

KWALITEITSZORG VAN GEAUTOMATISEERDE MEETSTATIONS VOOR 'ON-LINE' KWALITEITS-MONITORING VAN OPPERVLAKTEWATER

P.L.M. GOETHALS, U. WIEME, J. BOLS, D. ROUSSEAU en N. DE PAUW
Vakgroep Toegepaste Ecologie en Milieubiologie, Universiteit Gent

J. MEIRLAEN, L. VAN VOOREN en P.A. VANROLLEGHEM
Vakgroep BIOMATH, Universiteit Gent

V. VANDENBERGHE, A. VAN GRIENSVEN en W. BAUWENS
Vakgroep Hydrologie en Waterbouwkunde, Vrije Universiteit Brussel

AUTOMATED MEASUREMENT STATIONS FOR ON-LINE MONITORING OF SURFACE WATER QUALITY

Recent technological developments in the field of sampling, analysis and communication systems, as well as the need for high resolution datasets for integrated water quality modelling have led to the increased application of automated measurement stations (AMS) in river water quality monitoring projects. However, the investment and maintenance costs of AMS are high and therefore considerable prior research is essential before defining, ordering, buying, setting up and running AMS. Moreover, still a lot of operational problems are inherent to these systems, often leading to inaccurate and unreliable measurements. To optimize the

application of AMS an in-depth integrated quality control study is essential. Most of the problems find their origin at the sensor level, but also other parts within the measurement process (data collection, transmission, ...) may be affected by technical problems so that every aspect of the measurement process must be monitored. In this paper, an economically acceptable quality control system to improve the reliability of on-line measurements will be presented. In addition, the advantages, as well as the limitations of AMS in water quality monitoring will be assessed.

SAMENVATTING

De recente technologische ontwikkelingen bij monsterneming-, analyse- en communicatiesystemen, evenals de groeiende behoefte aan meetreeksen met een hoge resolutie voor geïntegreerde waterkwaliteitsmodellering hebben aanleiding gegeven tot de toegenomen inzet van geautomatiseerde meetstations (GMS) in projecten met betrekking tot kwaliteitsbewaking van rivieren.

Zowel de investerings- als onderhoudskosten van een GMS zijn evenwel hoog, vandaar dat het nuttig is zeer goed de doelstellingen te bepalen alvorens een GMS aan te kopen en in gebruik te nemen. Bovendien zijn er vaak nog tal van operationele problemen gekoppeld aan deze systemen, die aanleiding geven tot onbetrouwbare metingen. Grondige kwaliteitszorg is daarom wenselijk om de vereiste betrouwbaarheid van de metingen te garanderen. In heel wat gevallen berusten de problemen op technische storingen aan de meetsensoren zelf, maar ook verderop in het meetproces (opslaan van de meetgegevens, doorsturen van de gegevens, verwerken van de gegevens, ...) kunnen fouten gegenereerd worden. Het is bijgevolg aangewezen om een geïntegreerd kwaliteitszorgsysteem op te zetten, alvorens de metingen te gebruiken.

In dit artikel wordt een geïntegreerd kwaliteitszorgsysteem voorgesteld voor on-line metingen met een GMS. Tevens worden zowel de voordelen als de beperkingen van GMS besproken.

INLEIDING

Watersysteemmodellen kunnen interessant zijn om verschillende beleidsscenario's uit te testen en met elkaar te vergelijken. Modellen en simulaties kunnen op die manier een ondersteuning vormen bij het uitwerken en bijsturen van beleidsmaatregelen. Bovendien kunnen modellen het inzicht in watersystemen vergroten en ook het plannen van monitoringcampagnes ter controle en bewaking van de waterkwaliteit verbeteren (De Pauw et al., 1996; Vanrolleghem et al., 1999).

Om modellen en simulaties te gebruiken als beleidsondersteunend instrument is het noodzakelijk de modellen aan te passen aan het betreffende watersysteem. Hierbij is het nodig om de verschillende modelcomponenten vast te leggen en deze te kalibreren zodanig dat ze zo nauwkeurig mogelijk het gedrag beschrijven van het betreffende systeem. Nadien is een geregelde validering aangewezen om na te gaan of het model

wel degelijk in overeenstemming is (en blijft) met de realiteit.

Afhankelijk van de karakteristieken van het probleem en de doelstellingen moet uiteindelijk een keuze gemaakt worden inzake de gehanteerde monitoringstechnieken en meetsystemen. Geautomatiseerde meetsystemen blijken voornamelijk interessant, wanneer hoogfrequente en/of kortstondige processen moeten opgevolgd worden op verschillende plaatsen tegelijk en gedurende langere perioden (Vanrolleghem et al., 1999). Geautomatiseerde meetsystemen kunnen daardoor gebruikt worden voor de opsporing van accidentele lozingen, voor een betere inschatting van vuilvrachten en de effecten ervan, maar ook voor het meten van plotse gebeurtenissen zoals riooloverstorten. Ook het opvolgen van diurnale processen van algen te wijten aan eutrofiëring is hiermee mogelijk. Daarnaast kan de verhoogde kennis die bekomen wordt met dergelijke systemen, eveneens bijdragen tot het beter plannen van discrete metingen in het laboratorium.

Aangezien de dynamica van heel wat processen beïnvloed wordt door een waaier van variabelen, worden gecombineerde metingen steeds belangrijker. Om te vermijden dat voor elk type van meting een aparte verster-

ker en datalogger moet voorzien worden, komen de laatste jaren meer en meer modulaire systemen op de markt, die met meerdere sensoren kunnen uitgerust worden en waarvan de set van gebruikte sensoren vrij eenvoudig aan te passen is aan de noden van de gebruiker.

Dezelfde tendens heeft ook aanleiding gegeven tot het gebruiken van meetcabines of meetstations, waarin alle sensoren geplaatst worden en die metingen uitvoeren op water dat via een pomp wordt binnengevoerd. Deze types van geautomatiseerde meetssystemen bestaan veelal uit drie delen: een monsternemingsysteem, een analysesysteem en een systeem voor gegevensoutput. Er bestaan evenwel zeer veel varianten, met verschillende graden van automatisering (reiniging, kalibrering, alarmgeneratie bij slechte metingen, foutdetectie en -diagnose). Een mobiele cabine biedt daarenboven heel wat voordelen naar preventie tegen fysieke beschadiging, vandalisme en diefstal, maar daarnaast is ook het transport, de installatie en het onderhoud heel wat gemakkelijker (Goethals, 1999).

Binnen het kader van een FWO-project werden door de Vakgroep voor Hydrologie en Waterbouwkunde van de Vrije Universiteit Brussel, de Vakgroep BIOMATH van de Universiteit Gent (RUG) en de Vakgroep Toegepaste Ecologie en Milieubiologie (RUG) drie geautomatiseerde meetstations (GMS) aangekocht in 1998. De GMS staan in voor de verzameling van zowel meetgegevens over waterkwaliteit en waterkwantiteit, als klimatologische gegevens zoals zonlicht en neerslag.

Het FWO-project waarbinnen de drie laboratoria samenwerken heeft de volgende doelstellingen:

- ontwikkeling van modellen voor geïntegreerd stedelijk afvalwaterbeheer: koppeling van modellen voor rioleringsstelsels, waterzuiveringsystemen en rivieren (voor zowel waterkwantiteit als -kwaliteit);
- kalibratie en validering van geïntegreerde watersysteemmodellen op enkele sites (o.a. de Dender);
- ontwikkeling en gebruik van geautomatiseerde meetstations (GMS) voor de monitoring van oppervlaktewater, die kunnen gebruikt worden voor de kalibratie en validering van watersysteemmodellen;
- kwalificeren en kwantificeren van de impact van diverse pollutiebronnen op rivierwaterkwaliteit (bijvoorbeeld riooloverstorten van gecombineerde rioleringsstelsels, effluënten van waterzuiveringsinstallaties, ...);
- modellering van biologische omzettingprocessen in rivieren en van ecosystemen (vispopulaties, algenbloei, voedselnetwerken, ...).

Nadat de drie GMS uitgetest en geoptimaliseerd werden op de Zwalmbeek (Bols et al., 1999), werden deze vanaf juli 1999 overgeplaatst naar de Dender voor het uitvoeren van diverse meetcampagnes (Vandenberghe et al., 2000).

