Vergelijkend onderzoek troebelheidsmeters

Rapport RIKZ/2000.007

auteur(s) : J.R. Roberti en W. Tansini

gecontroleerd door : H.L.H Cox

goedgekeurd door : J.J. Bosman

december 1999

Vergelijkend onderzoek troebelheidsmeters

Rapport RIKZ/2000.007

Auteur(s) : J.R. Roberti en W. Tansini

gecontroleerd door : H.L.H Cox

goedgekeurd door : J.J. Bosman

december 1999

Samenvatting

Een vergelijkend warenonderzoek naar troebelheidsmeters is uitgevoerd door de afdeling hydro-instrumentatie van het RIKZ. Doelstelling van dit onderzoek was de selectie van de meest betrouwbare praktische troebelheidsmeter voor toepassing binnen de meetdiensten van Rijkswaterstaat.
In het onderzoek zijn 5 troebelheidsmeters in praktijkomstandigheden getest, die op grond van hun fabrieksspecificaties zouden voldoen aan het pakket van eisen voor gebruik binnen Rijkswaterstaat. Dit pakket van eisen was opgesteld door Hydro-instrumentatie in direct overleg met een aantal vertegenwoordigers van verschillende meetdiensten.
Het onderzoek resulteerde in de aanbeveling van de Endress en Hauser troebelheidsmeter voor toepassingen met een hoge kans op aangroei en vervuiling en aanbeveling van de OBS troebelheidsmeter van D&A instrument company voor toepassingen waar vervuiling van de sensor geen rol speelt.

Inhoudsopgave

1 Inleiding **1**
1.1 Achtergrond 1
1.2 Doel 1
1.3 Resultaat 1
1.4 Afbakening 1
1.5 Projectorganisatie 1

2 Procedure **2**
2.1 Overzicht 2
2.2 Programma van eisen 3
2.3 Resultaat voorselectie 4
2.4 Veldtests 5
2.5 Laboratorium tests 6

3 Resultaten **8**
3.1 BTG 8
3.2 Geveke 10
3.3 Partech 12
3.4 Endress + Hauser 14
3.5 OBS, D&A Instrument Company 16
3.6 Overzichtschema resultaten 18

4 Aanbeveling **19**
4.1 Meten met kans op aangroei 19
4.2 Meten met weinig kans op aangroei 19

Meetresultaten Bruinisse **20**

Meetresultaten Maassluis **22**

Meetresultaten Laboratorium tests **26**

1 Inleiding

1.1 Achtergrond

Troebelheid is een optische parameter, die binnen de Rijkswaterstaat wordt gebruikt als indicator voor de concentratie van niet-opgeloste materialen in het water. Er worden bijvoorbeeld in het kader van de wet verontreiniging oppervlaktewater (WVO) troebelheidsmetingen verricht. Om aan de meetbehoefte van de regionale directies te kunnen voldoen is door Hydro-instrumentatie een vergelijkend onderzoek te te voeren naar een geschikte troebelheidsmeter voor toepassing binnen Rijkswaterstaat en mogelijk een dergelijk instrument op te nemen in het Landelijk Instrumenten Bestand.

1.2 Doel

Selectie van de beste of minste slechte troebelheidsmeter specifiek voor het gebruik binnen de meetdiensten van Rijkswaterstaat. Desgewenst kan zo'n systeem op korte termijn worden opgenomen in het landelijk instrumenten bestand (LIB).

1.3 Resultaat

Het project "Vergelijkend onderzoek troebelheidsmeters" zal op basis van een praktijktest van vijf verschillende troebelheidsmeters een adviesrapport voortbrengen, aan de hand waarvan de selectie van één troebelheidsmeter mogelijk is.

Leveringsomvang
Een rapport waarin beschreven wordt:

- het programma van eisen voor de troebelheidsmeter
- de methode van aanpak bij de tests
- de geteste instrumenten
- de resultaten van de tests
- een aanbeveling gebaseerd op het programma van eisen en de resultaten

1.4 Afbakening

In dit rapport wordt niet ingegaan op de betrouwbaarheid van troebelheidsmeters voor slib concentratiebepaling in het veld, omdat dit punt de betrouwbaarheid van de *interpretatie* van de troebelheidsmetingen betreft en niet de betrouwbaarheid van de gebruikte sensor. Dit onderzoek is alleen gericht op het selecteren van een praktische betrouwbare troebelheidsmeter. Om dezelfde reden wordt daarom ook geen aandacht besteed aan het onderwerp veldkalibraties. Voor een zorgvuldige behandeling van deze onderwerpen zijn aparte gerichte onderzoeken nodig. Om de veldmetingen toch onderling te kunnen vergelijken in uitwisselbare eenheden wordt bij het onderzoek wel gebruik gemaakt van een kalibratie met Nanotek poeder.

1.5 Projectorganisatie

Het project is uitgevoerd binnen PBNI, project BOUWLIB
Projectleider BOUWLIB : J. van Doorn
Contactpersoon : J. R. Roberti
Medewerkers : W. Tansini, P. Christiaans,W. Rotteveel, M. Ebben

2 Procedure

2.1 Overzicht

In overleg met een aantal medewerkers van de regionale meetdiensten is een concreet en zo volledig mogelijk beeld opgesteld van een goede praktisch inzetbare troebelheidsmeter voor dagelijks gebruik binnen Rijkswaterstaat. Dit beeld bestaat uit een programma van eisen en wensen waaraan het gewenste systeem zou moeten voldoen. Dit programma van eisen vormt de leidraad voor de evaluatie van de systemen voor de hele test.

Het eerste onderdeel van de test betrof een algemene inventarisatie van commercieel verkrijgbare troebelheidsmeters. Deze troebelheidsmeters werden vervolgens op de specificaties, die door de leverancier waren opgegeven, vergeleken met het programma van eisen. Vooraf was gesteld dat maximaal vijf instrumenten zouden worden aangeschaft voor een testreeks.

Aangezien er meer dan vijf fabrikanten troebelheidsmeters leverden was een voorselectie noodzakelijk. Bij de voorselectie is getracht de meest geschikte instrumenten te selecteren. Het was echter mogelijk, dat meer instrumenten aan alle specificaties zouden voldoen, maar toch niet in de testreeks opgenomen zijn.

De vijf aangeschafte systemen werden onderworpen aan een testprogramma, dat twee veldtests en een laboratorium test omvatte. De doelstellingen van de verschillende tests en de wijze van uitvoering zullen later in dit hoofdstuk worden uitgewerkt. Uiteindelijk is voor elk systeem, dat getest is, een klein testrapport opgesteld. In de testreeks hebben we de systemen zoveel mogelijk als *black box* benaderd.

Op basis van de veldtests wordt elk systeem beoordeeld op de volgende eigenschappen: meetgedrag, robuustheid, aangroeibestendigheid en gebruikersvriendelijkheid. Daarnaast zijn de troebelheidsmeters ook getest in het laboratorium op hun lineariteit, meetbereik en opgenomen vermogen. Samenvattend wordt een algemene indruk van elke troebelheidsmeter gegeven op basis van alle onderzochte eigenschappen. Per troebelheidsmeter wordt elke onderzochte eigenschap beoordeeld in één van de volgende termen: Zeer goed, Goed, Matig, Slecht, Zeer slecht.

Afsluitend worden de resultaten nog samengevat in één tabel, waarna de balans tussen de verschillende systemen wordt opgemaakt. Op grond van deze evaluatie is een aanbeveling geformuleerd.

De meetgegevens, die bij de verschillende onderdelen van de testreeks zijn behaald, kunnen in grafiek of tabelvorm worden teruggevonden in de bijlagen.

ISO 7027 normering voor troebelheidsmeters
Standaardisering van meten en kalibratie is een methode om de uitwisselbaarheid van metingen van verschillende systemen te vergroten. Voor troebelheid is een internationale standaard vastgelegd in de ISO 7027 norm, die vooral gericht is op industriële toepassingen. Deze norm legt strakke eisen op aan de sensor en de kalibratie. Echter, deze eisen hebben bij de selectie geen rol gespeeld, omdat geen van de voorgeselecteerde systemen volledig aan deze normeringseisen voldoet. Daar binnen Rijkswaterstaat ook geen kalibraties van troebelheidsmeters met het giftige formazine worden uitgevoerd is nastreven van troebelheidsmetingen volgens de ISO standaard moeilijk.

Een gevolg van het verlaten van de ISO standaard voor de selectieprocedure is wel dat er niet direct een officieel erkende eenheid beschikbaar is voor het onderling vergelijken van de systemen. Daardoor moest voor de vergelijking een acceptabele alternatieve kalibratie standaard worden gevonden. Bij de beschrijving van de laboratorium tests komen we op dit punt terug.

2.2 Programma van eisen

Bij aanvang van het project zijn tijdens de bijeenkomst met de klankbordgroep de volgende specificaties voor de gewenste troebelheidsmeter opgesteld:

Functionele eisen :

- De sensor moet functioneren tot 50 meter diepte*
- De sensorbehuizing moet zowel zout- als zoetwater bestendig zijn*
- Apparaat moet geschikt zijn voor montage op vaste meetlocaties. Het systeem hoeft niet draagbaar te zijn*
- Een interne logger faciliteit is ongewenst*
- Sensor en aansturingselektronica zijn functioneel en fysiek van elkaar gescheiden*
- Meetbereik: ≈ 10 - 1000 mg/L *
- Uitgangssignaal: 4-20 mA *

(* De functionele eisen hebben het het zwaarste gewogen in de voorselectie)

Operationele eisen

- Maximaal opgenomen vermogen: 10 Watt
- Aangroeibestendig
- Zelfreinigend is een pré
- Robuust systeem
- Signaal moet onafhankelijk zijn van de temperatuur
- Signaal moet onafhankelijk zijn van het invallende omgevingslicht
- Onderhoudsarm
- Systeem moet makkelijk te bedienen en (in het veld) te kalibreren zijn

Wensen

- Richtprijs: ƒ15.000,- per systeem

Prioritering bij mogelijke toepassingen

1. gebruik in vaste meetopstellingen
2. gebruik bij varend meten
3. gebruik als draagbaar veldmeetinstrument

2.3 Resultaat voorselectie

Gekozen instrumenten

- OBS-3 van D&A
- Partech Turbi-Tech
- Geveke Stamosens, 7530 SNN-T van Dr. Staiger, Mohilo & Co
- BTG (MEX) RD20/10
- Endress+Hauser CUS-4W

Deze instrumenten voldeden op grond van hun specificaties het best aan de opgegeven eisen, met uitzondering van het maximaal opgenomen vermogen. Dit had twee redenen:

1. Het was onduidelijk onder welke gebruiksomstandigheden deze waarden geldig waren. (met name bij wisser-instrumenten).
2. Daarnaast was het onduidelijk of de vermogensbepaling voor de verschillende meetsystemen volgens vergelijkbare meetprocedures tot stand waren gekomen.

