Optimale meetnetdichtheid van routinematige fysisch-chemische waterkwaliteits-meetnetten

M.W. BLIND, LANDBOUWUNIVERSITEIT WAGENINGEN
P.J. VAN DER WIELE, INTERNATIONAL CENTRE OF WATER STUDIES BV
R.H. AALDERINK, ARCADIS DEVENTER

Door de hoge kosten van routinematige meetnetten voor de oppervlaktewaterkwaliteit en de gewijzigde informatiebehoefte van het beleid bestaat behoefte aan methoden voor de optimalisatie van de meetnetdichtheid. De uitkomst van een optimalisatie wordt bepaald door wat men onder het begrip 'optimaal' verstaat. De keuze van de techniek voor optimalisatie hangt hier sterk mee samen. In dit artikel worden voor verschillende benaderingen van het begrip 'optimaal', verschillende technieken voor optimalisatie beschreven. Elk heeft zijn eigen voor- en nadelen waardoor een combinatie van verschillende technieken bij het uiteindelijke ontwerp voor de hand ligt. Over de benaderingswijze dient overeenstemming te bestaan. Met name indien meetgebieden onderling vergeleken moeten worden is een vergelijkbare meetnetinrichting belangrijk.

Dit artikel is de laatste van een serie van drie artikelen waarin de presentaties van de workshop 'Informatie op maat' kort worden besproken. Beide andere artikelen zijn in de twee voorgaande uitgaven van H_2O gepubliceerd en behandelden respectievelijk informatiestrategieën en een stappenplan voor meetnetoptimalisatie.

Routinematige meetnetten voor de waterkwaliteit beslaan meestal een groot aantal verspreid liggende (vaste) meetpunten. Deze meetnetten zijn (schijnbaar) historisch gegroeid: op ad hoc basis zijn afhankelijk van de toen geldende belangen en interesses meetpunten gekozen. Door de grote omvang van routinematige meetnetten, de daarmee samenhangende kosten en de inmiddels gewijzigde informatiedoelen, is er vraag naar een methode voor evaluatie en optimalisatie van de meetnetdichtheid.

Literatuur over meetnetdichtheidsanalyse van oppervlaktewatermeetnetten is schaars en betreft meestal meetnetten in grote of stromende systemen waarin vaak procesmodellering of ruimtelijke statistiek toepasbaar is. Op regressieanalysegebaseerde onderzoeken zijn uitgevoerd door Klavers en de Vries (1993) en Blind en Aalderink (1995 a/b). Toepassingen van andere optimalisatiemethoden zijn niet bekend.

Voor specifieke meetdoelstellingen, zoals trenddetectie, is het mogelijk om het meetnet zo in te richten dat het tegemoet komt aan de informatiebehoefte van het beleid/beheer. Het is moeilijker om een ruimtelijk meetnet in te richten zonder concrete expliciete doelstelling. Indien bovendien data of toetsuitkomsten op gebiedsniveaus worden geaggregeerd is het van belang dat richtlijnen voor de meetnetdichtheid worden geformuleerd. Voorkomen moet worden dat door verschillen in meetnetinrichting gebieden verschillend beoordeeld worden.

Bij evaluatie en optimalisatie van meetnetten is het van belang dat een teveel of tekort aan meetpunten wordt geïdentificeerd. Hiervoor zal het begrip optimale meetnetdichtheid nader gedefinieerd moeten worden. Hieronder zal, uitgaande van verschillende benaderingen van wat onder een 'optimale meetnetdichtheid' wordt verstaan (kader 1), aangegeven worden wat voor de hand liggende technieken zijn, welke belangrijke voor- en nadelen er zijn en wat de consequenties zijn voor de uiteindelijk meetnetinrichting.

Een meetnet is optimaal indien:
- overal en altijd informatie beschikbaar is;
- alle data worden vertaald in informatie;
- alle meetpunten representatief zijn;
- alle meetpunten unieke informatie leveren;
- gebiedsdekkende (GIS) informatie beschikbaar is;
- een combinatie van bovenstaande punten.

