijke waarnemingen in stratum/seizoen p , uitgedrukt in dezelfde eenheid als n_p , bijvoorbeeld 62 dagen
- s_p de variantie in stratum/seizoen p (= de gestratificeerde variantie)
- n de totale benodigde meetinspanning over de gehele onderzoeksperiode zoals eerder berekend met methode 1, 2 of 3 in Tabel 4-1, tevens uitgedrukt in dezelfde eenheid als n_p

Indien de variantie en de lengte van elk stratum (seizoen) verondersteld wordt gelijk te zijn, moet in elk stratum/seizoen even vaak gemeten worden.

Welke lokale omstandigheden kunnen een rol van betekenis spelen?

De informatiebehoefte met betrekking tot de lokale omstandigheden is beschreven in § 3.1.2.3.

Welke andere meetnetten zijn van belang? Welke afstemming is noodzakelijk?

De informatiebehoefte met betrekking tot de afstemming met andere meetdoelstellingen is beschreven in § 3.1.2.4.

Wat is de financiële en logistieke structuur van het (huidige) monitoren?

De aandachtspunten van dit aspect zijn in § 3.1.2.5 en § 3.1.2.6 algemeen aan de orde geweest.

Wettelijke randvoorwaarden

Voor de normstelling is het noodzakelijk de wettelijke randvoorwaarden duidelijk in kaart te brengen. Hierbij gaat het om de vrijheid in keuze van meetfrequenties en meetpunten.

4.1.2.2 VERZAMELEN INFORMATIE (STAP II)

Veel praktische informatie, gedefinieerd onder (I), zal direct beschikbaar zijn, zodat de term 'verzamelen informatie' minder van toepassing is.

De belangrijkste, in het algemeen niet reeds beschikbare informatie, bestaat uit de de statistische kengetallen, welke noodzakelijk zijn voor de optimalisatie van de meetinspanning. Om deze kengetallen te berekenen wordt gebruik gemaakt van historische data, ervan uitgaande dat de geschiedenis de beste schatter voor de toekomst is. Dit betekent dat voor de relevante meetpunten en variabelen de beschikbare meetgegevens verzameld en, indien nodig, gevalideerd moeten worden. Onder validatie wordt onder andere verstaan dat de data vrij zijn van uitbijters (hieronder vallen naast meetfouten in dit kader ook data die niet representatief worden geacht voor de meetperiode) en dat gecorrigeerd is voor veranderingen in monsternamen en analysemethoden.

4.1.2.3 ANALYSE HISTORISCHE GEGEVENS - BEREKENING NOODZAKELIJKE KENGETALLEN (STAP III)

De analyse van de historische gegevens bestaat uit het berekenen van gemiddelden (en betrouwbaarheidsintervallen) en het berekenen van de noodzakelijke kengetallen. Welke (statistische) kengetallen noodzakelijk zijn voor de optimalisatie van de meetinspanning, is afhankelijk van de methode en de eenheid, die gekozen wordt voor informatie (Tabel 4-2 en Tabel 4-3; zie tevens § 4.1.2.4 (stap IV)).

Tabel 4-2: Kengetallen voor het kwantificeren van de informatiebehoefte (alle methoden)

Methode 1+2+3
<ul style="list-style-type: none">● niet van toepassing indien voor elke meetpunt/variabele-combinatie specifieke eisen of algemene <i>over-all</i> constante eisen aan de variantie worden gesteld;● het gemiddelde indien de eisen worden gesteld respectievelijk gerelateerd aan:<ul style="list-style-type: none">- clusters van meetpunten (gemiddeld noodzakelijk voor clustering);- het gemiddelde;- normen.

4.1.2.4 KWANTIFICEREN MEETDOELSTELLING (STAP IV)

Het algemeen kader van het kwantificeren van de meetnetdoelstelling is weergegeven in § 3.4. Hoe de informatie wordt uitgedrukt, dat wil zeggen wat er op de Y-as in Figuur 3-3 (pag. 25) is uitgezet, moet nader ingevuld worden (Tabel 4-5).

Zoals reeds eerder vermeld is, is dit een zeer belangrijke stap in de optimalisatie. Aan de relevante marge, de minimale en maximale informatiebehoefte moeten waarden toegekend worden. Idealiter geschiedt dit puur op basis van de informatiebehoefte. In het algemeen worden de praktische mogelijkheden (uitkomsten stap III) bij het kwantificeren betrokken.

Een eerste aanzet voor de kwantificering van de minimale informatiebehoefte geschiedt door de in Tabel 4-4 weergegeven vragen (of daaraan verwante vragen) te beantwoorden.

Tabel 4-3: Kengetallen voor toepassing van formules

Methode 1+2	methode 3
<p>Het aantal metingen is een functie van de toekomstige steekproefvariantie s^2. Hoe hoger s^2, des te vaker zal gemeten moeten worden. De berekening van de steekproefvariantie is beschreven in deel 2. Voor normtoetsing is geen correctie voor een seizoensinvloed toegestaan. Berekening van s^2 dient daarom te geschieden op basis van de ruwe dataset. Ervan uitgaande dat de variantie constant is kunnen alle historische gegevens gebruikt worden. Indien de variantie een functie is van het procesniveau (gemiddelde) zal de variantie over de meest recente jaren een betere schatter voor de toekomst zijn indien een trend in de historische data aanwezig is. Indien in de toekomst een stijgende concentratie verwacht kan worden, wordt de variantie en daarmee de toekomstige meetfrequentie onderschat.</p> <p>Indien niet voor seizoensinvloeden (en eventueel trend) gecorrigeerd wordt, wordt de variantie groter naarmate de seizoensinvloed sterker is. Concreet betekent dit dat bij vergelijkbare informatie-eisen de meetinspanning voor temperatuur veel hoger zal zijn dan voor bijvoorbeeld chloride.</p> <p>Door voor seizoensinvloeden te corrigeren kan de steekproefvariantie sterk gereduceerd worden. Hierdoor wordt echter ook een nieuwe foutenbron geïntroduceerd: de seizoensinvloed varieert van jaar tot jaar, correctie is slechts mogelijk op basis van de gemiddelde seizoensinvloed in het verleden^{18 19}.</p>	
	<p>De autocorrelatiecoëfficiënt: aangezien de methode van een autoregressief proces van de 1^e-orde uitgaat, moeten de historische data vrij zijn van trend en seizoensinvloeden, voordat de autocorrelatiecoëfficiënt wordt bepaald. Het is aan te raden om het correlogram na correcties grafisch weer te geven om een indruk te krijgen van de toepasbaarheid van een 1^e-orde autocorrelatiemodel. Aangezien minimaal 60 metingen noodzakelijk zijn om de correlatiecoëfficiënten te berekenen, is de methode slecht toepasbaar.</p>

Tabel 4-4: Doelstellingen en informatiebehoefte

Doelstelling	minimale informatiebehoefte	maximale informatiebehoefte
Algemeen	Welke maximale afwijking van het berekende gemiddelde ten opzichte van het werkelijke gemiddelde is praktisch mogelijk (denk aan negatieve concentraties) en te tolereren?	Welke minimale afwijking van het berekende gemiddelde ten opzichte van het werkelijke gemiddelde is relevant voor het beleid? Bij welke toegestane afwijking beïnvloedt deze afwijking het beleidsproces niet?
Ten opzichte van normen	Hoe groot mag de kans dat de normtoetsing tot een foute conclusie leidt maximaal zijn?	Welke fout in de normtoetsing is niet van belang voor het beleid, m.a.w. welke kans van een foute beslissing is te tolereren?

¹⁸ In sommige gevallen kan de seizoensinvloed deterministisch beschreven worden, zodat voor elk jaar een seizoensmodel gefit kan worden. De parameters zijn dan echter ook slechts schattingen, waardoor ook dan een zekere foutenbron geïntroduceerd is.

¹⁹ *Worst case*-scenario: De steekproefvariantie is slechts een schatter van de populatievariantie. Zeker bij kleine steekproeven is de onnauwkeurigheid in deze schatter groot. Om met deze onzekerheid rekening te houden kan gekozen worden voor een *worst case*-scenario, door in plaats van de beste schatter voor de variantie de bovengrens van het betrouwbaarheidsinterval $(1-\alpha)$ rond de variantie te gebruiken. Om deze bovengrens te bepalen moet het aantal metingen waarover de variantie geschat is bekend zijn. Bovendien moeten eisen gesteld worden aan de betrouwbaarheid $(1-\alpha)$.

De *worst case*-benadering heeft als bijkomend voordeel dat gecorrigeerd wordt voor verschillen in omvang van datasets (n). Vanzelfsprekend is het nadeel dat de meetinspanning veelal onterecht hoog zal zijn. Om dit nadeel zo goed mogelijk te compenseren en toch het voordeel te behouden kan gekozen worden voor een lage betrouwbaarheid.

Tabel 4-5: *Kwantificeren meetnetdoelstelling*

Methode 1 ²⁰	Methode 2+3 ²⁰
<p>Voor de definitie van de relevante marge van de informatiebehoefte bestaat slechts één mogelijkheid: de gewenste variantie rond het gemiddelde. De volgende mogelijkheden zijn denkbaar²¹:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Definitie van een variantie eis voor elke meetpunt/variabele-combinatie. Dit is in praktijk niet reëel vanwege de bewerkelijkheid van het stellen van eisen en de overzichtelijkheid van het meetnet. 2. Absolute waarde voor de variantie per variabele, gelijk op alle meetpunten. Deze methode is met name geschikt als de variantie onafhankelijk is van het gemiddelde. Indien de variantie stijgt bij toenemend gemiddelde betekent een absolute waarde dat veel middelen gealloceerd worden naar meetpunten met een hoog gemiddelde. 3. Variantie-eis per cluster meetpunten met vergelijkbaar gemiddelde. Lost de problemen van (2.) op mits een duidelijke clustering mogelijk is. De overzichtelijkheid van het meetnet neemt echter af. 4. Variantie-eis gerelateerd aan het gemiddelde. Lost de problemen van (2.+3.) op, de overzichtelijkheid neemt echter af. De relatieve waarden kunnen weer vertaald worden naar absolute waarden, waardoor de eisen overal verschillen. 5. Variantie-eis gerelateerd aan normen. Als de variantie eis omgekeerd evenredig is met de afstand van het gemiddelde tot de norm, worden meetpunten waar het gemiddelde dicht bij de norm ligt vaker bemeten. Hierdoor wordt de betrouwbaarheid van normtoetsing verhoogd²². 	<p>De aanknopingspunten voor optimalisatie zijn:</p> <ol style="list-style-type: none"> A. De relevante marge wordt uitgedrukt in de betrouwbaarheid $(1-\alpha)$ bij gegeven breedte van het betrouwbaarheidsinterval. De minimale informatiebehoefte komt vervolgens overeen met een minimale betrouwbaarheid, de maximale met een maximale betrouwbaarheid. B. De relevante marge wordt uitgedrukt in de breedte van het betrouwbaarheidsinterval bij een gedefinieerde betrouwbaarheid $(1-\alpha)$. De minimale informatiebehoefte komt vervolgens overeen met een maximale breedte van het betrouwbaarheidsinterval en de maximale informatiebehoefte komt overeen met een minimale breedte van het betrouwbaarheidsinterval. <p>In beide gevallen zal de breedte van het betrouwbaarheidsinterval gedefinieerd moeten worden. Hiervoor geldt in principe hetzelfde als bij methode 1²¹:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Definitie van een betrouwbaarheidsinterval voor elke meetpunt/variabele-combinatie. Dit is in praktijk niet reëel vanwege de bewerkelijkheid van het stellen van eisen en de overzichtelijkheid van het meetnet. 2. Definitie van een absolute intervalbreedte per variabele, gelijk op alle meetpunten. Deze methode is met name geschikt als de variantie onafhankelijk is van het gemiddelde. Indien de variantie stijgt bij toenemend gemiddelde betekent een absolute waarde dat veel middelen gealloceerd worden naar meetpunten met een hoog gemiddelde. 3. Definitie van een absolute intervalbreedte per cluster meetpunten met vergelijkbaar gemiddelde/variantie. Lost de problemen van (2.) op mits een duidelijke clustering mogelijk is. De overzichtelijkheid van het meetnet neemt echter af. 4. Definitie van een intervalbreedte gerelateerd aan het gemiddelde. Lost de problemen van (2.+3.) op, de overzichtelijkheid neemt echter af. De relatieve waarden kunnen weer vertaald worden naar absolute waarden, waardoor de eisen in absolute zin overal verschillen. 5. Definitie van een absolute intervalbreedte gerelateerd aan normen. Als de intervalbreedte altijd tot aan de norm reikt (betrouwbaarheidsinterval = $2 \times$ [gemiddelde - normstelling]) worden meetpunten waar het gemiddelde dicht bij de norm ligt, vaker bemeten, waardoor meer zekerheid wordt verkregen omtrent het toetsingsresultaat²³.

²⁰ Zie Tabel 4-1 voor een toelichting op deze methode.

²¹ Aangezien bij de optimalisatie de informatie-inhoud gemaximaliseerd moet worden, dient de definitie van de relevante marge hierop te worden afgestemd. Indien voor de eenheid van de informatie geldt dat de informatie toeneemt indien de waarde afneemt (bijv. als de waarde de breedte van het betrouwbaarheidsinterval is), moet de optimalisatie derhalve óf geformuleerd worden in een minimalisatieprobleem, óf moet de informatiewaarde vermenigvuldigd worden met -1.0. Ook door de reciproke waarde te nemen (=1/informatiewaarde) blijft de optimalisatie een maximalisatie van de informatie-opbrengst.

²² De reeds genoemde bezwaren tegen de normtoetsing blijven wel van kracht. De methode heeft ten nadeel dat meetpunten die 'erg goed' of 'erg slecht' zijn niet bemonsterd worden.

²³ Overigens zijn de eerder genoemde bezwaren tegen het huidige systeem van normtoetsing ook hier van kracht. De methode heeft als nadeel dat meetpunten die 'erg goed' of 'erg slecht' zijn, niet bemonsterd worden.

Vervolg (volgende pag.)

Tabel 4-5 (vervolg):

Mogelijkheid 4 ligt het meest voor de hand indien normtoetsing niet relevant is. De minimale informatiebehoefte komt vervolgens overeen met een maximale percentuele afwijking van de variantie van het gemiddelde, de maximale informatiebehoefte met een minimale afwijking van de variantie van het gemiddelde.

Mogelijkheid 4 ligt het meest voor de hand indien normtoetsing niet relevant is. Indien normtoetsing wel relevant is, is een combinatie van (4.) en (5.) zinvol, bijvoorbeeld: overal worden eisen gesteld zoals beschreven onder 4. Indien de grenswaarde/norm binnen het interval ligt, wordt het interval gedefinieerd zoals vermeld onder 5²⁴.

4.1.2.5 OVERIGE STAPPEN (V-X)

Deze stappen zijn algemeen voor elke meetnetdoelstelling en beschreven in § 3.5 tot § 3.10.

4.1.2.6 CASE (SPOOR 1): DE AFHANKELIJKHEID VAN DE BREEDTE VAN HET BETROUWBAARHEIDSINTERVAL VAN HET AANTAL WAARNEMINGEN

Doelstelling

In de toekomst moet de gemiddelde zuurstofconcentratie in de Westeinderplassen zodanig geschat worden dat het werkelijke gemiddelde niet meer dan 1 mg/l afwijkt van de schatting. De gewenste betrouwbaarheid α bedraagt 0.1. De meetperiode is gesteld op 4 jaar.

Beschikbare data

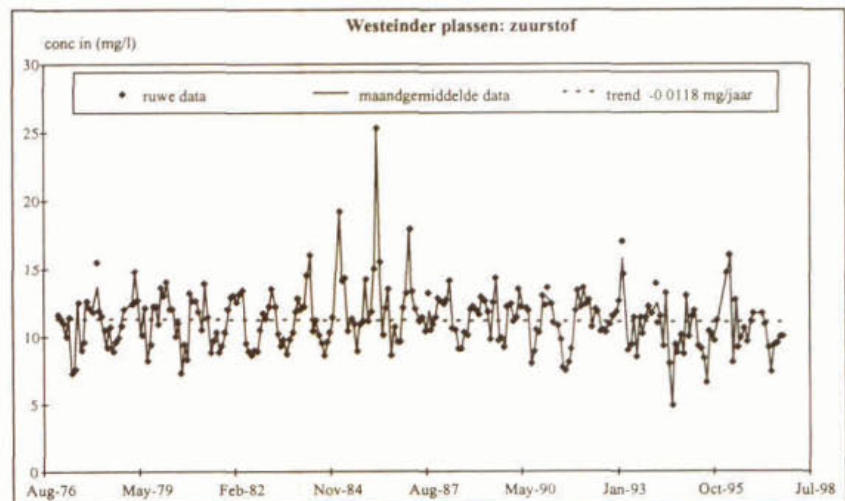
Een 20-jarige zuurstofreeks (1977-1997), lokatie Westeinder Plassen, vormt het basismateriaal waarop de gemiddelden-case is gebaseerd. De betreffende meetreeks is weergegeven in Figuur 4-1.

Data-analyse

In de data is op basis van de Kruskal-Wallis toets geen significante ($\alpha=0.1$) seizoensinvloed aanwezig.

De monotone trend is nauwelijks significant te noemen (significante bij $\alpha=0.25$).

Na verwijdering van trend en seizoensinvloed zijn de data niet-normaal verdeeld bij $\alpha=0.2$ (Kolmogorov toets) en niet volledig onafhankelijk.



Figuur 4-1: In de cases gebruikte meetreeks

²⁴ Zodra het gemiddelde zo dicht bij de grenswaarde ligt, dat bij de hoogste meetfrequentie niet aan de gestelde eisen kan worden voldaan, moet de maximaal haalbare meetfrequentie worden gehanteerd.

De maandgemiddelde data zijn onderling meer afhankelijk en volgen nog minder een normale verdeling dan de ruwe data. Desondanks is gebruik gemaakt van de formule:

$$n = \left(t_{(1-\frac{1}{2}\alpha; n-1)} \frac{s}{d} \right)^2 \text{ (methode 2 in § 4.1.2.1.2, Tabel 4-1)}$$

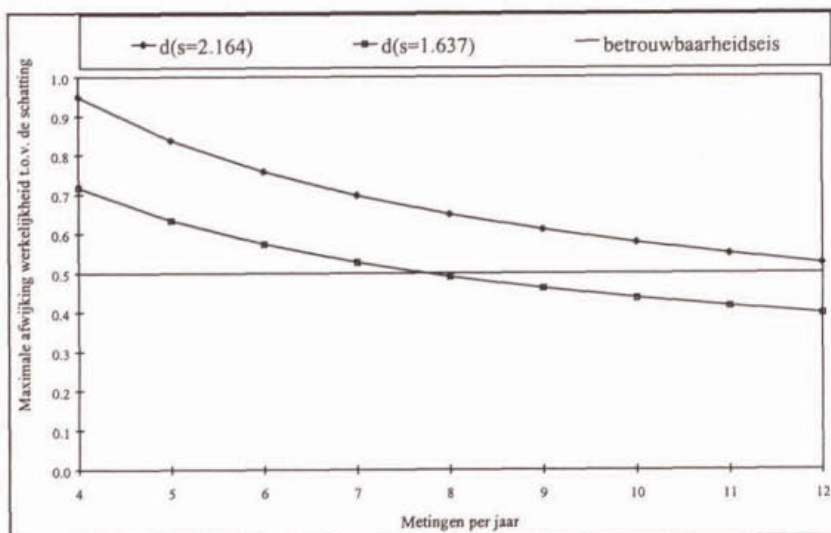
om het betrouwbaarheidsinterval te bepalen. De resultaten zijn hierdoor niet optimaal (bijlage 1 van deel 1). Van toetsen op basis van de t-verdeling is echter bekend dat zij vrij robuust zijn met betrekking tot afwijking van de normaliteit. Ter bepaling van het betrouwbaarheidsinterval (d) is de bovenstaande formule herschreven tot:

$$d = \left(t_{(1-\frac{1}{2}\alpha; n-1)} \frac{s}{\sqrt{n}} \right).$$

De toekomstige spreiding is geschat op basis van de maandgemiddelde historische data zowel vóór (s=2.164) als na verwijdering van trend en seizoensinvloed (s=1.637). De waarde uit de t-tabel is afgelezen uit de tabel van de Student t-verdeling.

Om problemen met de onderlinge afhankelijkheid te voorkomen, is besloten om maximaal 12 metingen per jaar uit te voeren. Aangezien op procesmatige gronden seizoensinvloed wel verwacht wordt moet minimaal vier maal per jaar gemeten worden.

In Figuur 4-2 is weergegeven wat, op grond van deze benadering, de absolute afwijking van het werkelijke gemiddelde ten opzichte van de schatting zal zijn. Indien geen correcties voor seizoensinvloed worden toegepast, is de eis: een maximale afwijking d van 0.5, niet haalbaar. Indien in de toekomst eerst een seizoenscorrectie wordt toegepast alvorens het betrouwbaarheidsinterval te berekenen, kan met 8 metingen per jaar worden volstaan om een goede schatting van het gemiddelde te verkrijgen.



Figuur 4-2: Afwijking van het werkelijke gemiddelde ten opzichte van de schatting

4.1.3 MEETDOELSTELLING: DE OVERSCHRIJDINGSKANS (SPOOR 2)

4.1.3.1 DEFINITIE INFORMATIEBEHOEFTE (STAP I)

4.1.3.1.1 DE PRIMAIRE INFORMATIEBEHOEFTE.

Op welke meetpunten moet gemeten worden?

Met betrekking tot de huidige normstelling kunnen de volgende opmerkingen over de meetpuntkeuze gemaakt worden:

1. Meten is alleen interessant op meetpunten waar de uitkomst niet bij voorbaat vaststaat. De inspanning zou gestopt kunnen worden op het moment dat vaststaat dat de uitkomst van de normtoetsing niet meer verandert.
Als bijvoorbeeld in juni en juli het zuurstofgehalte niet voldoet, zullen latere metingen de toetsingsuitkomst niet meer veranderen.
2. Meetpunten die steevast niet aan de gestelde eisen voldoen, worden voor monitoring pas weer interessant op het moment dat er gegronde redenen zijn om aan te nemen dat de kwaliteit veranderd is, of dat daar op korte termijn sprake van zal zijn.
3. Meetpunten moeten representatief voor hun omgeving zijn.
4. Een bepaald watertype mag verhoudingsgewijs niet op te veel of te weinig meetpunten bemonsterd worden. Op deze wijze ontstaat een beter beeld over de toestand in het beheersgebied.
5. Meetpunten met een sterk afwijkende (hoge) variantie zijn in principe ongeschikt bij een meetfrequentie van 12 metingen/jaar, aangezien de nauwkeurigheid van de bepaling van de overschrijdingskans sterk afhangt van de variantie.
6. Meetpunten die duidelijk door een (incidentele) factor (bijv. overstortingen) beïnvloed worden, zijn niet geschikt, aangezien dergelijke potentieel normoverschrijdende omstandigheden het monitoren overbodig maken.
Door bijvoorbeeld alleen na enkele overstortingen te meten zal vrijwel altijd aangetoond worden dat de zuurstofnorm overschreden wordt. De benodigde meetinspanning zou om deze reden efficiënter ingericht kunnen worden: dynamischer, maar met een geringer aantal metingen.

Voor een algemene kwaliteitsomschrijving zijn in principe alle meetpunten geschikt, afhankelijk van het schaalniveau waarop het algemene kwaliteitsbeeld verkregen dient te worden. Voor een algemene, gebieddekkende omschrijving van de waterkwaliteit aan de hand van overschrijdingskansen zijn de punten 3 tot en met 6 van de bovenstaande lijst van toepassing.

Voor een algemene, lokale kwaliteitsbeschrijving kunnen echter juist beïnvloede, niet erg representatieve meetpunten van belang zijn. Men moet zich dan echter wel afvragen wat men met de informatie gaat doen: is het niet zinvoller om projectmatig de invloed van factoren te bepalen?

Welke variabelen moeten gemeten worden?

Het definiëren van variabelenpakketten is alleen relevant voor de algemene kwaliteitsomschrijving. Bij de huidige normstelling ligt het variabelenpakket (eventueel functie- en typegericht) immers vast. De selectie van het variabelenpakket voor de algemene waterkwaliteitsbeschrijving hangt af van de lokale omstandigheden en functies van het oppervlaktewater. Het is denkbaar dat verschillende selecties van variabelen relevant kunnen zijn. De relevante variabelen komen in grote lijnen overeen met de relevante variabelen voor de bepaling van het gemiddelde (§ 4.1.2.1.1), met dien verstande, dat per definitie alleen die variabelen interessant zijn waarvan de extreme waarnemingen belangrijk zijn, zoals te hoge of te lage zuurstofconcentraties.