Gezien deze onzekerheden was dit criterium ongeschikt voor de voorselectie van de instrumenten. Verder is bij de voorselectie zoveel mogelijk tegemoet gekomen aan de prioritering binnen de eisen en wensen.

Afgewezen instrumenten

Naast de geselecteerde instrumenten, die daadwerkelijk zijn aangeschaft, zijn ook de specificaties van volgende troebelheidsmeters vergeleken met de eisen.

- Dr Lange Solitax : in principe wel geschikte voor test
- Aquamatic AQTU-660NM : geen 4-20mA,
- Fasat Tauchsonde : max. diepte 15 meter
- ABB 4670/400 : Te hoog opgenomen vermogen, te laag concentratie bereik en te lage max. diepte
- Seapoint : geen 4-20mA
- WS Ocean systems : geen 4-20mA
- Aanderaa : Te laag bereik

Alleen de Dr Lange Solitax heeft een compensatie voor aangroei/vervuiling/veroudering .

Bovengenoemde instrumenten voldeden in mindere mate aan de gestelde eisen dan de geteste instrumenten. De belangrijkste tekortkomingen van deze instrumenten ten opzichte van het programma van eisen staan ook vermeld. Hierbij dient opgemerkt te worden dat bij deze lijst met afgekeurde instrumenten toch nog één instrument staat dat op grond van het programma van eisen mee had kunnen draaien in de testreeks. Dit betreft het systeem van Dr. Lange Solitax. Er was echter van te voren vastgesteld dat slechts vijf instrumenten daadwerkelijk getest zouden worden. Uiteindelijk is gekozen voor de meest geschikte troebelheidsmeters plus een aantal troebelheidsmeters, die al geruime tijd binnen Rijkswaterstaat toegepast worden ,zoals de OBS van D&A. Deze prioritering betekende voor Dr Lange Solitax, dat het betreffende instrument niet in de vergelijkende tests is opgenomen.

2.4 Veldtests

De veldtests zijn uitgevoerd op twee locaties, Bruinisse en Maassluis, met zeer verschillende wateromstandigheden. Beide locaties waren speciaal gekozen om de systemen op een aantal specifieke eigenschappen aan de tand te kunnen voelen. Er is 's zomers gemeten in Bruinisse en in de winter bij Maassluis.

Aangroei in Bruinisse
De eerste testreeks vond plaats op het meetponton "De Zeekat" in de haven van Bruinisse. Voor deze locatie is gekozen vanwege de hoge mate van biologisch activiteit en de lage zwevend stof concentratie ter plaatse . Deze test richtte zich dan ook in de eerste plaats op het bepalen van de aangroeigevoeligheid van het instrument en de effectiviteit van eventuele mechanische reiniging en softwarematige compensatie van aangroei. Verder is aandacht besteed aan de robuustheid en gebruikersvriendelijkheid van de systemen.

De instrumenten zijn *gedurende één maand* opgehangen in de beun van het ponton op ongeveer 2 meter onder de waterspiegel. De instrumenten zijn gedurende de gehele periode bewust niet schoongemaakt. Bij de meters die voorzien waren van een mechanische reiniging, is deze ingeschakeld. Het doel was inzicht te krijgen in welke mate de instrumenten bestand waren tegen aangroei en hoe lang zij nog reële meetresultaten produceerden. Verwacht werd dat de uitgangswaarden van de in transmissie metende instrumenten steeds verder zouden toenemen naar mate de aangroei toenam. Voor de instrumenten die verstrooid licht meten was de verwachting minder eenduidig, als zo'n instrument helemaal dichtgroeit zou je verwachten dat het signaal naar nul gaat.

Bij het beoordelen van de gebruikersvriendelijkheid is er met name gekeken of een relatief onbekende gebruiker snel met het systeem overweg kan, zonder dat een uitputtende studie van de handleiding nodig is.

Wat betreft de robuustheid is een inschatting gemaakt van de mate waarin een instrument bestand is tegen stoten, vallen en ruwe behandeling. Bekeken is in welke mate de vitale onderdelen van het systeem afdoende beschermd zijn.

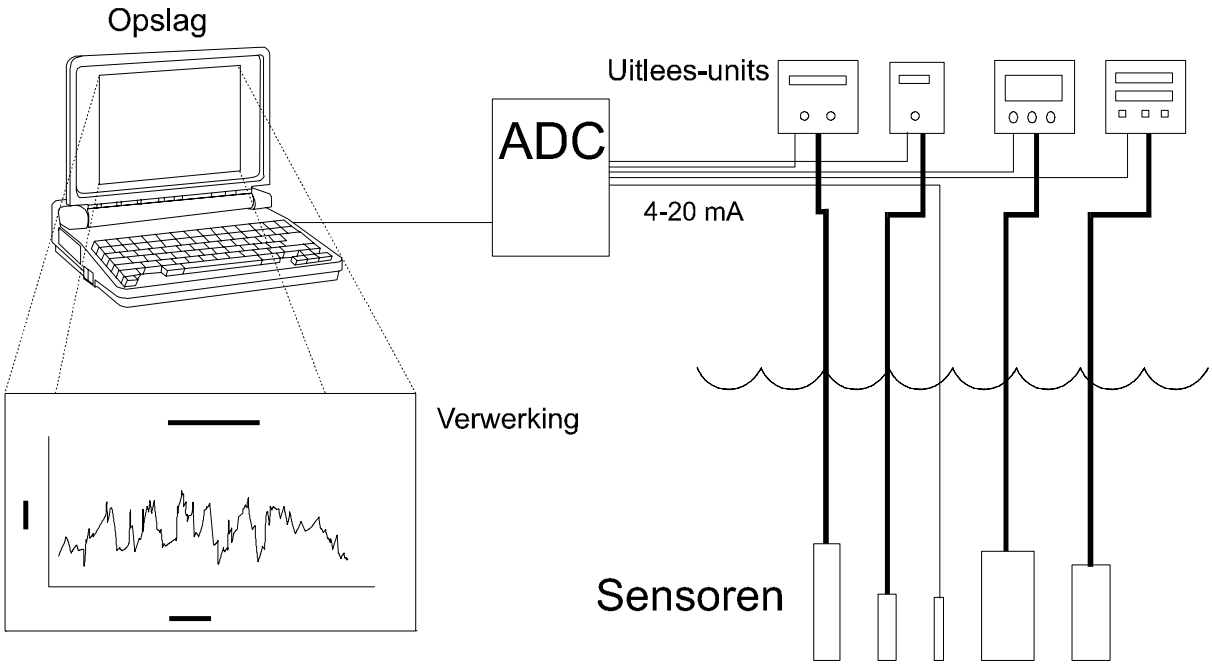
Meten van slib in de getijcyclus bij Maassluis
De tweede testreeks vond plaats aan de Kruitsteiger nabij Maassluis. Voor deze locatie was gekozen omdat op deze locatie veel slib en een sterk getij aanwezig zijn. De stroming varieert continu gedurende de getijcyclus, zowel wat betreft de stroomrichting als de stroomsterkte. De verwachting was dat hierdoor veel variatie in de troebelheid nabij de bodem waarneembaar zou zijn, wat ons in staat zou stellen het meetgedrag van de instrumenten onderling te vergelijken.

Het meetbereik van de instrumenten was voorafgaand aan de metingen zo ingesteld, dat ze niet buiten bereik zouden kunnen raken bij de verwachte lokale zwevend stof concentraties. Bij de metingen is gekozen voor een aanpak zonder monstername, waarbij om de 10 minuten gedurende een periode van 18 dagen door alle systemen zonder tijdsmiddeling een waarde voor de troebelheid werd bepaald. De concentratie van het zwevend stof kan sterk plaats afhankelijk zijn. Doordat er niet gemiddeld is over het 10 minuten tijdsinterval is de kans klein dat de vijf troebelheidsmeters exact dezelfde waarde meten. Over lange tijd beschouwd verwachten we een duidelijke trend in de troebelheid, die gecorreleerd kan worden aan de getijcyclus. Deze trend moet duidelijk onderscheidbaar zijn van de hoger frequente

concentratiefluctuaties, die worden veroorzaakt door toevallige lokale concentratieverschillen.

Voor de onderlinge vergelijking van de systemen is gebruik gemaakt van de kalibratie in het laboratorium met NanoTek Al_2O_3 poeder. Bij de analyse van de gekalibreerde tijdreeksen is gekeken naar de correlatie tussen de signalen van de verschillende systemen en de individuele spreiding rond de over vijf systemen gemiddelde troebelheid. De testmethode is alleen bedoeld om de systemen onder gelijke omstandigheden ten opzichte van elkaar te kunnen beoordelen.

Inrichting van de meetopstelling.
Bij de veldtests werd gebruik gemaakt van de volgende meetopstelling:



De instrumenten, die naast elkaar op een massieve kunststof plaat waren gemonteerd, konden via een sledeconstructie onder water worden gedompeld. De gevoelige delen van troebelheidsmeters (de sensoren) waren op één horizontaal niveau uitgelijnd, zodat alle systemen zich effectief op dezelfde diepte bevinden.

Via de bijbehorende uitleesunits wordt het ruwe signaal, dat door de sensoren wordt gegenereerd, omgezet in een 4-20 mA signaal, dat door middel van een kleine schakeling geschikt werd gemaakt voor overdracht naar een PC via een ADC unit (kaart). Gedurende de metingen werd de data in de PC opgeslagen. De verwerking van de gegevens werd naderhand off-line uitgevoerd.

2.5 Laboratorium tests

Bij de laboratorium test zijn enkele van de fabrieksspecificaties geverifieerd die niet duidelijk of inconsequent zijn weergegeven. Het gaat hierbij om het opgenomen vermogen en het meetbereik. Uiteraard was het mogelijk om alle specificaties te verifiëren, maar dit was niet noodzakelijk voor het project. Daarnaast zou het project hierdoor onevenredig duur zijn geworden.

Meetbereik
Alle fabrikanten geven het maximale meetbereik aan van het instrument, maar niet bij welke samenstelling van de gesuspendeerde stof, dit maximum geldt. Hierdoor is onderlinge vergelijking van de opgegeven meetbereiken niet verantwoord, daarom is er een test uitgevoerd. Voor de bepaling van het maximale meetbereik van de systemen werd de volgende meetprocedure uitgevoerd.

