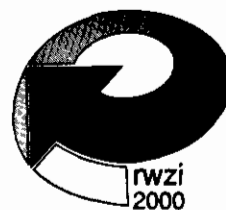
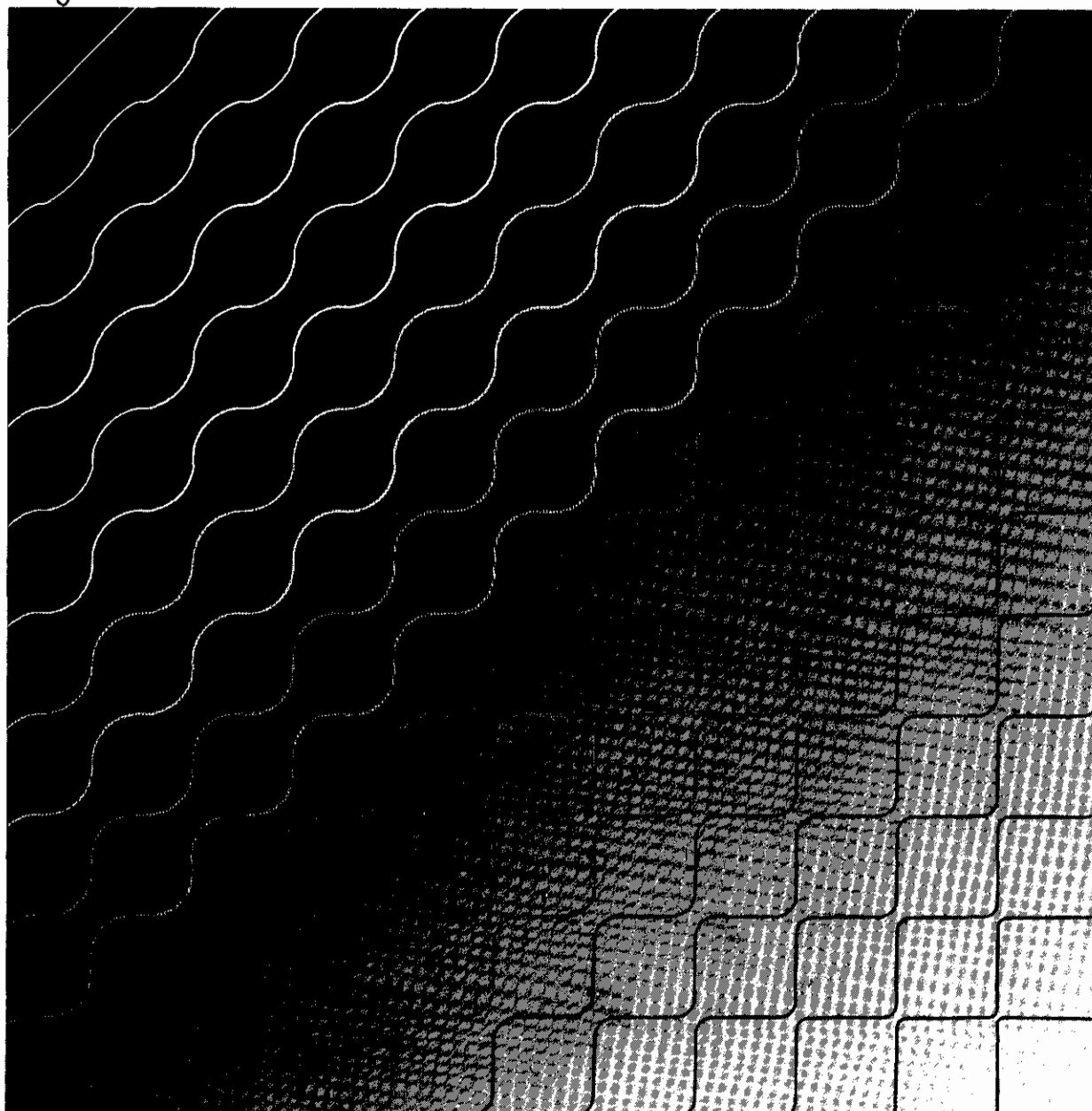


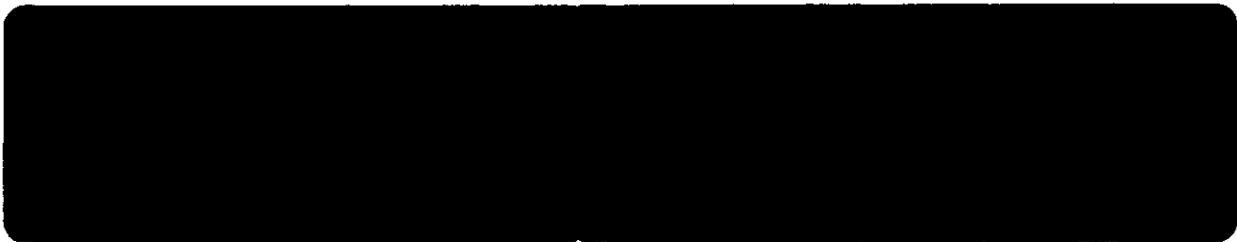
31085.91-04W

ig e
e rioolwater -
zuiv eringsinrichtingen



Rg1-04W





RIZA

rijkswaterstaat
rijksinstituut voor integraal zoetwaterbeheer
en afvalwaterbehandeling

postbus 17, 8200 AA IJlstad 03200-70411

stora

stichting toegepast onderzoek
reiniging afvalwater

postbus 80200, 2508 GE den haag 070-3512710

RWZI 2000, 91-04W

INVENTARISATIE SLIBGEHALTEMETERS VOOR RWZI'S.

Werkdocument RWZI 2000 91-04W

BIBLIOTHEEK "DE HAAFF"
Droevendaalsesteeg 3a
6708 PB Wageningen

STOWA
Stichting Toegepast Onderzoek Waterbeheer
Postbus 8090
3503 RB Utrecht
tel. 030-321199
fax 030-321766

Publikaties en het publikatieoverzicht
kunt u uitsluitend bestellen bij:
Hageman Verpakkers BV
Postbus 281
2700 AC Zoetermeer
tel. 079-611188
fax 079-613927
o.v.v. ISBN- of bestelnummer en
een duidelijk afleveradres.

Maart 1991

dr.ir. D.Nijveldt (WL)



0000 0762 6183

INHOUDSOPGAVE

	blz
VOORWOORD	1
SAMENVATTING	2
1 INLEIDING	3
2 MEETPRINCIPES	4
2.1 Inleiding	4
2.2 Transmissiemeting	4
2.3 Verstrooiingsmeting	6
2.4 Combinatie van transmissie- en verstrooiingsmeting	8
2.5 Invloed van vloeistof- en deeltjeseigenschappen	10
2.6 Concluderende opmerkingen voor transmissie- en/of verstrooiingsmeting	12
3 COMMERCIEEL VERKRIJGBARE MEETAPPARATUUR	13
3.1 Inleiding	13
3.2 Overzicht	13
4 PRAKTIJKERVERARING	17
4.1 Inleiding	17
4.2 Problemen met gebruikte meetapparatuur	18
4.3 Gebruikerswensen	19
5 EVALUATIE	21
5.1 Inleiding	21
5.2 Optische transmissie	21
5.3 Optische verstrooiing	21
5.4 Combinatie van optische transmissie en verstrooiing	22
5.5 Akoestische transmissie	22
5.6 Akoestische verstrooiing	22
5.7 Combinatie van akoestische transmissie en verstrooiing	23
5.8 Nucleaire transmissie	23
5.9 Trillingsfrequentie	24
5.10 Concluderende opmerkingen	24

6	AANBEVELINGEN	25
6.1	Inleiding	25
6.2	Beluchtingsbassin en retourslibleiding ($1-10 \text{ g l}^{-1}$)	26
6.3	Slibverwerking ($20-80 \text{ g l}^{-1}$)	26
	SYMBOLENLIJST	27
	LITERATUUR	29
	BIJLAGEN	30
I	INSTRUMENTEN EN LEVERANCIERS	30
II	OPTISCHE MEETAPPARATUUR; TRANSMISSIEMETINGEN	31
II.a	BTG: MEX-3 signaalverwerkingseenheid en RD-10/5 sensor	31
II.b	BTG: MEX-3 signaalverwerkingseenheid en RD-20/10 sensor	34
II.c	Monitek 52 LE	35
II.d	Partech SDM 16 (en Turbi-Tech 10) sensor met 7000M verwerkingseenheid	37
II.e	Sigrist K5ASJ	39
III	OPTISCHE MEETAPPARATUUR; VERSTROOIINGSMETINGEN	41
III.a	BTG: SMS-3000 signaalverwerkingseenheid en HC-100 sensor	41
III.b	Dr Lange slibconcentratiesensor PS1	43
III.c	Hach Surface Scatter 6 turbidimeter	44
IV	OPTISCHE MEETAPPARATUUR; TRANSMISSIE- EN VERSTROOIINGSMETINGEN	47
IV.a	Monitek 52 H	47
V	AKOESTISCHE MEETAPPARATUUR; TRANSMISSIEMETINGEN	49
V.a	Bestobell-Mobrey: MSM40 verwerkingseenheid en 433S of 448S sensor	49
V.b	Krohne USS11 verwerkingseenheid met US12 sensor	51
V.c	Nishihara NU-Sludge Density Meter	53
VI	NUCLEAIRE MEETAPPARATUUR; TRANSMISSIEMETINGEN	55
VI.a	Kay-Ray Density Measurement System	55
VI.b	Endress en Hauser	57

VII	MECHANISCHE MEETAPPARATUUR; TRILLINGSFREQUENTIE	59
VII.a	Endress en Hauser: m-point massa flowmeter	59
VII.b	Micro Motion: Density Monitoring System	59
VII.c	Sarasota: Liquid Density Meter	59
VIII	MECHANISCHE MEETAPPARATUUR; FRICTIE	61
VIII.a	BTG: MEK2020	61

VOORWOORD

In het kader van het onderzoekprogramma "Toekomstige generatie rioolwater-zuiveringsinrichtingen " (RWZI 2000) van RIZA en STORA is door het Waterloopkundig Laboratorium geïnventariseerd welke meetmethoden beschikbaar zijn voor het on-line meten van slibgehalten op rwzi's.