Variabelen waarvan de extreme waarnemingen minder belangrijk zijn, bijvoorbeeld omdat tijdelijke hoge of lage waarden slechts een geringe invloed hebben op de algehele waterkwaliteit, zijn niet belangrijk voor deze doelstelling.

Hoe betrouwbaar moet de informatie zijn?

Voor de optimalisatie van de meetinspanning moet voor de meeste methoden een betrouwbaarheid aangegeven worden. Gangbaar zijn waarde van $\alpha=0.1$ en $\alpha=0.05$.

Welke 'hoeveelheid' informatie is relevant?

Dit onderwerp komt in stap IV aan de orde.

Wanneer moet de informatie beschikbaar zijn?

Het tijdsbestek voor een algemene beoordeling van de waterkwaliteit is, evenals de normen, in het algemeen vastgelegd op een jaar of een seizoen. Gegeven de statistiek en de daarmee samenhangende hoge meetinspanning is het in de toekomst misschien verstandig om statistische analyses over meerdere jaren uit te voeren. Dit kan natuurlijk wel ieder jaar worden gedaan: elk jaar worden nieuwe data aan de te analyseren set toegevoegd en worden de eerste data van de set (het eerste jaar) verwijderd, zodat elk jaar een analyse plaatsvindt van de meest recente jaren. De voordelen hiervan zijn:

- Door elk jaar over de afgelopen 4 jaar te oordelen, worden de uitkomsten minder sterk door jaar tot jaar varianties beïnvloed.
- Het is eenvoudiger om voor seizoensinvloeden te corrigeren.
- De autocorrelatiecoëfficiënt is betrouwbaar vast te stellen (van belang voor methoden die rekening houden met deze vorm van afhankelijkheid).
- Ervan uitgaande dat vanuit statistisch oogpunt veel meer metingen per jaar noodzakelijk zijn is het verlengen van de meetperiode kostenbesparend. Het berekende aantal metingen moet immers binnen het aangegeven tijdsbestek uitgevoerd worden.

Hier staat als nadeel tegenover dat grote ingrepen slechts na enkele jaren hun invloed op het algemene beeld doen gelden.

Vanuit een informatiebehoefte georiënteerd meetnet kan het effect van belangrijke maatregelen veel beter via projectstudies (staptrends) worden beoordeeld. Ter onderstreping van het feit dat de beoordeling van maatregelen aan een andere meet(net)doelstelling is gerelateerd, zou dit onderdeel tevens een andere plaats in waterkwaliteitsverslagen moeten krijgen.

4.1.3.1.2 DE SECUNDAIRE INFORMATIEBEHOEFTE

Hoe moet de informatie uit de data worden verkregen?

Om overschrijdingskansen te berekenen wordt het aantal overschrijdingen gedeeld door het totale aantal waarnemingen. Indien de verdeling bekend is kan ook op basis van deze kennis een overschrijdingskans berekend worden. Deze kans wordt met name bepaald door de variabiliteit en het gemiddelde of de mediaan van de data.

Verwerkingsmethode en de meetdoelstelling: Hoe vaak?

Voor de optimalisatie van de meetinspanning zijn twee benaderingen mogelijk²⁵:

1. Men is tevreden als men een normoverschrijding detecteert en gaat dus alleen dan meten als men op grond van systeemkennis normoverschrijdingen verwacht. Bijvoorbeeld door na een langere droge en warme periode zuurstof vroeg in de ochtend te gaan meten. Op basis van deze invalshoek kan op een 'zachte' manier geoptimaliseerd worden. Er moet (op basis van kennis van het meetpunt) ingeschat worden hoe vaak men het veld in moet gaan om een op basis van proceskennis verwachte normoverschrijding daadwerkelijk aan te tonen. In het algemeen zal dit minder zijn dan de huidige meetinspanning.
2. Men wil de kans (p) op normoverschrijding nauwkeurig bepalen. De kans p wordt berekend als c/N waarin c het aantal normoverschrijdingen is en n het totale aantal metingen. Ervan uitgaande dat de normstelling inhoudt dat 10% van de monsters de grenswaarde mag overschrijden, kan het aantal monsters berekend worden dat noodzakelijk is om betrouwbaar aan te tonen dat de norm al dan niet wordt overschreden. Dit is weergegeven in formule (6).

De tweede benadering kan als volgt worden uitgewerkt:

Stel dat op basis van historische data de kans (p) op grenswaardeoverschrijding wordt geschat (als c/N waarin c het aantal normoverschrijdingen is en N het totale aantal metingen). Om met zekerheid te zeggen dat $p < P = 0.1$ ($p > P = 0.1$) is zullen een n-tal metingen verricht moeten worden.

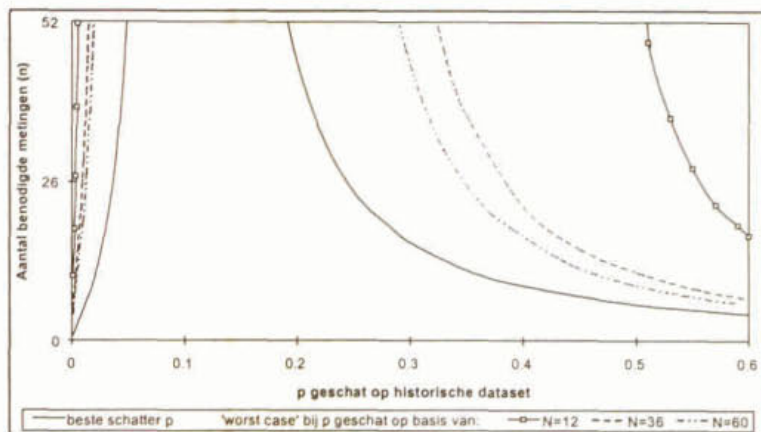
Het aantal benodigde metingen (n) kan berekend worden met behulp van onderstaande formule:

$$n = \frac{\hat{p} (1 - \hat{p})}{\left(\frac{P - \hat{p}}{t_{(1-\alpha, n)}} \right)^2} \quad (6)$$

Hierin is:

- \hat{p} de geschatte overschrijdingskans (c/N)
- P de toegelaten overschrijdingskans gegeven de normstelling (90-percentiel: $P=0.1$)
- $t_{(1-\alpha, n)}$ de waarde uit de Student-t tabel bij een overschrijdingskans α .

In Figuur 4-3 is de meetinspanning (n) als functie van de geschatte kans op normoverschrijding p weergegeven die noodzakelijk is om bij een betrouwbaarheid $1-\alpha$ van 0.95 aan te tonen dat $p < P = 0.1$ dan wel $p > P = 0.1$ is (vette lijn in Figuur 4-3). Bij $p < 0.1$ is de meetinspanning erop gericht aan te tonen dat aan de normen wordt voldaan. Bij $p > 0.1$ is de meetinspanning erop gericht aan te tonen dat de grenswaarden worden overschreden. Uit de figuur komt duidelijk naar voren



Figuur 4-3: Benodigde meetfrequentie voor grenswaardeoverschrijding

²⁵ Door de wettelijke meetplicht is een optimalisatie van de meetinspanning via deze benaderingen, waarbij ook minder dan 12 keer per jaar gemeten kan worden, de facto niet mogelijk.

²⁶ De berekening van n is een iteratief proces; $t_{(1-\alpha, n)}$ hangt af van n en moet zolang aan n aangepast worden tot geen verandering in n meer optreedt.

dat naarmate p dichter bij de normstelling van het 90-percentiel ($P=0.1$) ligt de frequentie toeneemt: het wordt steeds moeilijker onderscheid te maken tussen de geschatte waarde en de norm.

De overschrijdingskans, berekend uit historische data, is slechts een schatter van de werkelijkheid en is als zodanig sterk afhankelijk van het aantal waarnemingen waarop de berekening is gebaseerd. Een $(1-\alpha)$ -bovangrens van p hangt af van het aantal metingen en kan benaderd worden met:

$$P_{max} = p + t_{(1-\alpha, N-1)} \times \sqrt{(p \times (1-p)/N)}.$$

Als de overschrijdingskans p op basis van historische data is geschat, moet met de onbetrouwbaarheid van de geschatte p rekening worden gehouden. Bij de overige drie lijnen in Figuur 4-3 is daarom uitgegaan van een *worst-case* benadering van p . In plaats van de geschatte waarde voor p is de 95%-bovangrens (indien de geschatte $p < 0.1$), respectievelijk de 95%-ondergrens (indien de geschatte $p > 0.1$) gebruikt. Het is duidelijk dat hierdoor het aantal benodigde metingen verder toeneemt en het gebied waarin normtoetsing uitvoerbaar is, kleiner wordt naarmate de onbetrouwbaarheid van p groter wordt.

Tot slot enkele opmerkingen over deze methode:

1. De boven beschreven methode is een benadering.
2. Het toepassen van de methode leunt volledig op de aanname dat voor elke waarneming p gelijk is. De methode is slechts toepasbaar, indien het aannemelijk is dat p voor elke meting gelijk is. Gezien de dagelijkse en jaarlijkse cycli in de waterkwaliteitsprocessen is deze aanname echter in het algemeen niet terecht. De cycli zijn echter niet per definitie nadelig: kennis omtrent cycli (en overige proceskennis) kan de efficiëntie van normtoetsing verhogen, indien de doelstelling het aantonen van normoverschrijdingen is.

Welke lokale omstandigheden kunnen een rol van betekenis spelen?

De informatiebehoefte met betrekking tot de lokale omstandigheden is beschreven in § 3.1.2.3.

Welke andere meetnetten zijn van belang? Welke afstemming is noodzakelijk?

De informatiebehoefte met betrekking tot de afstemming met andere meetdoelstellingen is beschreven in § 3.1.2.4.

Wat is de financiële en logistieke structuur van het (huidige) monitoren?

De informatiebehoefte met betrekking tot de afstemming met andere meetdoelstellingen is beschreven in § 3.1.2.5 en § 3.1.2.6.

4.1.3.2 VERZAMELEN INFORMATIE (STAP II)

Veel praktische informatie die in stap I is gedefinieerd, zal direct beschikbaar zijn, zodat de term 'verzamelen informatie' minder van toepassing is.

De belangrijkste in het algemeen niet reeds beschikbare informatie bestaat uit de statistische kengetallen, welke noodzakelijk zijn voor de optimalisatie van de meetinspanning. Om deze kengetallen te berekenen wordt gebruik gemaakt van historische data, ervan uitgaande dat de geschiedenis de beste schatter voor de toekomst is.

4.1.3.3 ANALYSE HISTORISCHE GEGEVENS - BEREKENING NOODZAKELIJKE KENGETALLEN (STAP III)

Welke (statistische) kengetallen noodzakelijk zijn voor de optimalisatie van de meetinspanning, is afhankelijk van de methode en de eenheid van de informatie-inhoud (Tabel 4-6).

Tabel 4-6: Kengetallen voor toepassing van formules en voor het kwantificeren van de informatiebehoefte

Doeleinde	kengetal(len)
Formules:	<ul style="list-style-type: none"> • de historische kans (p) op normoverschrijding; • het aantal metingen n waarover p berekend is.
Informatiebehoefte:	<ul style="list-style-type: none"> • niet van toepassing indien voor elke meetpunt/variabele-combinatie specifieke eisen of algemene <i>over-all</i> constante eisen aan de overschrijdingskansen worden gesteld; • de overschrijdingskans (p) indien de eisen gesteld respectievelijk gerelateerd aan: <ul style="list-style-type: none"> - clusters van meetpunten (overschrijdingskansen noodzakelijk voor clustering); - de overschrijdingskansen; - normen.

4.1.3.4 KWANTIFICEREN MEETDOELSTELLING (STAP IV)

Het algemene kader van het kwantificeren van de meetnetdoelstelling is weergegeven in § 3.4. Hoe de informatie wordt uitgedrukt, dat wil zeggen wat er op de Y-as in Figuur 3-3 (pag. 25) is uitgezet, moet nader ingevuld worden. Aanknopingspunten voor optimalisatie zijn:

- A. De relevante marge wordt uitgedrukt in de betrouwbaarheid ($1-\alpha$) bij gegeven breedte van het betrouwbaarheidsinterval rond de geschatte overschrijdingskans p . De minimale informatiebehoefte komt vervolgens overeen met een minimale betrouwbaarheid, de maximale met een maximale betrouwbaarheid.
- B. De relevante marge wordt uitgedrukt in de breedte van het betrouwbaarheidsinterval bij een gedefinieerde betrouwbaarheid ($1-\alpha$). De minimale informatiebehoefte komt vervolgens overeen met een maximale breedte van het betrouwbaarheidsinterval en de maximale informatiebehoefte komt overeen met een minimale breedte van het betrouwbaarheidsinterval.

In beide gevallen zal de breedte van het betrouwbaarheidsinterval gedefinieerd moeten worden¹:

1. Definitie van een betrouwbaarheidsinterval voor elke meetpunt/variabele-combinatie. Dit is in praktijk niet reëel vanwege de bewerkelijkheid van het stellen van eisen en de overzichtelijkheid van het meetnet.
2. Definitie van een absolute intervalbreedte per variabele, gelijk op alle meetpunten.
3. Definitie van een absolute intervalbreedte per cluster meetpunten met vergelijkbare overschrijdingskansen. Lost de problemen van (2.) op mits een duidelijke clustering mogelijk is. De overzichtelijkheid van het meetnet neemt echter af.
4. Definitie van een intervalbreedte gerelateerd aan de overschrijdingskans. Lost de problemen van (2.+3.) op, de overzichtelijkheid neemt echter af. De relatieve waarden kunnen weer vertaald worden naar absolute waarden, waardoor de eisen in absolute zin overal verschillen.
5. Definitie van een absolute intervalbreedte gerelateerd aan normen. Deze methode levert de hoogste meetfrequenties als de geschatte overschrijdingskansen in de buurt van de normstelling ligt (Figuur 4-3) en is daardoor niet voor alle overschrijdingskansen even geschikt.

Mogelijkheid 4. ligt het meest voor de hand indien normtoetsing niet relevant is. Indien normtoetsing wel relevant is, is een combinatie van (4.) en (5.) zinvol, bijvoorbeeld: overal worden eisen gesteld, zoals beschreven onder 4. Indien de grenswaarde/norm binnen het interval ligt, wordt het interval gedefinieerd zoals vermeld onder 5.²⁸

Om de relevante marge te bepalen, kunnen de volgende vragen beantwoord worden:

1. Doelstelling normtoetsing

- minimale informatiebehoefte:
Hoe groot mag de kans dat de normtoetsing tot een foute conclusie leidt, maximaal zijn?
- maximale informatiebehoefte:
Welke fout in de normtoetsing is niet van belang voor het beleid, met andere woorden welke kans van een foute beslissing is te tolereren?

2. Doelstelling algemene waterkwaliteitsbeschrijving

- minimale informatiebehoefte:
Welke maximale afwijking van de berekende overschrijdingskans ten opzichte van de werkelijke overschrijdingskans is praktisch mogelijk (denk aan negatieve kansen) en te tolereren?
- maximale informatiebehoefte:
Welke minimale afwijking van de berekende overschrijdingskans ten opzichte van de werkelijke overschrijdingskans is relevant voor het beleid? Bij welke toegestane afwijking beïnvloedt deze afwijking het beleidsproces niet?

4.1.3.5 OVERIGE STAPPEN (V-X)

Deze stappen zijn algemeen voor elke meetnetdoelstelling en beschreven in § 3.5 tot § 3.10.

²⁷ Aangezien bij de optimalisatie de informatie-inhoud gemaximaliseerd moet worden, dient de definitie van de relevante marge hierop te worden afgestemd. Indien voor de eenheid van de informatie in de praktijk geldt dat de informatie toeneemt indien de waarde afneemt (bijv. als de waarde de breedte van het betrouwbaarheidsinterval is), moet de optimalisatie derhalve óf geformuleerd worden in een minimalisatieprobleem, óf moet de informatiewaarde vermenigvuldigd worden met -1.0 Ook door de reciproke waarde te nemen (=1/informatiewaarde) blijft de optimalisatie een maximalisatie van de informatie-opbrengst.

²⁸ Zodra de overschrijdingskans van het gemiddelde zo dicht bij de grenswaarde ligt dat bij de hoogste meetfrequentie niet aan de gestelde eisen kan worden voldaan, moet de maximaal haalbare meetfrequentie worden gehanteerd.

4.2 INVULLING STAPPENPLAN MEETNETOPTIMALISATIE VOOR DETECTIE VAN MONOTONE TRENDS

4.2.1 DEFINITIE INFORMATIEBEHOEFTE (STAP I)

De waterkwaliteitsbeheerder is geïnteresseerd in de algemene ontwikkeling van de waterkwaliteit op de lange termijn. Informatie over trends in een beheersgebied geven informatie over de natuurlijke ontwikkeling van de waterkwaliteit. In het algemeen worden de trends echter veroorzaakt door menselijk handelen, dat slechts langzaam veranderingen in het watersysteem teweeg brengt. Hierbij valt te denken aan het landelijke mestbeleid, aan effecten van maatregelen op grote (hydrologische) afstand, veranderingen van de hydrologie, etcetera.²⁹

Langjarige trends kunnen een indicatie zijn voor toekomstige knelpunten. Tevens kan door langjarige trends te analyseren een indruk verkregen worden van de ontwikkeling in de waterkwaliteit met betrekking tot bestaande knelpunten.

Bij de definitie van de informatiebehoefte moet geanalyseerd worden welke informatie voor het beleid noodzakelijk is. Deze informatie behelst de primaire (o.a. de variabelen- en meetpuntkeuze, de gewenste nauwkeurigheid) en de secundaire informatiebehoefte (kostenstructuur van analyses en monsternamen en laboratorium- en monsternamencapaciteiten). In het vervolg van deze paragraaf worden verschillende aandachtspunten van de primaire en secundaire informatiebehoefte nader belicht.

4.2.1.1 DE PRIMAIRE INFORMATIEBEHOEFTE

Wat is de meetdoelstelling?

De centrale meetdoelstelling is het kunnen detecteren van (lineaire) monotone trends over langere termijn. De meetdoelstelling wordt algemeen geformuleerd als: welke variabelen moeten op welke meetpunten hoe vaak gemeten worden zodat een betrouwbaar beeld van de langjarige ontwikkeling van de waterkwaliteit wordt verkregen? Deze langjarige ontwikkeling moet bij voorkeur niet veroorzaakt zijn door lokale maatregelen. Voor dergelijke maatregelen is de meetdoelstelling stap-trends relevant.

Voor welk meetcompartiment geldt deze meetdoelstelling?

In het kader van dit rapport wordt alleen ingegaan op het standaard fysisch-chemische variabelenpakket in het oppervlaktewater. Langjarige ontwikkelingen zullen (mogelijk met enige vertraging) ook hun weerslag in biota en sedimenten vinden. Een discussie over het te bemeten compartiment kan in zijn algemeenheid zinvol zijn.

Op welke meetpunten moet gemeten worden?

Het belangrijkste criterium voor de keuze van het meetpunt is dat het meetpunt representatief voor de omgeving moet zijn, en zo min mogelijk onder invloed van kortstondige of abrupte permanente veranderingen mag staan:

²⁹ Deze twee ontwikkelingen zijn in het algemeen niet van elkaar te onderscheiden.

- Geschikt zijn: ● Meetpunten in landelijk gebied, die met name onder invloed staan van af- en uitspoeling in het gebied.
- Minder geschikt zijn: ● Meetpunten die regelmatig sterk beïnvloed worden (piekconcentraties): langjarige trends zijn hier alleen interessant, indien de invloed van de pieken op de langjarige reeks verwaarloosd kunnen worden. Indien de pieken veelvuldig voorkomen (bijv. bij overstorten), is de meetdoelstelling staptrends van toepassing, zodra de situatie gewijzigd wordt.
- Niet geschikt zijn: ● Meetpunten die voornamelijk beïnvloed worden door lokale menselijke actie (lozing, overstort).
 ● Meetpunten waar abrupte permanente veranderingen te verwachten zijn.
 ● Meetpunten die alleen de lokale situatie weerspiegelen.

De keuze van het meetpunt hoeft in dit stadium van de meetnetoptimalisatie niet definitief te zijn. Aangezien het a priori niet duidelijk is voor welke meetpunten de meetdoelstellingen realiseerbaar zijn, moeten alleen die meetpunten die zeker niet relevant zijn in het vervolg buiten beschouwing gelaten worden. Alle gelijkwaardige meetpunten moeten bij de vervolganalyse worden betrokken. Op basis van de geschiktheid van meetpunten kan uiteindelijk uit meerdere opties (meetpunten) het meest geschikte meetpunt wat betreft haalbaarheid van de eisen en de kosten geselecteerd worden.

Welke variabelen moeten gemeten worden?

Om de grote lijn in de ontwikkeling van de waterkwaliteit te kunnen volgen, moeten algemene variabelen in de tijd gevolgd worden. De volgende richtlijnen kunnen bij de selectie behulpzaam zijn:

- Geschikt zijn: ● Indicatorvariabelen. Variabelen op basis waarvan algemene uitspraken over de ontwikkeling van de waterkwaliteit kunnen worden gedaan.
 ● Variabelen die door landelijk beleid worden beïnvloed.
 ● Variabelen met een lage variabiliteit (na verwijdering van seizoensinvloeden).
- Minder geschikt zijn: ● Variabelen waarvoor normen zijn gesteld, die echter niet in de categorie 'geschikt' vallen. Een beoordeling van de ontwikkeling van de waterkwaliteit ten opzichte van de normstelling is met name voor indicatorvariabelen interessant.
 ● Variabelen met een gering belang bij de algemene beoordeling van de waterkwaliteitsontwikkeling.
- Niet geschikt zijn: ● Variabelen met een zeer sterke temporele variantie, die bovendien sterk afhankelijk zijn van jaar tot jaar varianties (bijv. chlorofyl, bacteriën).

Bij een beoordeling of een variabele meer of minder geschikt is, moeten ook de kosten betrokken worden.

De keuze van de variabelen in dit stadium van de meetnetoptimalisatie hoeft niet definitief te zijn. Aangezien het a priori niet duidelijk is voor welke variabelen de meetdoelstellingen realiseerbaar zijn, moeten alleen die variabelen die zeker niet relevant zijn, in het vervolg buiten beschouwing gelaten worden.

De relevantie van variabelen kan lokaal gebonden zijn. Dit hangt bijvoorbeeld af van het type en de functie van oppervlaktewater en de herkomst van het water (bijv. de kwaliteit van kwelwater). Het is bijvoorbeeld niet noodzakelijk elke eutrofiëring-gerelateerde variabele te beoordelen. Aangezien sommige variabelen gelijkwaardig geacht kunnen worden, kunnen eisen aan variabelenpakketten

gesteld worden. Het definiëren van pakketten met gelijkwaardige variabelen kan voor een optimalisatie van de trenddetectie voordelig zijn.

Bijvoorbeeld:

Trenddetectie moet minimaal plaatsvinden voor twee variabelen voor eutrofiëring, één zuurstof gerelateerde variabele en twee variabelen met conservatief gedrag.

De keuze voor de uiteindelijk te bemeten variabelen dient op basis van de haalbaarheid van trendeisen en kosten te geschieden.

Hoe betrouwbaar moet de informatie zijn?

Gangbaar is een betrouwbaarheid ($1-\alpha$) van 0.9 en indien een methode rekening houdt met het onderscheidend vermogen een onderscheidend vermogen ($1-\beta$) van 0.8.

Welke 'hoeveelheid' informatie is relevant?

Dit onderwerp komt in stap IV aan de orde.

Wanneer moet de informatie beschikbaar zijn?

Voor de berekening van de meetfrequentie of het aantal metingen dat noodzakelijk is om bepaalde informatie te vergaren, moet bekend zijn op welke termijn de metingen moeten worden uitgevoerd. Voor langjarige, monotone trends in het oppervlaktewater is een periode van 10 jaar het meest gangbaar. Aanvullende randvoorwaarden kunnen vanuit de statistiek gelden. Zo is voor een betrouwbare berekening van een langjarige trend een meetreeks van tenminste 5 jaar een vereiste. Voorts mag er omwille van een nauwkeurige schatting van de historische spreiding, geen trendbreuk in de meetreeks aanwezig zijn in de periode waarop de meetreeks betrekking heeft. In de Nederlandse situatie zal trendbepaling over perioden langer dan 15 jaar veelal niet relevant zijn aangezien in langere perioden wisselende trends optreden.

4.2.1.2 DE SECUNDAIRE INFORMATIEBEHOEFTE

Hoe moet de informatie uit de data worden verkregen?

De data zullen met behulp van toetsen voor monotone trends in informatie worden omgezet. Welke toets het meest geschikt is kan op basis van het beslisschema in deel 2 bepaald worden.