In een vast meetvolume werd een suspensie aangemaakt door aan gedestilleerd water NanoTek Al_2O_3 toe te voegen. Dit is een zeer fijn poeder met een gemiddelde korreldiameter van ongeveer 30 nanometer, dat zich goed homogeen laat suspenderen. Stapsgewijs werd de concentratie opgevoerd. Na elke concentratieverhoging werden de instrumenten stuk voor stuk in de vloeistof gehangen en de uitgangswaarde genoteerd. Er werd net zo lang vaste stof toegevoegd, totdat het niet meer goed mogelijk was de suspensie homogeen te houden door aggregatievorming. Een aantal instrumenten had toen al ruim hun maximale waarde bereikt. De maximale concentratie van de suspensie bedroeg circa 3g/l NanoTek Al_2O_3.

Een kanttekening bij het gebruik van een fijn poeder zoals NanoTek Al_2O_3 is dat het een hogere troebelheidswaarde zal opleveren dan een suspensie van een grover materiaal bij een gelijke concentratie.

Lineariteit
Wanneer een troebelheidsmeter een lineaire responsie karakteristiek heeft dan bedoelen we daarmee dat het uitgangssignaal van het systeem rechtevenredig toeneemt met de aangeboden concentratie kalibratiemateriaal. In ons geval is dat materiaal dus NanoTek Al_2O_3.

In de praktijk is een systeem met een lineaire responsie veel makkelijker te kalibreren dan een niet-lineair systeem, omdat minder kalibratiepunten nodig zijn. In het ideale geval zijn zelfs slechts twee punten voor de kalibratie nodig.

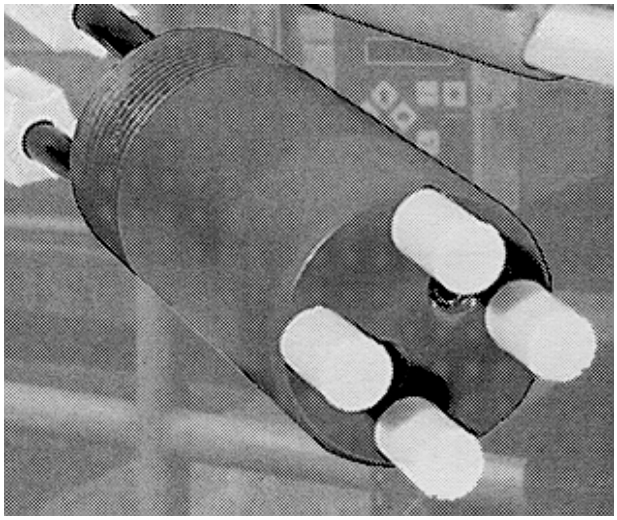
De uitvoering van deze test was qua opzet gelijk aan de test van het meetbereik alleen werd nu het vereiste concentratiegebied van nul tot één gram Al_2O_3 Nanotek per liter beschouwd.

Bij de analyse van de kalibratiecurves is niet de afwijking van deze curven ten opzichte van de kleinste kwadraten fit met een lineaire vergelijking gebruikt, maar de afwijking van de curven ten opzichte van de rechte lijn, die de nul en de één gram per liter punten direct met elkaar verbindt. Mogelijke verschillen inn off-set tussen de systemen hebben door deze aanpak geen invloed.

Opgenomen vermogen
Hoewel het opgenomen vermogen gespecificeerd is in de handleidingen van de instrumenten, is toch besloten hiernaar een kort onderzoek uit te voeren. Dit met name om te bepalen wat het opgenomen vermogen is bij het gebruik van wissers, omdat de handleidingen hierover in het algemeen niet duidelijk waren. De meetopstelling is als volgt: de instrumenten worden aangesloten en de stroomopname uit het lichtnet wordt gemeten m.b.v. een multimeter. Dit wordt gedaan bij verschillende acties van de instrumenten: gewoon meten en reinigen.

3 Resultaten

3.1 BTG



Kenmerken
De BTG troebelheidsmeter meet transmissie van licht volgens een 4 straals meetmethode, die gebruikt maakt van twee bronnen en twee detectoren. Het systeem is uitgevoerd in PVC.

Fabrieksspecificaties

Fabrikant	BTG (UK)
Leverancier	Inven (NL)
Type Sensor	RD 20/10C
Type Control-unit	TxPro-S
Meetprincipe	4 - straals, lichtbundelverzwakking
Aangroeicompensatie	Softwarematig
Maximaal meetbereik	10 g/l (activated sludge)
Maximale meetdiepte	80 meter
Opgenomen vermogen	maximaal 15 W
Uitgang	4-20 mA, max. 1000 Ohm
Prijs	ƒ 9.958,13 incl. BTW

Opmerkingen n.a.v. de specificaties	Dit meetsysteem is een BTG Drogestofmeter type TxPro-S in combinatie met een sensor van het type RD20/10C, welke geleverd wordt door de firma Inven. Troebelheidsmeters van deze leveranciers zijn al lange tijd bekend binnen de Waterstaat onder de naam “MEX”, in combinatie met een uitleesunit van het WL. Het toegepaste 4-straals meetprincipe compenseert in principe voor variaties veroorzaakt door ophoping van vuil op de sensor, veroudering van het instrument en spanningsvariaties vanuit de voeding.

Veldtest
- Meetgedrag => **Slecht**

Bij hoge troebelheid loopt het systeem veel te vroeg tegen een verzadigingsniveau aan. De oorzaak hiervan is niet duidelijk. Over het grootste

deel van de metingen correleerde de data van het systeem goed met het gemiddelde van systemen, echter de spreiding van de BTG is 1.65 maal breder dan de troebelheidsmeter van Geveke, die het best presteerde bij deze test.

- Robuustheid => **Zeer slecht**.

Deze sensor is niet robuust. De sensorpootjes zijn omhuld met doorzichtig plastic en worden in het geheel niet beschermd. In de praktijk is dit ook gebleken doordat ten gevolge van het stoten van de opstelling tegen het frame op de meetlocatie in Bruinnisse één van de sensorpootjes omgebogen werd. Hierdoor drong water het instrument binnen.

- Aangroeibestendigheid => **Slecht**

De BTG is beschadigd geraakt tijdens de installatie (zie punt hierboven), waardoor het effect van aangroei op de meting niet bepaald is. Het enige dat gemeld kan worden is dat de behuizing t.o.v. de andere instrumenten vrij aangroeigevoelig is. Of en in welke mate dit van invloed is op de meetresultaten is echter niet te zeggen.

- Gebruikersvriendelijkheid => **Matig**

Dit systeem is matig gebruikersvriendelijk. Het display toont welke parameter bewerkt/getoond wordt. Er wordt soms met status aanduidingen gewerkt die niet intuïtief zijn, zodat het nodig is de handleiding goed te bestuderen. Het gebruik van de toetsen is even wennen. Aanpassen van instellingen kan pas na het invoeren van een beveiligingscode. De handleiding is Engelstalig.

Labtest

- Lineariteit => **Zeer slecht**

Over het meetbereik tot 1 g/l was de lineariteit zeer slecht. Wat opvalt aan de responsiecurve was dat ze ook niet eenvoudig met een tweede orde functie beschreven zal kunnen worden, omdat onderin het meetbereik de kalibratiecurve een sterk alineaire verloop vertoond.

- Meetbereik => **Zeer goed**

De BTG heeft het grootste opgegeven meetbereik van de geteste instrumenten. De bovengrens ligt in de orde van enkele tientallen grammen NanoTek Al_2O_3 per liter. Het instrumentbereik kan omlaag geschaald worden, zodat de gevoeligheid bij lagere concentraties verhoogd wordt. Bij de maximaal aangeboden concentratie van 3 g/l Al_2O_3 werd slechts 8% van de maximale schaal gebruikt.

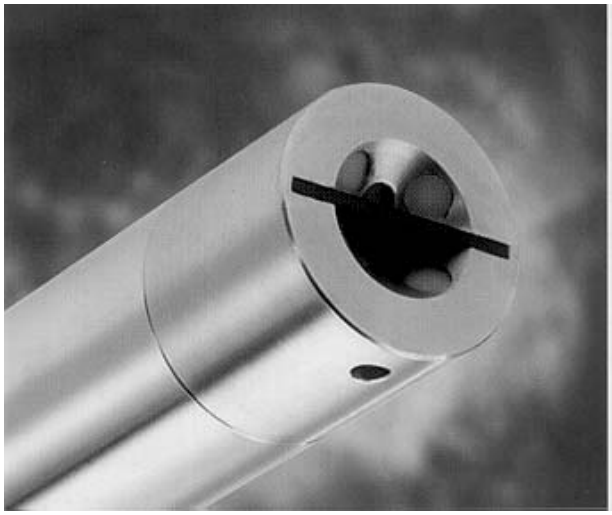
- Opgenomen vermogen => **Slecht**

Het opgenomen vermogen is 18 W. Dit is meer dan de eis voor het maximaal opgenomen vermogen.

Algemene indruk

De BTG is een troebelheidsmeter die onvoldoende scoort bij het meten, met name door de slechte lineariteit en vroegtijdig optreden van verzadiging bij de veldtest. Daarnaast komt nog het probleem, dat het systeem niet robuust genoeg is uitgevoerd. De kans op beschadiging van het systeem in deze huidige vorm is erg groot, doordat sensor element onvoldoende beschermd zijn. Verder vormt de hoge vermogensopname een probleem voor het gebruik op afgelegen locaties.

3.2 Geveke



Kenmerken
De Geveke troebelheidsmeter meet verstrooid licht van twee bronnen met twee detectoren onder een vaste hoek. De meter is aan de buitenkant uitgevoerd in roestvrij staal.

Fabrieksspecificaties

Fabrikant	Dr. Staiger, Mohilo + Co (D)
Leverancier	Geveke Werktuigbouw (NL)
Type Sensor	7530 SSN-T, Stamosens
Type Control-unit	7100 MTF-FG
Meetprincipe	verstrooid licht
Aangroeicompensatie	Softwarematig
Maximaal meetbereik	2 g/l
Maximale meetdiepte	50 meter
Opgenomen vermogen	Maximaal 20 W
Uitgang	0/4-20 mA, max. 500 Ohm
Prijs	ƒ 10.475,13 incl. BTW

Opmerkingen n.a.v. de specificaties	Deze sensor is vergelijkbaar met de BTG, maar is uitgevoerd in staal in plaats van kunststof en daardoor een stuk robuuster. Deze sensor maakt gebruik van soort een 4-straals meetprincipe, ter compensatie van vervuiling en veroudering, maar dan van verstrooid licht.

Veldtest

- Meetgedrag => **Zeer goed**

Over het grootste deel van het gebruikte meetbereik correleerde de data van het systeem zeer goed met het gemiddelde van de vijf systemen. De Geveke was het systeem dat gemiddeld over de veldtest de kleinste spreiding had ten opzichte van de gemiddelde troebelheid van de vijf systemen.

- Robuustheid => **Zeer goed**

De sensor is volledig vervaardigd van staal en daarom uitermate robuust.