Een goede beheersing van het slibgehalte in de beluchtingsruimte van een rwzi is noodzakelijk voor een goede procesvoering. Automatische meting en regeling van het slibgehalte kan leiden tot een stabiel proces, een groter bedieningsgemak en tot mogelijke besparing op energie, bediening- en analysekosten.

De inventarisatie geeft een goed overzicht van de meetinstrumenten, zowel die momenteel op de markt zijn als de potentieel toepasbare apparatuur. Voor elk meetprincipe zijn de belangrijkste kenmerken genoemd. Tevens is aangegeven welke verbeteringen de toepassingsmogelijkheden nog zouden verhogen.

Aangezien de inventarisatie niet direct geleid heeft tot nieuwe onderzoeksvelden zal vooralsnog geen aansluitend vervolgonderzoek worden geïnitieerd.

De begeleidingscommissie bestond uit ir. C. van Beersum (voorzitter), ir. H.L. Dorussen, ir. P.C. Stamperius, ir. W. van Starckenburg en ir. W.G. Werumeus Buning.

Lelystad, maart 1991

ir. W. van Starckenburg
(projectleider RWZI 2000)

SAMENVATTING

Binnen het kader van het project RWZI-2000 is door het Waterloopkundig Laboratorium/WL een inventarisatie uitgevoerd voor het on-line meten van slibgehaltenes in rioolwaterzuiveringsinrichtingen. De inventarisatie beslaat de meetbereiken met "lage" waarden voor beluchtingstanks van 1-6 en retourslibleidingen van 2-10 gram per liter tot de "hoge" waarden in de slibverwerkingsfase van 20-80 gram per liter.

De inventarisatie betreft de op de Nederlandse markt verkrijgbare meetinstrumenten en de praktijkervaring die bij de rioolwaterzuiveringsinrichtingen is opgedaan. Aan de hand van de inventarisatie onder de gebruikers is een aantal richtlijnen geformuleerd waaraan de betreffende meter moet voldoen.

Als mogelijke meetprincipes ter bepaling van het slibgehalte komen in aanmerking: de verstrooiing/absorptie van straling in het medium en de reactie van het medium op mechanische beïnvloeding. Op grond van de meetprincipes kunnen geen principiële uitspraken gedaan worden over de toepasbaarheid. Dit komt omdat de gehanteerde fysische modellen slechts in benadering gelden òf doordat een of meer essentiële parameters niet uit de praktijk bekend zijn. Aanbevolen wordt daarom enkele meetmethoden experimenteel te vergelijken door middel van metingen aan zuiveringsslib onder laboratorium-omstandigheden. Hiervoor komen in aanmerking: een optische, een akoestische en een mechanische methode. Daarnaast worden mogelijkheden aangegeven ter verbetering van de optische en de akoestische methode. Indien uit principeproeven blijkt dat deze mogelijkheden met succes kunnen worden toegepast, dienen de betreffende opstellingen, naast de meestbelovende commercieel verkrijgbare instrumenten, betrokken te worden bij de experimentele vergelijking.

De experimentele evaluatie kan vervolgens onder praktijkomstandigheden worden afgerond.

1 INLEIDING

Binnen het project RWZI-2000 is door de sectie Ontwikkeling Meetmethoden van het Waterloopkundig Laboratorium/WL een inventarisatie uitgevoerd voor het meten van slibconcentraties in rioolwaterzuiveringsinrichtingen.

Doel van deze inventarisatie is het uitbrengen van een advies welke meetmethode of welk meetinstrument, het meest geschikt is voor toepassing in waterzuiveringen. Het betreft on-line meting van de concentratie gesuspendeerde vastestof in afvalwater [kortweg: (massa-)concentratie] voor het gebied tussen de 1 en 100 gram per liter.

Hoofdstuk 2 behandelt naast het principe, de voor- en nadelen van de verschillende methodes.

In hoofdstuk 3 volgt een overzicht van de eigenschappen van de commercieel in Nederland verkrijgbare meetinstrumenten.

De praktijkervaring is geïnventariseerd aan de hand van gesprekken met deskundigen van water-zuiveringsschappen en het ingenieursbureau BKH. Hiervoor zijn onder meer drie afvalwaterzuiveringen bezocht waar ervaring is opgedaan met on-line concentratiemeting. De resultaten staan vermeld in hoofdstuk 4.

In hoofdstuk 5 zijn de verschillende meetmethoden geëvalueerd: voor zover van toepassing wordt methodegewijs aangegeven welke verbeteringen van toepassing zijn en welke experimentele verificaties nodig zijn.

Afsluitend presenteert hoofdstuk 6 de aanbevelingen voor een vervolgonderzoek.

2 MEETPRINCIPES

2.1 Inleiding

De meeste instrumenten voor momentane concentratiebepaling zijn gebaseerd op het meten van de door het medium verstrooide en geabsorbeerde straling. Hierbij wordt gebruik gemaakt van nucleaire, elektromagnetische (zoals licht) of akoestische straling.

De algemene vergelijkingen die verstrooiing en absorptie beschrijven zijn onafhankelijk van het type straling. We beperken ons daarom eerst in 2.2 t/m 2.4 tot een globale beschouwing. Bij de behandeling van de invloed van vloeistof- en deeltjeseigenschappen (2.5) en de concluderende opmerkingen (2.6) komen de specifieke eigenschappen van de stralingssoort aan de orde.

Onder verstrooiing verstaan we die verschijnselen waarbij de voortplantingsrichting van de straling verandert, onder absorptie de omzetting van stralingsenergie in een andere vorm van energie. Voor licht, bijvoorbeeld, vallen breking, buiging en reflectie onder verstrooiing; de kleur van het medium kan beschreven worden door absorptie van het complementaire deel van het zichtbare spectrum. Verstrooiing en absorptie dragen bij tot afneming van de intensiteit in de stralingsbundel: verzwakking of extinctie.

Naast meters gebaseerd op deze principes bestaan er instrumenten waarbij de dichtheid van een medium wordt bepaald door de mate waarin het medium een bewegende constructie beïnvloedt. De meetprincipes van deze mechanische apparatuur komen aan de orde bij de beschrijving van de desbetreffende instrumenten in hoofdstuk 3.

2.2 Transmissiemeting

Het principe van de transmissiemeting in suspensies wordt verklaard aan de hand van Fig. 1. De bundelintensiteit zal bij transmissie door een medium afnemen tengevolge van absorptie in de vloeistof en de deeltjes, en tengevolge van verstrooiing aan deeltjes.

De verstrooiing wordt enkelvoudig verondersteld aan onafhankelijke deeltjes, die willekeurig over het beschouwde volume verdeeld zijn. Dit houdt in dat de verstrooiing aan N -deeltjes gelijk is aan N keer de verstrooiing aan één deeltje. Voor een evenwijdige bundel is de intensiteitsverandering $dI(x)$ evenredig

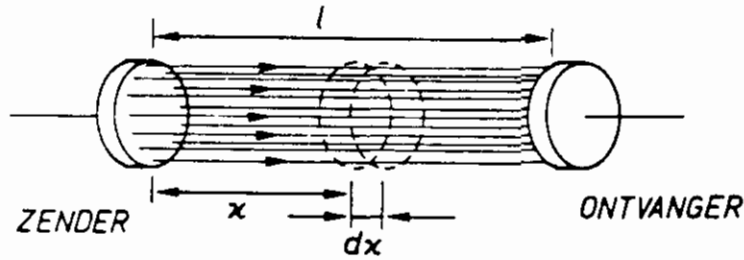


Fig. 1 Geometrie voor transmissiemeting.

met de afgelegde weg dx :

$$dI(x) = -\gamma I(x) dx. \quad \{2.1\}$$

De extinctiecoëfficiënt γ is samengesteld uit de absorptiecoëfficiënt α_v van de vloeistof en de extinctiecoëfficiënt γ_p van de gesuspendeerde deeltjes. Voor de verzwakking door één deeltje wordt de werkzame doorsnede σ_p geïntroduceerd. De energie die uit de doorgaande bundel verwijderd wordt door deeltje p is per definitie gelijk aan de energie die stroomt door het oppervlak σ_p uit de dwarsdoorsnede van de bundel. Voor de extinctiecoëfficiënt γ_p geldt $\gamma_p = n\sigma_p$, waarin n het aantal deeltjes per volume-eenheid is. n is evenredig met de massaconcentratie C_m : $n = C_m / (\rho_p V_p)$ met ρ_p de dichtheid en V_p het volume van de afzonderlijke deeltjes.