Hoe moet de toekomstige meetfrequentie worden bepaald?

Om het aantal metingen noodzakelijk voor trenddetectie te bepalen heeft Lettenmaier een methode ontwikkeld. Deze methode is gebaseerd op het toetsen van de volgende hypothese:

H_0 : er is geen trend ($Tr; Tr = 0$);

H_1 : er is een trend ($Tr; Tr \neq 0$).

De formule om de toetsingswaarde te berekenen is:

$$N_T = Tr \sqrt{\frac{n^*}{12 s^2}} \tag{7}$$

Hierin is:

- N_T de toetsingsgrootheid
- Tr de trend in absolute eenheden
- n^* het aantal onafhankelijke metingen in de gehele (toekomstige) tijdsperiode
- s^2 (schatting van) de variantie

Kritieke waarden voor N_T zijn gegeven in Tabel 4-7. Deze waarden zijn een sommatie van de waarden van de cumulatieve normale verdelingsfunctie (deel 2) bij $(1-\frac{1}{2}\alpha)$ en $(1-\beta)$.

Tabel 4-7: Kritieke waarden N_T voor verschillende niveaus van onbetrouwbaarheid α en onderscheiden vermogen $(1-\beta)$ ³⁰

			Onbetrouwbaarheid α			
			0.20	0.10	0.05	0.01
			$(1-\frac{1}{2}\alpha)$			
			0.9	0.95	0.975	0.995
			$Z_{(1-\frac{1}{2}\alpha)}$			
			1.282	1.645	1.960	2.575
		$Z_{(1-\beta)}$				
Onderscheidend vermogen $(1-\beta)$	0.80	0.843	2.125	2.488	2.803	3.418
	0.90	1.282	2.564	2.927	3.242	3.857
	0.95	1.645	2.927	3.290	3.605	4.220
	0.99	2.326	3.608	3.971	4.286	4.901

Door de toetsingswaarde gelijk te stellen aan een gewenste kritieke waarde, de toekomstige variantie te schatten en een eis aan de te detecteren monotone trend te stellen, kan het aantal onafhankelijke metingen (n^*) berekend worden dat in de benodigd is om deze trend in de toekomst te detecteren:

$$n^* = \left(\frac{N_T^{krit}}{Tr} \right)^2 12 s^2 \quad (8)$$

Via de formule van Bayley en Hammersley (1946) kan vervolgens het aantal werkelijk uit te voeren metingen (n) bepaald worden. Voor de toepassing van deze methode is enerzijds een schatting van de variantie noodzakelijk (formule (9)), en anderzijds de lag(1) seriële autocorrelatiecoëfficiënt (deel 2, § 4.4.4). Voor zinvolle schattingen moeten de data voor berekening vrij van trend- en seizoensinvloed zijn gemaakt.

Veelal zal het niet mogelijk zijn om een schatting van de seriële correlatie te berekenen: in dat geval wordt aangenomen dat de metingen onafhankelijk zijn.

Welke lokale omstandigheden kunnen een rol van betekenis spelen?

De informatiebehoefte met betrekking tot de lokale omstandigheden is beschreven in § 3.1.2.3.

Welke andere meetnetten zijn van belang? Welke afstemming is noodzakelijk?

De informatiebehoefte met betrekking tot de afstemming met andere meetdoelstellingen is beschreven in § 3.1.2.4.

Wat is de financiële structuur van het (huidige) monitoren?

Bij de optimalisatie van een meetinspanning moet een bestedingsschema voor de beschikbare middelen opgesteld worden. Uitgangspunt hierbij is, dat de gewenste informatie zo kostenefficiënt mogelijk verzameld wordt, of dat een beperkte hoeveelheid middelen maximale informatie oplevert. Voor een uitgebreide beschouwing van de verschillende aspecten wordt verwezen naar § 3.1.2.5.

³⁰ Geldt alleen voor $N > 30$. Indien $N \leq 30$, dan dient de t-verdeling te worden gebruikt.

Voor trenddetectie op de lange termijn gelden nog enkele aanvullende aandachtspunten met betrekking tot de kostenstructuur:

- Is de kostenstructuur constant op de lange termijn? Zijn er veranderingen te verwachten en zijn deze reeds in kaart te brengen?
- Is het beschikbare budget gegarandeerd op de lange termijn? Kunnen bezuinigingen nu garanderen dat later niet alsnog gesneden moet worden in het budget, dus in de meetinspanning?
- Wat zijn de te verwachte veranderingen in het laboratorium waarmee rekening gehouden moet worden? (bijv. andere analyseapparatuur of ion-selectieve elektroden).

Wat is de logistieke structuur van het (huidige) monitoren?

De informatiebehoefte met betrekking tot de logistieke structuur en randvoorwaarden is beschreven in § 3.1.2.6.

4.2.2 VERZAMELEN INFORMATIE (STAP II)

Na de definitie van de informatiebehoefte in stap I moet de diverse (relevante) informatie verzameld worden. Veel informatie uit stap I zal reeds beschikbaar zijn.

De belangrijkste, meest bewerkelijke informatie die verzameld moet worden, bestaat uit de benodigde statistische kengetallen. Kennis omtrent de *toekomstige* variabiliteit (s^2) en de *toekomstige* afhankelijkheid (r) moet beschikbaar zijn. Ervan uitgaande dat het verleden de beste schatter van de toekomst is, moeten de data verzameld worden waarmee in stap III de noodzakelijke kengetallen kunnen worden berekend. Aangezien de variantie en de autocorrelatiecoëfficiënten nauwkeuriger worden naarmate meer gegevens beschikbaar zijn, en deze grootheden bepaald moeten worden op basis van trend- en seizoensvrije gegevens, zijn minimaal 5 jaar historische data noodzakelijk om het trend- en seizoenseffect te schatten. Voor een nauwkeurige bepaling van de autocorrelatiecoëfficiënten zijn 60 waarnemingen gewenst.

4.2.3 ANALYSE HISTORISCHE GEGEVENS - BEREKENING NOODZAKELIJKE KENGETALLEN (STAP III)

Het berekenen van de noodzakelijke kengetallen geschiedt op basis van historische data. Indien deze data niet beschikbaar zijn, kan de benodigde informatie verkregen worden door:

- een zinvolle extrapolatie van andere meetpunten (variabelen) die op basis van andere kennis vergelijkbaar zijn;
- het toepassen van een *worst case*-scenario door de meest ongunstige schattingen uit het routinematige meetnet te gebruiken.

Projectstudies zijn minder geschikt, aangezien de statistische kengetallen op basis van meerdere jaren moeten worden berekend. Een kleine projectstudie kan echter wel zinvol zijn om te toetsen of de extrapolatie van een 'vergelijkbare situatie' (eerste bovenstaande optie) ook werkelijk vergelijkbaar is. Voor al deze mogelijkheden geldt dat regelmatig gecontroleerd moet worden of de schattingen met de werkelijkheid overeenstemmen.

Voor de berekening van het aantal metingen om een bepaalde trend te kunnen detecteren, moeten waarden voor de variantie en de autocorrelatiestructuur worden berekend. Voor het kwantificeren van de informatiebehoefte is het echter nuttig om inzicht te hebben in de trends die in het verleden zijn opgetreden en of deze trends al dan niet significant waren. Aangezien de informatie-eisen veelal

gerelateerd worden aan de hoogte van het procesniveau (bijv. de gemiddelde of mediane concentratie) moeten ook deze waarden berekend worden.

4.2.4 KWANTIFICEREN MEETDOELSTELLING (STAP IV)

Het theoretische kader van het kwantificeren van de meetdoelstelling is gegeven in § 3.4. Hier wordt volstaan met de invulling voor trenddetectie.

De beheerder heeft verschillende aanknopingspunten om de informatiebehoefte, de relevante marge (Y-as in Figuur 3-3 op pag. 25), te definiëren:

1. De informatie wordt gevormd door de toetsingsgrootte N_T . In dit geval moeten het aantal jaren voor trenddetectie, de variantie en de trend die in de toekomst gedetecteerd moet kunnen worden, a priori worden vastgesteld. De informatie-opbrengst is dan uitsluitend een functie van het aantal metingen. Dit levert een aanknopingspunt voor optimalisatie van de meetfrequentie. De ondergrens van de relevante marge (minimale informatiebehoefte) wordt bepaald als zijnde die kritieke waarde, die behoort bij de laagste acceptabele betrouwbaarheid en onderscheidend vermogen. De bovengrens van de relevante marge (maximale informatiebehoefte) wordt bepaald als zijnde die kritieke waarde (N_T^{krit}), die behoort bij de hoogste nog relevante betrouwbaarheid en onderscheidend vermogen.
2. De informatie-opbrengst wordt gevormd door de detecteerbare trend. In dit geval wordt formule (7) opgelost naar trend (Tr). Door het aantal jaren voor trenddetectie, de variantie en de kritieke waarde N_T^{krit} a priori vast te stellen, is de informatie-opbrengst uitsluitend een functie van het aantal metingen. De ondergrens van de relevante marge (minimale informatiebehoefte) wordt bepaald als zijnde de maximale trend, die kan optreden en die relevant is voor het beleid. De bovengrens van de relevante marge (maximale informatiebehoefte) wordt bepaald als de minimale trend die nog relevant is voor het beleid.
3. De informatie-opbrengst wordt gevormd door het aantal jaren dat noodzakelijk is om gegeven een vaste meetfrequentie een vastgestelde trend bij vastgestelde N_T^{krit} te bepalen. Voor deze methode moet de formule aangepast worden. Deze methode wordt verder buiten beschouwing gelaten, aangezien gebruik van deze methode zou resulteren in meetperioden van verschillende duur voor individuele meetpunt/variabele-combinatie.

In het algemeen wordt methode 2 geprefereerd. Ten opzichte van methode 1 biedt deze methode de meest sprekende informatie-eisen. Een variabele betrouwbaarheid per meetpunt/variabele-combinatie bevordert de overzichtelijkheid niet. Dit geldt in principe ook voor variërende trenddetectie mogelijkheden, hoewel dit veelal niet zo wordt ervaren. In principe kunnen de eisen naar elkaar worden vertaald.

Voor beide methoden dienen trendwaarden te worden gedefinieerd. Voor methode 2 zijn dat er twee: de minimale en maximale relevante trend. Voor methode 1 is de trendwaarde gelijk aan de maximale informatiebehoefte (minimale trend) van methode 2. De vraag dient zich aan hoe deze trends gedefinieerd moeten worden. Verschillende invalshoeken zijn denkbaar. Hieronder volgen in het kort enkele mogelijkheden, waarvan tevens de voor- en nadelen worden aangegeven:

1. Definiëren van specifieke trends per meetpunt/variabele-combinatie. Deze methode levert in theorie de meest op de informatiebehoefte afgestemde trends op. Het definiëren van individuele trends is echter vrijwel ondoenlijk en de overzichtelijkheid van het meetnet is gering.

2. Absolute trends per variabele voor het gehele gebied. Ten opzichte van mogelijkheid 1. is de overzichtelijkheid van het meetnet zeer hoog. Bovendien is het relatief eenvoudig om min of meer algemene trends te definiëren. Hierin ligt ook meteen een van de zwaktes van het systeem: er wordt geen rekening gehouden met speciale (lokale) eisen met betrekking tot trends. Het is denkbaar dat de trendeisen variëren per type/functie van het water (wat relevant is op het ene meetpunt hoeft elders niet ook interessant te zijn). Bovendien kunnen binnen hetzelfde gebied de concentratieniveaus zodanig verschillen, dat een absolute trend lokaal niet interessant is. Een trend die op een meetpunt met een hoog concentratieniveau interessant is, komt mogelijk nooit voor op meetpunten met een laag concentratieniveau en is dus niet relevant. Trends die interessant zijn op meetpunten met een laag concentratieniveau, zijn op andere meetpunten ten eerste niet relevant en ten tweede zullen dergelijke lage trends op deze meetpunten alleen bij een zeer hoge meetinspanning gedetecteerd kunnen worden.

3. Om de onder 2. genoemde problemen te omzeilen, kunnen de meetpunten geclusterd worden naar type, functie en concentratieniveau. Vervolgens kunnen voor elk cluster afzonderlijk relevante marges bepaald worden. Het is in het algemeen echter moeilijk om meetpunten op grond van hun concentratieniveaus te clusteren. Daarnaast is de overzichtelijkheid van het meetnet bij te veel clusters beperkt.

4. In plaats van absolute waarden kunnen de trendeisen als percentage van het historische gemiddelde aan het concentratieniveau gerelateerd worden. Hierdoor wordt een clustering op concentratieniveau vermeden. Deze methode heeft echter als nadeel, dat percentages minder grijpbaar zijn. Als de trendeisen gerelateerd worden aan historische gemiddelden, moet rekening gehouden worden met de trends in het verleden. Als er grote trends zijn opgetreden, is het langjarige gemiddelde niet representatief voor de situatie bij optimalisatie; de trendeisen voldoen hierdoor niet. Het is aan te bevelen het historische gemiddelde voor trends te corrigeren of slechts van enkele recente jaren gebruik te maken voor de berekening van het historische gemiddelde. Een ander nadeel van de methode is, dat deze minder geschikt is voor variabelen die een optimum vertonen anders dan nul, bijvoorbeeld zuurstof en zuurgraad. Voor deze variabelen kan veelal volstaan worden met absolute trendeisen, eventueel gespecificeerd per watertype.

5. Trends gerelateerd aan normen. Het is denkbaar dat de trendeisen op de een of andere manier aan de normen worden gekoppeld. Een rechtstreekse koppeling, waarbij de trendeis het verschil is tussen historisch niveau en normstelling heeft echter tot effect dat meetpunten met een kwaliteit rond de norm zeer vaak bemonsterd moeten worden (zeer kleine trends moeten worden gedetecteerd). Meetpunten daarentegen die ver verwijderd zijn van de norm behoeven helemaal niet bemonsterd worden, omdat de voor deze meetpunten te detecteren trends extreem hoog zijn. Door de trendeisen omgekeerd proportioneel te maken ten opzichte van het verschil met de norm worden echter meetpunten die rond de norm liggen zo zelden bemonsterd, dat men eventuele veranderingen niet signaleert. Het is moeilijk om de eisen aan de normstelling of enige andere streefwaarde te relateren.

Bij methode 2 neemt bij afnemende detecteerbare trend de informatie-inhoud toe. De relevante marge ligt tussen een maximale trend (de minimale informatiebehoefte) en een minimale trend (de maximale informatiebehoefte). Aangezien de optimalisatie theoretisch een maximalisatie van de informatie-inhoud is, moeten de trendeisen aangepast worden. Twee mogelijkheden liggen voor de hand:

1. De trendeisen worden omgevormd tot de negatieve waarde van de oude trendeisen ('maal -1').
2. De trendeisen worden omgevormd tot de reciproke van de oude trendeisen ('1 gedeeld door').

De wijze waarop de trendeisen worden omgerekend, beïnvloedt het resultaat van het bestedingsproces: methode 1 is 'recht-toe-recht-aan', terwijl bij methode 2 de meetpunten worden bevoordeeld waar al lage trends gedetecteerd kunnen worden.

4.2.5 OVERIGE STAPPEN (V-X)

Deze stappen zijn algemeen voor elke meetnetdoelstelling en beschreven in § 3.5 tot § 3.10.

4.2.6 CASE: DE AFHANKELIJKHEID VAN DETECTEERBARE MONOTONE TRENDS VAN HET AANTAL WAARNEMINGEN

Doelstelling

In de toekomst moet een monotone trend in de zuurstofconcentratie in de Westeinderplassen ter grootte van 2 mg/l bij een betrouwbaarheid van $\alpha=0.1$ en een onderscheidend vermogen van $\beta=0.1$ aangetoond kunnen worden. De meetperiode is 10 jaar.

Beschikbare data

In deze case is van dezelfde 20-jarige meetreeks gebruik gemaakt als in de case 'Spoor 1: gemiddelden' (§ 4.1.2.6, Figuur 4-1).

Data-analyse

In de data is op basis van de Kruskal-Wallis toets geen significante ($\alpha=0.1$) seizoensinvloed aanwezig. De monotone trend nauwelijks is significant te noemen (significant bij $\alpha=0.25$). Na verwijdering van trend en seizoensinvloed zijn de data niet-normaal verdeeld bij $\alpha=0.2$ (Kolmogorov toets) en niet volledig onafhankelijk.

De maandgemiddelde data zijn onderling meer afhankelijk en volgen nog minder een normale verdeling dan de ruwe data.

Er is gebruik gemaakt van de formule:

$$N_T = \frac{Tr \sqrt{n^*}}{\sqrt{12s_e^2}} \quad (\S 4.2.1.2),$$

om de monotone trend (Tr) die bij een bepaalde meetinspanning juist nog gedetecteerd kan worden, te bepalen. Hiertoe is deze formule omgevormd tot:

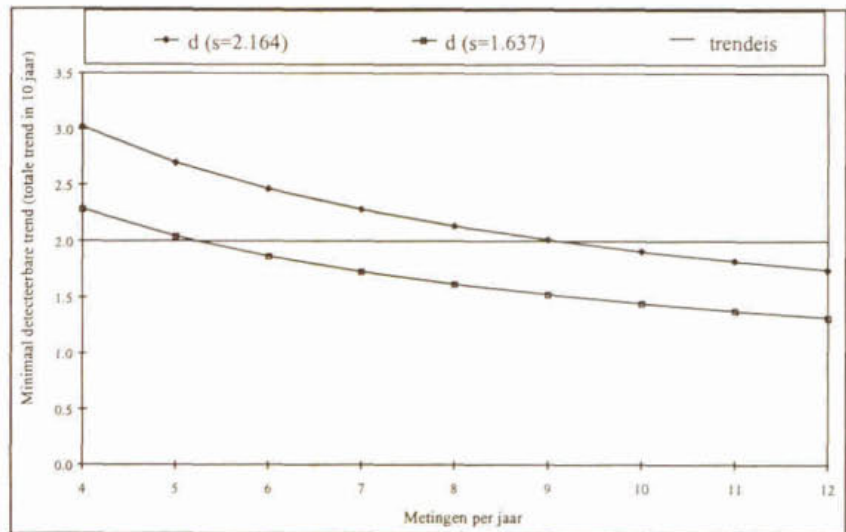
$$Tr = N_T^{krit} \sqrt{\frac{12s_e^2}{n^*}} \quad (\S 4.2.1.2),$$

waarin N_T^{krit} de kritische waarde voor de oorspronkelijke toets is, die afhangt van de betrouwbaarheid en het onderscheidend vermogen.

De toekomstige spreiding is geschat op basis van de maandgemiddelde historische data vóór ($s=2.164$) en na verwijdering van trend en seizoensinvloed ($s=1.637$). De waarden van N_T^{krit} kunnen worden afgelezen in Tabel 4-7. Voor deze case is $N_T^{krit}=2.564$.

Om problemen met de onderling afhankelijkheid te voorkomen is besloten om maximaal 12 metingen per jaar uit te voeren. Aangezien op procesmatige gronden seizoensinvloed wel verwacht wordt, moet minimaal 4 maal per jaar gemeten worden.

In Figuur 4-4 is weergegeven welke monotone trend juist nog gedetecteerd kan worden als functie van het aantal metingen. Hierbij is ervan uitgegaan dat de metingen onderling onafhankelijk zijn: het aantal metingen is niet gecorrigeerd voor seriële correlatie. Indien bij een toekomstige toets op trend geen rekening wordt gehouden met de seizoensinvloed, moeten jaarlijks 9 metingen worden verricht. Indien een toets gebruikt wordt die hier wel rekening mee houdt, zijn 6 metingen per jaar voldoende.



Figuur 4-4: Relatie tussen de detecteerbare monotone trend en het aantal metingen per jaar

4.3 INVULLING STAPPENPLAN MEETNETOPTIMALISATIE VOOR DETECTIE VAN STAPTRENDS

4.3.1 DEFINITIE INFORMATIEBEHOEFTE (STAP I)

De waterkwaliteitsbeheerder is geïnteresseerd in het (schok)effect van lokale maatregelen op de korte termijn. Voorbeelden voor dergelijke maatregelen zijn onder andere veranderingen in lozingen en hydrologie. Het detecteren van plotselinge, ingrijpende veranderingen is daarom niet een functie van routinematig meten. Het detecteren van staptrends verlangt een projectmatige aanpak, waarbij de (beoogde) effecten van te nemen maatregelen a priori ingeschat (kunnen) worden. Dit betekent dat het detecteren van staptrends geen deel uitmaakt van de routinematige meetinspanning.

Bij elke op de waterkwaliteit gerichte maatregel moet in principe een meetcampagne uitgevoerd worden, waarmee het effect van de maatregel geëvalueerd kan worden. Dit betekent feitelijk dat de meetcampagne vastligt: het minimaal verwachte effect moet aangetoond worden - de hiervoor benodigde meetfrequentie per variabele ligt vast. De optimalisatie van de meetinspanning is daarom niet gericht op het optimaal besteden van beschikbare middelen. Het bestedingsschema is derhalve niet relevant. De andere stappen in het stappenplan zijn echter wel van belang: keuzen met betrekking tot variabelen, meetpunten en dergelijke kunnen zodanig gemaakt worden, dat de door monitoring verkregen informatie bij de evaluatie van beleid nuttig is.

Bij de definitie van de informatiebehoefte moet geanalyseerd worden welke informatie voor het beleid noodzakelijk is. Deze informatie behelst de primaire (o.a. de variabelen- en meetpuntkeuze, de gewenste nauwkeurigheid, enzovoorts) en de secundaire informatiebehoefte (kostenstructuur van analyses en monsternamen en laboratorium- en monsternamencapaciteiten). In het vervolg van deze paragraaf worden verschillende aandachtspunten van de primaire en secundaire informatiebehoefte nader belicht.

4.3.1.1 DE PRIMAIRE INFORMATIEBEHOEFTE

Wat is de meetdoelstelling?

De centrale meetdoelstelling is het kunnen detecteren van plotselinge veranderingen op korte termijn (enkele jaren). De meetdoelstelling wordt algemeen geformuleerd als: welke variabelen moeten op welke meetpunten hoe vaak gemeten worden, zodat een betrouwbaar beeld van het effect van een maatregel verkregen kan worden? De meetinspanning moet zodanig ontworpen zijn, dat effecten van andere oorsprong dan de maatregel (bijv. langjarige ontwikkelingen, seizoensvariaties of hydrologische veranderingen), de eindconclusie over het effect van de genomen maatregel niet beïnvloeden. Het moet duidelijk zijn dat de gevonden trend samenhangt met de maatregel.

Voor welk meetcompartiment geldt deze meetdoelstelling?

In het kader van dit rapport wordt alleen ingegaan op het standaard fysisch-chemische variabelenpakket in het oppervlaktewater. Afhankelijk van de maatregel en het beoogde effect kan het echter voordelig zijn een ander compartiment te kiezen. Hierbij valt bijvoorbeeld te denken aan veranderingen in de soortensamenstelling van biota bij sanering van lozingen of veranderingen in het kwantiteitsbeheer.

Op welke meetpunten moet gemeten worden?

Het belangrijkste criterium voor de keuze van een meetpunt is de mate van beïnvloeding door de te nemen maatregel.

- Geschikt zijn:
- meetpunten die sterk (het sterkst, het meest abrupt) door de maatregel beïnvloed worden;
 - meetpunten die als referentie kunnen dienen - en dus juist niet beïnvloed worden.
- Minder of niet geschikt zijn:
- meetpunten waar slechts geringe veranderingen te verwachten zijn.

Bij gebieddekkende veranderingen (bijv. veranderingen in het peilbeheer of inlaatbeleid) kunnen meerdere meetpunten geschikt zijn. Een definitieve keuze hoeft op dit moment echter nog niet te worden gemaakt.

Voor de relevante meetpunten moeten de lokale omstandigheden en beïnvloedende factoren die het effect van de maatregelen kunnen verdoezelen, in kaart gebracht worden. Hierbij valt bijvoorbeeld te denken aan het debiet van het ontvangende oppervlaktewater (verdundingseffect), nalevering door het sediment of andere lokale maatregelen.

Welke variabelen moeten gemeten worden?