- Aangroeibestendigheid => **Slecht**

Aan het begin van de meting wordt de aangroei voldoende gecompenseerd en is de grafiek vlak. Als de aangroei begint dan neemt de troebelheidswaarde

toe. Na enige tijd echter neemt de troebelheidswaarde weer af. Bij inspectie bleek echter dat de sensor in extreme mate vervuild was (er zaten zeepokken op de optische delen zodat deze geheel bedekt waren). De niet door aangroei aangetaste systemen gaven aan dat er gedurende de gehele periode geen veranderingen in de troebelheid optraden. Het wordt als ongewenst beschouwd, wanneer een ernstig vervuilde sensor nog reëel ogende troebelheidswaarden produceert.

- Gebruikersvriendelijkheid => **Matig**

Een redelijk gebruikersvriendelijke unit. Het doorlezen van de handleiding is nodig om te begrijpen waar alle begrippen die in het display verschijnen voor staan. Daarna kan met een geheugen/referentiekaartje worden volstaan. De handleiding is helaas alleen in het Duits.

Labtest

- Lineariteit => **Slecht**

Over het onderzochte meetbereik tot 1 g/l NanoteK Al_2O_3 was de lineariteit slecht. De maximaal afwijking van lineair was in de orde van 10%.

- Meetbereik => **Goed**

Het meetbereik van de Geveke is het laagste van de geteste instrumenten, maar voldoet toch aan de gespecificeerde eis. De bovengrens van het meetbereik is ongeveer 1500 mg/l NanoTek Al_2O_3. Boven deze concentratie treedt verzadiging op. Bij grover materiaal kan de verzadigingsconcentratie hoger liggen omdat dit systeem verstrooid licht meet.

- Opgenomen vermogen => **Slecht**

het opgenomen vermogen van de Geveke tijdens normaal meten bedraagt 15 W. Dit is meer dan de vereiste maximale vermogen van 10W.

Algemene indruk

De Geveke is een zeer robuust instrument, hoewel bij zeer lange gebruiksperioden (>1 jaar) blijkt dat de behuizing toch niet volledig corrosiebestendig is (Bron: Rijkswaterstaat, Dir. Zeeland). Volgens opgave van de fabrikant compenseert het instrument softwarematig voor krasjes op de optische vensters, veroudering van de electronica en aangroei. Het systeem heeft voldoende meetbereik. De Geveke had de beste score op het punt van meetgedrag bij de metingen in Maassluis, desondanks was de in het laboratorium bepaalde lineariteit slecht. Dit lijkt op het eerste gezicht vreemd, maar kan verklaard worden uit het feit dat de troebelheid bij Maassluis gemiddeld veel lager was dan de troebelheid van de suspensies , die in het Laboratorium waren aangemaakt. De belangrijkste nadelen van het systeem zijn toch de invloed van de slechte lineariteit bij hoge concentraties, de hoge stroomopname en de aangroeigevoeligheid, die niet direct uit het meetresultaat blijkt, maar uit visuele inspectie.

3.3 Partech

Kenmerken
Het Partech systeem meet transmissie van licht, en is gemaakt van Delrin (een soort Nylon). Het instrument reinigt zichzelf door de sensoren het huis binnen te trekken langs nauw passende O-ringen.

Fabrieksspecificaties

Fabrikant	Partech (UK)
Leverancier	Brinck HMT (NL)
Type Sensor	Turbi-Tech 10i
Type Control-unit	Partech 7100
Meetprincipe	Lichtbundelverzwakking
Aangroeicompensatie	Hardwarematig
Maximaal meetbereik	20 g/l
Maximale meetdiepte	50 meter; getest type 20 meter
Opgenomen vermogen	5 W
Uitgang	4-20 mA , max. 500 Ohm
Prijs	ƒ 20.935,50 incl. BTW

Opmerkingen n.a.v. de specificaties

Het Partech troebelheid meetsysteem is voor de tests geselecteerd vanwege de unieke reinigings- en controlemethode: de sensoren worden de behuizing ingetrokken waardoor ze gereinigd worden, waarna ze binnen in het apparaat gecontroleerd worden op krasjes e.d. Hiervoor wordt dan softwarematig gecompenseerd. Het grote voordeel hiervan is dat de sensor niet of nauwelijks meer handmatig gereinigd hoeft te. Met name op plaatsen die moeilijk te bereiken zijn of waar de sensoren snel vervuilen, zou deze eigenschap van groot nut kunnen zijn. De tests zijn uitgevoerd met een sensor met een maximale meetdiepte van 20 meter, daar de levertijd van een sensor tot 50 meter diepte 10-15 weken

was.

Veldtest

- Meetgedrag => **Zeer Slecht**

De gemeten datareeks van de Partech vertoonde de slechtste correlatie met het gemiddelde van de vijf systemen. De spreiding van de Partech meetpunten rond het gemiddelde was 2,03 maal breder dan spreiding van de Geveke. Daarnaast werden aanwijzingen gevonden dat de resolutie bij lage troebelheid beperkt is, doordat het uitgangssignaal (4-20 mA) al gediscretiseerd is in aantal niveaus dat grover is dan de discretisatie van de ADC.

- Robuustheid => **Goed**

De sensorpootjes die het meest kwetsbaar van het instrument zijn, worden beschermd door stalen pootjes. Het kunststof huis is goed bestand tegen stoten.

- Aangroeibestendigheid => **Goed**

De Partech werkte geruime tijd naar behoren. Het reinigingssysteem hield de optische delen netjes schoon. Aan het eind echter, is het uitgangssignaal toch naar de maximale waarde gestegen. Het blijkt dat een anemoon zich aan de behuizing tussen de sensorpootjes heeft genesteld en in het optische pad hangt. Hoewel de optische delen zelf brandschoon zijn, wordt de meting toch beïnvloed. Dit effect zal echter bij uitzondering optreden.

- Gebruikersvriendelijkheid => **Zeer goed**

Zeer gebruikersvriendelijk instrument. Het grote display geeft duidelijk aan wat er gebeurt en wat men doet. Het is mogelijk het instrument te bedienen zonder de handleiding te lezen. Engelstalige handleiding.

Labtest

- Lineariteit => **Slecht**

Over het doorgemeten meetbereik tot ruim 1 g/l NanoTek Al_2O_3 was de lineariteit slecht. Maximale afwijking binnen dit bereik was circa 10 %

- Meetbereik => **Zeer goed**

Het opgegeven bereik ligt in de orde van enkele tientallen grammen per liter, maar is lager dan dat van de BTG. Bij gebruik van de maximale schaal start de responsie pas boven 200 mg/l NanoTek Al_2O_3, zodat het noodzakelijk is voor metingen onder deze concentratie over te schakelen op een lager bereik.

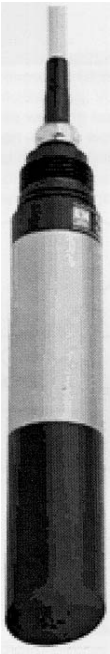
- Opgenomen vermogen => **Slecht**

Het door Partech opgenomen vermogen bedraagt tijdens het meten 14 W en tijdens het reinigen 16W. Dit is meer dan de eis voor het maximale vermogen.

Algemene indruk

De Partech is het grootste instrument van de serie (ongeveer 40cm lang, 12cm diameter). Het unieke van het systeem is de reinigingsmethode. De twee sensorpootjes zijn afdoende beschermd en worden voor reiniging de behuizing ingetrokken. Intern vindt een test plaats ter compensatie van krasjes e.d. Het is mogelijk om het instrument zo in te stellen dat de sensoren alleen voor een meting even uit de behuizing komen, zodat vuil geen kans krijgt om zich aan de optische delen te hechten. Toch zag een anemoon nog kans om de metingen bij Bruinisse te verstoren, door zich te nestellen in het meetvolume tussen bron en detector. Het instrument heeft een zeer groot meetbereik en het meest gebruikersvriendelijke interface. Duidelijke minpunten waren het meetgedrag, de slechte lineariteit en het te hoge opgenomen vermogen.

3.4 Endress + Hauser



Kenmerken
De Endress+Hauser troebelheidsmeter meet verstrooid licht van twee bronnen onder een aantal verschillende verstrooingshoeken. Het systeem is deels uit roestvrij staal, deels uit kunststof vervaardigd. Het instrument is voorzien van een wisser.

Fabrieksspecificaties

Fabrikant	Endress + Hauser (UK)
Leverancier	Endress + Hauser (NL)
Type Sensor	CUS 4 - W9
Type Control-unit	Mycom Turbi CUM 151 - R01
Meetprincipe	verstrooidlicht intensiteit
Aangroeicompensatie	Software- + Hardwarematig
Maximaal meetbereik	100 g/l (SiO_2)
Maximale meetdiepte	50 meter
Opgenomen vermogen	Maximaal 12 W
Uitgang	2 x 0/4-20 mA, Trb.&Temp., max. 600 Ohm
Prijs	ƒ 9.362,40 incl. BTW

Opmerkingen n.a.v. de specificaties

De CUS-4 sensor is een robuuste sensor die qua meetprincipe vergelijkbaar is met de Geveke ,(4-straals meetprincipe voor verstrooidlicht), met dien verstande dat zij uitgevoerd is met een mechanische wisser, waardoor dichtslibben van de sensor wordt voorkomen. Een bijkomend voordeel is dat Endress + Hauser zelf zowel ontwikkeling, produktie en verkoop in de hand heeft, zodat de ondersteuning optimaal kan zijn. De sensor meet naast troebelheid ook temperatuur, kan uitgevoerd worden met een RS232 uitgang en is tevens verkrijgbaar in een 24 Volts uitvoering.

Veldtest

- Meetgedrag => **Goed**

De gemeten datareeks van het systeem correleerde goed met de gemiddelde van de vijf systemen. De spreiding van de meetpunten van de E + H troebelheidsmeter rond het gemiddelde was circa 27% breder dan spreiding van de Geveke troebelheidsmeter.

- Robuustheid => **Goed**

Deze meter bestaat deels uit staal en deels uit kunststof. Het enige kwetsbare punt is de wisser, die bij stoten of vallen beschadigd zou kunnen raken. Hierdoor zou de werking van het instrument zelf echter niet verminderd worden, slechts de aangroeibestendigheid.

- Aangroeibestendigheid => **Zeer goed**

Dit instrument geeft het beste resultaat wat de aangroeibestendigheid betreft. De wisser houdt de optische delen schoon terwijl het 4-straals meetprincipe de werking van de sensor zelf continu controleert. Het aanloop probleem waarbij de wisser voor de optische delen tot stilstand komt, is structureel opgelost.