Evaluatie en optimalisatiemethoden

Optimaal is: overal en altijd informatie (modellen)

Idealiter is de waterkwaliteit overal en altijd nauwkeurig bekend. Dit zou kunnen door de kwaliteit te modelleren, bijvoorbeeld met proces-deterministische, stochastische of gemengde modellen, maar ook met geostatistische modellen. Procesmodellering biedt handvatten voor scenariostudies en een directe koppeling met beleid, maar is door de complexiteit van watersystemen en de omvang van beheersgebieden vaak praktisch (financieel) niet toepasbaar. Stochastisch modelleren is mogelijk makkelijker toepasbaar, maar de mogelijkheden voor scenariostudies zijn beperkt.

In de geostatistiek is de afstand tussen meetpunten belangrijk. Aangezien de overeenkomsten tussen meetpunten in het algemeen afhangt van overeenkomsten in watertype en niet van de geografische afstand is een recht toe recht aan toepassing van geostatistiek vermoedelijk niet mogelijk of zinvol. Nader onderzoek naar de toepasbaarheid moet hier uitsluitsel over geven.

- Ongeacht het type model zullen meetpunten daar gesitueerd moeten zijn waar de ruimtelijke en temporele variabiliteit het hoogst is. Gebieden met een lage variabiliteit hoeven minder dicht bemonsterd te worden. Waar en hoe vaak gemeten moet worden, wordt uiteindelijk bepaald door de onzekerheden in het model.

Optimaal is: alle data worden vertaald in informatie

Het is redelijk te veronderstellen dat alle verzamelde gegevens regelmatig tot informatie worden verwerkt. Vaak is echter niet bekend wie welke meetgegevens waarvoor heeft gebruikt en of de data aan de verwachting voldeden. Middels een enquête onder de gebruikers van data kan bepaald worden met welke gegevens (meetpunten en variabelen) niets wordt gedaan, en welke mogelijkheden tot verbetering bestaan. Bij de analyse moet rekening gehouden worden met andere meetnetten (onder andere het aquatisch ecologisch meetnet) en wettelijke verplichtingen (bijvoorbeeld meetplicht voor normtoetsing). Indien mogelijk dient geanticipeerd te worden op toekomstig beleid.

De uitkomsten van de enquête moeten leiden tot een duidelijk beeld van het belang van de verschillende meetpunten en variabelen.

- Het is aannemelijk dat van een meetnet dat op basis hiervan wordt ingericht relatief veel meetpunten in 'interessante' gebieden zullen liggen.

Optimaal is: alle meetpunten zijn representatief

Een optimaal routinematig meetnet dient alleen te bestaan uit meetpunten die representatief zijn voor de waterkwaliteit in de (wijde) omgeving of voor een bepaald type water. Het is echter vaak niet bekend hoe representatief een meetpunt daadwerkelijk is! Zoals in gebieden met een groot aantal kleine, min of meer van elkaar gescheiden watergangen: vaak is de beïnvloeding gelijksoortig maar door de geringe dimensies hebben lokale processen een grote invloed op de waterkwaliteit. Bijvoorbeeld kan de invloed van de landbouw in twee belendende sloten sterk verschillen doordat drains ten gevolg van verstopping of hoogteverschillen voornamelijk naar één sloot afwateren.

Om een meetnet te optimaliseren moet middels intensieve ruimtelijk studies in verschillende seizoenen de ruimtelijke variabiliteit van de waterkwaliteit bepaald worden. Op grond daarvan kan bijvoorbeeld bepaald worden welke watergangen representatief zijn in het gebied of voor een type systeem.

- Het uiteindelijke meetnet bestaat uit meetpunten die representatief zijn voor de wijdeomgeving.

Optimaal is: gebiedsdekkend (GIS)

Bij toepassing van geografische informatiesystemen (GIS) worden in een optimaal meetnet gebieden afhankelijk van specifieke geografisch kenmerken bemonsterd. Met behulp van GIS wordt geografische informatie gecombineerd, waardoor zichtbaar wordt welke gebieden dezelfde kenmerken hebben. Welke geografische informatie gebruikt en hoe deze gecombineerd wordt hangt af van het belang van het beleidsonderwerp, zoals verzuring en vermesting en de daarmee samenhangende variabelen en beïnvloedende factoren. Gelijke basisinformatie kan tot verschillende gebiedsindelingen leiden!