Om de grote lijn in de ontwikkeling van de waterkwaliteit zichtbaar te maken, moeten algemene variabelen in de tijd gevolgd worden. De volgende richtlijnen kunnen bij de selectie behulpzaam zijn:

- Geschikt zijn:
- Variabelen waarop de maatregelen het meest gericht zijn en die bovendien een lage variantie vertonen, aangezien een hoge variantie een hoge meetfrequentie met zich meebrengt.
 - (Enkele) variabelen die niet beïnvloed worden, om aan te tonen dat eventuele autonome ontwikkelingen niet belangrijk zijn. Als een dergelijke variabele een staptrend vertoont, moet hiermee bij de interpretatie van de resultaten rekening worden gehouden. Een verandering in een rioolwaterzuiveringsinstallatie zal bijvoorbeeld in het algemeen geen staptrend in chloride veroorzaken. Als de chlorideconcentratie sterk verandert, moeten de resultaten hiervoor gecorrigeerd worden.
 - Eventueel conservatieve variabelen en debieten om voor effecten van variërende hydrologische omstandigheden te compenseren.
- Minder geschikt zijn:
- Variabelen waarop de maatregelen het meest gericht zijn maar die een hoge variantie vertonen.
 - Variabelen waarop de maatregelen minder sterk gericht zijn (de meetspanning zal hiervoor hoog zijn, aangezien slechts gering effect verwacht wordt).
- Niet geschikt zijn:
- Variabelen met een zeer sterke variantie, die bovendien sterk afhankelijk zijn van jaar tot jaar varianties (bijv. chlorofyl of bacteriën).

Aangezien maatregelen vaak sterk gericht zijn op bepaalde variabelen, zal er in het algemeen weinig keuze zijn. Desondanks geldt ook hier, dat de keuze van de variabelen in dit stadium van de meetnetoptimalisatie niet definitief hoeft te zijn.

Bij de beoordeling of een variabele meer of minder geschikt is, moeten ook de kosten betrokken worden. Indien er meerdere variabelen geschikt zijn, maar om bijvoorbeeld financiële redenen niet alle relevante variabelen bij de studie betrokken kunnen worden, kunnen variabelenpakketten

gedefinieerd worden, waaruit op basis van een haalbaarheidsstudie uiteindelijk verder geselecteerd wordt.

Hoe betrouwbaar moet de informatie zijn?

Om het aantal noodzakelijke metingen te bepalen moeten de betrouwbaarheid en het onderscheidend vermogen gedefinieerd worden. Voor de detectie van lineaire trends zijn een betrouwbaarheid $(1-\alpha)$ van 0.9 en een onderscheidend vermogen $(1-\beta)$ van 0.8 gangbaar. Voor staptrends (evaluatie van lokaal beleid) zijn echter hogere waarden aan te bevelen.

Welke 'hoeveelheid' informatie is relevant?

Dit onderwerp komt in stap IV aan de orde.

Wanneer moet de informatie beschikbaar zijn?

Voor de berekening van de meetfrequentie of het aantal metingen, dat noodzakelijk is om bepaalde informatie te vergaren, moet bekend zijn op welke termijn de metingen moeten worden uitgevoerd. Voor staptrends geldt dat het effect in het algemeen binnen twee tot vier jaar duidelijk moet zijn. Aangezien de implementatie van een maatregel veelal enige tijd in beslag neemt, kan het voor het toetsen op staptrends nodig zijn om de jaren van implementatie niet bij de analyse te betrekken. De toets op staptrend houdt in, dat de jaren voor implementatie vergeleken worden met de jaren na implementatie. Hier kunnen enkele jaren van implementatie tussen liggen.

4.3.1.2 DE SECUNDAIRE INFORMATIEBEHOEFTE

Hoe moet de informatie uit de data worden verkregen?

Met behulp van toetsen voor staptrend wordt de informatie uit de data gewonnen. Welke toets het meest geschikt is, kan op basis van het beslisschema in deel 2 bepaald worden.

Hoe moet de toekomstige meetfrequentie worden bepaald?

Het bepalen van het voor trenddetectie noodzakelijk aantal metingen, kan plaatsvinden met behulp van een door Lettenmaier ontwikkelde methode. Deze methode is gebaseerd op het toetsen van de volgende hypothese:

H_0 : er is geen staptrend ($Tr; Tr = 0$);

H_A : er is een staptrend ($Tr; Tr \neq 0$).

Hierbij wordt de volgende formule gebruikt:

$$N_T = Tr \sqrt{\frac{n^*}{4s^2}} \quad (9)$$

Hierin is:

N_T	de toetsingsgrootheid
Tr	de trend in absolute eenheden
n^*	het aantal (toekomstige) onafhankelijke metingen na de ingreep
s^2	de (schatting van de) variantie

Kritieke waarden voor N_T zijn gegeven in Tabel 4-8. Deze waarden zijn een sommatie van de waarden van de cumulatieve normale verdelingsfunctie (deel 2) bij $(1-\frac{1}{2}\alpha)$ en $(1-\beta)$.

Tabel 4-8: Kritieke waarden N_T voor verschillende niveaus van onbetrouwbaarheid α en onderscheiden vermogen $(1-\beta)$ ³¹

			Onbetrouwbaarheid α			
			0.20	0.10	0.05	0.01
			(1-1/2 α)			
			0.9	0.95	0.975	0.995
			$Z_{(1-1/2\alpha)}$			
			1.282	1.645	1.960	2.575
			$Z_{(1-\beta)}$			
Onderscheidend vermogen (1- β)	0.80 0.90 0.95 0.99	0.843 1.282 1.645 2.326	2.125 2.564 2.927 3.608	2.488 2.927 3.290 3.971	2.803 3.242 3.605 4.286	3.418 3.857 4.220 4.901

Door de toetsingswaarde gelijk te stellen aan een gewenste kritieke waarde, de toekomstige variantie te schatten en een eis aan de te detecteren staptrend te stellen, kan het aantal onafhankelijke metingen (n^*) berekend worden dat benodigd is om deze trend in de toekomst te detecteren:

$$n^* = \left(\frac{N_T^{krit}}{Tr} \right)^2 4 s^2 \quad (10)$$

Via de formule van Bayley en Hammersley (1946) kan vervolgens het aantal werkelijk uit te voeren metingen (n) bepaald worden. Voor de toepassing van de methode is enerzijds een schatting van de standaardafwijking (formule (9)), en anderzijds de lag(1) seriële autocorrelatiecoëfficiënt (deel 2, § 4.4.4) noodzakelijk. Voor zinvolle schattingen moeten de data voor berekening vrij van trend- en seizoensinvloed zijn gemaakt. Veelal zal het niet mogelijk zijn om een schatting van de seriële correlatie te berekenen: in dat geval wordt aangenomen dat de metingen onafhankelijk zijn.

Een andere mogelijkheid is het gebruik van de t-toets op verschillen. Deze toets staat uitvoerig beschreven in deel 2. De berekening van de toetsingsgrootte, gecorrigeerd voor een verwachte minimale trend Tr is:

$$t = \frac{\left(\bar{X}_{voor} - (\bar{X}_{na} + Tr) \right)}{\sqrt{\frac{S_{voor}^2}{n_{voor}} + \frac{S_{na}^2}{n_{na}}}}, \quad (11)$$

waarin 'voor' en 'na' voor 'vóór' respectievelijk 'na de ingreep' staat, \bar{X} de gemiddelde concentratie weergeeft na verwijdering van bekende bronnen van varianties de schatting van de standaardafwijking en n het aantal waarnemingen weergeeft. Bij deze methode wordt uitgegaan van een normale verdeling van de gegevens. Omwerking van formule (11) leidt tot:

$$n_{na} = \frac{S_{na}^2}{\left(\frac{\bar{X}_{voor} - (\bar{X}_{na} + Tr)}{t} \right)^2 - \frac{S_{voor}^2}{n_{voor}}} \quad (12)$$

³¹ Geldt alleen voor $N > 30$. Indien $N \leq 30$, dan dient de t-verdeling gebruikt te worden.

In plaats van het toetsen van verschillen kan ook gebruik gemaakt worden van een nieuwe dataset z, zijnde het gepaarde³² verschil tussen de reeksen vóór en na de maatregel. Indien de maatregel effect heeft, zal het verschil significant afwijken van nul. Dit betekent Tr buiten het betrouwbaarheidsinterval rond nul moet liggen.

Aangezien a priori vaststaat of Tr kleiner of groter is, kan het betrouwbaarheidsinterval eenzijdig worden gedefinieerd. Een en ander levert voor de berekening van N de volgende formule op:

$$n \geq \left(\frac{t_{(\alpha, n-1)} \times s}{|Tr|} \right)^2 \quad (13)$$

Hierin is:

<i>s</i>	de standaarddeviatie van het gepaarde verschil
<i>t</i>	de waarde van de Student's verdeling bij betrouwbaarheid (1- α) en (n-1) vrijheidsgraden
<i>Tr</i>	het minimale te verwachten verschil.

Uitgangspunt voor deze berekening is dat de nieuwe meetreeks van verschillen normaal verdeeld is en dat de verschillen onderling onafhankelijk zijn.

Welke lokale omstandigheden kunnen een rol van betekenis spelen?

De informatiebehoefte met betrekking tot de lokale omstandigheden is beschreven in § 3.1.2.3.

Welke andere meetnetten zijn van belang? Welke afstemming is noodzakelijk?

De informatiebehoefte met betrekking tot de afstemming met andere meetdoelstellingen is beschreven in § 3.1.2.4.

Wat is de financiële structuur van het (huidige) monitoren?

De kosten voor de meetcampagne liggen voor staprends in het algemeen vast indien de informatiebehoefte gekwantificeerd is, en de gewenste nauwkeurigheid, betrouwbaarheid en dergelijke zijn gedefinieerd. Het definiëren van een optimaal bestedingsschema is dan ook niet aan de orde. Dit laat onverlet dat het kostenplaatje bekend moet zijn (§ 3.1.2.5). De kosten voor de meetinspanning dienen voor de uitvoering van maatregelen immers begroot te worden en dienen deel uit te maken van het bestek van de maatregel.

A priori kan vastgesteld worden welke financiële ruimte voor evaluatie van de maatregel gereserveerd wordt.

Wat is de logistieke structuur van het (huidige) monitoren?

Voor de praktische uitvoerbaarheid van een op staprends gerichte projectstudie moet onder meer kennis omtrent de praktische randvoorwaarden met betrekking tot meetfrequenties beschikbaar zijn. Behalve de in § 3.1.2.6 genoemde informatie, geldt voor projectmatig onderzoek naar staprends, dat de mogelijkheden voor continue (automatische) monsternamen nader onderzocht moeten worden.

³² 'Gepaard' houdt in dat de waarnemingen per seizoen van elkaar worden afgetrokken. Dit betekent ook dat de meetperiodes voor en na de ingreep even lang moeten zijn en uit evenveel waarnemingen moeten bestaan.

4.3.2 VERZAMELEN INFORMATIE (STAP II)

Na de definitie van de informatiebehoefte in stap I moet de diverse (relevante) informatie verzameld worden. Veel informatie uit stap I zal reeds beschikbaar zijn.

De belangrijkste, meest bewerkelijke informatie die verzameld moet worden, bestaat uit de benodigde statistische kengetallen. Aangezien staptrends plaatselijk, projectmatig onderzoek vereisen, zullen vaak geen gegevens beschikbaar zijn om de relevante grootheden (standaardafwijking en afhankelijkheid) te berekenen. In dit geval moeten deze grootheden op basis van extrapolatie van andere meetpunten verkregen worden. Indien plaatselijke gegevens wel beschikbaar zijn, wordt ervan uitgegaan dat de variabiliteit en de afhankelijkheid constant, en dus onafhankelijk van de tijd, zijn. De variabiliteit en afhankelijkheid in het verleden vormen dan een goede schatter voor deze grootheden in de toekomst.

Bovenstaande aanname ten aanzien van de toekomstige statistische kengetallen is alleen geldig, wanneer externe factoren die bijvoorbeeld de variabiliteit beïnvloeden, niet zullen veranderen (bijv. gewijzigde herkomst van het water, lozingen, en dergelijke).

Er moet naar gestreefd worden een historische reeks te analyseren, die representatief geacht kan worden voor de 'normale' toestand. Indien de variabiliteit in de historische data lager is dan de variabiliteit in de toekomst, worden meetfrequenties onderschat. Dit betekent dat de benodigde informatie minder nauwkeurig (of niet meer) uit de toekomstige gegevens geëxtraheerd kan worden.

4.3.3 ANALYSE HISTORISCHE GEGEVENS - BEREKENING NOODZAKELIJKE KENGETALLEN (STAP III)

Voor de berekening van het aantal metingen om een bepaalde trend te kunnen detecteren, moeten waarden voor de standaardafwijking en de autocorrelatiestructuur worden berekend. Het stappenplan om deze waarden te berekenen, aan de hand van een historische meetreeks, is opgenomen in het hoofdstuk voor lineaire langjarige trends (deel 2). Indien historische data niet beschikbaar zijn, kan de benodigde informatie verkregen worden door:

- zinnvolle extrapolatie van andere, op basis van andere kennis vergelijkbare, meetpunten (variabelen);
- *worst case*-scenario door de meest ongunstige schattingen uit het routinematige meetnet te gebruiken.

Projectstudies zijn geschikt, indien de meetperiode van beperkte omvang is. Indien over meerdere jaren gemeten moet worden, zijn projectstudies minder zinvol, aangezien de statistische kengetallen op basis van meerdere jaren berekend moeten worden. Een kleine projectstudie kan echter wel zinvol zijn om te toetsen of de extrapolatie van de 'vergelijkbare situatie' (1) ook werkelijk vergelijkbaar is. Voor al deze mogelijkheden geldt, dat regelmatig gecontroleerd moet worden of de schattingen met de werkelijkheid overeenstemmen.

4.3.4 KWANTIFICEREN MEETDOELSTELLING (STAP IV)

Het monitoren van staptrends komt in zijn simpelste vorm neer op het aantonen dat de situatie na een ingreep anders (beter) is dan voor een ingreep. Hier zal in het algemeen nog een minimale verwachting van de verandering aan gekoppeld worden: 'de situatie is door de maatregel zeker met Tr (mg/l of %) verbeterd'. De definitie van de informatiebehoefte komt erop neer Tr te kwantificeren.

In het algemeen zal bij de plannen voor een maatregel een indicatie van het effect aangegeven zijn. Dit is bijvoorbeeld een beoogde reductie in de belasting of de concentratie. Dit is echter niet de waarde die voor Tr gebruikt moet worden. Indien er namelijk wel een effect is, maar dit effect (veel) kleiner is dan Tr, zal het resultaat van de evaluatie van de meetgegevens (de toets op staptrend) negatief zijn; dat wil zeggen dat er geen significante verbetering is. Tr is daarom die waarde voor de staptrend, waarvan men nog beweert, dat die veroorzaakt is door de maatregel: de minimaal door de maatregel te verwachten staptrend³³.

Indien een meetinspanning niet zodanig uitgevoerd kan worden dat de informatie-eis benaderd wordt, moet men zich afvragen in hoeverre deze eis afgezwakt kan worden. Hoe verder de eis afgezwakt wordt, des te minder goed kan een effect, dat minder is dan het verwachte effect, worden gemeten. Een meetinspanning die het beoogde effect niet kan aantonen is overbodig.

In termen van de relevante marge is het minimaal te verwachten effect de maximale informatiebehoefte. Het beoogde effect is de minimale informatiebehoefte. Niet elke meetinspanning die binnen deze marge ligt, is echter per definitie goed: voor de evaluatie van beleid zal immers altijd de maximale informatiebehoefte benaderd moeten worden.

4.3.5 HAALBAARHEIDSONDERZOEK INFORMATIEBEHOEFTE (STAP V)

Het haalbaarheidsonderzoek voor staptrends bestaat uit de berekening van de kosten die noodzakelijk zijn om aan de maximale informatiebehoefte tegemoet te komen. Indien er nog opties zijn (bijv. variabelenpakketten, optionele meetpunten, inrichting van verschillende typen meetpunten), moeten de kosten voor verschillende scenario's worden berekend.

Indien alle monitoringsscenario's niet aan de gestelde (financiële) eisen voldoen, zijn de volgende activiteiten relevant:

1. Bereken de informatie, die nog wel binnen de financiële ruimte verkregen kan worden, en beoordeel of deze informatie voldoet. (Concreet betekent dit dat beoordeeld moet worden of de te verkrijgen informatie de maximale informatiebehoefte ver genoeg benadert.) Indien deze informatie nog acceptabel is, kan de meetinspanning hierop ingericht worden.
2. Indien de informatie onvoldoende is, moet overwogen worden om op een andere plaats (bijv. in de lozingspijp) of in een ander compartiment te meten. Mogelijk biedt ook de verlenging van de meetperiode na de ingreep nog enig soelaas, of is de opbrengst van de meetinspanning op meetpunten/variabelen, waar de trends is wel haalbaar is, voldoende.

³³ Hoe kleiner het verwachte effect des te hoger is de benodigde meetinspanning.

4.3.6 OVERIGE STAPPEN (VI-X)

De stappen VI 'Beperking meetpunten en variabelen' tot en met X 'Implementatie' behoeven voor de meetdoelstelling staptrends waarbij geen optimalisatie via bestedingsalgoritmes plaatsvindt, geen verdere uitleg.

4.3.7 CASE: DE AFHANKELIJKHEID VAN DETECTEERBARE STAPTRENDS VAN HET AANTAL WAARNEMINGEN

Doelstelling

In de toekomst moet een staptrend in de gemiddelde zuurstofconcentratie in de Westeinderplassen ter grootte van 1.5 mg/l bij een betrouwbaarheid van $\alpha=0.1$ en een onderscheidend vermogen van $\beta=0.1$ aangetoond kunnen worden. De meetperiode vóór en na een ingreep is gesteld op 2 jaar (in totaal dus 4 jaar lang meten).

Beschikbare data

In deze case is van dezelfde 20-jarige meetreeks gebruik gemaakt als in de case 'Spoor 1: gemiddelden' (§ 4.1.2.6, Figuur 4-1).

Data-analyse

In de data is op basis van de Kruskal-Wallis toets geen significante ($\alpha=0.1$) seizoensinvloed aanwezig. De monotone trend is nauwelijks significant te noemen (significant bij $\alpha=0.25$). Na verwijdering van trend en seizoensinvloed zijn de data niet-normaal verdeeld bij $\alpha=0.2$ (Kolmogorov toets) en niet volledig onafhankelijk. De maandgemiddelde data zijn onderling meer afhankelijk en volgen nog minder een normale verdeling dan de ruwe data.

Er is gebruik gemaakt van de formule:

$$N_T = \frac{Tr\sqrt{n^*}}{2s} \quad (\S 4.3.1.2),$$

om de staptrend (Tr) die bij een bepaalde meetinspanning juist nog gedetecteerd kan worden, te bepalen. Hiertoe is deze formule herschreven tot:

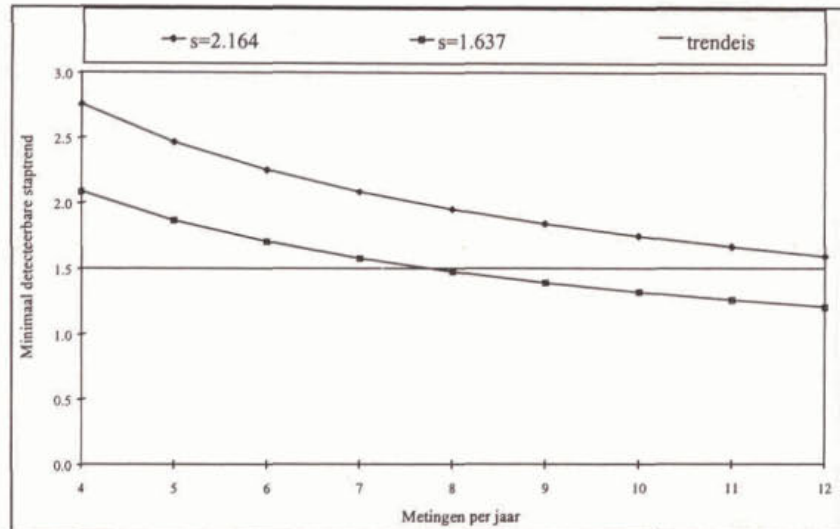
$$Tr = \frac{2sN_T^{krit}}{\sqrt{n^*}},$$

waarin N_T^{krit} de kritische waarde voor de oorspronkelijke toets is, die afhangt van de betrouwbaarheid en het onderscheidend vermogen.

De toekomstige spreiding is geschat op basis van de maandgemiddelde historische data vóór ($s=2.164$) en na verwijdering van trend en seizoensinvloed ($s=1.637$). De waarden van N_T^{krit} kunnen worden afgelezen in Tabel 4-8. Voor deze case is $N_T^{krit}=2.564$.

Om problemen met de onderling afhankelijkheid te voorkomen, is besloten om maximaal 12 metingen per jaar uit te voeren. Aangezien op procesmatige gronden seizoensinvloed wel verwacht wordt, moet minimaal vier maal per jaar gemeten worden.

In Figuur 4-5 is weergegeven welke staptrend juist nog gedetecteerd kan worden als functie van het aantal metingen. Hierbij is ervan uitgegaan, dat de metingen onderling onafhankelijk zijn: het aantal metingen is niet gecorrigeerd voor seriële correlatie. Indien bij een toekomstige toets op staptrend geen rekening wordt gehouden met de seizoensinvloed, is het niet mogelijk een staptrend in de orde van grootte van 1.5 mg/l statistisch aan te tonen.



Figuur 4-5: Relatie tussen de detecteerbare staptrend en het aantal metingen per jaar

Na correctie voor seizoensinvloed is het mogelijk een staptrend met 8 metingen per jaar aan te tonen, indien 2 jaar data vóór, en 2 jaar data na de staptrend beschikbaar zijn.

4.3.8 TOT SLOT

Om effecten van maatregelen op de waterkwaliteit aan te tonen, moet onderscheid gemaakt kunnen worden tussen natuurlijke variantie en veranderingen ten gevolge van de maatregelen. Zoals reeds bij de meetpunt- en variabelenkeuze is aangegeven, kunnen referentiemeetpunten (variabelen) eventueel gebruikt worden om de resultaten te corrigeren voor 'natuurlijke' varianties en andere veranderingen.

Het voert te ver om op dit punt uit te wijden over de (on-)mogelijkheden van referentiemeetpunten (variabelen), temeer daar de meetinspanning voor staptrends sterk gerelateerd is aan de oorzaak van de staptrend. Dit betekent onder meer dat het huidige routinematige meten slechts incidenteel voldoende informatie zal leveren voor de detectie van staptrends.

Een logische consequentie hiervan is, dat meetcampagnes voor staptrends op basis van het beleid (maatregelen) moeten worden opgesteld. Voor de evaluatie van maatregelen is het derhalve noodzakelijk de monitoringcampagne te ontwerpen bij de planning van de maatregel. Aangezien relevante meetgegevens van vóór de ingreep beschikbaar moeten zijn voor de evaluatie van de maatregelen, kan het zinvol zijn reeds metingen uit te voeren, voordat vaststaat dat de maatregelen daadwerkelijk uitgevoerd worden.

4.4 INVULLING STAPPENPLAN MEETNETOPTIMALISATIE VOOR VRACHT- EN BALANSBEREKENINGEN

4.4.1 DEFINITIE INFORMATIEBEHOEFTE (STAP I)

Het nauwkeurig bepalen van vrachten en balansen is een belangrijke doelstelling van meetcampagnes. De problematiek van vrachtbepalingen is beschreven in deel 2. Kennis van deel 2 strekt tot aanbeveling om de leesbaarheid van het onderhavige gedeelte te verhogen. De veelvoud van mogelijke berekeningswijzen, waarbij de geschiktheid van elke methode onder meer afhankelijk is van de relatie tussen debiet en concentratie, bemoeilijkt de inrichting van een 'optimale' meetcampagne. Daarnaast stellen de verschillende systemen (beken, gemalen, stuwen) verschillende eisen aan de meetinspanning. Het optimaliseren van een meetinspanning voor vrachtbepaling is hierdoor maatwerk. De invulling van het theoretische stappenplan is voor deze meetdoelstelling minder recht-toe-recht-aan, mede omdat een specifieke statistische methode om de meetinspanning te bepalen nochtans ontbreekt. In het vervolg van dit hoofdstuk zal een poging ondernomen worden het stappenplan zo goed mogelijk in te vullen.

De waterkwaliteitsbeheerder is geïnteresseerd in de vracht van een bepaalde variabele die binnen een bepaalde periode een specifiek punt passeert. Op meetpunten waar de stroming van het water twee kanten op kan gaan, kan hierbij onderscheid gemaakt worden in de deelvrachten en de nettovracht. Vrachten zijn een belangrijk onderdeel van balansen: balansen voor (stroom)gebieden kunnen gebruikt worden om te beoordelen of er binnen een gebied een stof accumuleert of dat er sprake is van uitputting. Veranderingen (trends) in vrachten kunnen gebruikt worden voor de evaluatie van beleid gericht op diffuse bronnen.

4.4.1.1 DE PRIMAIRE INFORMATIEBEHOEFTE

Wat is de meetdoelstelling?