Indien het zendsignaal I_0 en het ontvangstsignaal I_T evenredig zijn met de intensiteit van respectievelijk de uitgezonden en de gedetecteerde bundel, volgt uit Vgl. 2.1, voor een weglengte l :

$$I_T = k_t I_0 e^{-\gamma l} \quad \{2.2a\}$$

$$= k_t I_0 e^{-(\alpha_v + n\sigma_p)l} \quad \{2.2b\}$$

$$= k_1 e^{-k_2 C_m}, \quad \{2.2c\}$$

met k_t : constante bepaald door overdrachtsfunctie van de beide transducenten,

$$k_1: k_t I_0 e^{-\alpha_v l},$$

$$k_2: n\sigma_p l / C_m = \sigma_p l / (\rho_p V_p).$$

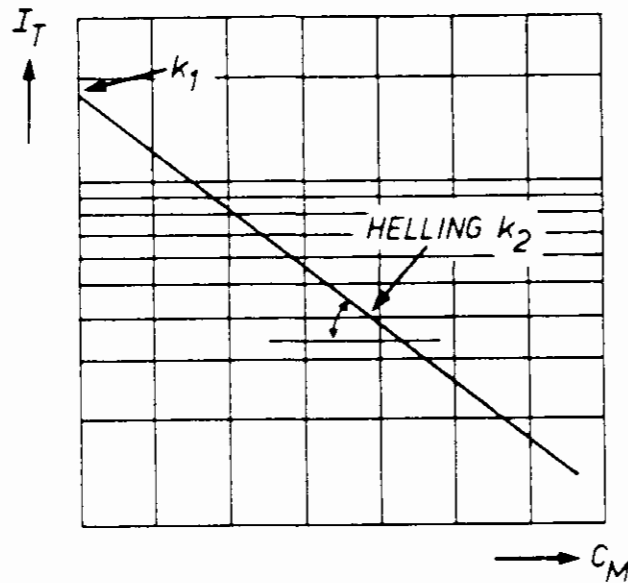


Fig. 2 Ontvangstsignaal I_T als functie van de massaconcentratie C_m voor transmissie-opstelling.

Vergelijking 2.2c geeft, zoals ook is weergegeven in Fig. 2, het lineaire verband weer tussen de massaconcentratie C_m en de logaritme van het ontvangstsignaal I_T . Vergelijking 2.2c staat bekend als de Wet van Beer.

2.3 Verstrooiingsmeting

De opstelling voor verstrooiing is gegeven in Fig. 3. De intensiteit die door een deeltje onder een bepaalde hoek wordt verstrooid is gelijk aan k_s maal de intensiteit van de invallende bundel. k_s is een constante voor verstrooiing die niet alleen bepaald wordt door de strooihoek ϕ maar tevens door deeltjes- en stralingseigenschappen. Bovendien zal in het algemeen het golffront van de verstrooide straling niet vlak zijn. Hierdoor neemt de verstrooide intensiteit af als functie van de afstand x tot de verstrooier: k_s is evenredig met x^{-N} waarbij $N \leq 2$ ($N=2$ voor een bolvormig golffront).

Over de weglengte ℓ , van zender via verstrooier naar ontvanger, treedt extinctie op. Onder de in 2.2 genoemde voorwaarden geldt voor het gedetecteerde

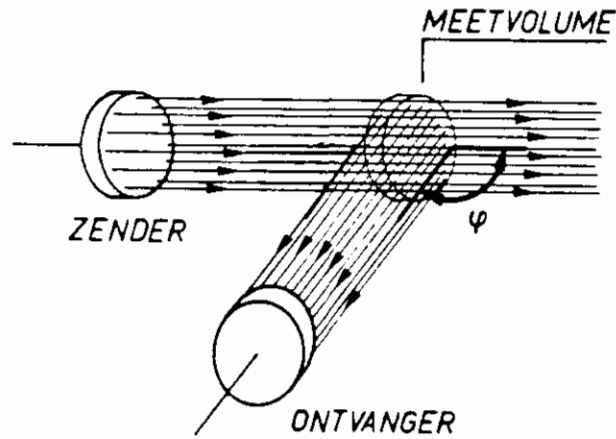


Fig. 3 Geometrie voor verstrooiingsmeting.

signaal:

$$I_s = N_s k_s k_l e^{-k_2 C_m} \quad \{2.3a\}$$

$$= \frac{V_s C_m}{\rho_p V_p} k_s k_l e^{-k_2 C_m} \quad \{2.3b\}$$

$$= k_3 C_m e^{-k_2 C_m}, \quad \{2.3c\}$$

met N_s : aantal verstrooiers in het meetvolume van verstrooiing,
 V_s : meetvolume van verstrooiing,
 k_s : constante voor verstrooiing; functie van strooihoek, afstand
 waarover verstrooiing wordt waargenomen en deeltjes en stralings-
 eigenschappen,

$$k_3 = V_s k_s k_l / (\rho_p V_p) = I_o k_t k_s V_s e^{-\alpha_v l} / (\rho_p V_p).$$

Het verband tussen het ontvangstsignaal I_s en de massaconcentratie C_m is weer-
 gegeven in Fig. 4.

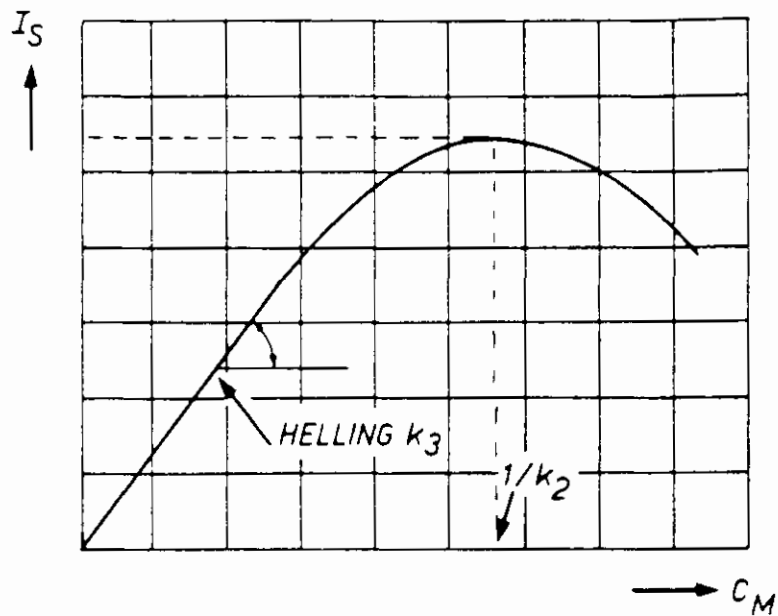


Fig. 4 Ontvangstsignaal I_S als functie van de massaconcentratie C_m voor verstrooiingsopstelling.

2.4 Combinatie van transmissie- en verstrooiingsmeting

Een combinatie van de in 2.2 en 2.3 besproken methodes van transmissie en verstrooiing is gepresenteerd in Fig. 5.

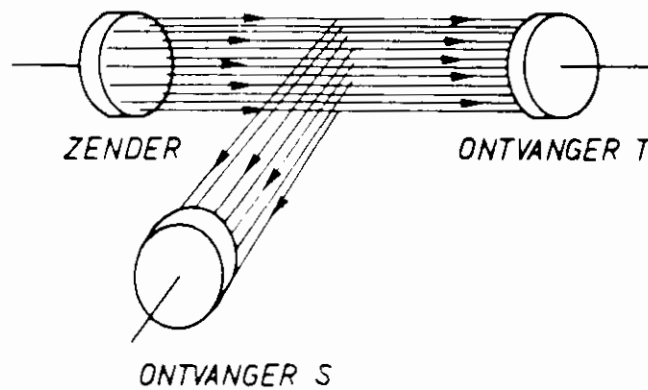


Fig. 5 Geometrie voor een gecombineerde transmissie- en verstrooiingsmeting.

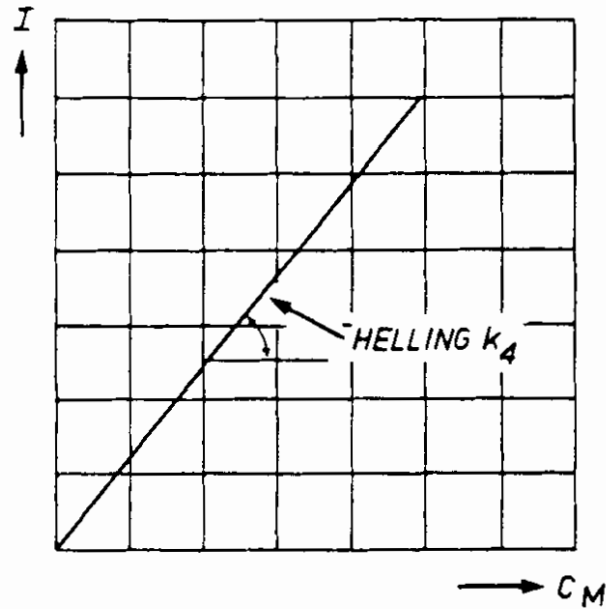


Fig. 6 Detectiesignaal I als functie van de massaconcentratie C_m voor een gecombineerde transmissie- en verstrooiingsopstelling.

Indien de weglengtes voor transmissie en verstrooiing gelijk zijn, de beide ontvangers identiek zijn, en de concentratie homogeen verdeeld is, bestaat er het volgende lineaire verband tussen het quotiënt van de beide ontvangstsignalen en de massaconcentratie:

$$I = \frac{I_s}{I_T} = k_4 C_m, \quad \{2.4\}$$

met $k_4 = \frac{k_3}{k_1} = V_s k_s / (\rho_p V_p).$

Vergelijking 2.4 is grafisch weergegeven in Fig. 6.