Indien de waterkwaliteit van gebiedskenmerken afhangt verwacht men ook overeenkomsten in de waterkwaliteit. Aan de hand van de resultaten van een GIS studie kan beoordeeld worden in hoeverre het huidige meetnet alle gebiedstypen dekt en kan het meetnet zodanig ingericht worden dat gebiedstypen naar belang worden bemonsterd. Welke verdeelsleutel hierbij gehanteerd moet worden is punt van discussie. Behalve het belang van (de aantallen) gebieden met specifieke kenmerken is ook de hoeveelheid oppervlaktewater binnen dergelijke gebiedstypen van belang.

De toepasbaarheid van GIS hangt af van de invloed van plaatsgebonden factoren op de waterkwaliteit. Indien de waterkwaliteit door andere factoren (bijvoorbeeld bovenstroomse lozingen of aanvoer van gebiedsvreemd water) beïnvloed wordt moet hier rekening mee worden gehouden.

De toepassing van geografische informatie maakt in principe geen gebruik van meetgegevens. De feitelijke overeenkomsten tussen meetpunten wegen niet mee in de dichtheidsanalyse. Onderzoek met behulp van meetgegevens kan gebruikt worden om te onderzoeken of meetpunten in gebieden van dezelfde categorie inderdaad overeenkomsten vertonen.

- Door het grote aantal keuzemogelijkheden in (de combinatie van) geografische informatie en verdeelsleutels voor meetpunten valt a priori niet te zeggen welk type meetpunten deel uit gaan maken van het meetnet.

Optimaal is: meetpunten leveren unieke informatie

Behalve dat meetpunten representatief voor hun omgeving moeten zijn, kan optimaal ook inhouden dat alle meetpunten unieke informatie moeten opleveren. Om aan te tonen of een meetreeks uniek is kan men statistisch toetsen of de reeks overeenkomt met andere meetreeksen. Twee groepen statistische technieken methoden zijn eenvoudig toepasbaar:

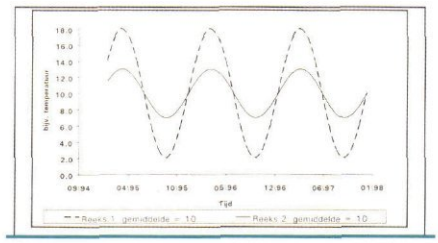
Toetsen op gelijke gemiddelden of medianen.

De eenvoudigste methode om meetpunten met elkaar te vergelijken is het gemiddelde of de mediaan per dataset te berekenen en te toetsen of deze van elkaar verschillen. Hiervoor zijn verschillende toetsen beschikbaar. Indien zo wordt geconcludeerd dat twee meetpunten gelijk zouden zijn, betekent dit nog niet dat de meetpunten daadwerkelijk veel overeenkomsten vertonen: afbeeldingen 1 en 2 illustreren hoe ondanks verschillen in trend en seizoensamplitude toch geen verschil in gemiddelden ontstaat! Deze verschillen kunnen wel degelijk belangrijke beleidsinformatie zijn (normtoetsing, onderkenning van lange termijn ontwikkeling). Op grond van een toets op gelijke gemiddelden alleen zou een meetpunt niet verwijderd moeten worden. Aanvullende data-analyse onderzoek is zeker noodzakelijk; verschillende technieken zijn hiervoor beschikbaar.

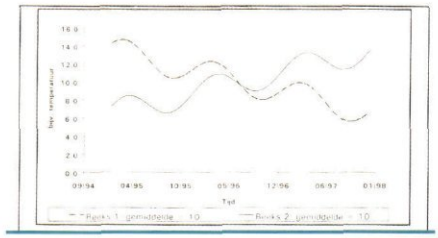
- A priori geldt dat een via toetsen op gelijke gemiddelden (medianen) geoptimaliseerd meetnet meetpunten met extreem hoge en lage gemiddelden domineren. Meetpunten met een hoge variabiliteit zullen vervallen doordat zij zich in hun gemiddelde niet van andere meetpunten onderscheiden.