- Gebruikersvriendelijkheid => **Slecht**

Deze unit is niet erg gebruikersvriendelijk. Zonder handleiding is het niet mogelijk meteen te beginnen. Na zorgvuldig lezen en alleen samen met het verkorte programmeerschema kan het instrument bedient worden. De handleiding is echter wel uitgebreid en duidelijk, alsmede Engelstalig. Alvorens de instellingen te veranderen zijn, dient eerst een beveiligingscode ingegeven te worden.

Labtest

- Lineariteit => **Zeer slecht** (veldkalibratie) **of Goed** (fabriekskalibratie)

Over het meetbereik tot het concentraties van 1000 mg/l NanoTek Al_2O_3 leidde de lineariteit van deze troebelheidsmeter tot verwarring. Uiteindelijk bleek dat de E+H troebelheidsmeter twee instellingen heeft, die zeer verschillen in de lineariteit van hun responsie. De zogenaamde veldkalibratie mode heeft een sterk niet-lineaire response, die bij de ander instelling echter gelineariseerd door de standaard fabriekskalibratie.

- Meetbereik => **Goed**

Meetbereik met de fabrieks-kalibratie is enkele grammen per liter. Gevonden werd een bereik van 2 tot 2000 mg/l NanoTek Al_2O_3. Dit bereik voldoet aan de gespecificeerde eisen.

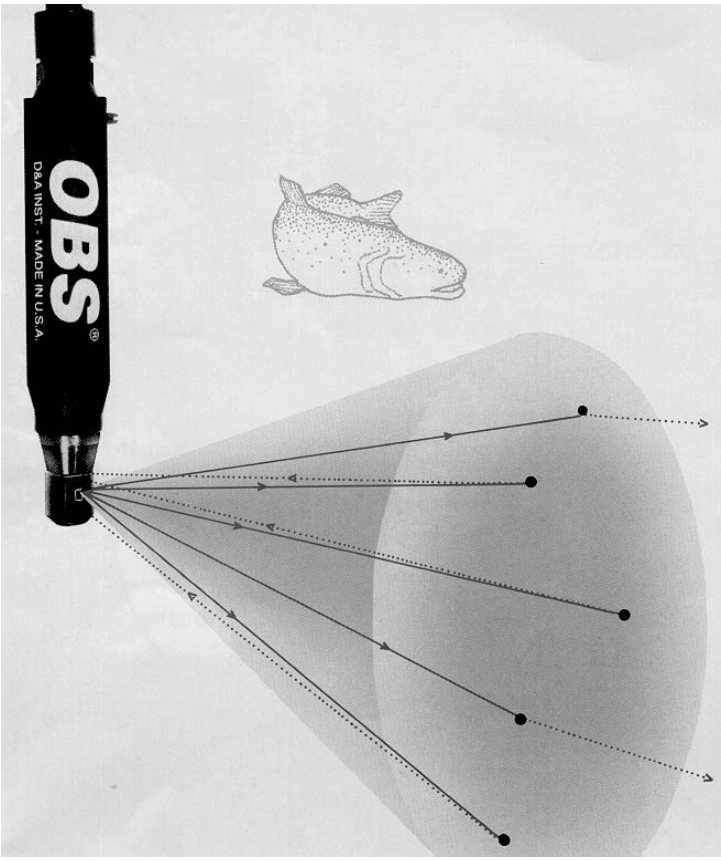
- Opgenomen vermogen => **Goed**

De Endress+Hauser verbruikt bij het meten 6,4 W en bij het reinigen 7,3 W. Dit is binnen de gestelde eis.

Algemene indruk

De Endress+Hauser is voorzien van een dubbele compensatie voor aangroei en veroudering/beschadiging. Het 4-straals meetprincipe compenseert voor krassen, veroudering en in mindere mate vervuiling en de wisser voorkomt aangroei. Dit zorgt er voor dat het instrument gedurende lange perioden inzetbaar is, zonder steeds gereinigd te hoeven worden. Hierdoor is het systeem geschikt voor langere meetcampagnes (tevens vanwege de lage vermogensopname) en toepassingen binnen de WVO. Het systeem heeft ten opzichte van de andere systemen een middelmatig meetbereik, dat echter ruim voldoet aan de gestelde eis. Een minpunt is de matige gebruikersvriendelijkheid. Verder scoort het systeem goed op alle punten, zolang het systeem in de fabriekskalibratie mode gebruikt wordt!

3.5 OBS, D&A Instrument Company



Kenmerken
De D&A OBS-3 meet terugverstrooid licht (backscatter). De sensor is gemaakt van kunststof.

Fabrieksspecificaties

Fabrikant	D&A Instrument Company (USA)
Leverancier	D&A Instrument Company (USA)
Type Sensor	OBS 3
Type Control-unit	Geen, rechtstreeks 4-20 mA uit de sensor
Meetprincipe	terug verstrooidlicht (backscatter)
Aangroeicompensatie	Geen
Maximaal meetbereik	100 g/l (SiO_2, zand)
Maximale meetdiepte	2.000 meter
Opgenomen vermogen	Maximaal 1,1 W
Uitgang	0/4-20 mA, max. 300 Ohm
Prijs	ƒ 6.485,15 incl. BTW & invoerrechten.

Opmerkingen n.a.v. de specificaties

Deze meter is veelvuldig gebruikt o.a. door Directie IJsselmeergebied, waaruit gebleken is dat het gaat om een robuuste meter. De lage stroomopname is een sterk punt van dit systeem. Met name in combinatie met een laagvermogen datalogger is deze sensor zeer efficiënt toe te passen op een meetpaal of andere plaats met beperkte stroomvoorziening. Het nadeel is echter dat er geen enkele vorm van compensatie of bescherming tegen vervuiling aanwezig is.

Veldtest

- Meetgedrag => **Goed**

De gemeten datareeks van het systeem correleerde goed met het gemiddelde van de vijf systemen. De spreiding van de OBS meetpunten rond het gemiddelde was 1,17 maal breder dan spreiding van de Geveke troebelheidsmeter.

- Robuustheid => **Goed**

Hoewel de sensor van kunststof vervaardigd is, is zij toch behoorlijk stevig.

- Aangroeibestendigheid => **Slecht**

Dit verloop was zoals verwacht. Zonder aangroei werkt het instrument goed, naar mate de aangroei toeneemt stijgt de troebelheidswaarde naar zijn maximum.

- Gebruikersvriendelijkheid => **Matig**

De OBS heeft geen uitleesunit, slechts een 4-20mA uitgang. Engelstalige handleiding. De eenvoud van deze sensor kan ook als een voordeel worden beschouwd, als de uitleesunit geen direct praktisch nut heeft in de dagelijkse toepassing.

Labtest

- Lineariteit => **Zeer goed**

Over het onderzochte meetbereik tot 1 g/l NanoTek Al_2O_3 was de lineariteit van de OBS het beste van de onderzochte troebelheidsmeters.

- Meetbereik => **Goed**

De OBS-3 heeft een gemeten meetbereik van 2 tot 1700 mg/l NanoTek Al_2O_3 per liter. Bij hogere concentraties treedt verzadiging op.

- Opgenomen vermogen => **Goed**

De OBS verbruikt 6,2 W. Dit ligt onder het gestelde maximum.

Algemene indruk

De OBS is het eenvoudigste instrument van de geteste systemen. Door de afwezigheid van een bedieningspaneel is voor de installatie technische kennis over aansluitingen tussen de apparatuur en een computer met ADC-kaart van belang. Voor omstandigheden met weinig biologische activiteit is de OBS troebelheidsmeter een functioneel systeem met goede meeteigenschappen. Onder deze omstandigheden kan het systeem vanwege het lage stroomverbruik voor langere perioden worden ingezet. Het optische systeem heeft geen enkele vorm van compensatie of bescherming tegen veroudering of aangroei. Het systeem is door de backscatter optiek relatief wat gevoeliger voor de slibfractie in zwevend stof (kleine deeltjes).

3.6 Overzichtschema resultaten

	BTG	Geveke	Partech	E + H	OBS
Meetgedrag	-	++	--	+	+
Robuustheid	--	++	+	+	+
Aangroeibestendig	- 2)	-	+	++	-
Gebruiksvriendelijk	+/-	+/-	++	-	+/- 3)
Lineariteit	--	-	-	+ !! 1)	++
Meetbereik	++	+	++	+	+
Verbruik	-	-	-	+	+
Totaal	-----	++	++	++++++	+++++

zeer goed = ++, goed = +, matig = +/-, slecht = -, zeer slecht = --

1) de E+H heeft twee instellingen die zeer verschillen in de lineariteit van de responsie. De veldkalibratie mode heeft een sterk niet-lineaire response. De standaard fabriekskalibratie mode is echter wel lineair. De beoordeling is gebaseerd op de instelling met fabriekskalibratie. Dit betekent dat in de praktijk de instelling voor veldkalibratie niet moet worden gebruikt.
2) zie pag 9
3) geen aansturingsunit voor de sensor

In dit overzicht is een totaal bepaald uit de som van de plussen en minnen, waarbij aan alle onderdelen evenveel gewicht is toegekend. Het totaal van de E+H (Endress + Hauser) is het hoogst. De OBS komt nu op de tweede plaats voornamelijk op grond van zijn goede meeteigenschappen en lage stroomverbruik.

Beschouwing resultaten
Bij de nummer één E+ H is de score netjes verdeeld over alle punten, met uitzondering van de matige gebruikersvriendelijkheid. Ook bij de OBS de nummer twee zijn de plussen en minnen evenwichtig verdeeld. Voor dit systeem is de aangroeigevoeligheid het zwakste punt. Kijken we naar de Partech dan worden zeer goede resultaten afgewisseld met slechte resultaten. Bij de Geveke valt op dat de lineariteit van het systeem slecht is, ondanks dat het zeer goede meetgedrag ten opzichte van de andere systemen bij de veldtest in Maassluis. Dit wijst erop dat de troebelheden, die zijn gemeten in de Nieuwe Waterweg beduidend lager waren dan de troebelheden bij hoge concentratie in het laboratorium. De BTG heeft een zeer groot meetbereik, maar schiet tekort op bijna alle andere punten.