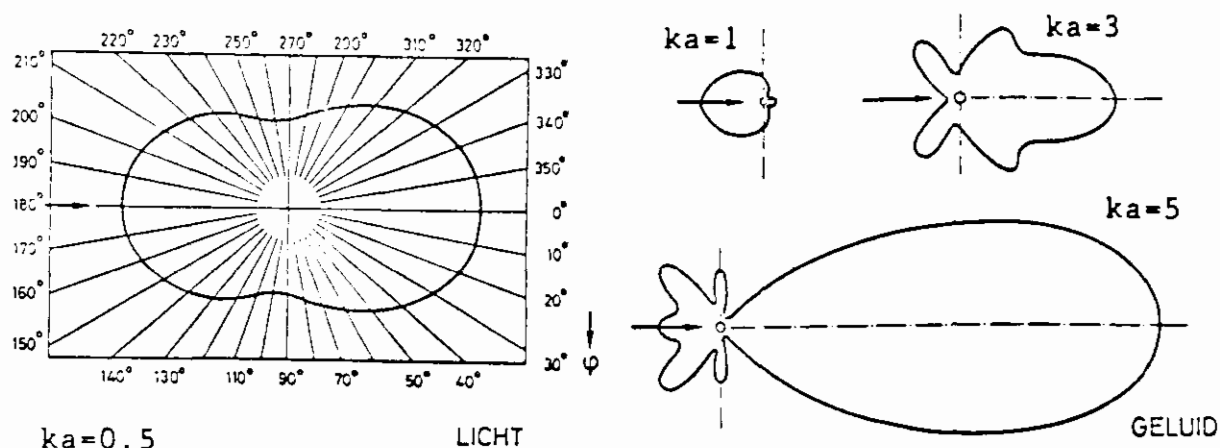


Fig. 7 Strooidiagrammen voor een bolvormige verstrooier bij verschillende verhouding tussen deeltjesgrootte en stralingsgolflengte (Delago 1974, Morse 1968).

2.5 Invloed van vloeistof- en deeltjeseigenschappen

Verstrooiing is onder meer afhankelijk van de relatieve grootte van de verstrooiers; zowel de totale als de onder een bepaalde hoek verstrooide intensiteit is afhankelijk van de verhouding tussen deeltjesgrootte en stralingsgolflengte. Deze hoekafhankelijkheid wordt geïllustreerd aan de hand van de strooidiagrammen uit Fig. 7, waarin, voor bolvormige verstrooiers, de verstrooide intensiteit als functie van de strooihoek gegeven is voor licht- en geluidsgolven. De relatieve grootte van de verstrooier is uitgedrukt in de dimensieloze deeltjesstraal: het produkt van golfgetal k en deeltjesstraal a . Het golfgetal k is gedefinieerd als de reciproke waarde van de stralingsgolflengte: $2\pi/\lambda$. Voor relatief kleine deeltjes ($a \ll \lambda$; $ka \ll 1$) is de hoekafhankelijkheid gering. Voor grote deeltjes ($a \gg \lambda$; $ka \gg 1$) is de intensiteit grotendeels geconcentreerd in het gebied van voorwaartse verstrooiing. In het overgangsgebied ($a \approx \lambda$; $1 < ka < 10$) ontstaat door buiging een sterke richtingsafhankelijkheid voor de verstrooide intensiteit.

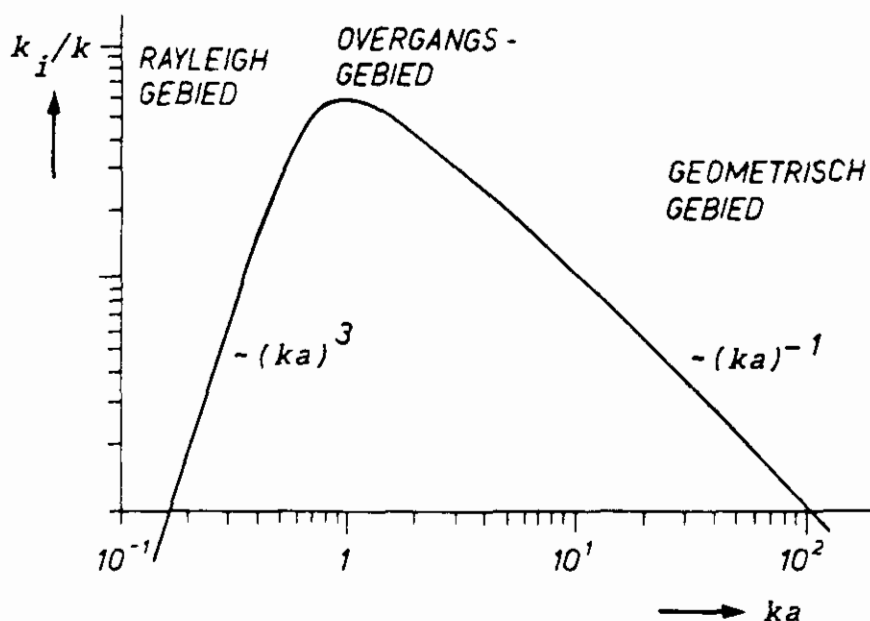


Fig. 8 Dimensieloze parameters k_i/k , $i=2, 3$ en 4 , uit de transmissie- en verstrooiingsvergelijkingen 2.2 t/m 2.4, als functie van de dimensieloze deeltjesstraal ka (Jansen, 1979; Delago, 1974).

Fig. 8 geeft voor bolvormige verstrooiers het kwalitatieve verband weer tussen de dimensieloze parameters k_i/k , uit de vergelijkingen 2.2 t/m 2.4, en ka . Uit het verloop van de curve kan men concluderen dat in het overgangsgebied $ka=1$ het strooisignaal het minst gevoelig is voor variatie in deeltjesgrootte (d.w.z. voor $a=\lambda/[2\pi]=c/[2\pi f]$, waarin c de voortplantingssnelheid en f de frequentie van de straling is). Voor akoestische golven in water geldt $c \approx 1500 \text{ ms}^{-1}$, zodat metingen in het overgangsgebied uitvoerbaar zijn van $a \approx 2$ tot $2000 \mu\text{m}$ bij een f van respectievelijk 100 en $0,1 \text{ MHz}$. Voor lichtgolven ($\lambda \approx 600 \text{ nm}$) geldt daarentegen dat voor deeltjes met $a > 1 \mu\text{m}$ het meetsignaal omgekeerd evenredig is met a .

Bij Fig. 8 moet opgemerkt worden dat de curve niet geheel correct is. In het overgangsgebied is een benadering toegepast: bij de volledige theoretische beschouwing vertoont zij hier een oscillerend verloop. Geluidsgolven wijken in zoverre van lichtgolven af dat voor relatief kleine deeltjes ($ka \ll 1$; het Rayleigh gebied) energiedissipatie gaat optreden tengevolge van visceuse effecten (absorptie, toeneming k_2 ; Urlick, 1948).

De bovenstaande beschouwing geldt voor ronde verstrooiers. In de praktijk zullen de verstrooiers niet bolvormig zijn en zal het strooidiagram afwijken van dat voor bolletjes.

De chemische samenstelling van zowel de vloeistof als de deeltjes zijn van invloed op de verstrooiing. Voor licht worden reflectie en breking, maar ook absorptie, beschreven met de golflengte-afhankelijke complexe brekingsindex. Absorptie van geluid kan worden beschreven met de complexe brekingsindex voor geluidsgolven (relatieve voortplantingssnelheid in het beschouwde medium). Geluidsreflectie en -breking zijn afhankelijk van de brekingsindex en de dichtheid van de verstrooier en de vloeistof.

2.6 Concluderende opmerkingen voor transmissie- en/of verstrooiingsmeting

Voor de transmissie- en/of verstrooiingsmeting wordt op basis van 2.1 t/m 2.5 geconcludeerd dat:

- de meetmethoden gevoelig zijn voor vorm en chemische samenstelling van de gesuspendeerde deeltjes; de meting zal in-situ gecalibreerd moeten worden;
- de gevoeligheid voor variatie in de absorptiecoëfficiënt van de vloeistof (zoals kleur voor lichtgolven en viscositeit voor geluidsgolven) geëlimineerd kan worden door een gecombineerde transmissie- en verstrooiingsmeting;
- de afhankelijkheid van het meetsignaal voor deeltjesgrootte geminimaliseerd kan worden door aanpassing van de stralingsgolflengte. Voor geluidsgolven kan dat over een groter gebied dan voor lichtgolven.

3 COMMERCEIJK VERKRIJGBARE MEETAPPARATUUR

3.1 Inleiding

De inventarisatie van in Nederland verkrijgbare instrumenten is gericht op apparaten die de hoeveelheid gesuspendeerde vastestof in een vloeistof meten en is dus niet beperkt tot apparaten specifiek voor het meten van slibgehalte in rioolwaterzuiveringsinrichtingen (RWZI's). Informatie is ingewonnen voor een meetbereik tussen circa 1 en 100 gram drogestof per liter. Specifieke laboratorium-apparatuur en instrumenten met een meetduur (aan één monster) langer dan circa 5 minuten, zijn buiten beschouwing gelaten. Naast "directe" concentratiemeters zijn ook enkele dichtheidsmeters bij de inventarisatie opgenomen. De concentratie kan uit deze gemeten dichtheid berekend worden indien de dichtheid van de vloeistof en van de vastestof bekend zijn.

Bijlage I vermeldt de leveranciers van de beschouwde meetinstrumenten. Bijlagen II t/m VIII bespreken elk instrument inclusief specifieke eigenschappen, plaatsing bij RWZI's in Nederland en indicatie van de aanschafprijs. De hiervoor gekozen basisindeling is: optisch, akoestisch, nucleair en mechanisch. Voor zover van toepassing zijn deze onderverdeeld in transmissie-, verstrooiings- en transmissie-/verstrooiingsmetingen. Indien de gewenste gegevens niet beschikbaar zijn is dit aangegeven met een "?". Hoofdstuk 3.2 geeft een samenvatting van de eigenschappen van de besproken instrumenten.

3.2 Overzicht

In Tabel 1 is een overzicht gegeven met de belangrijkste eigenschappen van de in de bijlagen II t/m VIII beschreven instrumenten.