TECHNISCHE BESCHRIJVING VAN DE GEAUTOMATISEERDE MEETSTATIONS

De geautomatiseerde meetstations (GMS) bestaan uit cabines die gebouwd zijn op een aanhangwagen (Figuur 1 en Figuur 2). Naast een peilmeter die in de rivier gehangen wordt voor het bepalen van het debiet (op basis van een debiet-waterhoogtecurve), zijn er ook twee klimatologische sensoren aanwezig, nl. een lichtmeter en een neerslagmeter.

Voor de waterkwaliteitsmetingen wordt het water via een dompelpomp binnengevoerd in een fast loop. Via een cross-flow filter met poriën van 100 µm wordt een deel van het aangevoerde water over acht sensoren geleid, terwijl het grootste gedeelte van het binnengepompte water onmiddellijk teruggevoerd wordt naar de rivier. De sensoren meten volgende variabelen: temperatuur, turbiditeit, conductiviteit, pH, redox-potentiaal (ORP), opgeloste zuurstof (OZ), nitraat en ammonium. Bovendien is er een programmeerbaar gekoeld bemonsteringsapparaat aanwezig voor het nemen van aanvullende (ongefilterde) monsters. De sturing van de kleppen en het spoelsysteem met lucht onder hoge druk gebeurt via een PLC (Programmable Logic Controller).

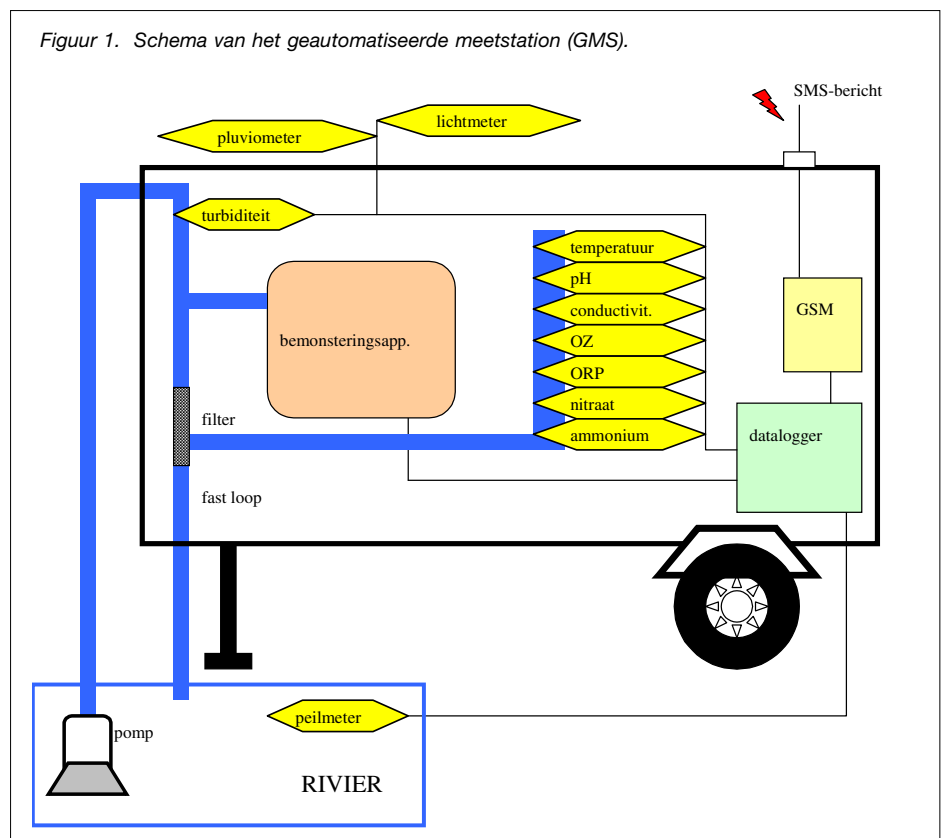
De sensoren van de waterkwaliteitsmetingen sturen een elektrisch signaal naar een versterker, waar dit signaal gecompenseerd wordt voor temperatuursinvloeden.

Tevens wordt het signaal hier versterkt tot een gestandaardiseerde output (4-20 mA). Dit signaal wordt dan voor opslag naar de datalogger gestuurd, waar eventueel nog een bijkomende signaalaanpassing kan gebeuren. De signaaloverdrachten van de lichtmeter en de peilmeter verlopen analogoog. Bij de pluviometer wordt enkel het aantal elektrische pulsen (overeenkomend met een bepaalde neerslaghoeveelheid) geteld en geïntegreerd over de ingestelde meetperiode.

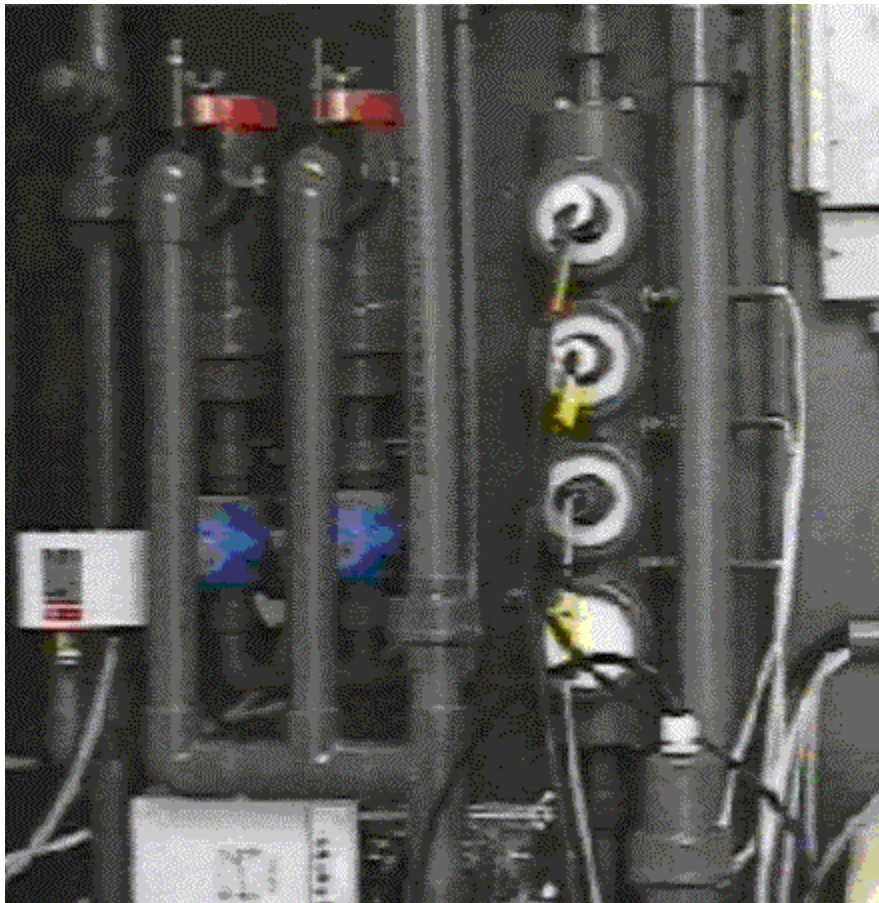
De opslagcapaciteit van de datalogger bedraagt 1440 meetsets, wat overeenkomt met een dag meten aan een frequentie van één keer per minuut. Meestal wordt geopteerd voor een meetfrequentie van één keer per 10 minuten, wat overeenkomt met een lokale opslagautonomie van 10 dagen. De metingen kunnen evenwel ook rechtstreeks naar een vaste computer op het Laboratorium voor Hydrologie (VUB) gestuurd worden via een ingebouwde GSM (Emlag) door middel van een SMS-bericht (Short Message Service). Dergelijk SMS-bericht heeft in dit specifiek geval een capaciteit om de gegevens van twee meetsets te bevatten. Bijgevolg wordt er om de twintig minuten een bericht met twee meetsets naar de centrale computer op het Laboratorium voor Hydrologie (VUB) doorgestuurd.

Naast de metingen van de verschillende sensoren worden ook zeven alarmsignalen van de procescontrole opgeslagen en doorgevoerd. Er zijn vier alarmen die betrekking hebben op 8 sensoren. Dit zijn alarmen voor de temperatuur-, conductiviteits-, turbiditeits-, pH-, OZ-, ORP-, nitraat- en ammo-

Figuur 1. Schema van het geautomatiseerde meetstation (GMS).