Toetsen op voorspelbaarheid van meetreeksen (regressieanalyse).

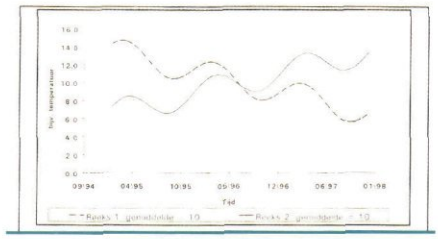
Met behulp van regressieanalyse kan het concentratieverloop op een bepaald meetpunt worden voorspeld aan de hand van een of meerdere andere meetreeksen. Een maat voor de kwaliteit van de voorspelling is de verklaarde variantie (R_2), die bij een perfecte voorspelling 1.0 is.



Afb 1 *Ondanks een verschil in seizoensinvloed verschillen de gemiddelden van de meetpunten niet!*

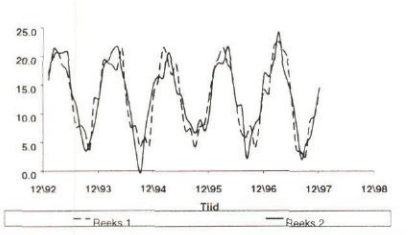


Afb 2 *Ondanks een verschil in trend verschillen de gemiddelden niet!*

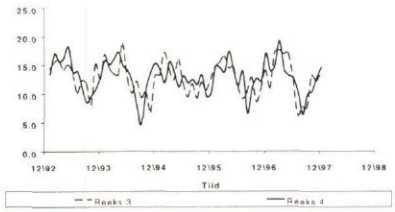


Afb 3: *Verschillen in gemiddelde en seizoensamplitude en toch volledige voorspelbaarheid!*

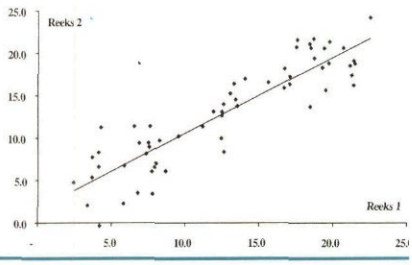
Voor regressieanalyse moeten de metingen op de verschillende meetpunten op om en nabij hetzelfde tijdstip zijn uitgevoerd. Hiermee dient rekening gehouden te worden bij de inrichting van de meetroute. Aan (multiple) lineaire regressie liggen verschillende statistische aannames ten grondslag die de toepasbaarheid beperken. Evenals een gelijk gemiddelde nog niet inhoudt dat twee meetreeksen gelijk zijn houdt een hoge verklaarde variantie en een significant lineair verband nog niet in dat meetreeksen nauw met elkaar overeenkomen (afbeelding 3). Bij de toepassing van lineaire regressie moet men altijd bedenken dat naarmate meer variatie verklaard wordt door seizoensinvloed, trends en overige 'bekende' invloeden de verklaarde variantie hoger zal zijn naarmate deze processen op de meetpunten meer van belang zijn. In de afbeeldingen 4 en 5 zijn bijvoorbeeld steeds twee meetreeksen met een zeer sterke, respectievelijk zwakkere seizoensinvloed weergegeven. De uitkomsten van de regressieanalyse zijn weergegeven in de afbeeldingen 6 en 7. Op



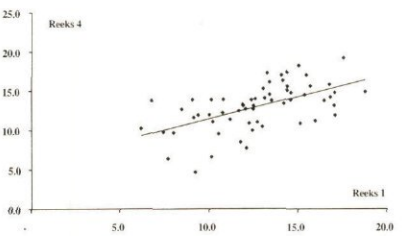
Afb 4 Meetreeksen met sterke seizoensinvloed.



Afb 5 Meetreeksen met geringe seizoensinvloed.



Afb 6 Resultaten regressieanalyse reeks 1 en 2. ($y = 0.897x + 1.5849$; $R2 = 0.8086$).