Toelichting bij gebruik van Tabel 1:

meters

- getracht is de inventarisatie zo breed mogelijk uit te voeren met betrekking tot de toegepaste methode. Vast staat dat er meer instrumenten op de markt zijn, gebaseerd op eenzelfde meetprincipe;

uitgangssignaal

- het verband tussen uitgangssignaal en concentratie C_m (of dichtheid ρ) is gebaseerd op de theoretische beschrijving uit hoofdstuk 2 en de door de fabrikant verstrekte gegevens over signaalverwerking, stralingsbron en uitvoeringsvorm;
- voor de betekenis van de parameters k_5 en k_6 wordt verwezen naar de desbetreffende beschrijving van het instrument in de bijlagen II t/m VIII;

gevoeligheid

- de vermelde waardering voor de verschillende gevoeligheden is afgeleid uit de hierboven beschreven relatie voor het uitgangssignaal, zodat in de praktijk afwijkingen kunnen optreden van de weergegeven waarderingen;
- de invloed van omgevingslicht is vanzelfsprekend afhankelijk van de mate waarin omgevingslicht tot de sensor door kan dringen;
- waarderingsschaal
 - ++ zeer gunstig
 - + gunstig
 - ongunstig
 - zeer ongunstig;

meetbereik

- het meetbereik is meestal gegeven in gram slib per liter. Slib is zeker geen gestandaardiseerde referentie; bij onderling vergelijken en inzet van de apparatuur dienen deze bereiken met het nodige voorbehoud te worden gebruikt;
- voor twee meters is door de fabrikant geen ondergrens van het meetbereik verstrekt, bij één meter is alleen een specificatie in Nephelometric Turbidity Units (NTU) opgegeven (zie ook bijlage III.c);

reproduceerbaarheid

- FS staat voor volle schaal uitslag/aflezing;

algemeen

- bij het ontbreken van (voldoende) gegevens is dit aangegeven met een "?".

meter	methode	opstelling	uitgangs- signaal	gevoeligheid van het	
				bronsterkte	transducent- overdracht
BTG: MEX-3 RD-10/5	optisch, transmissie	dompel en insteek	$k_5 C_m + k_6$	++	++
BTG: MEX-3 RD-20/10	optisch, transmissie	dompel en insteek	$k_5 C_m + k_6$	++	++
Monitek 52 LE	optisch, transmissie	dompel en insteek	$k_5 C_m + k_6$	-	-
Partech SDM 16	optisch, transmissie	dompel	$k_5 e^{-k_6 C_m}$	-	-
Sigrist K5ASJ	optisch, transmissie	doorstroom, afzuiging	$k_5 C_m + k_6$	++	++
BTG: SMS- 3000&HC-100	optisch, verstrooiing	insteek	?	?	?
Dr Lange	optisch, verstrooiing	dompel	$k_5 e^{-k_6 C_m}$	-	-
Hach	optisch, verstrooiing	doorstroom, afzuiging	$k_5 e^{-k_6 C_m}$	-	-
Monitek 52 H	optisch, trans/verstr	dompel en insteek	$k_5 C_m$	++	+
Bestobell- Mobrey	akoestisch, transmissie	dompel en insteek	$k_5 C_m + k_6$	-	-
Krohne	akoestisch, transmissie	dompel	$k_5 e^{-k_6 C_m}$	-	-
Nishihara	akoestisch, transmissie	dompel en in-line	$k_5 C_m + k_6$	-	-
Kay-Ray	nucleair, transmissie	in-line	$k_5 e^{-k_6 \rho}$	+	-
Endress Micro motion Sarasota	mechanisch, trillingsfr.	in-line	$k_5 \rho + k_6$	+	+
BTG: MEK2020	mechanisch, frictie	in-line	$k_5 \rho + k_6$	+	-

Tabel 1 Overzicht eigenschappen van slibmeters. Zie voor toelichting hoofdstuk 3.2.

uitgangssignaal voor variaties in:

vensterdoorlatendheid	omgevingslicht	vloeistofeigenschappen	meetbereik	reproduceerbaarheid	responsietijd [s]
+	++	-	0,4-40 g slib ℓ^{-1}	< 1% FS	?
+	++	-	0,2-10 g slib ℓ^{-1}	< 1% FS	?
+/-	+	--	0-30 g slib ℓ^{-1}	$\pm 1\%$ FS	15
-	-	--	0-50 g SiO_2 ℓ^{-1}	< 1% FS	?
n.v.t.	++	--	0-80 g SiO_2 ℓ^{-1}	?	?
?	++	-	-200 g slib ℓ^{-1}	?	?
+/-	+	-	0-8 g slib ℓ^{-1}	?	?
n.v.t.	+	--	0-9999 NTU	$\pm 1\%$	100
+	+	++	0-100 g slib ℓ^{-1}	$\pm 2\%$	40
+	++	--	-200 g slib ℓ^{-1}	?	?
+	++	?	5-80 g slib ℓ^{-1}	?	?
+	++	?	0-100 g slib ℓ^{-1}	$\pm 2\%$ FS	?
+	++	--	0-100 g slib ℓ^{-1}	?	?
n.v.t.	++	--	0-100 g slib ℓ^{-1}	?	60
n.v.t.	++	--	15-150 g slib ℓ^{-1}	< $\pm 0,3\%$	?

4 PRAKTIJKERVARING

4.1 Inleiding

Voor het verkrijgen van inzicht in de problematiek bij het meten van slibconcentraties is contact opgenomen met een aantal deskundigen.

Gesprekken zijn gevoerd met de projectcoördinator en de projectleider van het STORA-project "Automatische Slibregeling", beiden werkzaam bij het adviesbureau BKH (Bongaerts, Kuijper en Huiswaard) in Den Haag. De daarbij verkregen specifieke informatie heeft betrekking op de proeflocatie voor de slibregeling: de afvalwaterzuivering te Nijmegen [NM]. Daarnaast zijn drie RWZI's bezocht waar slibconcentratiemeters in gebruik zijn: Dokhaven [DH] te Rotterdam, Horstermeer [HM] te Nederhorst den Berg en Houtrust [HR] in Den Haag.

Tevens is gebruik gemaakt van de resultaten van een vergelijkend onderzoek aan drie verschillende meters, zoals beschreven in het rapport van Zuiveringsschap Hollandse Eilanden en Waarden (1984). Dit onderzoek is uitgevoerd bij de zuivering van Ridderkerk [RK]. In Tabel 2 is voor elke RWZI weergegeven aan welk slib met welk instrument is gemeten.

RWZI	meetlocatie	$C_m [g\ l^{-1}]$	instrument
[NM]	beluchtingsbassin	1-4,5	BTG: MEX-3 met RD-20/10 sensor
	retourslibcircuit	2-8	BTG: MEX-2 met TAG-10/5 sensor†
[DH]	beluchtingsbassin (1e trap)	0,5-5	Monitek 52 LE en BTG: MEX-3 met RD-20/10 sensor
[HM]	beluchtingsbassin	3-6	BTG: MEX-2 met TAG-30/15 sensor†
	slibverwerking	8-80	BTG: MEK51 (vergelijkbaar met MEK2020)
[HR]	beluchtingsbassin	2,5-3	BTG: MEX-3 met RD-10/5 sensor
	retourslibcircuit	3-7	BTG: MEX-3 met RD-10/5 sensor
	nabezink (niveau)	~1	BTG: MEX-3 met RD-20/10 sensor
	slibverwerking	-100	BTG: SMS-3000 met HC-100 sensor (in april 1990 nog niet in gebruik)
[RK]	beluchtingsbassin (niet in-situ, maar met monsters)	0-7	Nishihara NU-PS en BTG: MEX-2 met TAG-30/15 sensor† en Monitek 52 LE

† MEX-2 & TAG wijkt in zoverre van MEX-3 & RD combinatie af dat de metingen gebeuren met zichtbaar licht en zonder correctie voor omgevingslicht.

Tabel 2 Meetapparatuur en -locatie per RWZI.

Hieronder volgt een samenvatting van de resultaten van de inventarisatie. Aangezien met name ervaring is opgedaan met metingen in het gebied van 1-10 g slib l^{-1} , hebben de resultaten hierop betrekking, tenzij anders vermeld.

4.2 Problemen met gebruikte meetapparatuur

Vervuiling

- Bij sensoren die onvoldoende gestroomlijnd zijn, kan aanhechting van draadvormig materiaal optreden: een foutief uitgangssignaal is het gevolg wanneer materiaal zich in het meetvolume ophoopt [DH en RK].
- De optische vensters van de Monitek 52 LE sensor worden aangetast. Mogelijk wordt dit veroorzaakt door de schurende werking van harde deeltjes in het slib tussen de zuiger en de glazen cilinderwand [DH]. Omdat geen compensatie voor de vensterdoorlatendheid aanwezig is treedt verloop van het uitgangssignaal op.
- Bij de aanhechting/aangroei van slib op de vensters wordt geen significante afwijking in het uitgangssignaal geconstateerd. De betreffende instrumenten zijn echter allen voorzien van een periodiek reinigingsmechanisme of een elektrische compensatie voor variatie in de vensterdoorlatendheid [NM, DH, HM en HR].
- Preventief worden de sensoren circa 1 keer per 2 weken [DH, HM en HR] of minder frequent [NM] met de hand gereinigd.