Figuur 2. Opstelling van de meetcircuits in het GMS.



niumsensor. De alarmsignalen worden aanzet wanneer een waarde gemeten wordt buiten het ingestelde bereik. Verder wordt ook een alarmsignaal gegenereerd wanneer de druk in de fast loop wegvalt (bijvoorbeeld bij het verstopen van de pomp). Daarnaast is er ook alarmgeneratie wanneer het debiet in de debietsmeter van de analysesectie te laag is (door bijvoorbeeld aanlading van kleppen of leidingen). Tenslotte wordt een alarm gegeven wanneer de temperatuur in het station onder een ingestelde temperatuur zakt. Deze minimumtemperatuur wordt normaal ingesteld op 5°C. Deze alarmsignalen worden opgenomen bij de geautomatiseerde opslag en verwerking van de gegevens. Dit laat eveneens toe om de toestand van de GMS rechtstreeks op te volgen vanuit de Vrije Universiteit van Brussel.

KWALITEITZORG BIJ ON-LINE METINGEN

Doelstellingen

De hoofddoelstellingen van het kwaliteitsmanagement zijn het beperken van het aantal onbetrouwbare metingen en het verhinderen van vroegtijdige technische defecten bij het materiaal. Daarnaast is het de bedoeling om te achterhalen hoe frequent het onderhoud moet gebeuren om een bepaalde vooropgestelde betrouwbaarheid

van de data na te streven. Tevens wenst men te onderzoeken waar de zwakke schakels binnen het meetproces zitten en hoe deze eventueel kunnen opgevangen worden.

Het geïntegreerde kwaliteitsmanagement is gebaseerd op:

- de standaardisatie van het onderhoud via handleidingen en controlefiches;
- het doorgronden van het volledige meetproces (integrale meetkringanalyse), gekoppeld aan het zoeken naar alternatieven voor bepaalde metingen (andere sensoren, verkorten van de meetkring, ...);
- het nagaan van de betrouwbaarheid van de metingen via SPC (Statistical Process Control);
- het gebruiken van ijkingskarakteristieken als indicatoren voor de betrouwbaarheid van de metingen en de toestand van de elektroden;
- het achterhalen van de betrouwbaarheid van de metingen via valideringen met bemonsteringsapparaten en labo-analyses. In het bijzonder wordt hierbij aandacht geschonken aan gradiënten en dode zones in de waterloop, evenals veranderingsprocessen in de leidingen te wijten aan een te hoge verblijftijd van het water. Deze testen worden uitgevoerd om zeker te zijn dat de metingen representatief zijn voor het te bestuderen deel van de waterloop.

Standaardisatie van het onderhoud via handleidingen en controlefiches

Om reden van de complexiteit van de systemen en de talrijke medewerkers die instonden voor het onderhoud van de GMS, was het vanaf het begin noodzakelijk om duidelijke onderhoudsprocedures uit te werken. Door het gebruik van controlefiches, logboeken en controlekaarten kon het onderhoud gestandaardiseerd worden en werd de betrouwbaarheid van de metingen gegarandeerd. Tevens kon de informatie uit de logboeken en controlekaarten nadien ook nuttig gebruikt worden om het onderhoud verder te verbeteren en de problemdiagnose te vergemakkelijken.

Integrale meetkringanalyse

De meting van de waterkwaliteit d.m.v. de GMS is het resultaat van verschillende processen, die zich overwegend in serie afspelen. Dit wordt geïllustreerd in Figuur 3 (Goethals, 1999).

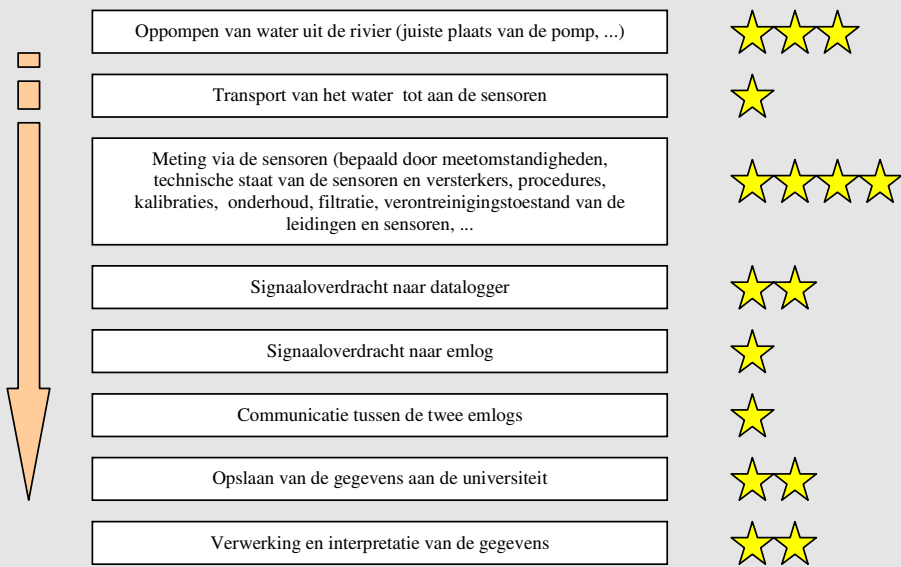
Hierbij wordt een fout in één van de processen gepropageerd naar het volgende proces zodat ook het eindresultaat beïnvloed wordt. Enkel wanneer de validering van de totale keten leidt tot bevredigende resultaten kan ervan uitgegaan worden dat goede metingen worden bekomen (Goethals et al., 1999).

In plaats van de totale keten van het meetproces te analyseren, werden de metingen eerst gevalideerd tot aan de weergave van de te meten variabelen op het beeldscherm van de versterker van elke sensor. Deze werkwijze werd gekozen omdat de meting tot dit punt het meest kritisch bleek te zijn, zodat de prioritaire problemen zich situeerden in de eerste drie subprocessen weergegeven in Figuur 3. Daarnaast was het aangewezen dat geregeld valideringen gebeurden met betrekking tot de laatste vijf subprocessen uit Figuur 3. Het belang van de gegevensverwerking wordt geïllustreerd met metingen van de zuurstofconcentratie (Figuur 4) en een stralingsmeting met de pyranometer (Figuur 5 en Figuur 6).

Bij de zuurstofmeting werden geregeld controlemetingen en indien nodig herkalibraties uitgevoerd (verklaring in volgende paragraaf). De pieken die op die manier gegenereerd werden, moesten achteraf uit de meetsets geëlimineerd worden gezien het geen metingen van de processen in de rivier betrof. In de getoonde meetreeks bleek de OZ-sensor bij de eerste controle niet betrouwbaar te werken, zodanig dat de metingen bekomen voor de herkalibratie niet bruikbaar waren en moesten worden verwijderd uit de meetreeks.

Bij de lichtmetingen (Figuur 5) traden geregeld storingen op, die gekenmerkt waren door extreem hoge (> 2000 W/m²) of niet realistisch lage waarden (< 0 W/m²) (Wieme, 2000). Door het verwijderen van deze sto-

Figuur 3. *Verskillende seriële processen om tot een meetresultaat te komen. Het aantal sterren is evenredig met de kans op problemen: de processen met twee of meer sterretjes vormen de kritische controlepunten (Goethals, 1999).*