De centrale meetdoelstelling is het betrouwbaar kunnen bepalen van vrachten op een bepaald meetpunt binnen een bepaald tijdsbestek. De meetdoelstelling wordt algemeen geformuleerd als: hoe frequent moeten debiet (draaiuren) en concentratie gemeten worden om een vracht nauwkeurig te kunnen bepalen?

Indien de meetdoelstelling trends in (bijv. dag- of jaar)vrachten is, dan is de doelstelling trenddetectie van toepassing, waarbij de trend gedetecteerd moet worden in (nauwkeurig bepaalde) vrachten (fluxen).

Alternatieven voor vrachtbepalingen

1. In sommige gevallen (bijv. in polderwateren waar een bepaald volume water wordt uitgemalen) is het denkbaar dat een meetinspanning gericht op trends (in concentratie gegevens) zinvoller is dan een inspanning die gericht is op vrachten. Dit geldt met name indien niet de waarde van de vracht, maar juist de verandering in de vracht van belang is. Een (seizoensgecorrigeerde) concentratiereductie van X% zal zich in het algemeen ook vertalen in een vrachtreductie. Een concentratiereductie binnen een polder zal echter veelal makkelijker aantoonbaar zijn, dan een reductie in vrachten. Het kunnen aantonen van een reductie van de vracht is namelijk afhankelijk van zowel nauwkeurige vrachtbepalingen als van trenddetectie.

2. Voor variërende hydrologische omstandigheden kan mogelijk gecorrigeerd worden. Laane et al. (1990) beschrijven een alternatieve methode voor de evaluatie van reductiedoelstellingen. Hierbij wordt een veranderende verhouding tussen een conservatieve stof (saliniteit) en nutriënten in het kustgebied gebruikt om te toetsen of reductiedoelstellingen zijn gehaald. In hoeverre een dergelijke methode voor klein regionaal oppervlaktewater toepasbaar is, moet nader onderzocht worden.

Voor welk meetcompartiment geldt deze meetdoelstelling?

In het kader van deze rapportage wordt alleen ingegaan op het standaard fysisch-chemische variabelenpakket in het oppervlaktewater.

Voor de nauwkeurige bepaling van vrachten is het noodzakelijk om kennis te hebben van het effect van zwevend stof op het transport van de te beschouwen variabele. Voor sommige variabelen is zwevend stof de meest belangrijke wijze van transport: in dit geval is de variabiliteit in de zwevend stofconcentratie een wezenlijke factor in de vrachtbepaling (naast de variabiliteit in de samenstelling van het zwevend stof). Walling en Webb (1981) hebben berekend dat 80% van de droge stof in slechts 3% van de tijd wordt getransporteerd (over een periode van meerdere jaren). Voor andere, niet aan zwevend stof gebonden stoffen, is dit verschil vermoedelijk minder groot. Marsh (1980) schatte echter dat in 1976 70% van de nitraatjaarvrucht van de Engelse rivier de Great Ouse in december van dat jaar optrad, na een periode van droogte. Voor de bepaling van de totale vracht van een stof, die ook gebonden aan slib kan voorkomen, moeten dus totaalmonsters genomen worden.

Bij zwevend stof-gerelateerde variabelen moet mogelijk rekening gehouden worden met gradiënten over het dwarsprofiel. Als er kennis is omtrent de verdeling van een stof over verschillende fasen, kan hier mogelijk rekening mee gehouden worden. Behalve de waterkwaliteit zal natuurlijk ook op enigerlei wijze de kwantiteit nauwkeurig bepaald moeten worden.

Op welke meetpunten moet gemeten worden?

In onderstaande opsomming zijn aandachtspunten met betrekking tot de meetpuntkeuze opgenomen:

1. Meetpunten moeten zodanig gesitueerd zijn, dat nauwkeurige debietmetingen mogelijk zijn.
2. Kwantiteitsmetingen en kwaliteitsmetingen moeten bij voorkeur op hetzelfde meetpunt worden uitgevoerd. Het is moeilijk om de geïntroduceerde fout te schatten, wanneer deze meetpunten niet gelijk zijn. De waterkwaliteit van het oppervlaktewater ter plaatse van een gemaal is niet noodzakelijkerwijs representatief voor het uitgeslagen water. Gebruik van weliswaar routinematige, maar op afstand van de debietmeter verkregen kwaliteitsdata bij de berekening van vrachten is daarom af te raden.
3. Aangezien gradiënten over de breedte en diepte een grote invloed hebben op de nauwkeurigheid van de vracht, is het noodzakelijk om de meetpunten zodanig te kiezen dat gradiënten verwaarloosbaar zijn. Dit betekent dat concentratiemetingen direct op stuwen of direct in uitgeslagen water moeten worden uitgevoerd. Indien de stroomrichting niet continu in dezelfde richting gaat, neemt de nauwkeurigheid van netto-vrachtbepalingen af³⁴.
4. Meetpunten dienen zo gesitueerd te zijn, dat er geen twijfels over de stroomrichting bestaan en de stroomrichting zo min mogelijk varieert.
5. Indien de informatiebehoefte betrekking heeft op een specifieke deelvracht, bijvoorbeeld vrachten vanuit de landbouw, dan zijn alleen die meetpunten relevant die sterk beïnvloed worden door de landbouw en zo min mogelijk door andere bronnen.

³⁴ Bij wisselende stroomrichtingen moet bij de installatie van geautomatiseerde bemonsteringsapparatuur rekening gehouden worden, bijvoorbeeld door aparte systemen voor in- en uitgaande vrachten te installeren.

Welke variabelen moeten gemeten worden?

De keuze voor de variabelen is van veel factoren afhankelijk. Een belangrijk aspect hangt samen met de vraag of geautomatiseerde monsternamen (en opslag) een optie is. Indien overwogen wordt automatische (meng)bemonsteringsapparatuur te plaatsen voor de bemonstering, zijn om praktische redenen sommige variabelen niet geschikt, doordat conservering slechts beperkt mogelijk is.

Een tweede aspect is de invloed van het transport van zwevend stof op de vrachten. Hierop is onder 'meetcompartiment' al ingegaan.

In het algemeen kunnen met betrekking tot de variabelenkeuze de volgende richtlijnen gevolgd worden:

- | | |
|-----------------------|--|
| Geschikt zijn: | <ul style="list-style-type: none">● Indicator- en somvariabelen.● Variabelen die door landelijk beleid worden beïnvloed.● (Enkele) conservatieve variabelen ter controle van de berekeningswijze.● Variabelen met een geringe variabiliteit.● Relevante variabelen die snel en goedkoop geanalyseerd kunnen worden (variabelen die geschikt zijn voor geautomatiseerde monsternamen en tijdelijke opslag). |
| Minder geschikt zijn: | <ul style="list-style-type: none">● Variabelen met een geringe toegevoegde waarde ten opzichte van de indicatorvariabelen. Overwogen moet worden om de meetinspanning bij deze variabelen ten minste te beperken ten faveure van de 'geschikte' variabelen. |
| Niet geschikt zijn: | <ul style="list-style-type: none">● Variabelen zonder toegevoegde waarde ten opzichte van de indicatorvariabelen.● Variabelen met een extreem hoge variantie in de tijd.● Variabelen die door transformaties ongeschikt zijn voor geautomatiseerde monsternamen- en opslagsystemen (indien installatie van dergelijke systemen beoogd wordt). |

Bij een beoordeling of een variabele meer of minder geschikt is, moeten ook de laboratoriumkosten betrokken worden.

Voor de bepaling van vrachten is een nauwkeurige bepaling van het debiet vereist. Debietmeters moeten goed geijkt zijn. Systematische afwijkingen moeten voorkomen worden. Indien grote afwijkingen in de debietmetingen bestaan, is elke poging om nauwkeurige stofvrachten te bepalen bij voorbaat gedoemd te mislukken. Er wordt hooguit een schijnnaauwkeurigheid verkregen. Indien het debiet gekoppeld wordt aan draaiuren van een gemaal, moet een duidelijk verband tussen vermogen, draaiuren en debiet bestaan.

Hoe betrouwbaar moet de informatie zijn?

Voor de verschillende berekeningen moet de betrouwbaarheid ($1-\alpha$) worden gedefinieerd. Gangbaar zijn waarden van $\alpha=0.1$ en $\alpha=0.05$.

Welke 'hoeveelheid' informatie is relevant?

Dit onderwerp komt in stap IV aan de orde.

Wanneer moet de informatie beschikbaar zijn?

Het tijdsbestek voor vrachten is in het algemeen één jaar. Gegeven de variabiliteit in debieten en concentraties (mogelijk ten gevolg van een beleidsdoelstelling, zoals bijv. eutrofiëringsbestrijding) kan overwogen worden voor kortere perioden te kiezen.

4.4.1.2 DE SECUNDAIRE INFORMATIEBEHOEFTE

Hoe moet de informatie uit de data worden verkregen?

Om vrachten te berekenen, zijn in de literatuur verschillende methoden beschreven. Welke berekeningswijze toepasbaar is, is afhankelijk van de situatie (deel 2). Om een onderbouwde keuze te kunnen maken voor een bepaalde berekeningsmethode moet inzicht verkregen worden in de relatie tussen debiet en concentratie. Dit is met name belangrijk in vrij stromende systemen.

Bij gemalen moet onderzocht worden of er sprake is van een relatie tussen debiet en concentratie. Het is aannemelijk dat tijdens enkele draaiuren van een gemaal concentratie en debiet constant kunnen worden verondersteld (voor variabelen een verwaarloosbare variantie op korte termijn vertonen). Dit zal echter nader onderzocht moeten worden.

Indien historische gegevens beschikbaar zijn, kan mogelijk al een keuze voor de berekeningsmethode gemaakt worden.

Ook de praktische randvoorwaarden (continue metingen, en dergelijke) moeten betrokken worden bij de keuze voor de berekeningsmethode. Welke methoden wanneer toepasbaar zijn, is samengevat in Tabel 4-9.

Tabel 4-9: Aandachtspunten meetfrequentie per methode

Vrachtberekingsmethode	concentratie	debiet
	de meetinspanning	
1 'Recht-toe-recht-aan' methode	Afstemmen op de gewenste nauwkeurigheid van de (spreiding in de) gemiddelde concentratie.	Afstemmen op de gewenste nauwkeurigheid van (de spreiding in) het gemiddelde debiet.
2 'Directe' methode	Afstemmen op de gewenste nauwkeurigheid van (de spreiding in) het gemiddelde. In tegenstelling tot de 'recht-toe-recht-aan' methode gaat het hierbij echter om het gemiddelde van 'concentratie debiet'.	
3 'Gemiddelde afvoer per interval' methode	Afstemmen op representativiteit van de meting(en) in het interval ³⁵ .	Afstemmen op de gewenste nauwkeurigheid van het gemiddelde debiet in het interval.
4 'Gemiddelde concentratie' methode	Afstemmen op de gewenste nauwkeurigheid van de gemiddelde concentratie.	Continu.
5 'Gewogen concentratie' methode	De optimalisatie dient gericht te zijn op het nauwkeurig bepalen van het totale volume en een goede afvoerafhankelijke schatting van de concentratie. Dit laatste betekent, dat de concentratie bij verschillende debieten gemeten moet worden. Bovendien dient debietproportioneel te worden bemonsterd. Een rekenkundige optimalisatie ligt hierdoor (nog) niet voor de hand.	

Hoe moet de toekomstige meetfrequentie worden bepaald?

Aangezien er een grote variatie in berekeningswijzen bestaat, is het niet mogelijk algemeen geldende formules voor de berekening van het aantal benodigde metingen aan te geven. Hieronder volgen enkele aandachtspunten en aanbevelingen voor de vereiste meetfrequentie in enkele specifieke (hydrologische) situaties:

³⁵ Indien voor representatieve concentratiemeting in de periode P in plaats van een enkele meting, meerdere beschikbare metingen gemiddeld worden, biedt dit ook mogelijkheden tot optimalisatie. De methode komt dan de facto overeen met de 'recht-toe-recht-aan' methode.

1) MEETINSPANNING AFSTEMMEN OP PERIODICITEIT

- Bij discontinue debietmetingen zijn metingen in perioden van hoge afvoer bijzonder belangrijk, aangezien tijdens hoge afvoeren in het algemeen de hoogste vrachten optreden. Een relatie tussen neerslag en afvoer kan een hulpmiddel zijn bij het schatten van afvoeren in niet bemonsterde perioden. De routinematige in de tijd equidistante monsternamen is dus minder geschikt voor de berekening van vrachten.
- Behalve (seizoensgebonden) perioden met hoge afvoer, zijn er veelal ook perioden met verhoogde concentraties. Ook dit heeft hoge vrachten ten gevolg. De routinematige in de tijd equidistante monsternamen is dus minder geschikt voor de berekening van vrachten.
- *Meetadviezen*

Doordat de meeste variabelen seizoensafhankelijkheid vertonen, zijn methoden die gebaseerd zijn op gemiddelde concentraties, alleen geschikt indien de meetperiode zodanig gekozen wordt dat de invloed van het seizoen verwaarloosbaar is. Voor de meetinspanning betekent dit dat per periode gestratificeerd gemonsterd moet worden, bijvoorbeeld winter 10x, voor- en najaar elk 6x en zomer 3x.

Yaksich en Verhoff (1983) adviseren voor regenafvoer-afhankelijke rivieren de volgende meetstrategie. Minimaal twee van de drie hoogste afvoerperioden moeten bemonsterd worden, waarbij per afvoergolf 15-20 metingen worden verricht. Tijdens lage afvoeren moeten bovendien in totaal 15-20 metingen per jaar verricht worden. De afwijking van de gemeten vracht ten opzichte van werkelijke vracht zou bij een dergelijke meetinspanning tussen de 10% en 20% bedragen. Bij rivieren met een constante afvoer is een equidistante meetreeks van 15-45 metingen per jaar voldoende om een fout in dezelfde orde van grootte (afwijking: 10-20%) te bereiken als in de hiervoor genoemde situatie. Deze laatste aanbeveling van Yaksich en Verhoff (1983) geldt vermoedelijk alleen indien ook de variabele geen of een zeer regelmatige seizoensinvloed vertoont.

2) MEETINSPANNING AFSTEMMEN OP DE RELATIE TUSSEN DEBIET EN CONCENTRATIE

Uit een onderzoek van Treunert et al. (1974) is gebleken, dat, indien er geen relatie tussen debiet en concentratie bestaat, een meetinspanning bestaande uit 17 tot 26 in de tijd equidistante concentratiemetingen gecombineerd met continue debietmetingen voldoet om met een 20% betrouwbaarheidsinterval de fosfaatjaarvracht in een doorsnee rivier, in dit geval in de Duitse Wahnbach, te bepalen.

Hetling et al. (1976) concluderen echter dat dagelijkse monsters noodzakelijk zijn bij equidistante metingen voor de bepaling van de zwevend stofvracht. Een mogelijke verklaring voor de gevonden verschillen met het onderzoek van Treunert et al. (1974) is, dat in het onderzoek van Hetling toch sprake is geweest van een relatie tussen concentratie en debiet.

Indien gebruik gemaakt wordt van lineaire interpolatie om ontbrekende concentratie- (of debiet)-metingen te schatten, moet de meetfrequentie zodanig gekozen worden, dat het aannemelijk is dat de concentratie tussen twee metingen recht evenredig verandert. Indien hiervoor gebruik gemaakt wordt van *lineaire regressie of andere (extrapolatie)methoden*, moet de meetfrequentie zodanig gekozen worden, dat het verband tussen debiet en concentratie betrouwbaar en nauwkeurig is.

Wat zijn de financiële en logistieke randvoorwaarden voor het monitoren van vrachten?

Aangezien voor nauwkeurige vrachtbepalingen veelal hoge eisen gesteld worden aan de financiële en logistieke capaciteit, is het belangrijk de randvoorwaarden te inventariseren. Aangezien de verschillende methoden voor vrachtberekeningen vaak verschillende eisen aan de monsternamenapparatuur stellen, moet in een vroegtijdig stadium bepaald worden in hoeverre geautomatiseerde systemen financieel haalbaar en gewenst zijn.

4.4.2 VERZAMELEN INFORMATIE (STAP II)

Veel praktische informatie, gedefinieerd onder I, zal direct beschikbaar zijn, zodat de term 'verzamen informatie' minder van toepassing is.

Aan de hand van historische data en systeemkennis kan onderzocht worden of en wat het verband tussen debiet en concentratie is. Deze informatie kan gebruikt worden voor een nadere selectie van de vrachtberekenningsmethode.

De belangrijkste en in het algemeen niet reeds beschikbare informatie bestaat uit de statistische kengetallen, die noodzakelijk zijn voor de optimalisatie van de meetinspanning. Welke statistische kengetallen bepaald moeten worden, is wederom afhankelijk van de gekozen vrachtberekenningsmethode.

4.4.3 OVERIGE STAPPEN (III-X)

Indien de vrachtberekenningsmethode gebruik maakt van gemiddelden, is vanaf dit punt het stappenplan voor normstelling/algemene kwaliteitsbepaling (bijlage 2, deel 1) van toepassing.

De resultaten van het haalbaarheidsonderzoek kunnen ertoe leiden dat een andere berekeningsmethode gebruikt moet worden, omdat bijvoorbeeld a) met de gekozen methode niet aan de gewenste informatiebehoefte kan worden voldaan of b) er sprake is van een duidelijke debiet-concentratierelatie (of juist niet) of c) andere processen (hysterese, seizoensinvloed, etc.) een belangrijke invloed hebben.

Een andere berekeningsmethode zal veelal een grotere meetinspanning vergen. Indien dit op basis van de beschikbare faciliteiten/capaciteiten niet mogelijk is, staat de vrachtbepaling in zijn geheel ter discussie.

5 ANALYSE EN HERINRICHTING VAN RUIM- TELIJKE DICHTHEID IN MEETNETTEN

5.1 INLEIDING

Routinematige meetnetten voor de waterkwaliteit bestaan in het algemeen uit een groot aantal verspreid liggende (vaste) meetpunten. Door de grote omvang van routinematige meetnetten en de daarmee samenhangende kosten is de vraag naar een methode voor evaluatie van de meetnetdichtheid actueel. Hierbij is niet alleen van belang die meetpunten te identificeren die overbodige informatie opleveren, maar ook duidelijk in kaart te brengen of gebieden over voldoende meetpunten beschikken.

De evaluatie van de meetnetdichtheid van routinematige oppervlaktewaterkwaliteitsmeetnetten is een bewerkelijke activiteit. Dit wordt met name veroorzaakt door (a) het aantal meetpunten, (b) het aantal variabelen, en (c) het gebrek aan ruimtelijke (causale) samenhang tussen meetpunten.

- ad a) Een toenemend aantal meetpunten verhoogt in het algemeen de complexiteit van de analyses. De overzichtelijkheid neemt af.
- ad b) Een toenemend aantal variabelen vereist een methode om de resultaten op meetpuntniveau over de variabelen te integreren.
- ad c) Meetpunten zijn soms onderling met elkaar verbonden door (stromend) water. De waterkwaliteit op meetpunten, die met elkaar in contact staan, zal vermoedelijk overeenkomsten vertonen. De mate van deze overeenkomst hangt af van veel verschillende factoren zoals afstand, stroming, lokale (omzettings)processen, lokale beïnvloedingen (bijv. lozingen), enzovoorts. In het geval van stromende systemen hangt de waterkwaliteit van het benedenstroomse punt af van het bovenstroomse punt. Vanuit een wiskundig/modelmatig standpunt bezien, geldt vaak dat de waterkwaliteit bovenstrooms beschreven kan worden door de waterkwaliteit benedenstrooms, met andere woorden: de formules kunnen naar het bovenstroomse meetpunt worden omgevormd. Meetpunten die niet direct met elkaar in contact staan, kunnen echter ook grote overeenkomsten vertonen. Dit hangt met name af van de invloed van specifieke processen. De watertemperatuur zal altijd grote overeenkomsten vertonen als de dimensies, beschaduwing, breedtegraad en eventuele koelwaterlozingen ruwweg overeenkomen.

Met name voor de Nederlandse regionale wateren geldt dat de afstand tussen verschillende meetpunten veelal niet de belangrijkste factor is, die overeenkomsten tussen meetpunten verklaart.

Veel van de huidige meetnetten zijn (schijnbaar) historisch gegroeid: op ad hoc basis zijn meetpunten geïnstalleerd, afhankelijk van de op dat moment spelende belangen en interesses. Het lijkt er vaak op, dat eenmaal geïnstalleerde meetpunten voor altijd bestaansrecht hebben verworven.

Om de meetnetdichtheid te kunnen optimaliseren zal allereerst gedefinieerd moeten worden wat onder optimale meetnetdichtheid wordt verstaan:

1. EEN MEETNET IS OPTIMAAL INDIEN OVERAL EN ALTIJD DE TOESTAND VAN DE WATERKWALITEIT VOLDOENDE NAUWKEURIG BEKEND IS.
Indien deze definitie van 'optimaal' van toepassing is, ligt het gebruik van ruimtelijke en temporele modellen voor de hand. Er valt te denken aan procesmodellering en toepassing van geostatistiek.
2. EEN MEETNET IS OPTIMAAL INDIEN ALLE GEGEVENS MET ENIGE REGELMAAT NAAR INFORMATIE WORDEN VERTAALD.
Indien deze definitie van 'optimaal' van toepassing is, ligt het voor de hand om het historische, huidige en eventueel toekomstige datagebruik in kaart te brengen. Er valt te denken aan een enquête onder de gebruikers van de meetgegevens.
3. EEN MEETNET IS OPTIMAAL INDIEN ELK MEETPUNT REPRESENTATIEF IS VOOR DE WATERKWALITEIT IN DE (WIJDE) OMGEVING OF VOOR EEN BEPAALD TYPE WATER.
Indien deze definitie van 'optimaal' van toepassing is, moet het representatieve gebied van elk meetpunt door middel van projectstudies worden beoordeeld.
4. EEN MEETNET IS OPTIMAAL INDIEN EEN MIN OF MEER GEBIEDDEKKEND BEELD VAN DE WATERKWALITEIT WORDT VERKREGEN.
Indien deze definitie van 'optimaal' van toepassing is, kan op basis van geografische informatie en systeemkennis onderzocht worden in hoeverre de meetpunten goed over het meetgebied verdeeld zijn. Het gebruik van een GIS ligt voor de hand.
5. EEN MEETNET IS OPTIMAAL INDIEN ALLE INFORMATIE UNIEK IS, DAT WIL ZEGGEN ER IS GEEN OVERLAP IN INFORMATIE TUSSEN TWEE MEETPUNTEN.
Indien deze definitie van 'optimaal' van toepassing is, kan op basis van statistische toetsen onderzocht worden in hoeverre meetpunten overeenkomsten vertonen.
6. EEN MEETNET IS OPTIMAAL INDIEN BOVENSTAANDE METHODEN ZINVOL WORDEN GECOMBINEERD EN GELIJKTJDIG EEN AFSTEMMING MET ANDERE MEETNETDOELSTELLINGEN PLAATSVINDT.

Alle methoden hebben hun eigen voor- en nadelen. In de praktijk is een mengeling van methoden (6) vermoedelijk het meest geschikt. Voordat men echter begint met de analyse en optimalisatie van een meetnet, moet duidelijkheid en consensus bestaan over de insteek.

In § 5.2 wordt nader ingegaan op de hierboven gepresenteerde benaderingswijzen van optimale meetnetdichtheid.

5.2 BESCHRIJVING METHODEN

5.2.1 OVERAL EN ALTIJD INFORMATIE: MODELLEN

EEN MEETNET IS OPTIMAAL INDIEN OVERAL EN ALTIJD DE TOESTAND VAN DE WATERKWALITEIT
VOLDOENDE NAUWKEURIG BEKEND IS

5.2.1.1 PROCESMODELLERING VAN HET AQUATISCHE SYSTEEM

Het is tot op heden niet mogelijk gebleken de ruimtelijke ontwikkeling van de waterkwaliteit op basis van routinematige (maandelijks) metingen met een voldoende nauwkeurigheid procesmatig te modelleren. Hiervoor zijn verschillende redenen aan te geven, die allemaal ermee te maken hebben dat de tijdschaal van monitoring te laag is ten opzichte van de tijdschaal van processen. Voor de analyse van de dichtheid van een routinematig meetnet betekent dit dat deterministische procesbeschrijvingen in veel situaties (nog) geen mogelijkheden bieden. De inbreng van proceskennis in de analyse van de ruimtelijke dichtheid blijft hierdoor veelal beperkt tot de a priori selectie van meetpunten die op grond van deze kennis grote overeenkomsten met elkaar zouden kunnen vertonen (§ 5.2.5). Voor de daadwerkelijke analyse moet vervolgens gebruik gemaakt worden van statistische en/of visuele technieken.