Verskil tussen meetwaarde en handmatige drogestofbepaling

- De gevoeligheid van de MEX-3/RD-20-10 combinatie verloopt over een periode van 4 maanden circa 100% bij $C_m = 3 \text{ g } l^{-1}$ (10% over 2 weken). De geconstateerde afneming is gerelateerd aan een stijging van de SVI (slibvolume-index). De SVI is een maat voor de dichtheid van de slibvlokken (stijging SVI $\hat{=}$ daling dichtheid). Tijdens deze meetperiode is de sensor één keer op basis van meerdere meetpunten geijkt waarbij een lineair verband tussen signaawaarde en C_m is vastgesteld voor $0 \leq C_m < 5 \text{ g } l^{-1}$ [NM].
- Onder andere omstandigheden is, wederom voor een periode van 4 maanden, het MEX-3/RD-20-10 signaal vergeleken met de dagelijkse drogestofanalyses. Voorafgaand aan de meetperiode is een 2-puntsijking uitgevoerd bij 0 en $7 \text{ g } l^{-1}$. Het meetgebied ligt tussen de 1 en $3 \text{ g } l^{-1}$. Tussen de gemiddelden van beide meetseries bestaat een verschil van circa $0,3 \text{ g } l^{-1}$. Een mogelijke verklaring voor dit systematische verschil is het verschil in "gasbelgehalte" van de suspensie in de beluchtingstank en van het monster dat voor de ijking is

gebruikt [DH]. Het verschil tussen de individuele meetpunten van beide meetseries verloopt niet in de tijd en kan oplopen tot 30%. Deze verschillen zijn niet-systematisch en kunnen veroorzaakt zijn door niet-representatieve bemonstering en/of fluctuatie in slibsamenvorming [DH].

- Bij [HM] is geen systematisch verloop van de SVI waargenomen. De meter wordt geijkt indien de meetwaarde meer dan $0,5 \text{ g l}^{-1}$ afwijkt van het resultaat van drogestofanalyse. Dit komt circa 4 keer per jaar voor.
- Bij [HR] wordt een MEX-3/RD-20-10 geijkt in een monster dat een dag in de koelkast bewaard is. De vervolgens uitgevoerde metingen in de retourslibleiding blijken systematisch circa 10% (van 5 g l^{-1}) te verschillen van het resultaat van steekmonsters. Ter verklaring kan ook hier gedacht worden aan het verschil in "gasbelgehalte" in ijkmonster en retourslibleiding.
- (Slibkleur-variaties binnen één proces zijn (visueel) niet waargenomen [DH, HM, NM en RK].)

4.3 Gebruikerswensen

Meetbereik

- Beluchtingstank : $\sim 1-6$ (à 10 [DH]) g l^{-1}
Retourslibleiding : $\sim 2-10$ (à 20 [DH]) g l^{-1} .
Slibverwerking : $20-80 \text{ g l}^{-1}$.

Nauwkeurigheid

- Uitgangspunt bij een regelsysteem is dat: (a) er voldoende meetpunten binnen een regelcyclus vallen, opdat toevallige meetfouten uitmiddelen en (b) de bemonsterfrequentie van de meting zo hoog is dat de snelste significante concentratiefluctuaties gevolgd kunnen worden.

De nauwkeurigheid wordt vervolgens bepaald door de grenzen waarbinnen men het slibgehalte wenst te regelen: $\pm 0,5$ op 2 g l^{-1} [DH], $\pm 0,1$ op 3 g l^{-1} [NM], $\pm 0,4$ op 4 g l^{-1} [HR] en $\pm 0,1$ op 5 g l^{-1} [HM].

Afgezien van de zend- en ontvangsteigenschappen van de meter, wordt de te behalen nauwkeurigheid bepaald door de mate waarin, binnen een "onderhoudsperiode", de variaties in suspensie-eigenschappen het uitgangssignaal beïnvloeden.

Bemonsterfrequentie

- Eén keer per 5 minuten een concentratiemeting wordt gezien als (ruimschoots) voldoende voor het volgen van significante variaties in slibgehalte. (Hetzelfde geldt voor een continu meting met een responsietijd ≤ 5 min)

Onderhoudsfrequentie

- Voor een laagbelaste actiefslibinstallatie wordt een ijking van één keer per maand acceptabel geacht. Een eenvoudige reiniging kan vaker plaatsvinden (bijvoorbeeld 1 keer per 1 à 2 weken).

Prijsindicatie

- Voor de laagbelaste installaties circa 8 kf voor de totale kosten op jaarbasis (Adviesbureau BKH, 1990).
- Voor de beide hoogbelaste installaties [DH en HR] is de prijs tot op zekere hoogte ondergeschikt aan de betrouwbaarheid.

Uitvoeringsvorm

- Het aantal bewegende onderdelen dient, gezien het te verwachten extra onderhoud, zoveel mogelijk beperkt te zijn.
- Bemonstering via nauwe leidingen moet vermeden worden. Tegen bemonstering, via een ruime bypass, die verstopping uitsluit, bestaat in principe geen bezwaar.
- De sensor dient dusdanig gestroomlijnd te zijn dat geen aanhechting van draadvormig materiaal plaatsvindt.

5 EVALUATIE

5.1 Inleiding

In de evaluatie worden methodegewijs, naast de belangrijkste kenmerken van een meetprincipe, aangegeven welke verbeteringen toepasbaar zijn en welke experimentele verificaties nodig zijn. Opgemerkt wordt dat de mechanische methoden gebaseerd op frictie-meting niet zijn opgenomen vanwege hun nadelen (zie bijlage VIII)

5.2 Optische transmissie

De praktijkervaring toont aan dat venstervervuiling geen significant probleem vormt, indien elektrische compensatie voor wijziging van de vensterdoorlatendheid wordt toegepast.

De structuur en/of de chemische samenstelling van het slib blijkt een essentiële invloed te hebben op de gemeten concentratiewaarden. Dit is in overeenstemming met de verwachting en de meetresultaten van König & Veen (1990).

De invloed op het signaalniveau van de onder praktijkomstandigheden aanwezige gasbellen is niet duidelijk.

De betrouwbaarheid van de meting wordt aanzienlijk verhoogd indien on-line informatie beschikbaar is over de slibsamenstelling.

Bosman (1981) leidt af dat de door hem gedefinieerde gemengde relatieve variantie van het uitgangssignaal verandert, indien deeltjesgrootte en/of apparatuurparameters (incl. vensterdoorlatendheid) veranderen. Op grond van deze kennis kan het onderhoudstijdstip voor calibratie en reiniging worden vastgesteld. Het verdient daarom aanbeveling experimenteel te verifiëren of meting van deze variantie de beoogde informatie over de slibsamenstelling oplevert.

5.3 Optische verstrooiing

Bij verstrooiingsmetingen wordt de reductie van de bundelintensiteit bepaald door de extinctiecoëfficiënt en door de constante van verstrooiing. Bij eenzelfde concentratie zal dan ook de maximaal af te leggen weglengte voor verstrooiingsmeting kleiner zijn dan voor transmissiemeting. Bij relatief hoge slibconcentraties ($>2 \text{ gl}^{-1}$) ligt het voor de hand de weglengte te minimaliseren door de verstrooiing in terugwaartse richting te meten.

Een mogelijke beperking bij de meting van terugwaartse verstrooiing is de grootte van het meetvolume: voor hogere concentraties wordt het meetvolume kleiner en komt dichter bij de sensor te liggen. Experimenteel zal geverifieerd moeten worden of het resulterende meetresultaat representatief is voor de ruimtelijk gemiddelde concentratie.

5.4 Combinatie van optische transmissie en verstrooiing

Evenals bij de verstrooiingsmethode geldt hier de beperking dat voor het gewenste concentratiegebied ($>2 \text{ gl}^{-1}$) de verstrooiing slechts onder grote strooihoek gemeten kan worden.

5.5 Akoestische transmissie

De verzwakking van akoestische golven is dusdanig dat het gehele traject van 1 tot 100 gl^{-1} bestreken kan worden.

Akoestische metingen zijn gevoelig voor de aanwezigheid van met name zeer kleine gasbelletjes. De diameter van deze belletjes is ongeveer een factor 200 kleiner dan de akoestische golflengte (Urick, 1967).

Aanbevolen wordt met behulp van uiteenlopende slibsoorten die akoestische frequentie te selecteren waarbij het meetresultaat het minst gevoelig is voor de samenstelling van het slib.

In principe bestaat ook de mogelijkheid met meerdere akoestische frequenties het slib wat betreft concentratie en (akoestische) samenstelling te karakteriseren (Schaafsma, 1987). Het grote voordeel hiervan is dat de concentratiemeting onafhankelijk is van de slibsamenvatting. Als nadeel kan de complexe signaalverwerking gelden.

5.6 Akoestische verstrooiing

De verzwakking in de meetsuspensie is voor akoestische golven kleiner dan voor optische golven, zodat ook voor hogere concentraties een willekeurige strooihoek gekozen kan worden.

Voor niet-terugwaartse verstrooiing kan een eindelijk meetvolume worden gekozen dat onafhankelijk is van de concentratie. De verstrooiingsmethode biedt geen principiële voordelen boven de transmissiemethode, mits bij de laatstgenoemde een correcte linearisering van het uitgangssignaal wordt toegepast.

Op grond van geometrische overwegingen kan de verstrooiingsmethode de voorkeur hebben boven de transmissiemethode.

De resultaten van de frequentie-optimalisatie bij akoestische transmissie gelden in principe ook voor de verstrooiingsmethode.

5.7 Combinatie van akoestische transmissie en verstrooiing

Indien de, door geometrie bepaalde, omstandigheden het toelaten, is een gecombineerde transmissie- en verstrooiingsmeting principieel te verkiezen, omdat het uitgangssignaal onafhankelijk is van de variatie in apparatuurparameters (incl. homogene venstervervuiling) en vloeistofeigenschappen.

De resultaten van de experimentele evaluatie van de transmissiemethode zijn eveneens van toepassing op de gecombineerde transmissie- en verstrooiingsmeting.

5.8 Nucleaire transmissie

De nucleaire transmissiemethode berust op een dichtheidsmeting, die afhankelijk is van de chemische samenstelling van de suspensie in het meetvolume. De meettijd wordt bepaald door de gedetecteerde intensiteit en de gewenste nauwkeurigheid. Voor de bepaling van de slibconcentratie uit het meetsignaal moet bekend zijn: (a) de bronsterkte; (b) de meettemperatuur; (c) de dichtheid van de vloeistof; (d) de dichtheid van de gesuspendeerde vastestof en (e), indien gas in het meetvolume aanwezig is, de relatieve hoeveelheid ingesloten gas.