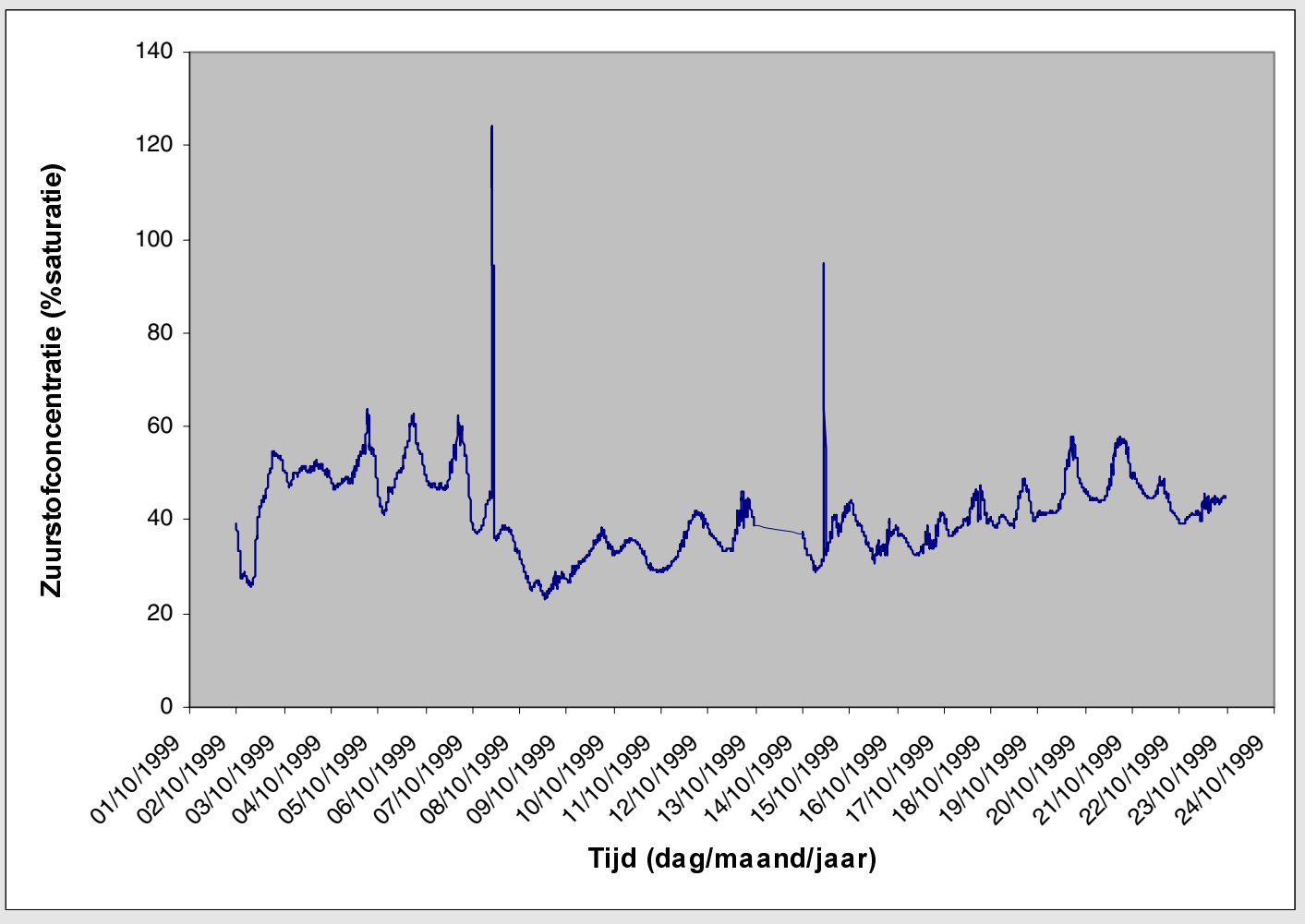


ringen werden bruikbare metingen bekomen (Figuur 6).

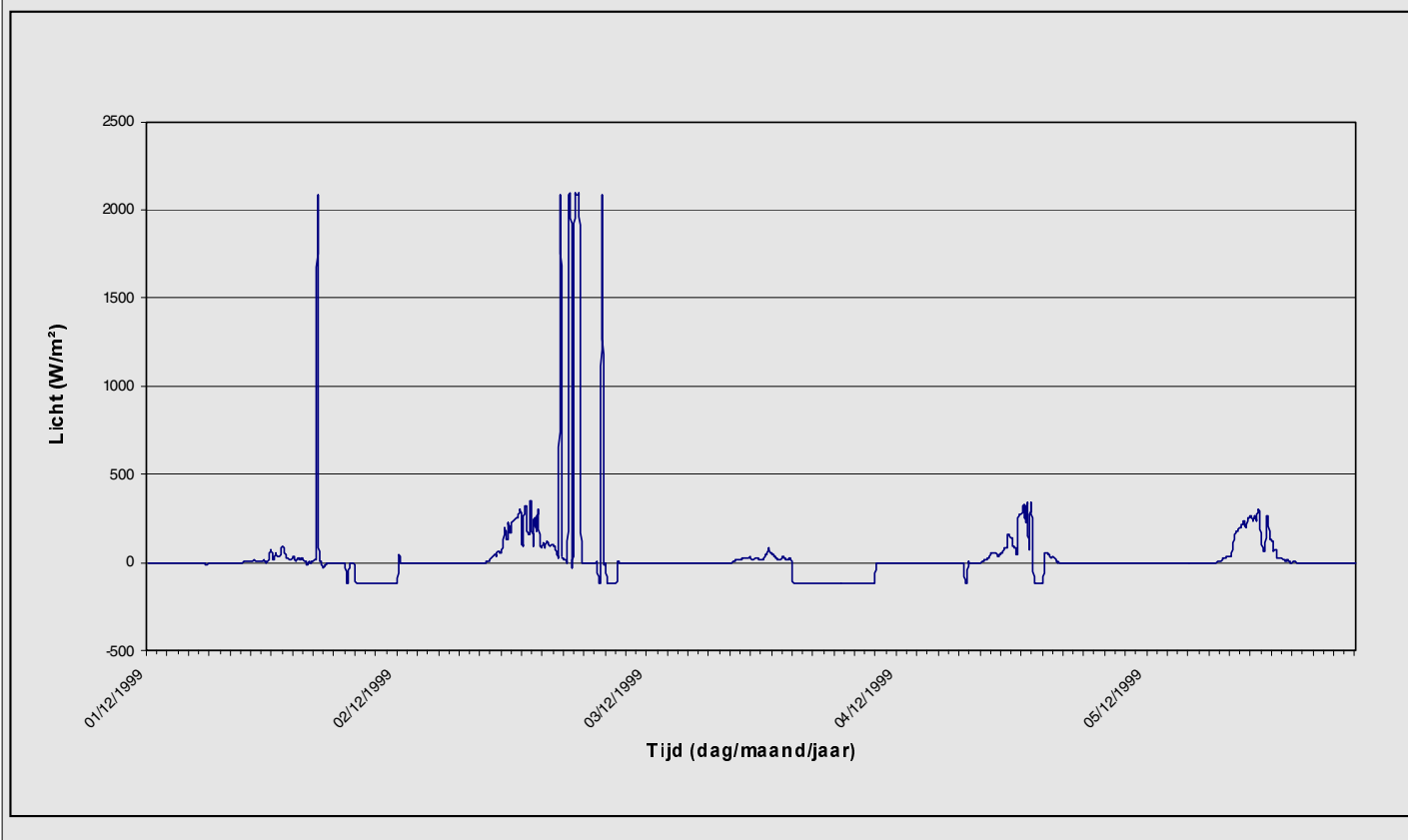
Tevens werd een visgraatdiagram gemaakt, waarin de voornaamste factoren die het integrale meetproces konden beïnvloeden, op een gestructureerde wijze naast elkaar werden gezet (Figuur 7). Op die manier werd beter inzicht in het meetproces verkregen en kon gemakkelijker worden bijgestuurd (Wieme, 2000).

Om een goed overzicht te houden op de oorzaken die aan de basis liggen van slechte metingen, werden Pareto-diagrammen opgesteld. Volgens de Pareto-theorie is 80% van de problemen bij de meeste processen te wijten aan 20% van het aantal oorzaken (Evans & Lindsay, 1993). Door het toewijzen van de problemen aan specifieke oorzaken kon beoordeeld worden welke factoren cruciaal waren bij het gebruik van de GMS en welke maatregelen het meest aangewezen waren om de betrouwbaarheid van de metingen te verbeteren. In Figuren 8 en 9 zijn de Pareto-diagrammen weergegeven