4 Aanbeveling

4.1 Meten met kans op aangroei

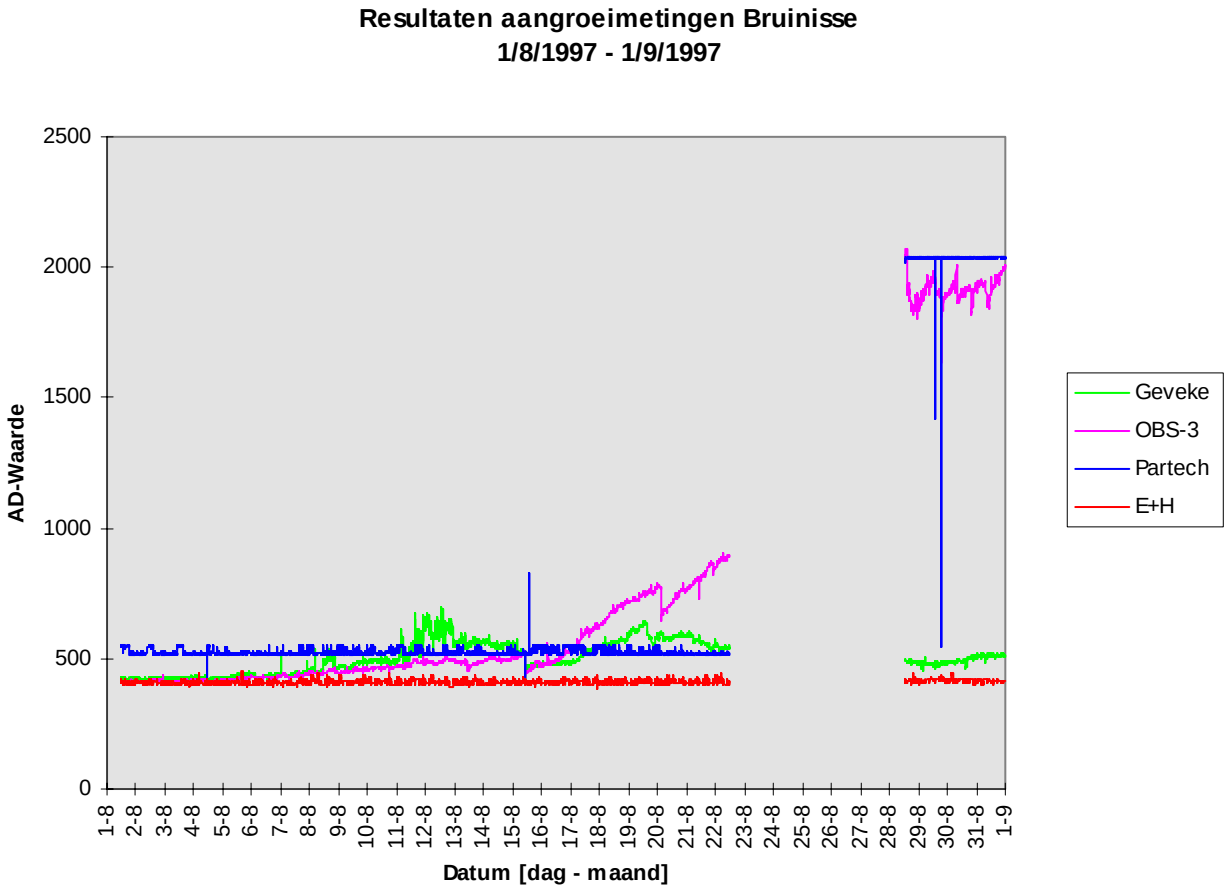
Voor langdurige metingen op vaste locatie in gebieden waar biologische aangroei een groot probleem is spreken wij de voorkeur uit voor de Endress + Hauser CUS-4W troebelheidsmeter met wisseroptie. De meetresultaten waren goed met het systeem in de fabrieksgekalibreerde instelling. Dit systeem heeft in het veld heel weinig onderhoud nodig, zelfs in biologisch actieve periodes van het jaar. Daarnaast verbruikt deze robuust gebouwde sensor weinig stroom. Het 4-straals meetprincipe zorgde voor enige compensatie van verouderingseffecten lamp en sensor. Dit pakket aan goede eigenschappen maken deze troebelheidsmeter ook zeer geschikt voor metingen in het kader van de WVO.

Het grootste minpunt, de gebruikersvriendelijkheid van de uitleesunit, zou eventueel in het kader van opname in het LIB opgelost kunnen worden met behulp van verkorte schema's, goede handleidingen en gedegen opleidingen.

4.2 Meten met weinig kans op aangroei

Als het schoonhouden van de sensor niet kritisch is bij het dagelijks gebruik vormt de OBS een robuust goedkoper alternatief voor de Endress + Hauser. De meetprestatie van deze sensor is zelfs beter dan de Endress + Hauser. Het systeem is een éénvoudige kale sensor, die zeer weinig stroom gebruikt.

Meetresultaten Bruinisse

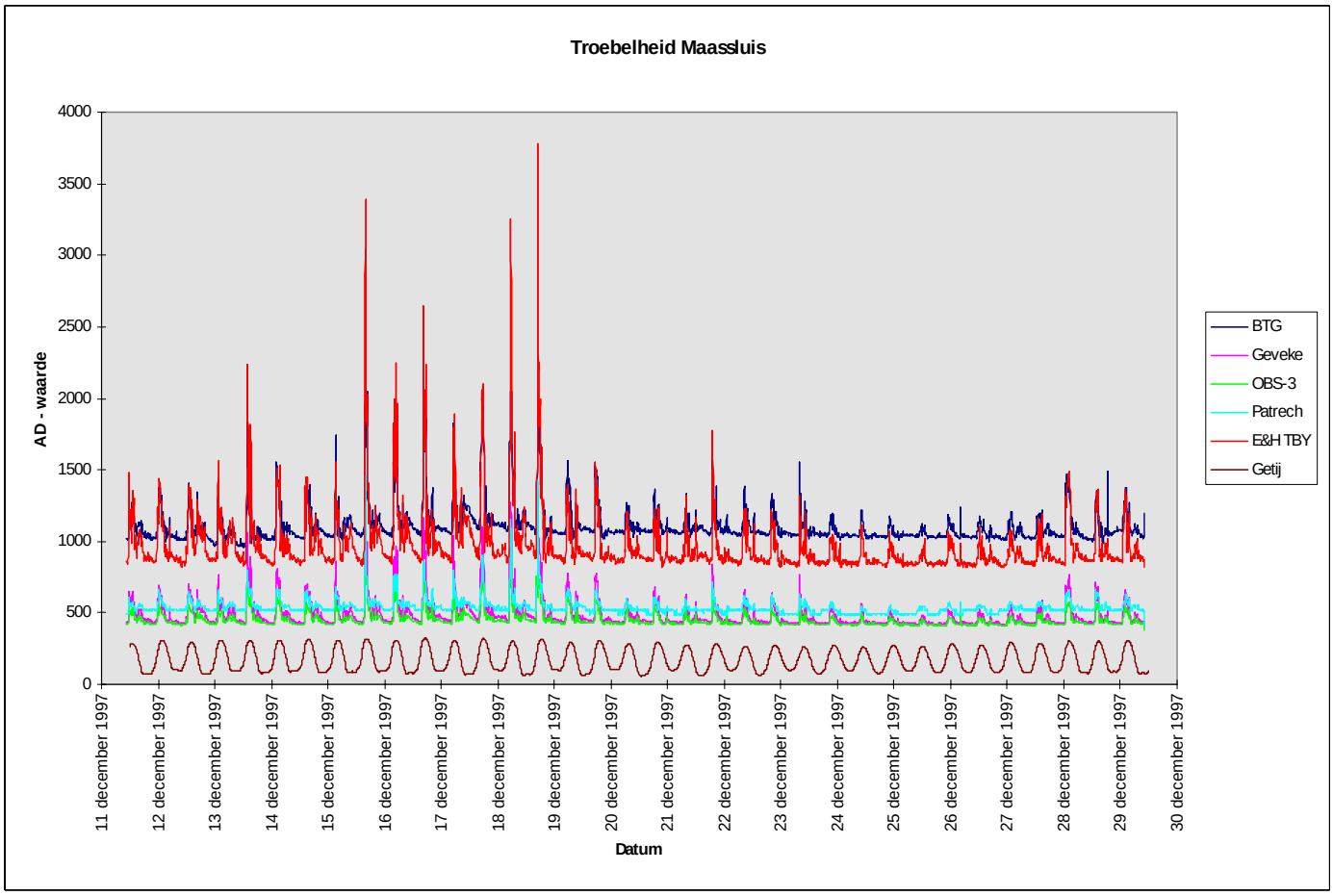


- In het bovenstaande figuur zijn de ruwe signalen weergegeven van de veldtest in Bruinisse. De test vond plaats in de zomer in helder water met veel biologisch activiteit.
- Wat opvalt is dat er over de periode van 23-8 tot 28-8 geen metingen zijn door het wegvallen van de communicatie in die periode.
- Over de hele periode, waarin de systemen op deze locatie hebben gehangen, is de troebelheid laag en constant geweest. Dit is af te leiden uit de signalen van het enige systeem (E+H) waarvan de sensor vrij van aangroei bleef gedurende de hele maand.
- De eerste drie weken heeft ook de partech geen last gehad van aangroei, daarna had een anomoon zich gevestigd tussen bron en detector. De overgang tussen beide situaties ligt precies in de periode, waarvan geen metingen beschikbaar zijn.
- Bij OBS en de Geveke heeft is het signaal na een week zodanig beinvloed door aangroei dat reiniging noodzakelijk is. De systemen waren aan het einde van de test dichtgegroeid. Dit valt echter niet af te leiden uit de hoogte van geleverde signalen.
- De BTG heeft niet gefunctioneerd tijdens deze test, maar visuele inspectie van de aangroei wijst erop dat de aabgroei vergelijkbaar was met dat van

de OBS en de Geveke onder deze omstandigheden. Het systeem was compleet dichtgegroeid aan het einde van de meetperiode.

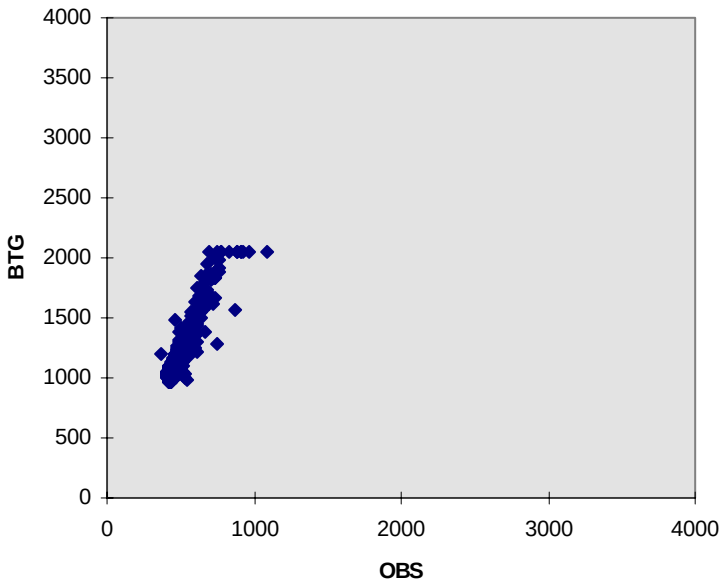
- Daar alle systemen in het infrarood werken is er zoals verwacht bij geen van de meetsystemen enige invloed van de dagnacht cyclus geconstateerd. Zonlicht heeft dus geen invloed op de prestaties van de meetsystemen.