Een experimentele evaluatie zal onder meer moeten uitwijzen wat onder praktijk omstandigheden verwacht kan worden voor (1) de invloed van variatie in chemische samenstelling op het uitgangssignaal (2), de mate waarin vastestof- en vloeistofdichtheid variëren en (3) de hoeveelheid ingesloten gas.

5.9 Trillingsfrequentie

De methode van het vibrerende meetsysteem meet direct de massa binnen het meetvolume. Voor bepaling van de massaconcentratie gesuspendeerde vastestof moet bekend zijn: (a) de meettemperatuur;, (b) de dichtheid van de vloeistof;, (c) de dichtheid van de vastestof en (d), indien aanwezig, de hoeveelheid ingesloten gas.

Bij een experimentele evaluatie dient onderzocht te worden hoe groot de invloed zal zijn van de onder praktijk omstandigheden te verwachten (1) variatie in slibsamenstelling, (2) variatie in vloeistof- en vastestofdichtheid, (3) uitwendige trillingen en (4) hoeveelheid ingesloten gas.

5.10 Concluderende opmerkingen

Op basis van alleen de meetprincipes, is niet aan te geven wat de voorkeursvolgorde is voor meting van slibgehalten. Voor een aantal grootheden is het namelijk niet op voorhand bekend hoe deze zich onder praktijk omstandigheden gedragen. Zo is bijvoorbeeld het theoretische verband tussen relatieve deeltjesgrootte en verstrooiingsparameter (zoals weergegeven in Fig. 8) gebaseerd op verstrooiing aan bolletjes. Slibdeeltjes zijn echter geen bolletjes. Uit dit theoretische verband kan dus slechts ruw geschat worden wat de optimale frequentie voor metingen aan verschillende slibsoorten zal zijn. Vandaar dat in § 5.5 wordt voorgesteld de optimale frequentie experimenteel te bepalen. Bij de nucleaire en mechanische dichtheidsmetingen zal, met behulp van de dichtheden van de vloeistof en de vastestof, omrekening moeten plaatsvinden naar de vastestofconcentratie. Wat de te verwachten variatie in beide grootheden is, is momenteel niet bekend.

Een experimentele evaluatie zal dus uitsluitend moeten geven over de toepasbaarheid van de verschillende methodes.

6 AANBEVELINGEN

6.1 Inleiding

Een algemeen pakket van eisen waaraan de slibconcentratiemeter moet voldoen, kan slechts met enige terughoudendheid worden gegeven omdat dat voor een deel bepaald wordt door de mate en snelheid waarmee slibgehalte en samenstelling variëren. Voor een laagbelaste RWZI gelden de volgende richtgetallen:

- meetbereik: $1-6 \text{ g l}^{-1}$ (beluchtingsbassin), $2-10 \text{ g l}^{-1}$ (retourslib)
- nauwkeurigheid: $\pm 0,2 \text{ g l}^{-1}$ (op circa $3 \text{ à } 4 \text{ g l}^{-1}$ gedurende 1 maand)
- bemonsterinterval/responsietijd: $\leq 5 \text{ min}$
- ijkfrequentie: 1 keer/maand
- schoonmaakfrequentie: 1 keer/week
- meetbereik voor slibverwerking: $20-80 \text{ g l}^{-1}$.

Voor de "meetobjecten" bij de RWZI's kan onderscheid gemaakt worden tussen gesloten en open systemen.

Bij de slibverwerking vindt het slibtransport in het algemeen plaats via gesloten systemen. In deze systemen kan een insteek- of een doorstroomsensor worden toegepast.

In de open systemen zoals beluchtingsbassins en de retourslibleidingen kan op eenvoudige wijze een dompelsensor geplaatst worden. Bij gebruik van doorstroomsensoren in open systemen zal afzuiging moeten plaatsvinden, waarbij rekening gehouden moet worden met:

- de mate waarin de bemonstering representatief is (bepaald door afzuigsnelheid en afzuigopening)
- de doorlooptijd (bepaald door afzuigsnelheid en lengte van de leiding)
- onderhoud: bewegende delen zijn onderhevig aan slijtage en in het afzuig-systeem kan neerslag van slib optreden.

Aangezien bovenstaande potentiële fouten- en storingsbronnen alleen gelden bij afzuiging, gaat bij open systemen ($1-10 \text{ g l}^{-1}$) de voorkeur uit naar het meten met dompelsensoren. Een voordeel van afzuiging kan zijn dat het monster "ontgast" kan worden via bijvoorbeeld buffering of drukverandering. Mocht tijdens de evaluatie blijken dat gasinsluitingen een essentieel probleem vormen, dan kan ontgassing c.q. afzuiging worden heroverwogen.

De waardering van de commercieel verkrijgbare instrumenten, is deels gebaseerd op het meetprincipe en deels op door de fabrikant verstrekte gegevens. Het verdient daarom aanbeveling een geselecteerd aantal bestaande meters bij het experimentele onderzoek te betrekken.

De aanbevelingen voor de eerste fase van een experimentele evaluatie onder laboratoriumomstandigheden, worden in 6.2 en 6.3 gedaan. De tweede fase kan bestaan uit vergelijking van meestbelovende meters/metmethoden op een RWZI.

6.2 Beluchtingsbassin en retourslibleiding ($1-10 \text{ g l}^{-1}$)

Door middel van een aantal principeproeven met experimentele meetopstellingen kunnen de volgende mogelijkheden onderzocht worden voor het initiëren van nieuwe ontwikkelingen:

- a) frequentie-optimalisatie van de akoestische transmissiemetmethode, ter reductie van de gevoeligheid voor variatie in slibsamenstelling;
- b) variantiebepaling van het optische transmissiesignaal, als maat voor de betrouwbaarheid van de meting.

Voor zover deze experimenten succesvol zijn kunnen deze meetmethoden betrokken worden bij een experimentele vergelijking onder laboratoriumomstandigheden. Uit hoofdstuk 3 volgt dat bij de commerciële instrumenten de beide BTG-MEX3 sensoren het meest in aanmerking komen voor deze experimentele evaluatie. Daarbij zal onder meer de gevoeligheid van het uitgangssignaal voor variatie in slib-samenstelling, slibconcentratie en gasbelgehalte onderzocht worden.

6.3 Slibverwerking ($20-80 \text{ g l}^{-1}$)

Voor de slibverwerking komen de volgende meters in aanmerking voor een vergelijkend onderzoek onder laboratoriumomstandigheden:

- akoestische meetopstelling (na het optimaliseren van de frequentie).
- de optische verstrooiingssensor van BTG: SMS3000/HC-100. Dit is de enige commercieel verkrijgbare optische meter die geschikt is als insteeksensor.
- de commercieel verkrijgbare "vibratie-sensoren" van Micro Motion en Sarasota.

SYMBOLENLIJST

C_m	massaconcentratie
I	intensiteit
I_s	ontvangstsignaal voor verstrooiingsopstelling
I_T	ontvangstsignaal voor transmissie-opstelling
I_o	zendsignaal
N	willekeurig positief getal
N_s	aantal verstrooiers in het meetvolume van verstrooiing
SVI	slibvolume-index
V	meetvolume
V_p	volume van één deeltje
V_s	meetvolume van verstrooiing
a	deeltjesstraal
c	voortplantingssnelheid
f	frequentie
k	golfgetal
k_s	constante voor verstrooiing bepaald door de strooihoek, de afstand tot de verstrooier en deeltjes- en stralingseigenschappen
k_t	constante bepaald door eigenschappen van de transducent(en)
k_1	constante bepaald door transducent- en vloeistofeigenschappen, zendvermogen en bundelweglengte
k_2	constante bepaald door deeltjeseigenschappen en bundelweglengte
k_3	constante bepaald door bundelgeometrie, zendvermogen en vloeistof-, deeltjes-, stralings- en transducenteigenschappen
k_4	constante bepaald door bundelgeometrie en deeltjes- en stralingseigenschappen
k_5	constante bepaald door eigenschappen van het desbetreffende instrument
k_6	constante bepaald door eigenschappen van het desbetreffende instrument
l	totale stralingsweglengte tussen zend- en ontvangsttransducent
n	aantal deeltjes per volume-eenheid
x	weglengte

α_v	absorptiecoëfficiënt van de vloeistof
γ	extinctiecoëfficiënt van de suspensie
γ_p	extinctiecoëfficiënt van de gesuspendeerde deeltjes
λ	golflengte
ρ	dichtheid
ρ_p	dichtheid van één deeltje
ρ_{tot}	dichtheid van de suspensie
ρ_v	dichtheid van de vloeistof
σ_p	werkzame doorsnede van één deeltje, voor extinctie
ϕ	strooihoek

$\approx$	is ongeveer gelijk aan
$\hat{=}$	komt overeen met

LITERATUUR

- Adviesbureau BKH (Bongaerts, Kuijper en Huiswaard) (1990). *Automatische regeling van het slibgehalte in beluchtingstanks*. STORA-rapport, Rijswijk.
- Bosman, J.J. (1981). *Optical measurements of sediment concentration, statistical aspects of particles observation*. WL-rapport R716 part IV, pp. 39-43.
- Delago, E. (1974). *Archiv für Technisches Messen und Industrielle Messtechnik*. München, p. 464.
- Jansen, R.H.J. (1979). In: *Proc. Conf. Ultrasonics Int.* Graz, pp. 366-371.
- König, J.W. & Veen, J.J.F. van (1990). *Toepasbaarheid van een gasvenstersensor voor het meten van het slibgehalte*. TNO-rapport, no. R90/229.
- Morse, P.M. & Ingard K.U. (1968). *Theoretical acoustics*. Mc Graw-Hill Book Company.
- Schaafsma, A.S. (1987). *Development of silt measuring methods, study of the feasibility of concentration measurement with ultrasound: basic ideas*. WL-rapport F37/M2032 part I.
- Urick, R.J. (1948). *J. Acoust. Soc. Am.* **20**, pp. 283-289.
- Urick, R.J. (1967). *Principles of underwater sound for engineers*. Mc Graw-Hill Book Company.
- Zuiveringsschap Hollandse Eilanden en Waarden (1984). *Beproeving van slibconcentratiemeters ten behoeve van de 1e beluchtingstrap afvalwaterzuiveringsinstallatie Dokhaven*. Notitie afd. WA.