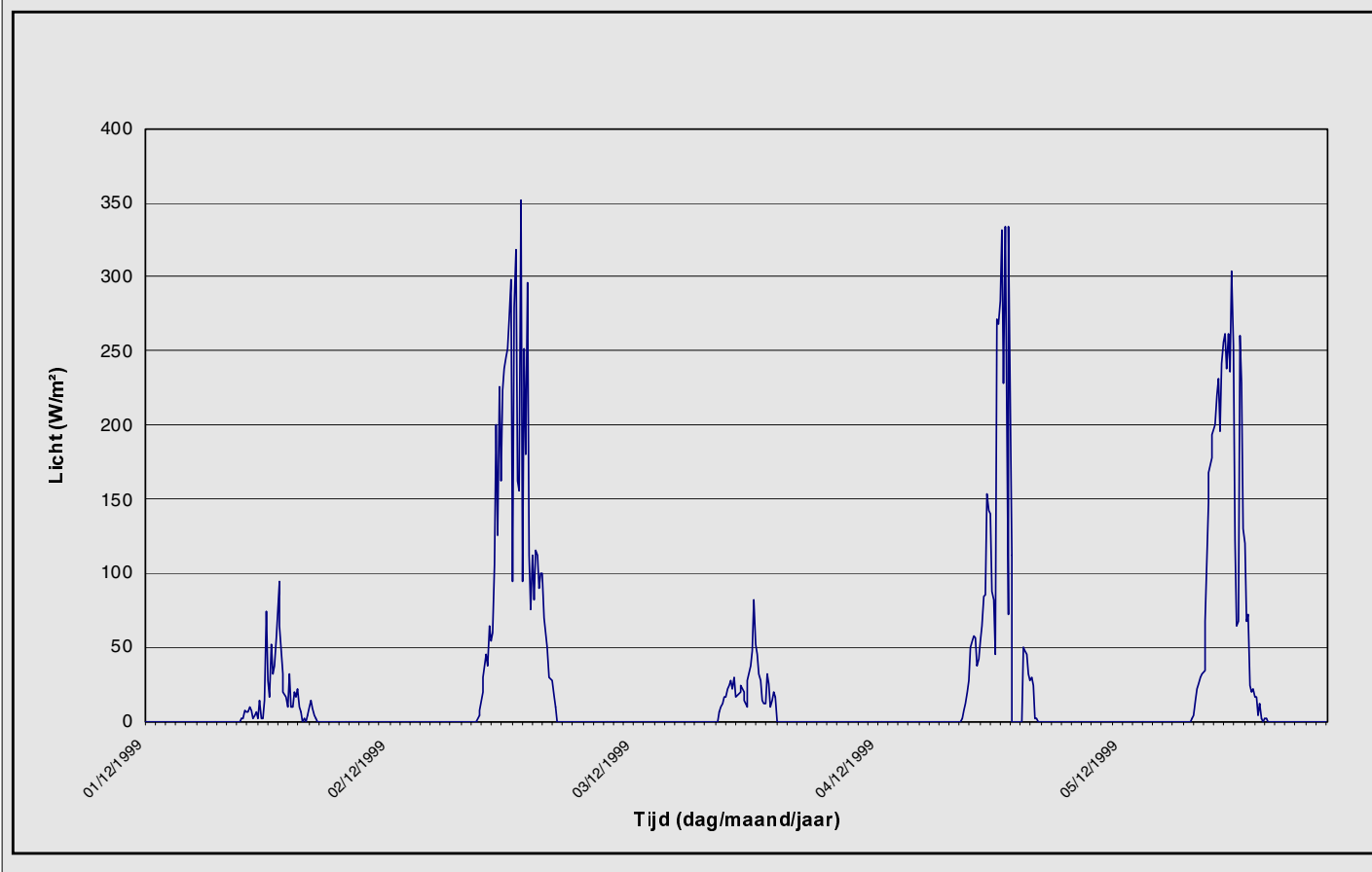
Figuur 4. *Meetreeks van opgeloste zuurstof in de Dender. De twee pieken zijn te wijten aan controlemetingen (bij 100 % zuurstofsaturatie). De sterke afwijking van 100 % bij de eerste piek (124%) noopte tot een herkalibratie van de sensor, wat de lagere meetwaarden na deze piek kan verklaren. De meetwaarden voor deze piek zijn met andere woorden onbetrouwbaar. Bij de tweede controle bleek de sensor nog voldoende betrouwbaar en was geen herkalibratie vereist. Op 13/10/1999 was er een probleem bij de gegevensopslag.*



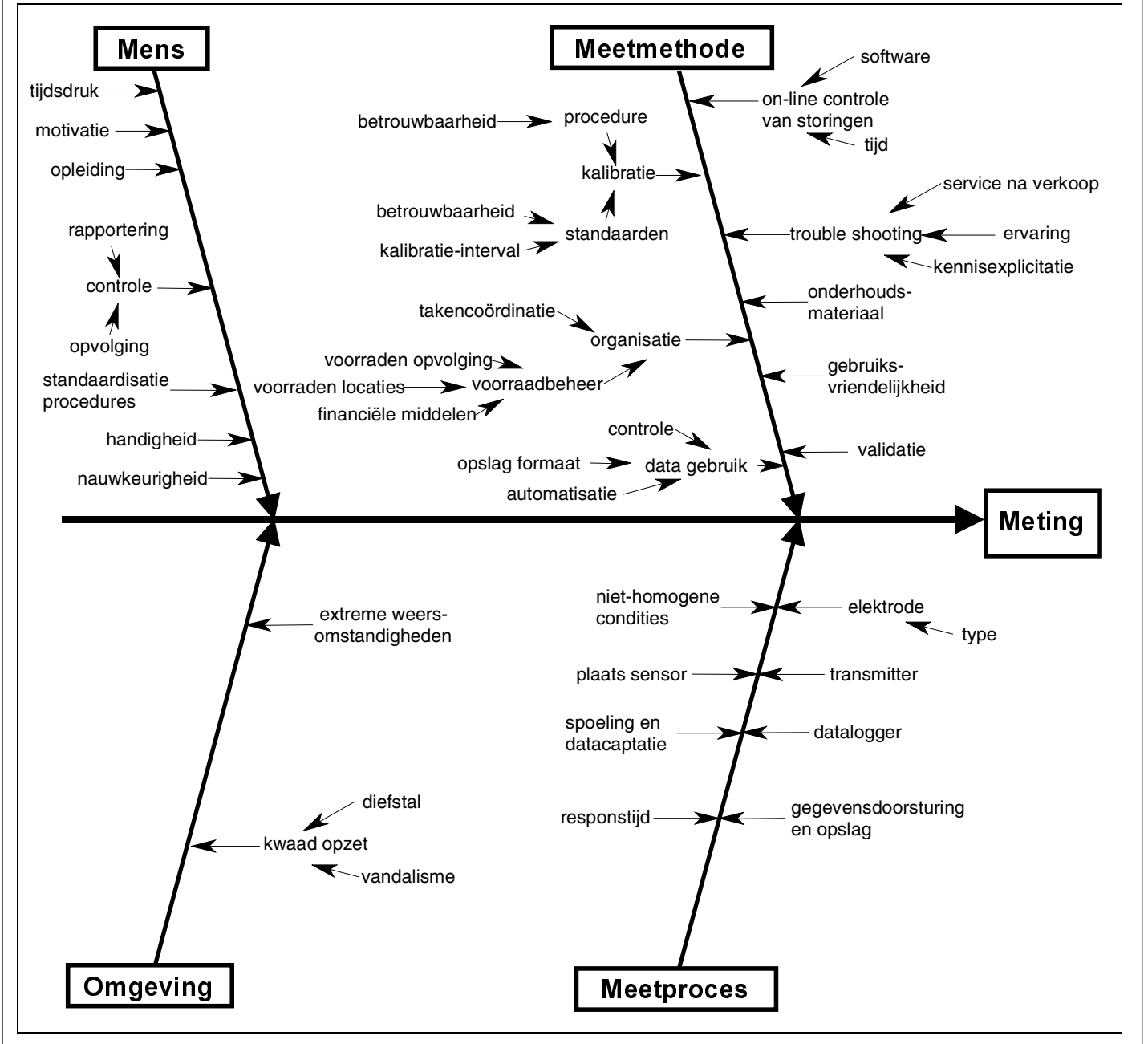
Figuur 5. Meetreeks van licht te Geraardsbergen. Op geregelde tijdstippen traden storingen op, die gekenmerkt waren door extreem hoge ($> 2000 \text{ W/m}^2$) of niet-realistische lage waarden ($< 0 \text{ W/m}^2$) (Wieme, 2000).



Figuur 6. Meetreeks van licht te Geraardsbergen, na verwijdering van de storingen (Wieme, 2000).



Figuur 7. Visgraatdiagram met de voornaamste factoren, die een rol spelen in de kwaliteit van de meetprocessen in de GMS (Wieme, 2000).



voor beide meetstations respectievelijk voor de perioden september-december 1999 en maart-april 2000. Door het bijsturen van het onderhoud, grondige studie van de storingen, verbetering van de software en de kalibratieprocedures na de meetperiode september-december 1999 werd het aandeel foute metingen teruggeschroefd van 59% naar 17% in de daaropvolgende meetperiode. Onderhoudsproblemen bleven evenwel de belangrijkste factor bij het genereren van meetfouten (Wieme, 2000).