Afb 7 Resultaten regressieanalyse reeks 3 en 4. ($y = 0.5654x + 5.7897$; $R2 = 0.3191$)

grond van deze resultaten kan men concluderen dat de meetpunten 1 en 2 sterk op elkaar lijken maar 3 en 4 niet. Als uit de reeksen 1 en 2 de seizoensinvloed wordt verwijderd, ontstaan precies de reeksen 3 en 4 respectievelijk. De seizoensinvloed is dus de oorzaak van de hoge verklaarde variantie.

- A priori geldt dat in een via regressieanalyse geoptimaliseerd meetnet punten met een hoge, maar niet seizoensgebonden variabiliteit zullen overheersen.

Combinatie van methoden.

In de praktijk zal een combinatie van verschillende analysetechnieken het beste resultaat opleveren. Bijvoorbeeld:

- Stap 1: Analyse van meetpunten waarvan twijfel over de representativiteit voor de omgeving bestaat (paragraaf 2.3), eventueel aangevulde met veldonderzoek.
- Stap 2: Inventarisatie van de meetpunten waarvan de data daadwerkelijk worden vertaald in informatie (paragraaf 2.2). Deze meetpunten moeten hoe dan ook behouden blijven.
- Stap 3: Inventarisatie van gebiedstypen waarin geen meetpunten liggen (paragraaf 2.4) en indien gewenst nieuwe meetpunten installeren.
- Stap 4: Inventarisatie van gebiedstypen waarin relatief veel meetpunten liggen (paragraaf 2.4). Toepassing van statistische technieken (paragraaf 2.5) om te bezien welke meetpunten in deze gebiedstypen op elkaar lijken, respectievelijk overbodig zijn.

Conclusies en discussie

Het voorgaande toont dat voor het uitvoeren van een meetnetdichtheidsanalyse consensus moet bestaan over wat verstaan wordt onder een optimale meetnetdichtheid. Uitgangspunt bij de ruimtelijk inrichting is dat de meetinspanning informatie moet opleveren. Aan het begrip 'optimale ruimtelijke dichtheid' is echter nog geen expliciete eenduidige informatiedoelstelling gekoppeld.

Verschillende definities van 'optimale dichtheid' en daaraan gekoppelde analysemethoden zijn gepresenteerd, iedere methode kent zijn eigen voor en nadelen. De keuze van de techniek is belangrijk omdat verschillende technieken tot verschillende meetnetten leiden. Zeker indien op enig niveau, regionaal of landelijk, gebieden met elkaar vergeleken moeten worden moet een evenwichtige selectie van meetpunten gewaarborgd zijn. Zolang hiervan geen sprake is, is het moeilijk een vergelijking van gebieden met betrekking tot waterkwaliteit en kosten voor monitoring te maken.

Meetpunten in een beheersgebied kunnen uiteenlopende doelen dienen. Bij de meetnetdichtheidsanalyse moeten daarom altijd ook andere doelstellingen, bijvoorbeeld trenddetectie betrokken worden. De meetnetdichtheidsanalyse is daarom niet een eerste stap in een meetnetoptimalisatie, maar vormt een integraal onderdeel van een totaal optimalisatieproject. ¶

LITERATUUR

Klavers, H.C., 1992, Optimalisatie Routinematig Onderzoek Kwaliteit Rijksbinnenwateren: Deel 3: Statistisch Onderzoek, Ministerie van Verkeer en Waterstaat: Rijksinstituut voor Integraal Zoetwaterbeheer en Afvalwaterbehandeling (RIZA) notanr. 93.053

Blind, M.W. & R.H. Aalderink, 1995a, Analyse en optimalisatie van het routinematig meetnet van Waterschap Friesland, Stichting Onderzoek Waterkwaliteitsbeheer / Landbouwuniversiteit Wageningen.

Blind, M.W., & R.H. Aalderink, 1995b, Zuiveringsschap Rivierenland: Analyse en optimalisatie van het routinematig meetnet - ontwikkelingen waterkwaliteit 1985 T/M 1994, Stichting Onderzoek waterkwaliteitsbeheer / Landbouwuniversiteit Wageningen.