Een uitzondering geldt indien meerdere meetpunten gelegen zijn aan dezelfde stroom (rivier/beek). Modelleren van rivieren en beken biedt mogelijk wel handvatten voor de analyse en optimalisatie van de ruimtelijke (en temporele) meetnetinrichting.

5.2.1.2 TOEPASSING VAN GEOSTATISTIEK

Geostatistiek is voor zover bekend tot op heden niet voor de analyse van de ruimtelijke dichtheid van routinematige oppervlaktewatermeetnetten toegepast. De toepassingsmogelijkheden van geostatistiek zijn (vooralsnog) beperkt:

1. Geostatistiek is statistiek met een sterke ruimtelijke component. De geografische afstand tussen meetpunten staat hierbij centraal. In de Nederlandse situatie is de typografische overeenkomst veel belangrijker dan de geografische afstand: twee beken op grote afstand kunnen sterke overeenkomsten vertonen, terwijl een meer in de nabijheid van een beek op veel punten duidelijk van de beek zal verschillen.
2. Geostatistiek houdt geen rekening met temporele aspecten. Indien deze in een gegeven situatie wel van belang zijn, dient een geostatistische analyse per seizoen uitgevoerd te worden.

In grote oppervlaktewateren is geostatistiek toegepast binnen sedimentonderzoek. Voorzover bekend is geostatistiek echter niet op de waterfase toegepast. Gezien de dynamiek van het oppervlaktewater lijkt toepassing van geostatistiek niet zinvol.

Geostatistiek kan wel als basis dienen voor het creëren van betrouwbare kaarten van bepaalde geografische kenmerken (bijv. de grondwaterkwaliteit en de kweldruk). Deze kaarten kunnen gebruikt worden bij de evaluatie van meetnetten met behulp van geografische informatiesystemen (GIS; § 5.2.4).

5.2.2 ALLE DATA WORDEN VERTAALD IN INFORMATIE - ANALYSE (POTENTIEEL) DATAGEBRUIK & COMBINATIE MEETNET MET ANDERE MEETNETTEN

EEN MEETNET IS OPTIMAAL INDIEN ALLE GEGEVENS MET ENIGE REGELMAAT NAAR INFORMATIE WORDEN VERTAALD

Verzamelde gegevens moeten ergens toe dienen. Aangezien routinematige meetnetten vaak historisch gegroeid en de beleids-, beheers- en veldsituatie aan veranderingen onderhevig zijn, ontbreekt veelal een overzicht van het actuele en historische datagebruik. Het nut van individuele meetpunten kan beoordeeld worden door alle potentiële datagebruikers per meetpunt aan te laten geven of de data voor hen relevant (kunnen) zijn.

De doelstelling van deze methode van dichtheidsanalyse is het inzicht verkrijgen in het belang dat aan individuele meetpunten gehecht wordt. Per meetpunt moet in kaart gebracht worden welke meetgegevens (welke variabelen gemeten op welke tijdstippen) door wie worden geanalyseerd of in de toekomst geanalyseerd gaan worden. Hierbij moet aangegeven worden of er voor dit meetpunt alternatieven bestaan (inclusief verbeteringen, bijv. door inrichting van nieuwe meetpunten) en welke waarde aan het oorspronkelijke meetpunt gehecht moet worden. Bij de analyse moeten andere meetnetten en wettelijke verplichtingen (bijv. de CIW-enquête) betrokken worden. Duidelijk moet worden of er enige weerstand tegen het verwijderen van een specifiek meetpunt bestaat.

De uitkomsten van de analyse van het datagebruik moeten leiden tot een duidelijk beeld van het belang van de verschillende meetpunten. Om dit te bereiken, moeten de uitkomsten in kengetallen samengevat worden. Voor zover bekend is hier nog geen ervaring mee opgedaan.

Op basis van de enquête kan besloten worden meetpunten te verwijderen en eventueel toe te voegen of te verplaatsen. De uitkomsten van de enquête kunnen ook als basis dienen voor een analyse van de meetnetdichtheid via een andere methode (bijv. lineaire regressie). Het voordeel van een analyse van het datagebruik ligt dan in het beperken van het rekenwerk in vervolgstappen.

5.2.3 ALLE MEETPUNTEN ZIJN REPRESENTATIEF

EEN MEETNET IS OPTIMAAL INDIEN ELK MEETPUNT REPRESENTATIEF IS VOOR DE WATERKWALITEIT IN DE (WIJDE) OMGEVING OF VOOR EEN BEPAALD TYPE WATER

Alle mogelijkheden voor dichtheidsanalyse ten spijt, wordt in het algemeen slechts een beperkte hoeveelheid van het oppervlaktewater in een gebied bemonsterd. Dit geldt met name voor de gebieden met een grote hoeveelheid kleine, min of meer van elkaar gescheiden watergangen. Kenmerkend voor deze gebieden is dat de beïnvloeding van het oppervlaktewater voor elke watergang weliswaar grote overeenkomsten vertoont, maar dat door de geringe dimensies lokale processen een grote invloed op de waterkwaliteit hebben. Voor de beoordeling van de ruimtelijke dichtheid is de vraag belangrijk welke watergangen bemonsterd moeten worden om een representatief beeld van het gebied te verkrijgen en hoe groot de overeenkomsten zijn tussen de waterkwaliteit van verschillende watergangen?

De gegevens van routinematige meetnetten zullen in het algemeen onvoldoende zijn om op dergelijke vragen antwoord te geven. Er wordt immers niet in elke watergang gemeten, met andere woorden: de meetnetdichtheid is onvoldoende.

Toepassing van projectmatige veldstudies

Om vragen over de ruimtelijke variabiliteit van de waterkwaliteit te krijgen, kunnen projectmatige studies worden uitgevoerd. Binnen een studiegebied zouden enkele, ruimtelijk zeer intensieve meetcampagnes moeten worden uitgevoerd. De monsternamen moeten binnen een tijdsbestek van enkele dagen en tijdens stabiele hydrologische omstandigheden worden uitgevoerd. Gezien de seizoensinvloed op veel waterkwaliteitsvariabelen moet de meetcampagne in verschillende seizoenen herhaald worden.

Op basis van dergelijke studies kan bepaald worden hoeveel meetpunten in een regio noodzakelijk zijn om een gebieddekkend gemiddelde nauwkeurig te bepalen. De hiervoor benodigde statistische technieken zijn gelijk aan de statistische technieken voor 'gewone' gemiddelden (§ 4.1.2; normtoetsing). De informatie omtrent de ruimtelijke variabiliteit kan er ook toe leiden, dat metingen in kleine watergangen op routinematige basis in de toekomst achterwege blijven, gezien de grote variabiliteit tussen de meetpunten en de daarmee samenhangende geringe extrapoleerbaarheid van de resultaten naar de directe omgeving.

Hoe een projectstudie voor de ruimtelijke dichtheid in detail opgezet moet worden, valt buiten het kader van dit project.

5.2.4 OPTIMAAL MEETNET IS GEBIEDDEKKEND - TOEPASSING VAN GEOGRAFISCHE INFORMATIE EN GIS

EEN MEETNET IS OPTIMAAL INDIEN EEN MIN OF MEER GEBIEDDEKKEND BEELD VAN DE WATERKwalITEIT WORDT VERKREGEN
--

Met behulp van geografische informatiesystemen (GIS) kan verschillende geografische informatie gecombineerd worden. Door geografische waterkwaliteitsbepalende factoren in kaart te brengen, kunnen deelgebieden geïdentificeerd worden die op basis van de bepalende factoren grote overeenkomsten in waterkwaliteit (zouden kunnen of moeten) vertonen. Bij de evaluatie van een bestaand meetnet kan, door een meetnetkaart te koppelen aan de gebiedsindeling, geanalyseerd worden of alle gebiedstypen naar rato bemonsterd worden. Aan de hand van de uitkomsten kan bijvoorbeeld beoordeeld worden of sommige gebiedstypen *überhaupt* bemeten worden of dat sommige algemene gebiedstypen (op basis van relevantie of oppervlak, en dergelijke) overmatig of te weinig bemeten worden. Op basis van de gebiedsindeling kan natuurlijk ook een geheel nieuw meetnet ingericht worden.

Het gebruik van deze methode van dichtheidsanalyse is erg aansprekend, gezien de directe relatie met ruimtelijke factoren. De toepasbaarheid van deze methode staat of valt juist met de invloed van deze factoren. Indien de waterkwaliteit door niet lokale factoren (bijv. bovenstroomse lozingen of aanvoer van gebiedsvreemd water) beïnvloed wordt, moet hiermee op enigerlei wijze rekening gehouden worden. Hoe hiermee rekening gehouden moet worden, hangt af van de situatie ter plekke: mogelijk kan via *expert judgement* een kaart gemaakt worden van de invloedssfeer van beïnvloedende factoren (wat is de invloed van een lozing op de waterkwaliteit 1, 3 of 10 km stroomafwaarts?). Vaak is het echter moeilijk om a priori een inschatting van het belang van beïnvloedende factoren te maken.

Procedure voor het gebruik van geografische informatie:

Stap 1:

Het gebruik van geografische informatiesystemen begint met het verzamelen van informatie voor een gedetailleerde kaart van het gebied waarin de positie en de omvang van het oppervlaktewater zijn opgenomen. Welke andere geografische informatie relevant is, hangt sterk af van de meetdoelstelling, het gebied en de gewenste mate van detail. Tabel 5-1 geeft aan welke geografische informatie relevant kan zijn. Deze lijst is niet uitputtend. Op basis van gebiedskennis en *expert judgement* kan een selectie gemaakt worden van de geografische informatie die relevant is.

Tabel 5-1: Relevante informatie voor GIS-benadering

Bodemgesteldheid:	<ul style="list-style-type: none">● bodemtype;● grondwatertrap;● drainage;● helling.
Grondwater:	<ul style="list-style-type: none">● kwaliteit;● kwantiteit (kwel).
Landgebruik:	<ul style="list-style-type: none">● agrarisch (bemestingsniveau);● stedelijk;● natuur.
Watertype:	<ul style="list-style-type: none">● stroming;● dimensies (diepte, breedte);● (ecologisch) streefbeeld.
Subwatersystemen:	<ul style="list-style-type: none">● beheerseenheden;● substroomgebieden;● afwateringseenheden.
Externe invloeden:	<ul style="list-style-type: none">● schatting beïnvloeding gebiedsvreemd water;● schatting beïnvloeding (bovenstroomse) lozingen.

Voordat een selectie van de relevante geografische kennis gemaakt wordt, moeten twee aspecten van de toepassing van geografische informatiesystemen nader belicht worden:

1) Wat is gebieddekkend (Figuur 5-6)? Enkele mogelijke benaderingen:

- 'Gebieddekkend' kan een grid zijn, waarbij alle meetpunten op min of meer dezelfde afstand liggen. Hiervoor is weinig geografische informatie nodig. Deze definitie van gebieddekkend is echter niet zinvol;
- 'Gebieddekkend' kan ook gerelateerd worden aan de totale belasting van een systeem;
- 'Gebieddekkend' kan ook gerelateerd worden aan de relatieve belasting van een systeem, bijvoorbeeld de belasting door de landbouw ten opzichte van de natuurlijke achtergrond.
- 'Gebieddekkend' houdt in dat alle (potentieel) waardevolle gebieden gemonitord worden.

De term 'gebieddekkend' zal in deze fase nader omschreven moeten worden.

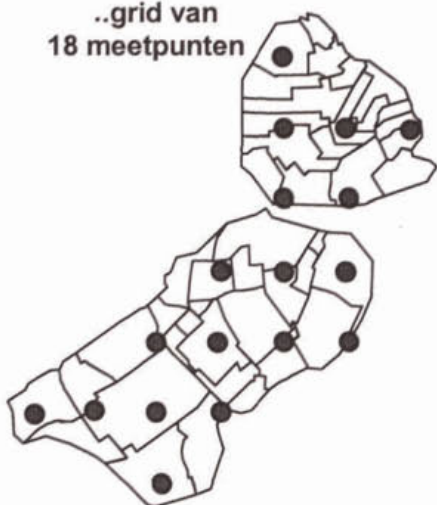
2) Op welk detailniveau moet de informatie verzameld worden? Moet een grove gebiedsindeling verkregen worden of wordt gezocht naar kleine deelgebieden met uitzonderlijke geografische karakteristieken? Met andere woorden: moeten juist de bijzondere gebieden in de toekomst gemonitord worden of gaat het om het grote beeld? Indien juist de bijzondere gebieden gezocht worden, moeten hogere eisen aan het detailniveau van de geografische informatie gesteld worden.

Stap 2:

Om kwantitatieve geografische informatie te kunnen verwerken, moet een klassenindeling gemaakt worden, bijvoorbeeld drie verschillende klassen bemestingsniveau: geen, weinig en veel bemesting. Met behulp van een geografische informatiesysteem kan vervolgens een gebieddekkende klasse-indeling voor alle factoren worden gemaakt.

Gebiedsdekkend is ...

..grid van
18 meetpunten

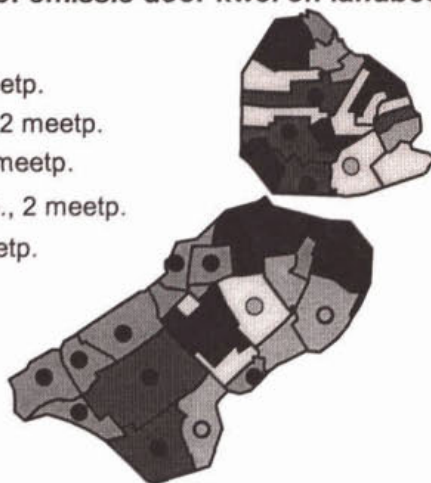


...18 meetpunten
in de grootste
afwateringsgebieden!

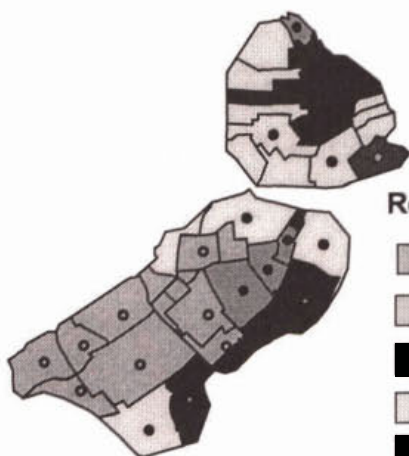


Gebiedsdekkend is afhankelijk van de nutriëntenbelasting
(bijv. de stikstof emissie door kwel en landbouw)

- laag; 11 kwelgeb., 7 meetp.
- matig laag; 7 kwelgeb., 2 meetp.
- middel; 10 kwelgeb., 2 meetp.
- matig hoog; 10 kwelgeb., 2 meetp.
- hoog; 6 kwelgeb., 5 meetp.



Gebiedsdekkend is afhankelijk van de extra
nutriënten-belasting door landbouw



Relatieve bijdrage kwel aan uitspoeling

- laag; 4 kwelgeb., 4 meetpunten.
- matig laag; 13 kwelgeb., 8
- middel; 12 kwelgeb., 2 meetpunten.
- matig hoog; 14 kwelgeb., 5
- hoog; 1 kwelgeb., 1 meetpunten.

Figuur 5-6: Wat is gebieddekkend?

Hoe een geografisch informatiesysteem dergelijke informatie verwerkt, is schematisch weergegeven in Figuur 5-1. Uit dit schema blijkt dat naarmate er meer klassen zijn en meer factoren beschouwd worden, de uiteindelijke indeling in gebieden met specifieke eigenschappen erg complex is³⁶.

Kwelkaart			Bemestingsnivea u			Combinatie		
A	A	A	x	y	y	Ax	Ay	Ay
B	B	C	x	y	y	Bx	By	Cy
B	B	C	x	x	x	Bx	Bx	Cx

Kwel		Combinatie	
A	Geen	Ax	Geen kwel + weinig bemesting
B	Weinig	Ay	Geen kwel + veel bemesting
C	Veel	Bx	Weinig kwel + weinig bemesting

Bemesting		Combinatie	
x	Weinig	By	Weinig kwel + veel bemesting
y	Geen	Cx	Veel kwel + weinig bemesting
		Cy	Veel kwel + veel bemesting

Figuur 5-1: Illustratie werking GIS

Stap 3:

Bepaal de mate van voorkomen van alle mogelijke combinaties van factoren.

Maak een selectie van die combinaties van factoren die 'veel' voorkomen. 'Veel' slaat in het algemeen op de gebiedsomvang. Aangezien de hoeveelheid oppervlaktewater per gebiedstype kan variëren, kan het belangrijk zijn om met deze variatie rekening te houden (in bossen is weinig oppervlaktewater). Combinaties van factoren die veel voorkomen kunnen dus gerelateerd worden aan het oppervlak of het volume van het oppervlaktewater binnen de gebiedstypen.

Maak een selectie van de belangrijkste gebiedstypen, zodat bijvoorbeeld 90% van het oppervlak van oppervlaktewater binnen de geselecteerde gebieden ligt.

Stap 4:

Kies een strategie voor de beoordeling van de dichtheid van het meetnet:

1. Evenveel meetpunten in alle combinaties van factoren?
2. Aantal meetpunten proportioneel aan het voorkomen van gebiedstypen?
3. 1. of 2. aangevuld met gewichtsfactoren. Met behulp van gewichtsfactoren kan een beleidsgerelateerde prioritering van de meetinspanning bewerkstelligd worden (bijv. voor beleidsevaluatie: extra meetpunten in intensieve landbouwgebieden). Daarnaast is het mogelijk, dat men in het ene gebiedstype hogere kwaliteitsvariëtes verwacht dan in een ander gebied. Door gewichtsfactoren toe te kennen, kan hier enigszins rekening mee gehouden worden.

Stap 5:

Bij de evaluatie van een bestaand meetnet moet in deze stap geëvalueerd worden of de verdeling van de meetpunten overeenkomt met de verdeling, zoals deze op basis van de geografische structuur van het gebied gewenst is. Afhankelijk van de resultaten van de geografisch georiënteerde analyse moeten meetpunten verdwijnen of nieuwe meetpunten ingericht worden. De methode biedt hiervoor geen eenduidige handvatten. Voor het verwijderen van meetpunten ligt het voor de hand te kijken naar aaneengesloten gebieden met dezelfde karakteristieken, waar meer dan één meetpunt in is gesitueerd. Een andere methode is om met een andere methode (multiple/lineaire regressie, toetsen op gemiddelden of medianen) te bepalen welk meetpunt het best verklaard wordt door de andere meetpunten met dezelfde geografische kenmerken, en dit meetpunt vervolgens te verwijderen. Voor het installeren van nieuwe meetpunten moet juist gekeken worden naar aaneengesloten gebieden, waarin geen enkel meetpunt ligt.

Bij de inrichting van een nieuw meetnet moeten in deze stap de meetpunten volgens de sleutel uit stap 4 geïnstalleerd worden.

³⁶ In het algemeen bestaan echter niet alle combinaties van factoren.

Kanttelingen bij het gebruik van geografische informatie en GIS

De toepassing van geografische informatie zoals hierboven beschreven, maakt in principe geen gebruik van de meetgegevens. Dit betekent dat de daadwerkelijke overeenkomsten tussen meetpunten niet meewegen in de dichtheidsanalyse. Aanvullend onderzoek naar de overeenkomsten tussen meetpunten met dezelfde geografische karakteristieken kan ter bevestiging van de uitkomsten toegepast worden. Indien de waterkwaliteit op de meetpunten duidelijk van elkaar afwijkt, houdt dit in, dat de waterkwaliteit niet sterk afhangt van de geografische karakteristieken. Andere factoren die niet bij de geografische analyse betrokken zijn, bepalen de waterkwaliteit. Mogelijk voldoet de indeling van het gebied niet en kan met additionele informatie een betere indeling verkregen worden. Het is natuurlijk ook mogelijk, dat de lokale kenmerken minder effect hebben dan niet-geografische factoren (bijv. lozingen op grote afstand, variaties in stroming).

De resultaten van het dichtheidsonderzoek, op basis van andere methoden dan GIS, kunnen opgenomen worden in het GIS. De visualisering van de ruimtelijke dichtheid is een waardevol hulpmiddel bij de interpretatie van de resultaten.

5.2.5 MEETPUNTEN LEVEREN UNIEKE INFORMATIE

EEN MEETNET IS OPTIMAAL INDIEN ALLE INFORMATIE UNIEK IS, DAT WIL ZEGGEN ER IS GEEN OVERLAP IN INFORMATIE TUSSEN TWEE MEETPUNTEN

Als alle meetpunten unieke informatie moeten leveren, moet gedefinieerd worden wanneer niet sprake is van unieke informatie. Meetpunten leveren geen unieke informatie wanneer:

- hun gemiddelden of medianen aan elkaar gelijk zijn (§ 5.2.5.1);
- de metingen voorspelbaar zijn door één enkel ander meetpunt (§ 5.2.5.2);
- de metingen voorspelbaar zijn door een combinatie van meerdere andere meetpunten (§ 5.2.5.3).

5.2.5.1 ONDERLING VERGELIJK VAN MEETPUNTEN OP BASIS VAN DE GEMIDDELDEN (MEDIANEN)

De makkelijkste methode om meetpunten met elkaar te vergelijken is de gemiddelde of mediane procesparameters te berekenen en te toetsen of deze van elkaar verschillen. Voor het toetsen van verschillen in gemiddelden of medianen zijn onder andere de volgende methoden beschikbaar:

- t-toets op verschil in gemiddelden;
- Wilcoxon rank-sum toets voor verschil in medianen (verdelingsvrij).

Indien de waarnemingen gepaard kunnen worden - in de praktijk wil dat zeggen dat de waarnemingen op de meetpunten op ongeveer hetzelfde tijdstip zijn genomen - verdienen de gepaarde tegenhangers van de boven genoemde methoden de voorkeur³⁷:

- t-toets voor gepaarde steekproeven;
- Wilcoxon Signed Rank toets (verdelingsvrij).

³⁷ Voor een beschrijving en de toepasbaarheid van genoemde methoden zie deel 2

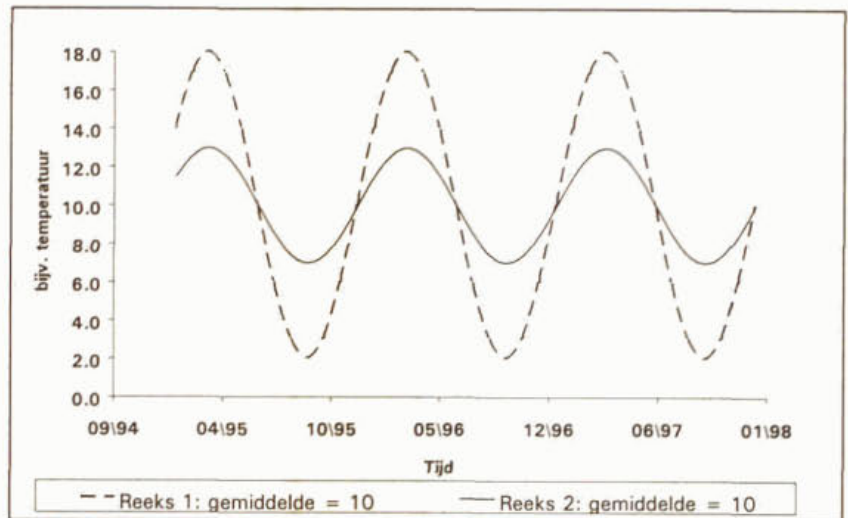
De reden om de voorkeur te geven aan gepaarde methoden is, dat bij de ongepaarde methoden geen rekening gehouden wordt met de dynamiek in de data. In Figuur 5-2 en Figuur 5-3 is dit geïllustreerd: ondanks dat de gemiddelden (medianen) van de reeksen gelijk zijn, is het duidelijk dat tussen de meetpunten grote verschillen bestaan.