Controlekaarten en SPC (Statistical Process Control)

Controlekaarten, ook Shewhart-kaarten genoemd, zijn kaarten die toelaten om op een grafische, eenvoudige en snelle manier na te gaan of een bepaalde meting nog be-

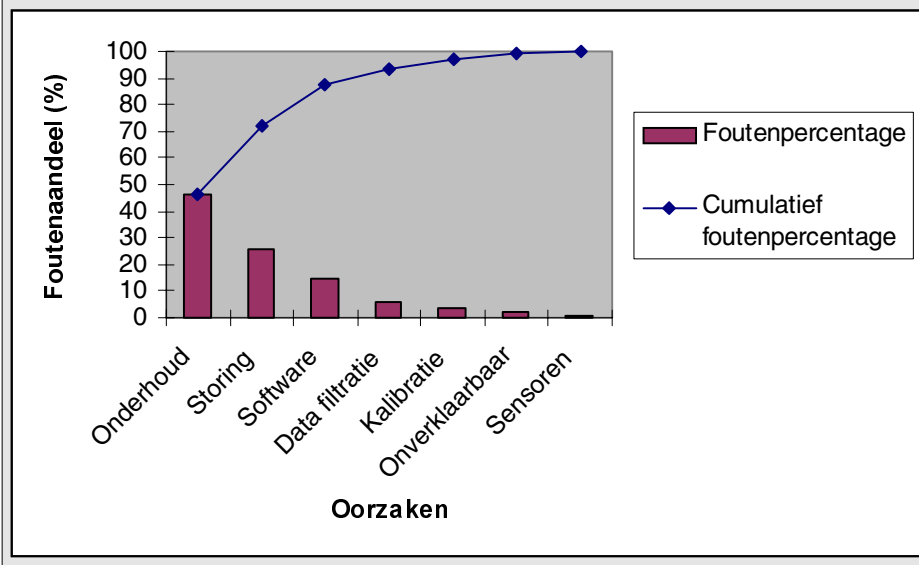
trouwbaar is of niet. Bovendien tonen zij of er sprake is van een drift op de meting nog voordat slechte metingen voorkomen (De Spiegeleire & De Maerteleire, 1998). Controlekaarten werden in de jaren twintig ontwikkeld door Dr. Walter A. Shewhart en waren oorspronkelijk bedoeld om het kwaliteitsniveau van productieprocessen te bewaken. Ze kunnen echter ook gebruikt worden om metingen te controleren in laboratoria of van on-line meetsystemen.

Bij controlekaarten is het de bedoeling om het optreden van systematische fouten op te sporen door statistisch een onderscheid te maken tussen de systematische en de toevallige fouten (Bothe, 1997). Wanneer enkel toevallige fouten op een meting inwerken, zal de verdeling normaal zijn rond het gemiddelde van de gemeten waarde. In

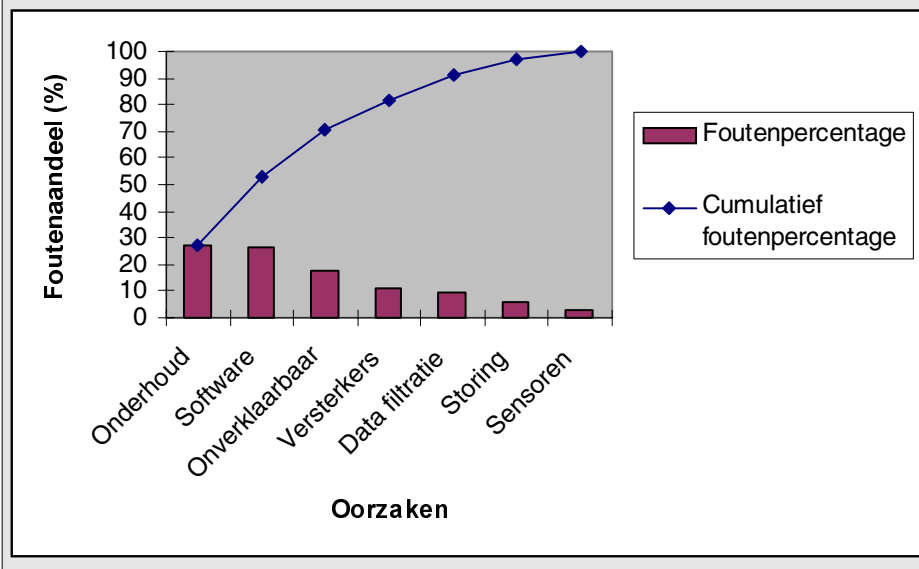
dit geval wordt gezegd dat de meting onder statistische controle staat. De normale verdeling kan dus gebruikt worden om de probabiliteit te testen dat de fout op een meting afkomstig is van toevallige fouten (Bauer, 1971).

Hiervoor wordt in een beginfase het gemiddelde (= μ) en de standaardafwijking (= σ) van de verdeling ten gevolge van toevallige fouten geschat als respectievelijk M en s. Dit gebeurt door voldoende metingen te verzamelen van een referentie- of standaardoplossing met een gekende waarde. Er wordt dan aangenomen dat geen systematische fouten optreden bij deze metingen. Om metingen onder invloed van systematische fouten te weren, worden de resultaten vergeleken met vooraf opgestelde juistheidscriteria (De Spiegeleire & De

Figuur 8. Pareto-diagram van de meetstations in Geraardsbergen en Denderleeuw gedurende de periode september-december 1999.



Figuur 9. Pareto-diagram van de meetstations in Geraardsbergen en Denderleeuw gedurende de periode maart-april 2000.



Maerteleire, 1998). Een veel gebruikt criterium is bijvoorbeeld dat de meting niet meer dan 5 % mag afwijken van de echte waarde. Van de metingen die niet aan deze criteria voldoen, wordt aangenomen dat ze te kampen hebben met systematische fouten. Zij worden niet mee beschouwd bij de berekening van het gemiddelde en de standaardafwijking. Indien geen juistheidscriteria bestaan, worden de metingen onderzocht op outliers en extreme waarden die vervolgens uit de berekening van het gemiddelde en de standaardafwijking geschrapt worden. Voor het aantal uit te voeren metingen wordt aangeraden om minstens 30 metingen te beschouwen (De Spiegeleire & De Maerteleire, 1998). Dit aantal is gesteund op de centrale limietstelling, waarbij aangenomen mag worden dat de verdeling van het gemiddelde bij een steekproef van meer dan 30 metingen normaal verdeeld is (Kennedy & Neville, 1986).

Met het berekende gemiddelde M en de berekende standaardafwijking s worden de controlekaarten gemaakt. Hiervoor worden eerst lijnen getrokken bij M (de gemiddelde-waardelijijn), bij $M \pm 2s$ (de bovenste en onderste waarschuwingslijn) en bij $M \pm 3s$ (de bovenste en onderste limietlijnen). Elke verdere referentiemeting wordt dan aangeduid op de kaart zodat snel duidelijk wordt hoeveel de meting afwijkt van het berekende gemiddelde. Figuur 10 geeft een voorbeeld van een controlekaart voor pH bij een referentiewaarde van pH 7.

Als de verdeling van de afwijkingen t.o.v. het gemiddelde van de referentiemeting normaal verdeeld is, zullen statistisch gezien 95 % van de metingen binnen $M \pm 2s$ en 99,7% van de metingen binnen $M \pm 3s$ liggen. Dit betekent ook dat, wanneer een meting bijvoorbeeld niet binnen $M \pm 3s$ ligt, er slechts 0,3 % kans bestaat dat de fout

op de meting toevallig is (Bauer, 1971).

Aan de hand van eenvoudige criteria kan dan bepaald worden of de fout op de meting toevallig is of systematisch en of de meting van het meettoestel statistisch nog onder controle is of niet. De meest gebruikte beslissingscriteria worden hier opgesomd (Hoskins et al., 1990; NMKL, 1990). Een meting is statistisch niet meer onder controle wanneer:

- een meting buiten $M \pm 3s$ ligt;
- twee opeenvolgende metingen tussen $M \pm 2s$ en $M \pm 3s$ liggen;
- zeven opeenvolgende punten boven of onder de gemiddelde-waardelijijn liggen;
- zeven opeenvolgende punten een stijgend of dalend verloop hebben.

Wanneer zich een dergelijke situatie voordoet, moet het meettoestel geherkalibreerd (cf. eerste controlemeting in Figuur 4), geconditioneerd of vervangen worden of moeten de gebruikte standaardoplossingen vervangen worden. Alle voorgaande metingen tot de laatste goede controle moeten bovendien geschrapt worden (De Spiegeleire & De Maerteleire, 1998).

Kalibratiekarakteristieken

Naast controlekaarten kunnen ook kalibratiekarakteristieken (nulpunt en helling van de kalibratierechte) iets zeggen over de kwaliteit van de metingen en de toestand van de sensoren. Zo is het kleiner worden van de helling van de kalibratierechte een indicatie voor de verminderde gevoeligheid van de meetsensor. Bij de pH-elektrode is de afwijking van het nulpunt bovendien een indicatie voor de grootte van de diffusie-potentiaal als gevolg van contaminatie van het membraan (Rovira et al., 1992).