Meetresultaten Maassluis

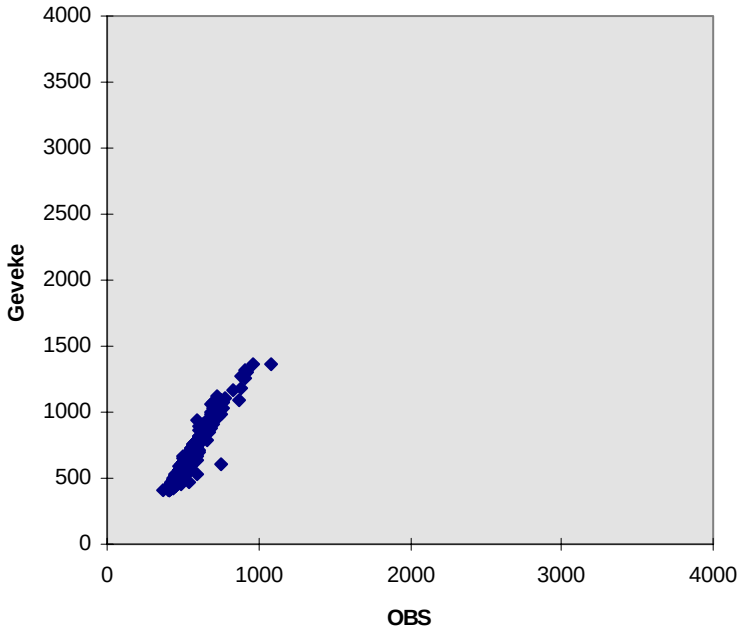


- In de bovenstaande plot staat de ruwe data van de veldtest in Maasluis. Deze test vond plaats gedurende drie weken in de winter. Daarnaast is ook een indicatie van de waterstand gedurende de testperiode in de figuur weergegeven.
- De meetsystemen vertonen over de hele periode een sterke correlatie met elkaar.
- Er is ook een mooie correlatie zichtbaar tussen de troebelheid en de getijcyclus.
- Op de volgende pagina's (23, 24) is de correlatie tussen meetsystemen zichtbaar gemaakt, door middel van de scatterplots van de sensoren onderling.
- Daarna op pagina 25 worden de signalen als functie van de tijd uitgedrukt in de waarde van de Nanotek kalibratie waardoor ze onderling vergeleken kunnen worden.
- Op pagina 25 staat ook de laatste plot van de metingen in Maassluis. Daarin is de gemiddelde troebelheid uitgedrukt in de Nanotek kalibratie standaard. Voor de onderlinge vergelijking heeft deze gemiddelde troebelheid als referentie gediend.