In het geval van een verschil in amplitude van de seizoensinvloed hoeft dit niet belangrijk te zijn; of de seizoensdynamiek belangrijk is, hangt af van de doelstelling. Indien er echter sprake is van een verschil in trends, kunnen de consequenties van deze methode vervelend zijn: een meetpunt wordt niet meer voortgezet, terwijl de ontwikkeling op dit meetpunt volledig afwijkt van andere meetpunten. Om dit probleem het hoofd te bieden, kan de (ongepaarde) methode aangevuld worden

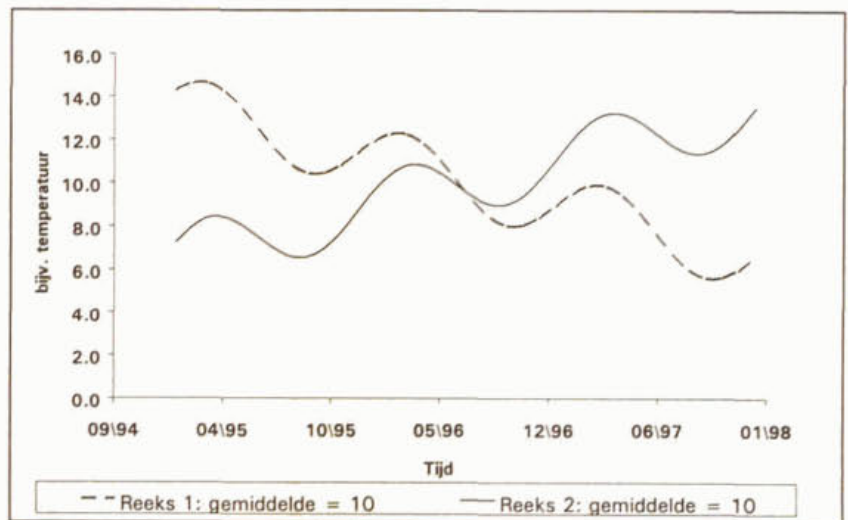
met bijvoorbeeld een toets op verschil in hellingen. De overzichtelijkheid van de methode en de transparantie van de resultaten neemt dan echter af.

Door gebruik te maken van de gepaarde toetsen worden de problemen niet in alle gevallen opgelost: de meetreeksen in de bovenstaande figuren zijn met betrekking tot hun gemiddelde daadwerkelijk gelijk. Ook de uitkomst van een gepaarde toets zal dus aangegeven dat de meetpunten gelijk zijn. *Door de waarnemingen te paren, neemt echter wel de mogelijkheid toe verschillen aan te tonen, met name indien een groot gedeelte van de spreiding in de data door processen als seizoensinvloed en trends bepaald wordt.* Een en ander is geïllustreerd in Kader 5-1.

Evenals voor de ongepaarde toetsen kunnen aanvullende toetsen worden uitgevoerd om aan te tonen, dat de meetreeksen inderdaad met elkaar vergelijkbaar zijn. Doordat de meetgegevens gepaard worden, zijn de mogelijkheden echter uitgebreider. De toetsen, gebaseerd op gepaarde waarnemingen, maken gebruik van de verschillen tussen meetreeksen. Uit twee meetreeksen (x en y) wordt een enkele meetreeks (z) van verschillen gemaakt ($z=x-y$). Indien de oorspronkelijke meetreeksen inderdaad grote overeenkomsten vertonen, moet de z -reeks bestaan uit onderling onafhankelijke waarnemingen. Indien de dynamiek op de meetpunten verschilt, zal dit zichtbaar zijn in het autocorrelatiediagram (deel 2). Dit is geïllustreerd in Kader 5-2.



Figuur 5-2: Seizoensinvloed en gemiddelden

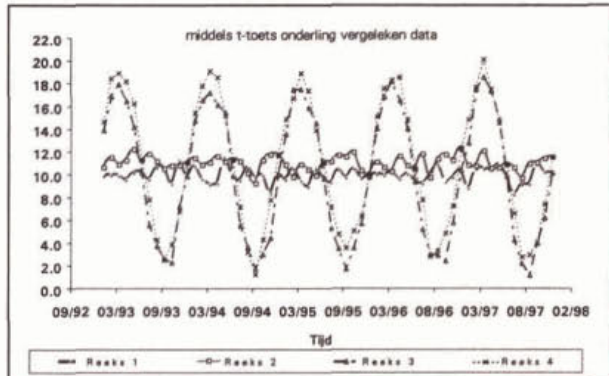


Figuur 5-3: Trends en gemiddelden

Voordelen van gepaarde toetsing

In de onderstaande figuur zijn vier kunstmatige meetreeksen weergegeven. Tussen reeks 1 en 2 respectievelijk 3 en 4 bestaat een verschil van 1.0 eenheden. De gemiddelden van 1 en 3, respectievelijk 2 en 4 zijn gelijk. Reeks 3 en 4 zijn gelijk aan reeks 1 en 2, zij het dat een seizoensinvloed is toegevoegd. De onregelmatigheid in de reeksen is veroorzaakt door statistisch normaal verdeelde ruis toe te voegen aan de reeksen.

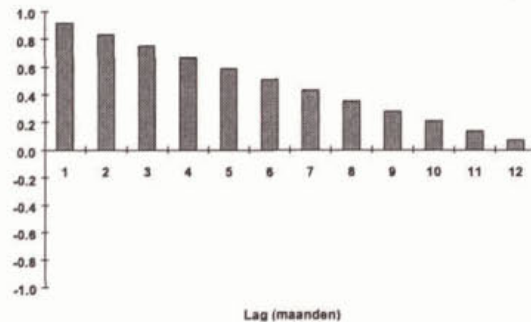
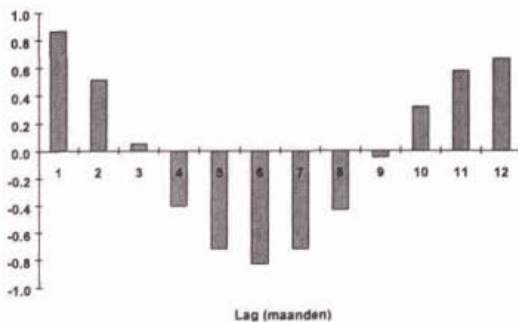
In het onderstaande overzicht staan de toetsingsresultaten van de gepaarde en ongepaarde t-toets (een kleine waarde geeft aan dat er een verschil tussen de meetreeksen bestaat):



Reeks	ongepaard	gepaard	opmerking
1+2	0	0	Door de geringe spreiding is er duidelijk verschil aangetoond.
1+3	1	1	De gemiddelden zijn daadwerkelijk gelijk.
1+4	0.148	0.147	Bij een overschrijdingskans van $\frac{1}{2}\alpha=0.1$ is het verschil niet significant. Het verschil van 1.0 is door de hoge spreiding niet aan te tonen.
2+3	0.149	0.149	Idem.
2+4	1	1	De gemiddelden zijn daadwerkelijk gelijk.
3+4	0.300	0	Bij een overschrijdingskans van $\frac{1}{2}\alpha=0.2$ is het verschil niet significant bij een ongepaarde analyse. Door gepaard te analyseren is het verschil echter wel aantoonbaar.

In de onderstaande figuren is de autocorrelatiefunctie (voor uitleg zie deel 2) weergegeven van de verschillen tussen de meetreeksen.

Een verschil in de amplitude van de seizoensinvloed is zichtbaar als een seizoensinvloed in het verschil tussen de meetreeksen en dus ook als een seizoensinvloed in de autocorrelatiefunctie (linker figuur). Een verschil in trend uit zich eveneens in een trend in het verschil tussen de meetreeksen en dus ook als een trend in de autocorrelatiefunctie (rechter figuur).



Om te onderzoeken of de dynamiek van de meetwaarden rond het gemiddelde van beide meetpunten tijdsonafhankelijk is, kan de Runs toets (op de z-reeks) worden uitgevoerd.

Een trendtoets (op de z-reeks) kan inzicht geven in langjarige verschillen met betrekking tot de ontwikkeling van de waterkwaliteit.

Het volgende stappenplan kan gevolgd worden om de meetnetdichtheid op basis van gemiddelden (medianen) te beoordelen:

- Stap 1: In principe kan een toets op gelijke gemiddelden (medianen) voor elke meetpuntcombinatie worden uitgevoerd. Aangezien dit behalve een grote hoeveelheid werk ook een grote hoeveelheid (overbodige) resultaten oplevert, moet in de eerste stap een selectie gemaakt worden van relevante meetpuntcombinaties. Op basis van geografische informatie (1.1) kan het aantal meetpuntcombinaties beperkt worden. Behalve geografische afstand kan hierbij ook de plaatsgebonden beïnvloeding relevant zijn. Door ook resultaten van een datagebruikersanalyse (§ 5.2.2) bij de voorselectie te betrekken kan vermoedelijk het aantal te onderzoeken relaties verder beperkt worden.
- Stap 2: Indien de meetnetdichtheid voor individuele variabelen beoordeeld moet worden, is het niet noodzakelijk een selectie van variabelen te maken. Indien echter de ruimtelijke dichtheid integraal over verschillende variabelen beoordeeld moet worden, kan een selectie van relevante variabelen gemaakt worden. Bovendien moet een methode gedefinieerd worden, waarmee de resultaten per variabele over meetpunten geaggregeerd kunnen worden. In de literatuur staat deze aggregatiestap niet nader beschreven (ook stap 7).
- Stap 3: Toets (eventueel bij verschillende overschrijdingskansen α) of de gemiddelden (medianen) statistisch van elkaar verschillen³⁸.
- Stap 4: Optioneel: Indien de toetsingsuitkomst aangeeft, dat de meetreeksen gelijk zijn, toets dan op verschillen in trends (bij ongepaarde toetsen) of op trends in de 'verschillen meetreeks' (bij gepaarde toetsen).
- Stap 5: Optioneel: indien de toetsingsuitkomst aangeeft, dat de meetreeksen gelijk zijn, toets dan op seriële afhankelijkheid (autocorrelatie) in de 'verschillen meetreeks' met behulp van de Runs toets (deel 2).
- Stap 6: Geef de resultaten per variabele grafisch weer, bijvoorbeeld met behulp van een geografisch informatiesysteem. Indien ook de dynamiek bij de analyse is betrokken door toetsen uit te voeren op trends en/of op seriële afhankelijkheid in de z-reeks, moeten deze resultaten bij de weergave betrokken worden. Indien de meetreeksen op grond van deze toetsen niet op elkaar lijken, is de uitkomst van de vergelijking van de meetreeksen in zijn totaliteit negatief.
- Stap 7: Aggregeer de resultaten per meetpunt. Dit kan bijvoorbeeld door de fractie significante overeenkomsten of de (gewogen) gemiddelde overschrijdingskans te berekenen en deze in kaart te brengen³⁹.
- Stap 8: Beoordeel aan de hand van grafische weergave, mogelijk ondersteund door geografische en meetpunt-specifieke kennis, de meetnetdichtheid. Zijn er meetpunten die overeenkomsten met alle omliggende meetpunten vertonen (meetnet is te dicht) of zijn er meetpunten die geen overeenkomsten met andere meetpunten vertonen (meetpunt wijkt af, aanvullend onderzoek noodzakelijk)?

³⁸ In plaats van te toetsen bij een gedefinieerde overschrijdingskans kan, gegeven een toetsingswaarde, de overschrijdingskans ook berekend worden. Dit is vanuit statistisch oogpunt weliswaar niet 'netjes', hier staat echter tegenover dat een getalswaarde voor de toets meer handvatten voor de ruimtelijke analyse geeft dan een toetsingsuitkomst bij een vaste overschrijdingskans.

³⁹ De wetenschappelijke basis voor het rekenen met significantieniveaus/overschrijdingskansen ontbreekt, de aggregatiestap is puur pragmatisch.

5.2.5.2 LINEAIRE REGRESSIE TUSSEN TWEE MEETPUNTEN

Regressieanalyse is het verzamelbegrip voor het 'fitten' van vergelijkingen aan gegevens en het daardoor verkrijgen van relaties tussen verschillende variabelen. Met behulp van de ontwikkelde, 'gefitte' vergelijkingen, ook wel regressiemodellen genoemd, kunnen voorspellingen gemaakt worden. Tevens kan de kwaliteit van relaties onderzocht worden.

Met lineaire regressie wordt de lineaire voorspelling van een afhankelijke variabele (y) door een onafhankelijke variabele (x) bedoeld:

$$y = b_0 + b_1x.$$

Voor de ruimtelijke dichtheid betekent dit, dat de concentratie op een meetpunt voorspeld wordt door de concentratie op één ander meetpunt. De metingen op de verschillende meetpunten moeten voor lineaire regressie gepaard zijn, dat wil zeggen: de metingen moeten bij voorkeur op dezelfde dag zijn uitgevoerd. Naarmate de dag-tot-dag-variantie gering is, kan bij het paren van waarnemingen 'gesjoemeld' worden.

Aan lineaire regressie liggen verschillende aannamen ten grondslag. Het hangt echter van de doelstelling af, hoe belangrijk de aannamen zijn (Tabel 5-2).

Doelstelling van lineaire regressie is het verklaren van variantie op het ene meetpunt door het andere meetpunt. De uitgangssituatie is dat er n waarnemingsparen van waarnemingen x_i en y_i zijn. De hoeveelheid verklaarde variantie (R^2) kan berekend worden volgens de in Kader 5-3 beschreven formules.

Kader 5-3

Stap 1:	gemiddelde van x:	$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$
Stap 2:	gemiddelde van y:	$\bar{y} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i$
Stap 3:	kwadraatsom van x:	$SSx = \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 = \sum_{i=1}^n x_i^2 - n\bar{x}^2$
Stap 4:	kwadraatsom van y:	$SSy = \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2 = \sum_{i=1}^n y_i^2 - n\bar{y}^2$
Stap 5:	som kruisproducten x en y:	$Sxy = \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})(x_i - \bar{x}) = \sum_{i=1}^n y_i x_i - n\bar{y}\bar{x}$
Stap 6:	helling:	$b_1 = \frac{Sxy}{SSx}$
Stap 7:	correlatiecoëfficiënt:	$r = b_1 \sqrt{SSx/SSy}$
Stap 8:	verklaarde variantie:	$R^2 = r^2$

Tabel 5-2: De relevantie van verschillende aannamen bij het gebruik van lineaire regressie voor uiteenlopende doeleinden

Aanname	doelstelling			
	Voor- spel y	Voorspel y en de variantie van de voorspelling	Bepaal de beste lineaire 'unbiased' schatting voor y	Toets hypothesen en bepaal betrouw- baarheidsintervallen
Correct model: y hangt lineair af van x	+	+	+	+
Beschikbare data zijn representatief	+	+	+	+
Variantie van residuen is onafhankelijk van x en enige andere grootheden		+	+	+
Residuen zijn onafhankelijk			+	+
Residuen zijn normaal verdeeld				+

De verklaarde variantie ligt tussen 0 en 1; 0 geeft aan dat er geen relatie tussen de meetpunten bestaat, terwijl 1 aangeeft dat de variantie op een meetpunt (oftewel de data op een meetpunt) volledig verklaard kan worden door het andere meetpunt.

Behalve een hoge verklaarde variantie is de significantie van de correlatie belangrijk. Bij een geringe hoeveelheid data kan een hoge verklaarde variantie toch niet significant zijn.

Om te beoordelen of het verband tussen de meetreeksen significant is, moet getoetst worden of de correlatiecoëfficiënt (r) significant verschilt van nul:

H_0 : Er is geen lineair verband; $r = 0$;

H_1 : Er is een lineair verband; $r \neq 0$.

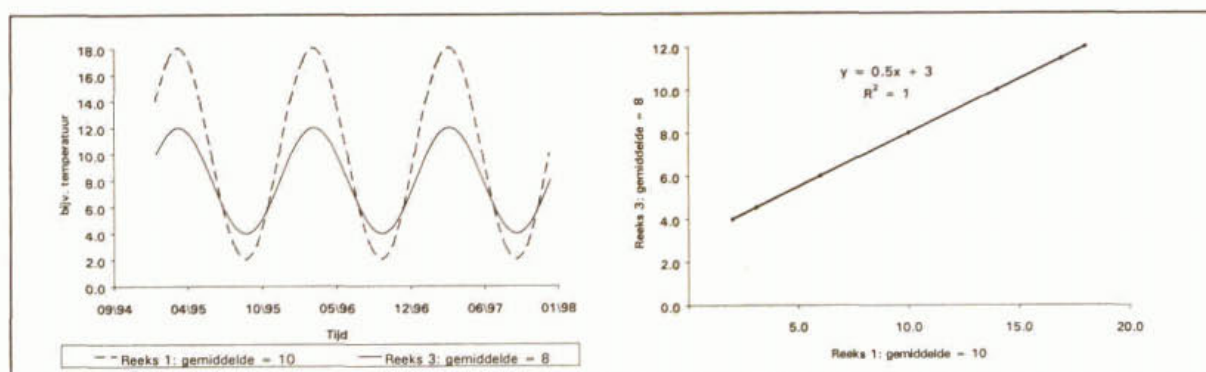
Stap 1: Bereken de correlatiecoëfficiënt (Kader 5-3).

Stap 2: Bereken de toetsingsgrootheid t :

$$t = r\sqrt{N-2} / \sqrt{1-r^2}$$

Stap 3: Verwerp H_0 indien $|t| > t_{crit}$ waarbij t_{crit} de waarde uit de student t -tabel is bij $n-2$ vrijheidsgraden en een overschrijdingskans van $\frac{1}{2}\alpha$.

Een hoge verklaarde variantie en een significant lineair verband houden nog niet in, dat meetreeksen nauw met elkaar overeenkomen. Dit is geïllustreerd in Figuur 5-4. Terwijl de gemiddelden en de amplitude van elkaar verschillen (linker figuur), is de verklaarde variantie 1 (100%) en de relatie significant (rechter figuur).



Figuur 5-4: correlatie tussen 2 meetpunten

Indien het de bedoeling is aan te tonen, dat twee meetpunten exact dezelfde informatie opleveren ($y=x$), houdt dit in, dat de helling (b_1) en de intercept (b_0) de waarde 1 respectievelijk 0 moeten hebben. De hiervoor beschikbare toetsen zijn weergegeven in Kader 5-4 (zie Kader 5-2 voor een legenda van de gebruikte statistische grootheden⁴⁰).

Indien de voorspellingen voor meetpunt y niet al te sterk mogen afwijken van de werkelijkheid, kan de variantie in de residuen (= werkelijke waarde - voorspelde waarde) als maat dienen. De berekening van de standaardafwijking ($\sqrt{\text{variantie}}$) in de residuen wordt gegeven door s in Kader 5-4.

⁴⁰ Er wordt van uitgegaan dat de berekeningen in Kader 5-2 zijn uitgevoerd.

Hypothese

H_0 : er is geen evenredig verschil tussen de reeksen; $b_1 = 1$.

H_1 : er is wel een evenredig verschil tussen de reeksen; $b_1 \neq 1$.

$$s^2 = \frac{SSy - b_1 Sxy}{N - 2}$$

Stap 1: spreiding residu (MSE)

$$s = \sqrt{s^2}$$

Stap 2: standaard afwijking residu

$$t = \frac{b_1 - 1.0}{s/\sqrt{SSx}}$$

Stap 3: toetsingsgrootheid

Stap 4: Verwerp H_0 indien $|t| > t_{\text{crit}}$, de waarde van de student verdeling bij N-2 vrijheidsgraden en een overschrijdingskans van $\frac{1}{2}\alpha$.

Hypothese

H_0 : er is geen constant verschil tussen de reeksen; $b_0 = 0$.

H_1 : er is wel een constant verschil tussen de reeksen; $b_0 \neq 0$.

Stap 1: stappen 1 en 2 van het bovenstaande schema.

$$b_0 = \bar{y} - b_1 \bar{x}$$

Stap 2: intercept:

$$t = \frac{b_0}{s\sqrt{\frac{1}{N} + \frac{\bar{x}^2}{SSx}}}$$

Stap 3: toetsingsgrootheid:

Stap 4: Verwerp H_0 indien $|t| > t_{\text{crit}}$, de waarde van de student verdeling bij n-2 vrijheidsgraden en een overschrijdingskans van $\frac{1}{2}\alpha$.

Het betrouwbaarheidsinterval rond de variantie wordt gegeven door:

$$\frac{(N-2)s^2}{\chi^2_{1-\frac{1}{2}\alpha}} \leq s^2 \leq \frac{(N-2)s^2}{\chi^2_{\frac{1}{2}\alpha}}$$

waarin χ de waarde van de χ -verdeling weergeeft.

Het betrouwbaarheidsinterval rond individuele voorspellingen van y wordt gegeven door:

$$\left[\hat{y}_i - t s \sqrt{1 + \frac{1}{N} + \frac{(x_i - \bar{x})^2}{SSx}} \right] \leq \hat{y}_i \leq \left[\hat{y}_i + t s \sqrt{1 + \frac{1}{N} + \frac{(x_i - \bar{x})^2}{SSx}} \right]$$

waarin x_i de met y_i gepaarde waarneming is.

Het betrouwbaarheidsinterval voor de gemiddelde voorspelling van y_i - gegeven x_i - wordt gegeven door:

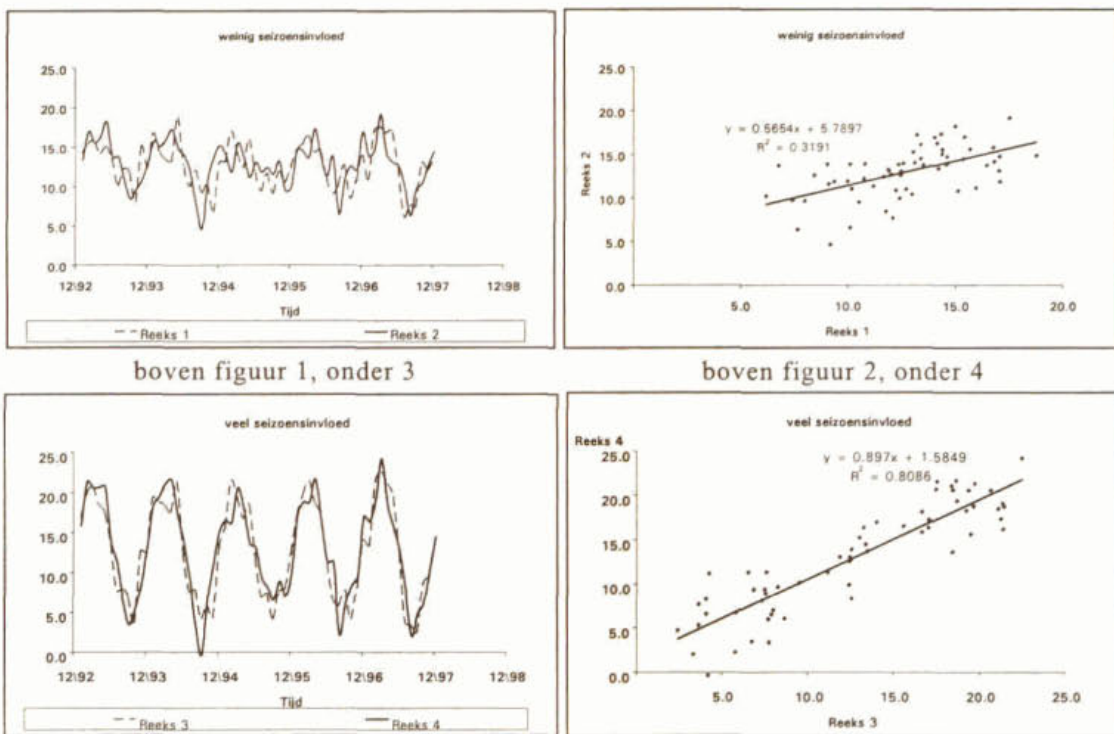
$$\left[\bar{\hat{y}}_i - t s \sqrt{\frac{1}{N} + \frac{(x_i - \bar{x})^2}{SSx}} \right] \leq \bar{\hat{y}}_i \leq \left[\bar{\hat{y}}_i + t s \sqrt{\frac{1}{N} + \frac{(x_i - \bar{x})^2}{SSx}} \right]$$

Bij de toepassing van lineaire regressie moet men altijd bedenken dat, naarmate meer variantie verklaard wordt door seizoensinvloed, trends en overige 'bekende' invloeden, de verklaarde variantie des te hoger zal zijn, indien deze processen op beide meetpunten van belang zijn (Kader 5-5).

Kader 5-5

Invloed van seizoensvariantie op de verklaarde variantie in lineaire regressie

Onderstaande figuren illustreren de invloed van een grote seizoensspreiding (t.o.v. de totale spreiding) op de verklaarde variantie. In figuur 1 is de bijdrage van de seizoensspreiding aan de totale spreiding in de data gering; in figuur 3 is deze bijdrage groot⁴¹. De verhouding tussen de onverklaarde en de seizoensspreiding is in figuur 1 3.1. In figuur 3 is deze verhouding lager (0.7), dat wil zeggen dat de spreiding door seizoensinvloed hoog is. In de figuren 2 en 4 zijn de meetreeksen van de figuren 1 en 3 tegen elkaar uitgezet en is de correlatie bepaald. Reeks 1 verklaart 32% van de ruis in reeks 2 (figuur 2). Figuur 4 laat zien dat veel meer van de variantie van de meetreeksen wordt verklaard. Reeks 3 verklaart 80% van de variantie in reeks 4.



Behalve de seizoensinvloed, hebben ook andere processen (inlaatbeheer, trends) een dergelijke invloed op de verklaarde variantie.

⁴¹ De meetreeksen zijn kunstmatig. De niet seizoensgebonden standaardafwijking is in alle meetreeksen gelijk.