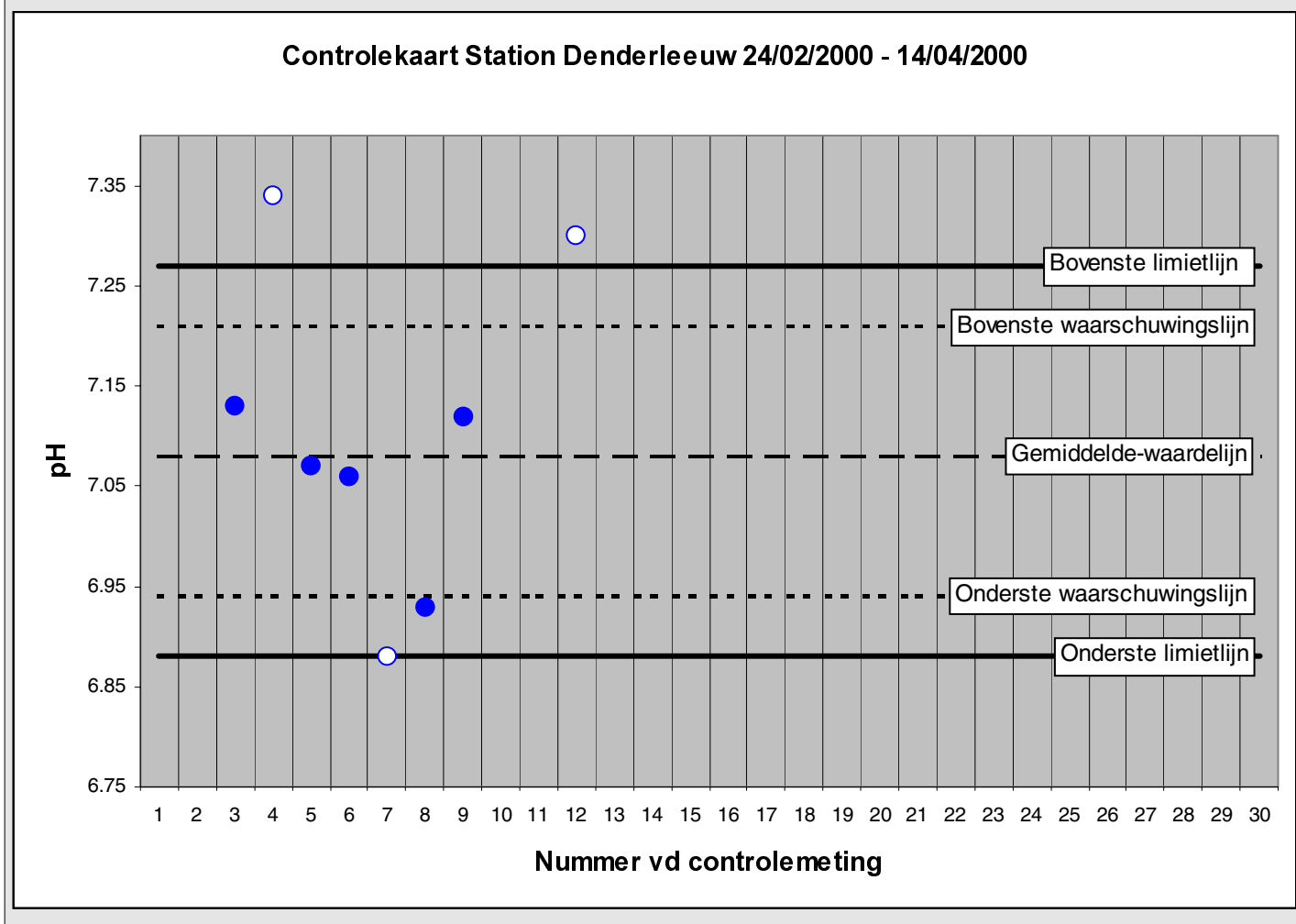
Deze evolutie is niet zichtbaar tijdens de metingen omdat de toenemende fout door contaminatie weggewerkt wordt door de kalibratie. Ook bij de controlekaarten zullen gevolgen van contaminatie pas in een laat stadium opgemerkt worden door een dalende precisie en dus een stijgende standaardafwijking. Bij het opvolgen van de ijkingskarakteristieken is het daarentegen wel mogelijk om een stijgende invloed van contaminatie op te merken, nog voor dit resulteert in foutieve metingen. Hierdoor is deze methode complementair aan het gebruik van controlekaarten om de kwaliteit van de metingen na te gaan.

Valideringen

De validering van de metingen kan best op vier niveaus gedaan worden (zie Figuur 3):

- de staalname;
- de meting met de sensor;
- opslag in de datalogger en doorsturen naar het laboratorium;
- opslag en verwerking van de gegevens in de database.

Figuur 10. Controlekaart voor pH 7, ingevuld voor 12 controlemetingen (daarna werd de elektrode vervangen). Het meetstation werd na een winterstop opnieuw opgestart op 24/2/2000. Bij de eerste en tweede meting was de elektrode instabiel. Na enkele dagen bleek de pH-meting onder controle te komen en moest er slechts af en toe geherkalibreerd worden (metingen 4 en 7). Vanaf de 10^{de} meting bleek de elektrode ernstige gebreken te vertonen en moest uiteindelijk vervangen worden.



Voor wat de staalneming betreft, is het belangrijk dat de pomp water naar de sensoren brengt, dat representatief is voor het betreffende stuk van het oppervlaktewater. Hierbij is het nuttig dat er reeds op voorhand gekeken wordt naar eventuele gradiënten in het water en eventuele dode zones (Vandenberghie et al., 2000). Het kan eventueel aangewezen zijn om de pomp op en neer te laten bewegen in het geval van sterke verticale gradiënten. Tevens mag water niet te lang onderweg zijn alvorens het de sensoren bereikt, om eventuele processen die onderweg kunnen plaatsvinden (opwarming, microbiële reacties, ...) te minimaliseren. Deze zaken kunnen onderzocht worden door metingen op het rivierwater en het water dat de sensoren aanvoert, met elkaar te vergelijken.

De sensoren zijn wellicht de meest delicate schakel binnen de meetkring. De validering kan gebeuren door standaardoplossingen te bemeten. Daarnaast is het evenwel ook belangrijk dat er valideringen gebeuren op het rivierwater zelf, aangezien de matrix van het water een belangrijke impact kan hebben op de betrouwbaarheid

van de metingen. De controlemetingen kunnen gebeuren met betrouwbare veldelektrodes of via labo-analyses. Het is evenwel belangrijk dat de betrouwbaarheid van deze referentiemetingen eveneens gekend is en dat de procedures gestandaardiseerd zijn. Daarom werden in het kader van het project met de GMS ook standaard testprocedures (STP) uitgewerkt voor de diverse te meten variabelen (Bols et al., 1999).

Uiteindelijk moeten de meetgegevens naar de datalogger gevoerd worden en van daaruit naar het laboratorium gestuurd worden. Bij dit proces kunnen ook nog diverse fouten optreden. Het 4-20 mA signaal dat in de datalogger binnenkomt, de kalibratie-instellingen in de datalogger, eventuele omrekeningsfactoren en fouten bij de ontvangst in de centrale computer kunnen aan de oorsprong liggen van systematische fouten in de data. Ook hier is dus een degelijke controle vereist.

Tenslotte is het ook aangewezen dat de software die instaat voor de geautomatiseerde opslag en omrekening van de data en die tevens een filtering doorvoert op basis van

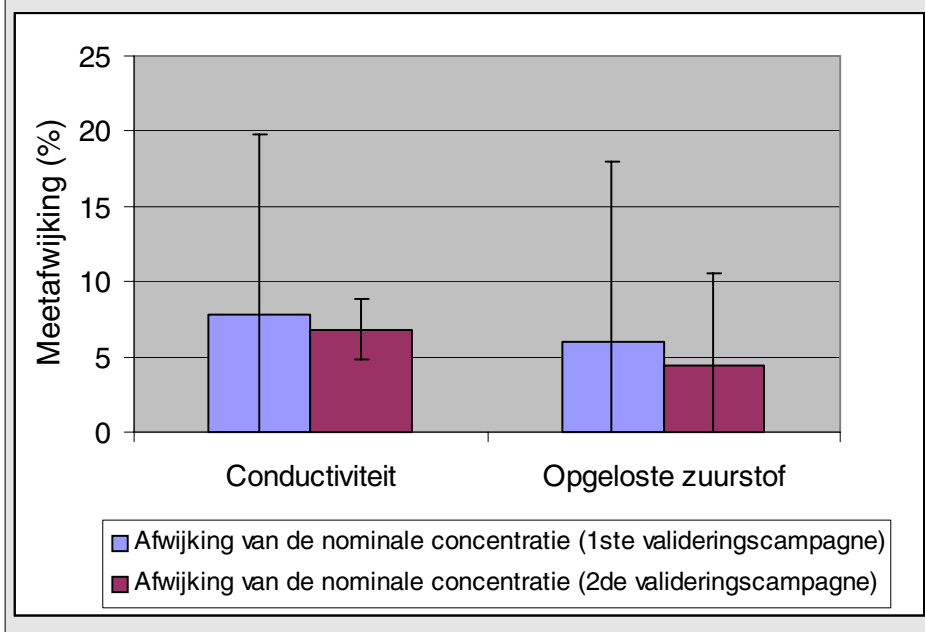
de doorgestuurde alarmen, voldoende betrouwbaar is alvorens hiervan routinematig gebruik gemaakt wordt.