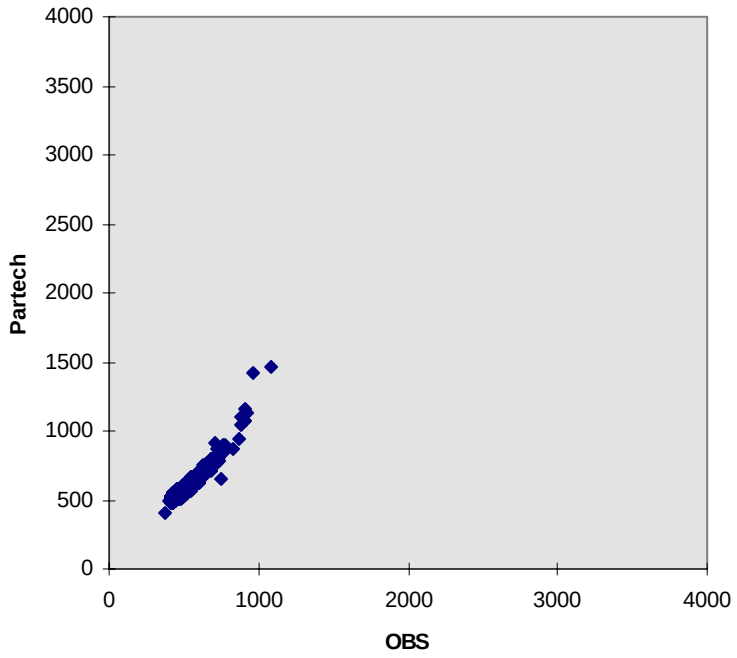
Scatterplot OBS versus BTG



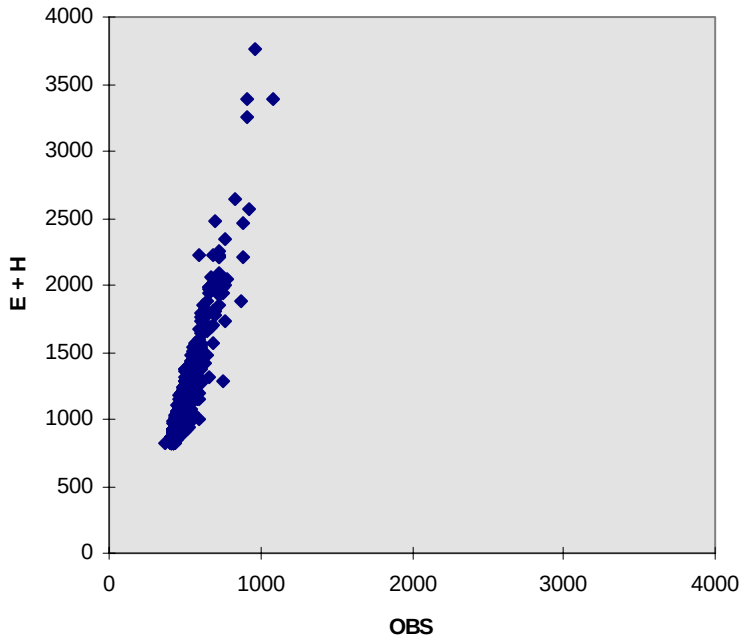
Scatterplot OBS versus Geveke

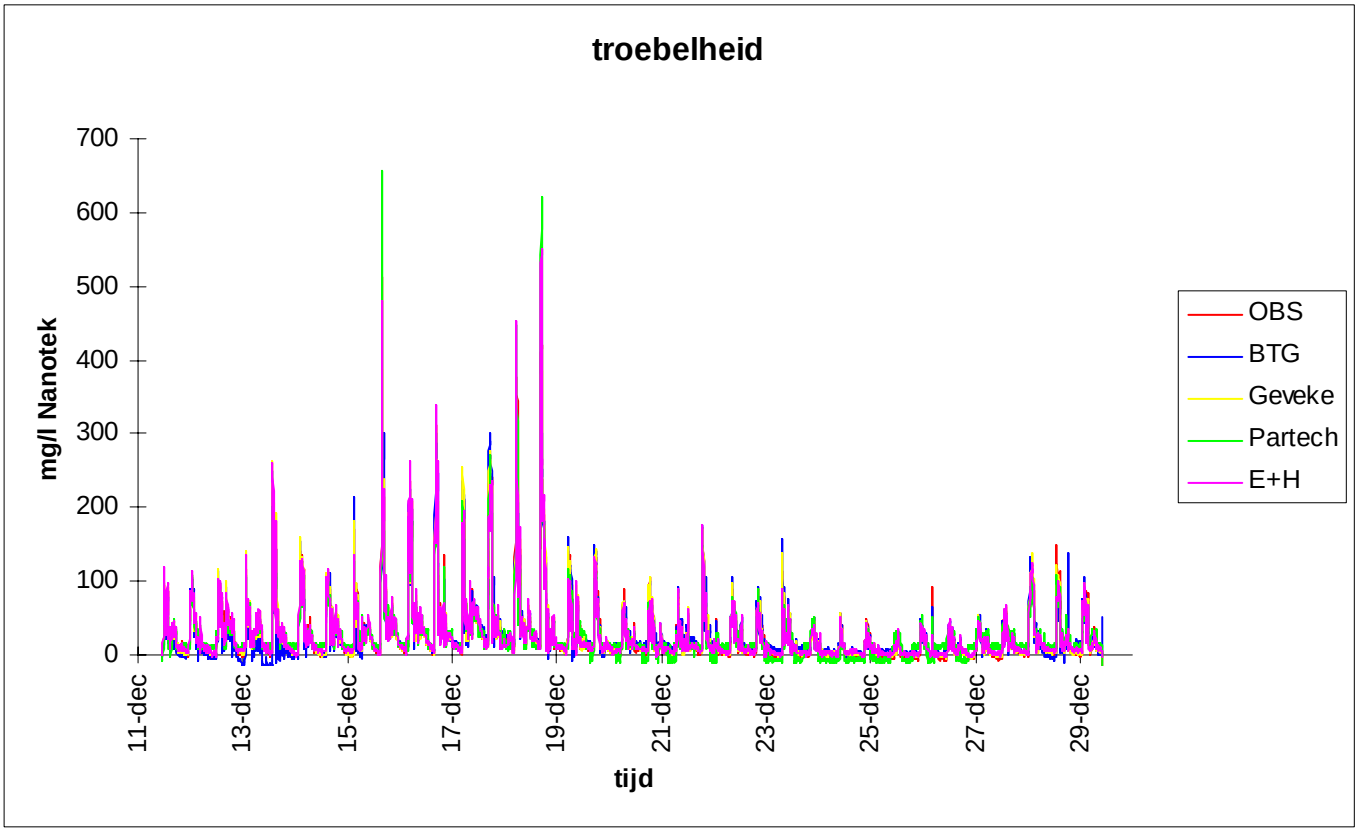


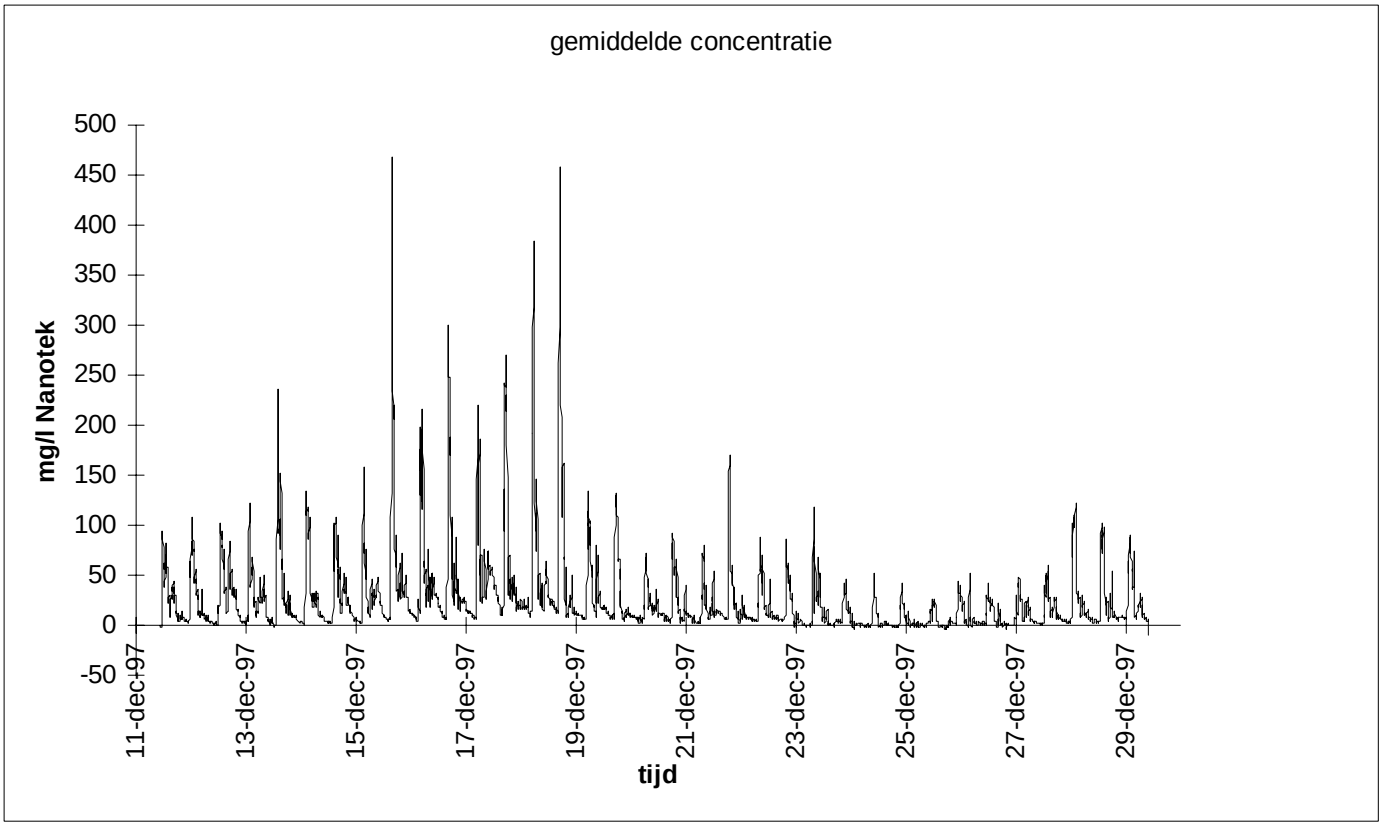
Scatterplot OBS versus Partech



Scatterplot OBS versus E + H

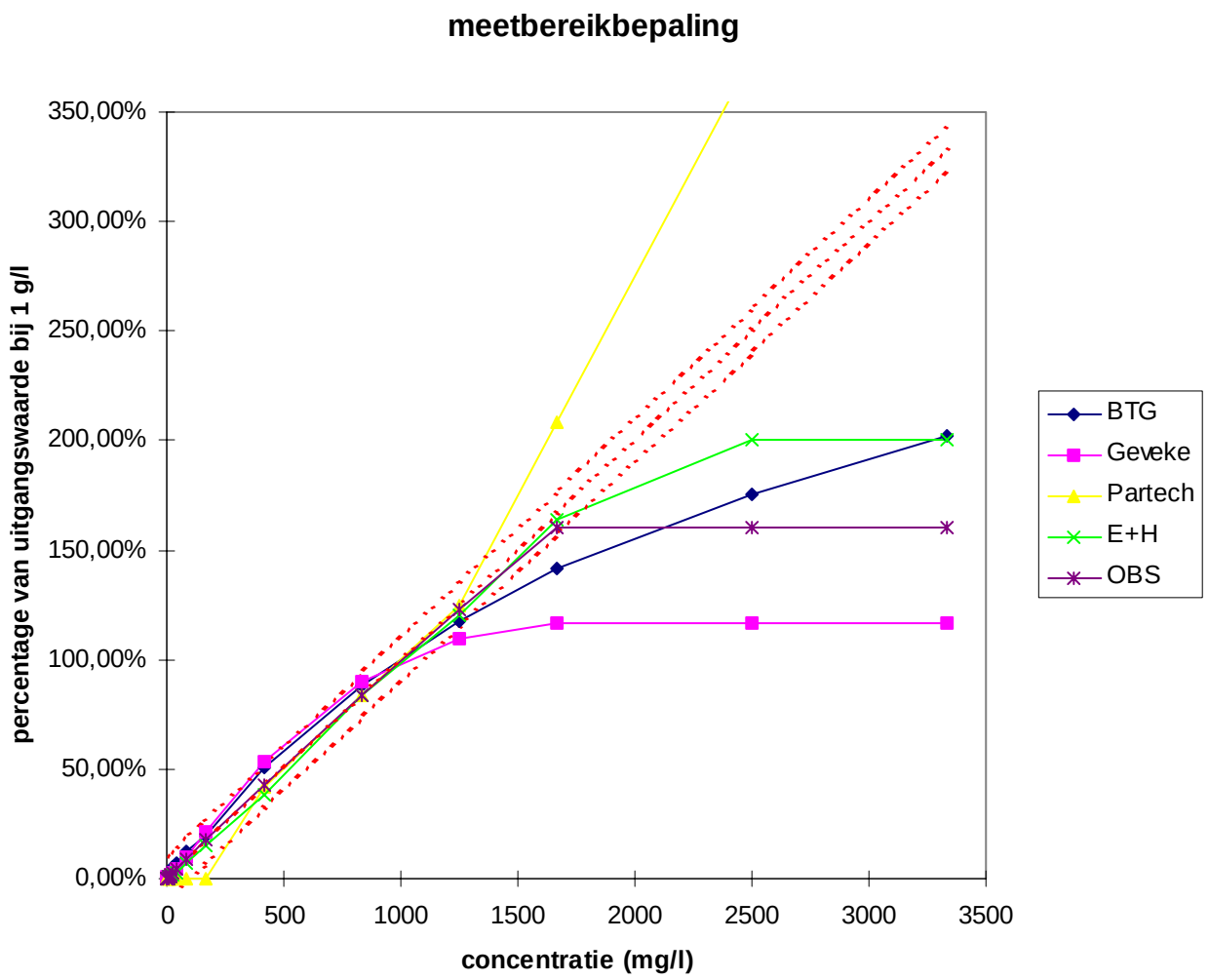



troebelheid
mg/l Nanotek
700
600
500
400
300
200
100
0
11-dec
13-dec
15-dec
17-dec
19-dec
21-dec
23-dec
25-dec
27-dec
29-dec
tijd
OBS
BTG
Geveke
Partech
E+H

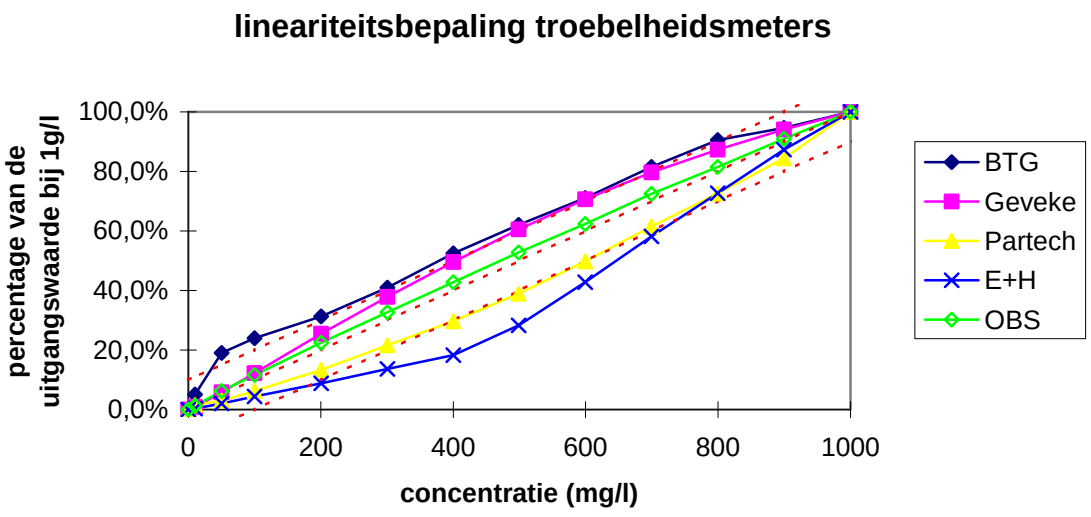

gemiddelde concentratie
mg/l Nanotek
500
450
400
350
300
250
200
150
100
50
0
-50
11-dec-97
13-dec-97
15-dec-97
17-dec-97
19-dec-97
21-dec-97
23-dec-97
25-dec-97
27-dec-97
29-dec-97
tijd

Meetresultaten Laboratorium tests

Meetbereik



- In deze plot is weergegeven het resultaat van de laboratorium test voor de bepaling van het meetbereik. Verticaal staat de sensor waarde. Horizontaal staat de aangeboden concentratie Nanotek poeder.
- Voor elke sensor is het signaal bij helder water gelijk aan 0% en bij 1g/l Nanotek poeder gelijk aan 100% gesteld. De middelste stippel lijn geeft het ideale lineaire verloop weer. de andere twee stippellijnen de grenzen van 10% afwijking ten opzichte van het ideale verloop.
- Dezelfde opzet is gebruikt in de plot van de lineariteitstest op de volgende pagina.



lineariteit

	BTG	*Geveke*	*Partech*	*E+H*	*OBS*
variantie	0,01036991	0,00445957	0,00478136	0,01435377	0,00036761
afwijking	8,98%	5,24%	-5,63%	-9,16%	1,62%
produkt	0,00093118	0,00023374	0,00026941	0,00131457	$5{,}9671^{E}$-06
oordeel	zeer slecht	slecht	slecht	zeer slecht	goed

- In de bovenstaande tabel is de variantie bepaald ten opzichte van de ideale lijn, de middelste gestippelde lijn in de bovenstaande grafiek.
- De afwijking is de gemiddelde afwijking van de meetpunten tenopzichte van deze ideale lijn.
- Het produkt is in dit geval absolute waarde van variantie maal afwijking
- De E+H stond bij deze test in de instelling voor veldkalibraties en scoorde slecht door de sterke niet-lineaire respons. Echter voor de uiteindelijke beoordeling van dit systeem hebben we gebruik gemaakt van de resultaten van de test voor de bepaling van het meetbereik, want het systeem stond daar in de lineaire gekalibreerde fabrieksinstelling.