Het volgende stappenplan kan gevolgd worden om de meetnetdichtheid op basis van enkelvoudige lineaire regressie te beoordelen:

Stap 1: Maak een selectie van variabelen, waarvoor de ruimtelijke analyse relevant is.

Stap 2: Bepaal voor alle relevante meetpunten welke meetpunten verklarend zouden kunnen zijn. De mogelijk verklarende meetpunten hoeven niet in fysiek contact met de te verklaren meetpunten te staan. De overeenkomsten tussen beïnvloedende factoren zijn in het algemeen belangrijker.

De resultaten van een studie naar het datagebruik (§ 5.2.2) kunnen gebruikt worden om een selectie van relevante, te verklaren (en mogelijk overbodige) meetpunten te maken. De resultaten van een studie naar geografisch bepaalde invloeden (§ 5.2.4) kan als basis dienen voor de selectie van verklarende meetpunten.

Stap 3: Bepaal of de dichtheidsanalyse per variabele belangrijk is of dat het alleen over een totaalbeeld, integraal over alle relevante variabelen, gaat. Indien bij een herinrichting van het meetnet verschillende variabelenpakketten per meetpunt mogelijk zijn, is een dichtheidsanalyse per variabele relevant. Indien alleen meetpunten in hun geheel (alle variabelen) ingericht kunnen worden, is vooral het volledige variabelenpakket van belang.

Stap 4: Optioneel: indien het volledige variabelenpakket van belang is, kan veelal een subselectie van zeer belangrijke variabelen gemaakt worden. Indien de lineaire regressie voor deze variabelen aangeeft dat meetpunten van elkaar verschillen, hoeft dit niet voor andere variabelen onderzocht te worden. De selectie van variabelen kan gebaseerd worden op het belang voor het beleid en op de te verwachten kwaliteit van het lineaire verband. Naarmate een variabele sterker door lokale omstandigheden beïnvloed wordt, zal in het algemeen de kwaliteit van het verband afnemen.

Stap 5: Stel eisen aan de significantie van het verband (significantie van r), de minimaal verklaarde variantie (R^2) en het verschil in hellingen en intercepts (b_1 en b_0 , optioneel). Dergelijke eisen kunnen per variabele verschillen.

Stap 6: Bepaal voor alle variabelen, of voor de in (4) geselecteerde variabelen, het lineaire verband en beoordeel de resultaten op basis van de in (5) gestelde eisen.

Stap 7: Indien stap (4) is uitgevoerd, beperk het aantal meetpunt-paren op basis van de tussenresultaten en voer stap (5) voor alle overige variabelen uit.

Stap 8: Aggregeer de resultaten per meetpunt. Dit kan door bijvoorbeeld de gemiddelde verklaarde variantie te berekenen en deze in kaart te brengen⁴².

Stap 9: Beoordeel aan de hand van grafische weergave, mogelijk ondersteund door geografische en meetpunt-specifieke kennis, de meetnetdichtheid. Zijn er meetpunten die overeenkomsten met alle omliggende meetpunten vertonen (meetnet is te dicht) of zijn er meetpunten die geen overeenkomsten met andere meetpunten vertonen (meetpunt wijkt af, aanvullend onderzoek noodzakelijk)⁴³?

⁴² De wetenschappelijke basis voor het rekenen met verklaarde varianties ontbreekt; de aggregatiestap is puur pragmatisch.

⁴³ Door de meetreeksen vrij te maken van een eventuele seizoensinvloed kan het effect van verschillen in seizoensinvloed beperkt worden.

5.2.5.3 MULTIPLE LINEAIRE REGRESSIE VAN ÉÉN MEETPUNT MET OMLIGGENDE MEETPUNTEN

Multiple regressie is nauw verwant met lineaire regressie. Het verschil is, dat meer dan één verklarende variabele in de vergelijking kan worden opgenomen:

lineaire regressie

$$y = b_0 + b_1 \times x_1$$

multiple (lineaire) regressie

$$y = b_0 + b_1 \times x_1 + b_2 \times x_2 + \dots + b_n \times x_n$$

Er wordt gesproken van multiple lineaire regressie, omdat y lineair afhangt van elke verklarende variabele x . Bij multiple regressie is het de bedoeling de variantie op een meetpunt te voorspellen met meerdere omliggende meetpunten. Evenals voor lineaire regressie stelt de techniek geen eisen aan de veldsituatie: de meetpunten hoeven niet met elkaar in verbinding te staan. In het algemeen zal men echter op basis van veldkennis clusters van meetpunten maken, waarbinnen gezocht wordt naar de vergelijking die de hoogste (significante) verklaarde variantie oplevert. Multiple lineaire regressie is in het algemeen mogelijk met elk statistisch verwerkingspakket. Deze pakketten zijn in staat de meest geschikte verklarende meetpunten te identificeren. Aan (uit) de vergelijking worden zolang verklarende meetpunten toegevoegd (verwijderd) tot een maximale hoeveelheid variantie wordt verklaard, en alle verklarende meetpunten significant aan de verklaarde variantie bijdragen.

Het volgende stappenplan kan gevolgd worden om de meetnetdichtheid op basis van multiple lineaire regressie te beoordelen:

Stap 1: Maak een selectie van variabelen, waarvoor de ruimtelijke analyse relevant is.

Stap 2: Bepaal voor elk relevant meetpunt welke (combinatie van) meetpunten verklarend zou kunnen zijn.

De resultaten van een studie naar het datagebruik (§ 5.2.2) kunnen gebruikt worden om een selectie van relevante, te verklaren (en mogelijk overbodige) meetpunten te maken.

De resultaten van een studie naar geografisch bepaalde beïnvloedingen (§ 5.2.4) kan als basis dienen voor de selectie van verklarende meetpunten.

Stap 3: Bepaal of de dichtheidsanalyse per variabele belangrijk is of dat het alleen om een totaalbeeld, integraal over alle relevante variabelen, gaat. Indien bij een herinrichting van het meetnet verschillende variabelenpakketten per meetpunt mogelijk zijn, is een dichtheidsanalyse per variabele relevant. Indien alleen meetpunten in zijn geheel (alle variabelen) ingericht kunnen worden is vooral het volledige variabelenpakket van belang.

Stap 4: Optioneel: in het algemeen zullen een groot aantal potentieel verklarende meetpunten bestaan. Voor een enkel meetpunt kan dit betekenen dat voor elke variabele andere meetpunten in de regressievergelijking worden opgenomen. Met name als gezocht wordt naar meetpunten die volledig voorspeld kunnen worden, is dit niet gewenst: te veel meetpunten moeten aangehouden worden om één meetpunt te voorspellen. Het aantal potentieel verklarende meetpunten per meetpunt kan beperkt worden door de correlatiecoëfficiënten tussen verschillende meetpunten te berekenen en de meetpunten, die slechts voor enkele variabelen relevant zijn, vervolgens als verklarende variabelen buiten beschouwing te laten.

Stap 5: Vervolg met stap 4 en volgende op pagina 93.

Tot slot

Over regressieanalyse zijn veel boeken verschenen. In het kader van dit project voert het te ver om alle *ins* en *outs* van regressie te behandelen. De geïnteresseerde lezer wordt hiervoor verwezen naar de vakliteratuur (o.a. Montgomery en Peck, 1982; Snedecor en Cochran, 1967).

5.2.6 COMBINATIE VAN METHODEN

EEN MEETNET IS OPTIMAAL INDIEN DE EERDER GENOEMDE METHODEN ZINVOL WORDEN
GECOMBINEERD EN GELIJKTIJDIG EEN AFSTEMMING MET ANDERE MEETNETDOELSTELLINGEN
PLAATSVINDT

In de praktijk zal het voordelig zijn om verschillende analysetechnieken te combineren. Bijvoorbeeld:

- Stap 1: Analyse van meetpunten waarvan twijfel over de representativiteit voor de omgeving bestaat. Eventueel projectmatig onderzoek naar de omvang van het representatieve gebied.
- Stap 2: Inventarisatie van de meetpunten waarvan de data daadwerkelijk worden geanalyseerd. Deze meetpunten moeten hoe dan ook behouden blijven.
- Stap 3: Inventarisatie van gebiedstypen waarin geen meetpunten liggen (GIS) en indien gewenst nieuwe meetpunten installeren.
- Stap 4: Inventarisatie van gebiedstypen waarin relatief veel meetpunten liggen (GIS). Toepassing van statistische technieken om te bezien welke meetpunten in deze gebiedstypen op elkaar lijken.

Meetnetdichtheidsanalyse wordt vaak gezien als de basis voor herinrichting van het meetnet. Dichtheidsanalyse gaat in principe vooraf aan de optimalisatie voor meetfrequenties voor specifieke doelstellingen. Aangezien de selectie van een meetpunt voor bijvoorbeeld trenddetectie tevens mede afhangt van de haalbaarheid van gestelde eisen, moet de optimalisatie van meetfrequenties echter parallel aan de dichtheidsanalyse worden uitgevoerd. Het kan immers niet de bedoeling zijn dat meetpunten worden verwijderd waarop juist andere meetdoelstellingen goed realiseerbaar zijn.

5.3 SAMENVATTING, CONCLUSIES EN DISCUSSIE

Meetnetdichtheidsanalyse en optimalisatie van specifieke meetnetdoelstellingen gaan hand in hand. Optimalisatie van de meetfrequenties is niet zinvol, als uiteindelijk blijkt dat een meetpunt geen bestaansrecht heeft. Het is echter niet noodzakelijk en mogelijk niet verstandig om een dichtheidsanalyse aan een optimalisatie van meetfrequenties voor andere meetdoelstellingen vooraf te laten gaan. Een meetpunt kan bijvoorbeeld vanwege zijn statistische karakteristieken uitermate geschikt zijn voor trenddetectie. Dit punt moet dus niet vervallen, ook al zou bijvoorbeeld blijken het redelijk goed voorspeld kan worden door andere meetpunten, of doordat nog niemand iets met de betreffende gegevens heeft uitgevoerd. Bij de optimalisatie van de meetnetdichtheid dient rekening gehouden worden met andere meetdoelstellingen.

'Meetnetdichtheid' is geen doelstelling zoals trenddetectie en normtoetsing. Optimalisatie van de meetnetdichtheid is daardoor veel minder grijpbaar en blijft in het algemeen beperkt tot een analyse en beoordeling van de toestand, waarna enkele aanpassingen volgen. Na verloop van tijd zullen met name nieuwe meetpunten op hun toegevoegde waarde moeten worden onderzocht. Door de ongrijp-

baarheid van optimalisatie van de meetnetdichtheid is het stappenplan zoals het voor andere informatiedoelstellingen is gepresenteerd, niet van toepassing. De 'optimalisatie' houdt met name in dat elke meetpunt verantwoord moet zijn: leveren de gegevens informatie op? Daarnaast houdt de optimalisatie in dat de dichtheid van het meetnet uitgewogen is. Grote overeenkomsten tussen meetpunten zijn net zo ongewenst als grote verschillen tussen meetpunten.

In de voorafgaande tekst zijn in totaal 8 verschillende benaderingen voor de analyse van de meetnetdichtheid beschreven. Het is duidelijk dat elke methode zijn voor- en nadelen kent: deze zijn beknopt weergegeven in Tabel 5-3. Een combinatie van verschillende specifieke methoden ligt het meest voor de hand. Hierbij valt vooral te denken aan een analyse van de dichtheid op basis van geografische informatie en op basis van de analyse van het datagebruik.

Literatuur over meetnetdichtheidsanalyse van oppervlaktewatermeetnetten is schaars. In het algemeen heeft deze literatuur betrekking op meetnetten in grote of in stromende systemen. In dergelijke systemen zijn veelal procesmodellering of ruimtelijke statistiek toepasbaar. Multiple lineaire regressie is toegepast door Blind en Aalderink (1995a en b). De sterk hierop lijkende ARX-methode door Klavers en de Vries (1993). Toepassingen van de andere methoden zijn voor zover bekend niet gepubliceerd.

Geen enkele van de in dit rapport beschreven methoden integreert verschillende variabelen.

Voor de methode gebaseerd op geografische informatie zou voor elk variabelenpakket een aparte analyse uitgevoerd kunnen worden. De beïnvloedende factoren voor chloride zullen bijvoorbeeld sterk verschillen van de factoren met betrekking tot eutrofiëring. De verschillende resultaten moeten vervolgens weer worden geïntegreerd.

De aggregatie van de resultaten per variabele is bij de statistisch georiënteerde methoden een kunst op zich en in hoge mate subjectief. Via principale componentenanalyse is het echter mogelijk om het grote aantal meetreeksen te comprimeren tot enkele factor-reeksen. Vervolgens kan met deze reeksen verder gerekend worden (Yu en Zou, 1993). Deze extra techniek maakt de methode enerzijds complexer, anderzijds echter overzichtelijker doordat minder rekenwerk uitgevoerd moet worden. Nader onderzoek naar de toepasbaarheid van deze methode is noodzakelijk.

Tabel 5-3: Voor- en nadelen van verschillende benaderingswijzen van de meetnetdichtheidsanalyse

Methode	voordeel	nadeel
Procesmodellering:	<ul style="list-style-type: none"> procesmodel levert een grote hoeveelheid kennis over het systeem op; invloed van andere meetinspanning tot op zekere hoogte a priori in te schatten. 	<ul style="list-style-type: none"> systemen zijn vaak erg complex - procesmodellen zullen daardoor ook vaak complex zijn; vermoedelijk zijn grote hoeveelheden data noodzakelijk voor calibratie van procesmodellen.
Geostatistiek:	<ul style="list-style-type: none"> er wordt rekening gehouden met de variabiliteit in de data en de daaraan gekoppelde onzekerheid. 	<ul style="list-style-type: none"> oppervlaktewater is niet ruimtelijk in de zin van geostatistiek. Oppervlaktewater bestaat vaak uit lijnelementen.
Analyse datagebruik en combinatie met andere meetnetten:	<ul style="list-style-type: none"> er worden alleen data verzameld die daadwerkelijk voor een informatiedoelstelling gebruikt zullen worden. 	<ul style="list-style-type: none"> er wordt geen rekening gehouden met daadwerkelijke verschillen in waterkwaliteit; er bestaat een kans dat gebieden niet bemeten worden terwijl deze wel in de toekomst wel belangrijk kunnen zijn.
Projectmatige veldstudie:	<ul style="list-style-type: none"> zeer concreet voor uitgestrekte gebieden met veel onafhankelijk watergangen. 	<ul style="list-style-type: none"> kostbaar; complex in de uitvoering.
Geografische informatie en gis:	<ul style="list-style-type: none"> methode is direct gerelateerd aan de lokale omstandigheden; aantal meetpunten kan naar rato over de verschillende typen water worden verdeeld. 	<ul style="list-style-type: none"> niet bruikbaar als andere dan lokale factoren de waterkwaliteit sterk beïnvloeden.
Vergelijk gemiddelden (medianen):	<ul style="list-style-type: none"> er wordt rekening gehouden met de variabiliteit in de data en de daaraan gekoppelde onzekerheid; zeer transparant. 	<ul style="list-style-type: none"> houdt in basisvorm geen rekening met dynamiek. minder overzichtelijk indien rekening gehouden wordt met dynamiek; geen relatie met fysieke werkelijkheid; vergelijking van slechts 2 meetpunten.
Lineaire regressie:	<ul style="list-style-type: none"> er wordt rekening gehouden met de variabiliteit in de data en de daaraan gekoppelde onzekerheid. 	<ul style="list-style-type: none"> steunt op kennis omtrent de verdeling van de data; geen relatie met fysieke werkelijkheid; vergelijking van slechts 2 meetpunten.
Multiple lineaire regressie:	<ul style="list-style-type: none"> er wordt rekening gehouden met de variabiliteit in de data en de daaraan gekoppelde onzekerheid; meerdere meetpunten worden tegelijkertijd bij de analyse betrokken. 	<ul style="list-style-type: none"> steunt op kennis omtrent de verdeling van de data; geen relatie met fysieke werkelijkheid.

LITERATUUR

- Baggelaar, P.K. en D.H. Baggelaar, 1995, Trends in de Oppervlaktewaterkwaliteit in Rijn en Maas, RIWA, 124 p.
- Baggelaar, P.K. en C.G.E.M. van Beek, 1995, Suggesties voor optimalisatie van grootschalige meetnetten grondwaterkwaliteit, Kiwa, Nieuwegein, nr. KOA 95.17, 24 p.
- Bayley, G.V. en J.M. Hammersley, 1946, The 'Effective' Number of Independent Observations in an Auto-correlated Time Series, Journal of the Royal Statistician Society, vol. 8, no. 1B, pp. 184-197.
- Blind, M.W. en R.H. Aalderink, 1995, Watqual: A Program for Water Quality Time Series Analysis with Respect to Optimization Of Trend Monitoring Frequency, Stichting Onderzoek Waterkwaliteitsbeheer/Landbouwuniversiteit Wageningen, rapport M266, Vakgroep Waterkwaliteitsbeheer en Aquatische Oecologie, LU Wageningen, 27 p.
- Blind, M.W. en R.H. Aalderink, 1995a, Zuiveringsschap Rivierenland: Analyse en Optimalisatie van het Routinematig Meetnet - Ontwikkelingen Waterkwaliteit 1985 t/m 1994, Stichting Onderzoek Waterkwaliteitsbeheer/Landbouwuniversiteit Wageningen, 108 p. en bijlagen.
- Blind, M.W. en R.H. Aalderink, 1995b, Analyse en Optimalisatie van het Routinematig Meetnet van Waterschap Friesland, Stichting Onderzoek Waterkwaliteitsbeheer/Landbouwuniversiteit Wageningen.
- Chatfield, C., The Analysis of Time Series - An Introduction, fourth edition, Chapman and Hall, New York, 1989, 241 p.
- Cochran, W.G., 1953, Sampling Techniques, John Wiley & Sons, New York, 330 p.
- Cofino, W.P., 1994, Quality Management of Monitoring Programmes, Proceedings Monitoring Tailor-Made, 20-23 Sept 1993. Adriaanse et al. ed., pp. 178-187.
- Gilbert, R.O. 1987, Statistical Methods for Environmental Pollution Monitoring, van Nostrand Reinhold Company, New York, 1987, 320 p.
- Hellmann, H., 1986, Zum Problem der Frachtberechnung in FließGewässern, Zeitschrift für Wasser- und Abwasser-Forschung, 19, pp. 133-139.
- Helsel, D.R. en R.M. Hirsch, 1992, Statistical Methods in Water Resources, Studies in Environmental Science 49, Elsevier, Amsterdam - London - New York -, Tokyo 1992.
- Hetling, L.J. et al., Estimation of the Optimal Sampling Interval in Assessing Water Quality of Streams, Environmental Modeling and Simulation, EPA 600/9-76-016, Environmental Protection Agency, Washington D.C.
- Hirsch, R.M. en J.R. Slack, 1984, A Nonparametric Trend Test for Seasonal Data with Serial Dependence, Water Resources Research, vol. 20, no. 6, pp. 727-732.
- Hollander, M. en D.A. Wolfe, 1973, Nonparametric Statistical Methods, Wiley, New York.
- Johnson, A.H., 1979, Estimating Solute Transport in Streams from Grab Samples, Resour. Res.15, pp. 1224-1228.

- Jousma, G., J.P.C. Gehrels, M.P. Laeven en J.G.F. van Dael, 1998, Evaluatie van Provinciale Grondwatermeetnetten - Methodiek en Voorbeelden, NITG-TNO, KIWA NV in opdracht van STOWA, rapportnr. 97-256B, 129 p. en bijlagen.
- Kaarsemaker, L. en A. van Wijngaarden, 1953, Tables for Use in Rank Correlation, Statistica Neerlandica 7, pp. 41-54.
- Klavers, H. en A. de Vries 1993, Vrachtberekenningsmethoden - Een Casestudy voor Maas en Rijn, DGW/Riza Werkdocument nr. GWWS-93.111X/RIZA-93.021X.
- Laane, R.W.P.M. et al., 1990, Monitoring the Progress of Attempts to Reduce Nutrient Load and Inputs of Certain Compounds in the North Sea by 50%, Environmental Management, 14(2), pp. 221-227.
- LaValle, I.H., An Introduction to Probability Decision and Inference, International Series in Decision Processes, Holt, Rinehart and Winston, Inc., New York, 1970, 767 p.
- Lettenmaier, D.P., 1976, Detection of Trends in Water Quality Data from Records with Dependent Observations, Water Resources Research, vol. 12 no. 5., pp. 1037-1046.
- Littlewood, I.G., 1992, Estimating Contaminant Loads in Rivers: A Review, Institute of hydrology, Oxfordshire, report no.117.
- Marsh, T.J., Towards a Nitrate Balance for England and Wales, Water Services, 84, No. 1016, pp. 601-606.
- Montgomery, D.C. en E.A. Peck, 1982, Introduction to Linear Regression Analysis, John Wiley & Sons, 504 p.
- Muskens, P.J.W.M. en W.G.J. Hensgens, 1977, Time Series Analysis on Ammonia Concentration and Load Values of the River Rhine, Water Research, Vol. 11, pp. 509-515.
- OSPARCOM (Oslo and Paris Commission), 1992, Principles of the Comprehensive Study of Riverine Inputs, Oslo and Paris Commissions, New Court, 48 Carey Street, London WC2A 2JQ.
- Phillips, R.D., 1988, WQStat II, User's Manual (Rough Draft), Colorado State University.
- Reinelt, L.E. en A. Grimvall, 1992, Estimation of Nonpoint Source Loadings with Data Obtained from Limited Sampling Programs, Environmental-Monitoring-and-Assessment, 21: 3, pp. 173-192.
- Richards, R.P., 1989, Evaluation of some Approaches to Estimating Non-Point Pollutant Loads for Unmonitored Areas, Water Resources Bulletin, vol. 25, no. 4, pp. 891-904.
- Rosner, B., 1983, Percentage Points for a Generalized ESD Many-outlier Procedure, Technometrics 25: pp. 165-172.
- Semmekrot, S. en R.A.E. Knoben, in voorber., Project Inventarisatie Meetstrategieën en -inrichting, RIZA-rapport.
- Shapiro, S.S. en M.B. Wilk, 1965, An Analysis of Variance Test for Normality (Complete Samples), Biometrika 52: pp. 591-611.
- Snedecor, G.W. en W.G. Cochran, 1967, Statistical Methods, Sixth Edition, The Iowa State University Press, Ames, Iowa, U.S.A., 593 p.
- Sokolov, S. en K.P. Black, 1996, Modelling the Time Evolution of Water Quality Parameters in a River: Yarra River, Australia, Journal of Hydrology, 178, pp. 311-335.

- Sollie, P., 1996, Meten en Balansen - Een Onderzoek naar Nauwkeurigheid van Bemonsteringen, Neerslagkwaliteit in Friesland en Balansen in Meetgebied Vierhuis, Rijkshogeschool IJsselland in samenwerking met Waterschap Friesland, 60 p. + bijlagen.
- STOWA, 1994, Handboek debietmeten in open waterlopen, rapportnr. 94-13, 157 p.
- Treunert, E. et al., 1974, Effect of Sampling Frequency on Determination of the Annual Phosphorus Load of Average Streams, Hydrochemical Hydraulic Geological Mitteilungen, vol. 1, pp. 175-198.
- UN/ECE Task Force on Monitoring & Assessment, 1994, Guidelines on Water-Quality Monitoring and Assessment of Transboundary Rivers, Working programme 1994/1995, RIZA-report nr 96.034, 1996, 50 p.
- Ward, R.C., J.C. Loftis en G.B. McBride, 1990, Design of Water Quality Monitoring Systems, Van Nostrand Reinhold, New York.
- Walling, D.E. en B.W. Webb, 1981, The Reliability of Suspended Load Data. In: Erosion and Sediment Measurement, IAHS publ. no. 133, pp. 177-194.
- Webb, B.W., J.M. Phillips, D.E. Walling, I.G. Littlewood, C.D. Watts en G.J.L.L. Leeks, 1997, Load Estimation Methodologies for British Rivers and their Relevance to the LOIS RACS(R) Programme, The Science of the Total Environment, 194/195, pp. 379-389.
- Whitfield, P.H., 1982, Selecting a Method for Estimating Substance Loadings, Water Resources Bulletin, vol.18, pp. 203-210.
- Whitfield, P.H., 1988, Goals and Data Collection Designs for Water Quality Monitoring, Water Resources Bulletin, vol. 24, no. 4, pp. 775-780.
- Yaksich, S.M. en F.H. Verhoff, 1983, Sampling Strategy for River Pollutant Transport, J. Environm. Eng. 109 (1), pp. 219-231.
- Yu, Y.S. en S.M. Zou, 1993, Relating Trends of Principal Components to Trends of Water Quality Constituents, Water Resources Bulletin, vol. 29, no. 5, pp. 797-806.