In het voorjaar van 1999 werden twee intensieve valideringscampagnes opgezet. Enkele resultaten zijn weergegeven in Figuur 11. Men ziet duidelijk de gevoelige verbetering in kwaliteit van de metingen door de aanpassingen aan de GMS, de toegenomen kwaliteitscontrole en onderhoudservaring.

BESLUIT

Het gebruik van geautomatiseerde meetstations vergt een grondige organisatie. Het is niet alleen belangrijk om voldoende personeel te hebben dat instaat voor het onderhoud, maar ook dat de handelingen op een gestandaardiseerde manier verlopen en geregeld geëvalueerd en verbeterd worden. Het gebruik van logboeken, visgraat- en Paretdiagrammen, controlekaarten en controlefiches is hierbij nuttig. Daarnaast blijven valideringen van de metingen op geregelde tijdstippen belangrijk om de betrouwbaarheid van de volledige meetkring

Figuur 11. Foutenspreiding bij de eerste en de tweede valideringscampagne (Bols et al., 1999). De blokken en bijhorende vlaggen geven respectievelijk de gemiddelde en maximale meetafwijking aan.



blijvend te garanderen. Een geïntegreerd kwaliteitszorgsysteem is bijgevolg essentieel voor het correct gebruik van de GMS.

Zowel de investerings- als de onderhoudskosten van een GMS zijn hoog. Het is daarom belangrijk goed af te wegen of de investering de moeite loont, mede omdat de opstartperiode (uitwerken van procedures, opleiding personeel, ...) eerder lang is en de technologische ontwikkeling heel snel gaat. Daarnaast dient ook opgemerkt te worden dat bepaalde metingen niet zo nauwkeurig kunnen gebeuren als in het laboratorium en dat het belang van de meetfrequentie t.o.v. de meetnauwkeurigheid moet geëvalueerd worden. Het is bijgevolg heel belangrijk op voorhand de doelstellingen van de monitoringcampagnes duidelijk te omschrijven en te opteren voor de meest optimale meetstrategie.

De hoge inspanningen die het gebruik van GMS met zich meebrengt, worden evenwel gecompenseerd door een aantal exclusieve voordelen. Aangezien de metingen direct gebeuren is het mogelijk om real time controle toe te passen. Daarnaast zijn hoogfrequente datasets onontbeerlijk voor de opvolging en modellering van kortstondige processen, zoals pieklozingen, overstorten en tevens diurnale procescycli inherent aan algenbloeien. Door de verbetering van de oppervlaktewaterkwaliteit door afkoppeling van een groot deel van het afvalwater zullen deze processen relatief belangrijker worden en wellicht in belangrijke mate de waterkwaliteit van rivieren bepalen in de nabije toekomst.

DANKWOORD

De auteurs danken het Fonds voor Wetens-

schappelijk Onderzoek (FWO) voor het ter beschikking stellen van de fondsen voor de aankoop van de meetstations (Krediet G.01.02.97). Dankzij het FWO en de Onderzoeksraad van de VUB konden ook vorsers op het project worden aangesteld. Jurgen Meirlaen is aspirant van het FWO. Verder wordt de AWZ – Afdeling Gent bedankt voor de technische en logistieke steun bij de plaatsing van de meetstations op de Dender.

LITERATUUR

- BAUER E.L. (1971). A statistical manual for chemists. 2nd edition, Academic Press, New York, 193 p.
- BOLS J, GOETHALS P.L.M., MEIRLAEN J., VAN GRIENSVEN A., VANDENBERGHE V., VAN VOOREN L., DE PAUW N., VANROLLEGHEM P. & BAUWENS W (1999). Automated measurement stations for river water quality monitoring. In: Proceedings 13th Forum Applied Biotechnology. Med. Fac. Landbouww. Ghent University, p. 107-110.
- BOTHE D.R., 1997. Measuring process capability: techniques and calculations for quality and manufacturing engineers. McGraw Hill Text, New York, 897 p.
- DE PAUW N., CARCHON P., DE BAERE V., VAN DAMME D., BAUWENS W., DEMUYNCK C., DE SMEDT F., DE COOMAN W., SCHNEIDERS A., SEUNTJENS P., VERHEYEN R.F. & WILS C. (1996). II.4. Water. A. Oppervlaktewater. p. 271-294. In: Milieu- en natuurrapport Vlaanderen (1996). VMM en Garant Uitgevers NV, Leuven/ Apeldoorn, 585 p.
- DE SPIEGELEIRE B. & DE MAERTELEIRE E. (1998). Implementatie van interne kwaliteitscontrole met behulp van Shewhart controlekaarten in het stadslaboratorium van Gent.

Tijdschrift van de Belgische vereniging van laboratoriumtechnologen, 25 (1), 7-16.

- EVANS J.R. & LINDSAY M.M. (1993). The management and control of quality. West Publishing Company, New York, 700 p.
- GOETHALS P.L.M., VAN GRIENSVEN A., BOLS J., DE PAUW N., VANROLLEGHEM P., VAN VOOREN L. & BAUWENS W. (1999). Automated measurement stations and water quality modelling. In: Proceedings 9th European Congress on Biotechnology. Brussels, 11-15 Juli 1999. ECB9/2457.
- GOETHALS P.L.M. (1999). Ontwikkeling en gebruik van geautomatiseerde meetstations voor monitoring van oppervlaktewater. Afstudeerwerk, FTW, Universiteit Gent en De Vlerick Leuven/Gent Management School, Gent, 83 p.
- HOSKINS H., STUART B. & TAYLOR J. (1990). Statistical process control. Motorola, United States, 30 p.
- KENNEDY J.B. & NEVILLE A.M. (1986). Basic statistical methods for engineers and scientists. 3^{de} druk. Harper & Row publishers, New York, 613 p.
- NMKL (1990). Quality assurance principles for chemical food laboratories. Nordic Council of Ministers, Copenhagen, 71 p.
- ROVIRA W.S., KALIS G. & FOWLER A. (1992). Water and wastewater monitoring and analysis: State of the art in on-line accurate pH measurement. Journal A, 33 (3), 50-54.
- VANDENBERGHE V., VAN GRIENSVEN A., BAUWENS W., GOETHALS P., DE PAUW N., MEIRLAEN J., VAN VOOREN L. & VANROLLEGHEM P. (2000). Het belang van continue waterkwaliteitsmetingen, toepassing op de Dender. @wel 5 – Water.
- VANROLLEGHEM P.A., SCHILLING W., RAUCH W., KREBS P. & AALDERINK H. (1999). Setting up measuring campaigns for integrated wastewater modelling. Wat. Sci. Tech., 39(4), 257-268.
- WIEME U. (2000). Optimalisatie van on-line meetstations voor de monitoring van oppervlaktewaterkwaliteit. Afstudeerwerk, FLTBW, Universiteit Gent, 138 p.
- P.L.M. GOETHALS, U. WIEME, J. BOLS, D. ROUSSEAU en N. DE PAUW
Vakgroep Toegepaste Ecologie en Milieubiologie
Universiteit Gent
J. Plateaustraat 22, B-9000 Gent
- J. MEIRLAEN, L. VAN VOOREN en P.A. VANROLLEGHEM
Vakgroep BIOMATH
Universiteit Gent
Coupure Links 653, B-9000 Gent
- V. VANDENBERGHE, A. VAN GRIENSVEN en W. BAUWENS
Vakgroep Hydrologie en Waterbouwkunde
Vrije Universiteit Brussel
Pleinlaan 2, B-1050 Brussel