BIJLAGEN

I INSTRUMENTEN EN LEVERANCIERS

Bestobell-Mobrey	Econosto N.V. Postbus 4060, 3006 AB Rotterdam tel 010-4245600
BTG (voorheen Eur-Control)	Bonnier Technology Benelux B.V. Stationsweg 78m, 2991 CM Barendrecht tel 01806-19900
Dr Lange	I.M.A. Instruments B.V. Postbus 90, 4041 CW Kesteren tel 08886-3003
Endress & Hauser	Endress & Hauser B.V. Postbus 5102, 1410 AC Naarden tel 02159-58710
Hach	Dijkstra Vereenigde B.V. Postbus 8219, 1005 AE Amsterdam tel 020-824905
Kay-Ray	Rosemount B.V. Postbus 196, 3100 AD Schiedam tel 010-4373122
Krohne	Technisch Bureau Persenaire B.V. Postbus 222, 1400 AE Bussum tel 02159-18554
Micro Motion	Rosemount B.V. Postbus 196, 3100 AD Schiedam tel 010-4373122
Monitek	Lubbers H.J. Instrumentatie voor Milieu en Proces Woerd 2, 4012 BZ Kerk-Avezaath tel 03448-1718
Nishihara	Lubbers H.J. Instrumentatie voor Milieu en Proces Woerd 2, 4012 BZ Kerk-Avezaath tel 03448-1718
Partech	Brinck Amersfoort Postbus 21, 3800 AA Amersfoort tel 033-619047
Sarasota	Intechmij B.V. Postbus 187, 1110 AD Diemen tel 020-5696611
Sigrist	Applied Process Technology B.V. Postbus 524, 2400 AM Alphen aan de Rijn tel. 01720-30661

II OPTISCHE MEETAPPARATUUR; TRANSMISSIEMETINGEN

II.a BTG: MKX-3 signaalverwerkingseenheid en RD-10/5 sensor

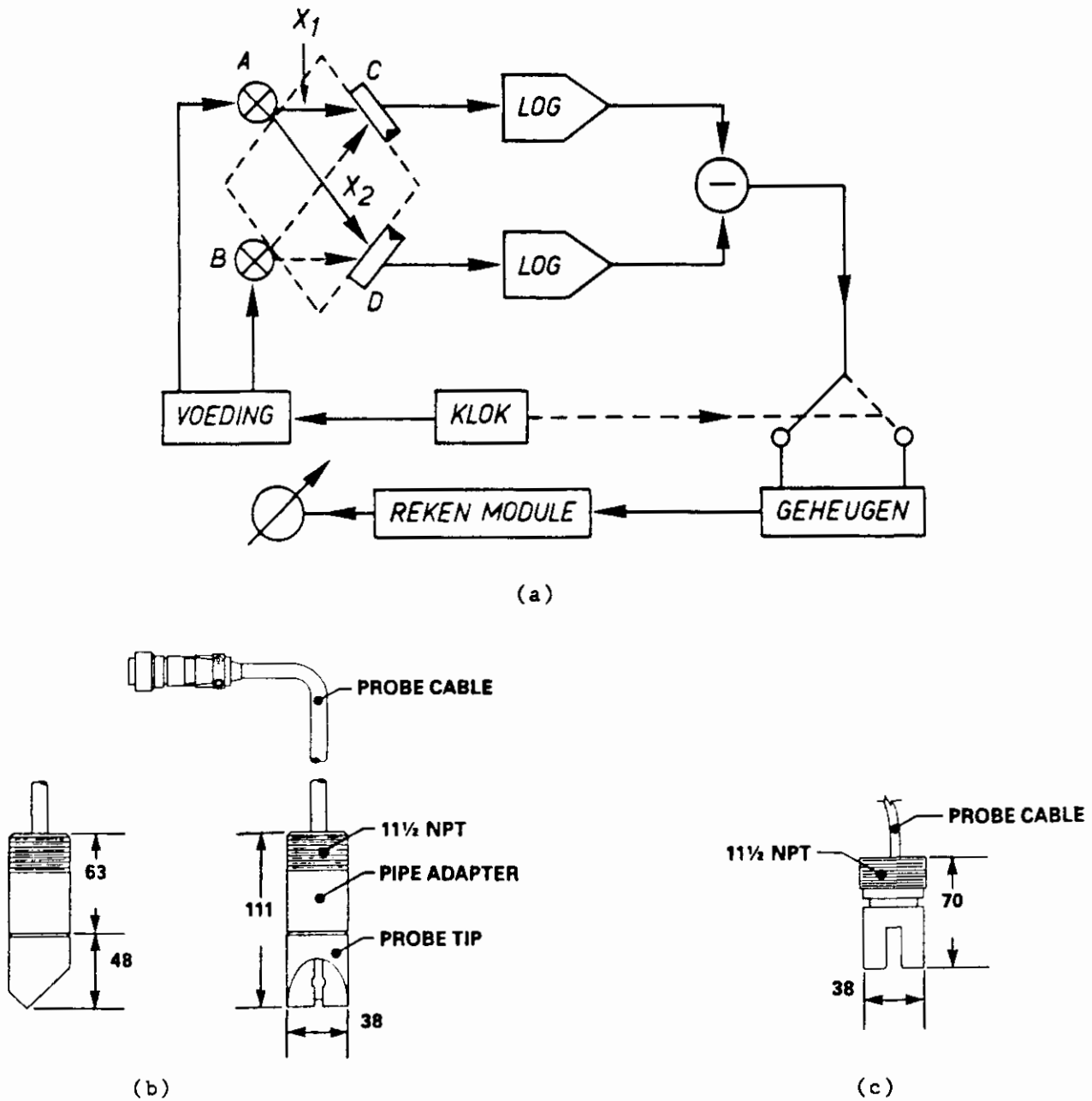


Fig. 9 BTG-sigaaalverwerkingsschema (a) en vormgeving van de beide RD-sensoren: RD-10/5 (b) en RD-20/10 (c). Afmetingen in mm.

Zie Fig. 9 voor het signaalverwerkingsschema en de vormgeving van de sensor.

Uitvoeringen

Dompelsensor of insteeksensor voor kogelkraan die in een (pijp-)wand wordt aangebracht. Beide versies zijn leverbaar met een water-/persluchtaansluiting voor reiniging. Op de MEX-3 kan één sensor worden aangesloten.

Principe

De sensor heeft twee infrarood bronnen (diodes) A en B, en twee detectoren (fotodiodes) C en D. Tijdens een meetcyclus, waarbij de detectoren continu meten en de beide bronnen achtereenvolgens aan/uit worden geschakeld, zijn vier fasen te onderscheiden: In fase 1 zijn beide bronnen uitgeschakeld en wordt met beide detectoren het achtergrondlicht gemeten. De bijbehorende niveaus worden in het geheugen opgeslagen. In fase 2 is bron A aan en ontvangen beide detectoren het licht over de weglengtes X1 en X2. Na correctie voor omgevingslicht (uit fase 1) wordt de exponentiële afhankelijkheid van de concentratie (Vgl. 2.2) gelineariseerd met behulp van de logaritmische versterkers. Daarna worden beide signalen van elkaar afgetrokken en in het geheugen opgeslagen (eliminatie bronsterkte). In fase 3 herhaalt het proces van fase 2 zich met bron B aan. In de laatste fase worden de in fase 2 en 3 opgeslagen signalen van elkaar afgetrokken (eliminatie overdrachtskarakteristiek van beide detectoren en correctie voor venstervervuiling). Dit uitgangssignaal is recht-evenredig met de concentratie:

$$S = k_5 C_m + k_6,$$

met k_5 : constante afhankelijk van deeltjeseigenschappen,
 k_6 : constante afhankelijk van vloeistofeigenschappen.

Eigenschappen

De invloed van vervuiling van één of meerdere lichtvensters is verwaarloosbaar voor zover de vervuiling homogeen over een venster verdeeld is.

De invloed van variaties in de "kleur" van de vloeistof en de deeltjes wordt bepaald door de mate waarin deze variaties bij de toegepaste golflengte van 880 nm optreden.

Meetbereik

0,4-40 g actiefslib ℓ^{-1} , 0,2-15 g primairslib ℓ^{-1} .

Reproduceerbaarheid

< 1% volle schaal.

Uitgangssignaal

Digitale display, plus 0-20 en 4-20 mA.

Toepassing

Groot aantal RWZI's.

Prijs

MEX-3	: kf 15
Dompelsensor	: kf 2
Insteeksensor + kogelkraan	: kf 8.

II.b BTG: MEX-3 signaalverwerkingseenheid en RD-20/10 sensor

Zie Fig. 9 voor signaalverwerkingsschema en vormgeving van de sensor.

De signaalverwerkingsmethode is gelijk aan die van de MEX-3/RD-10-5 combinatie. De 20/10 sensor wijkt in zoverre van de 10/5 sensor af dat de optische weglengtes korter zijn: de eerstgenoemde heeft dus een grotere gevoeligheid en een lager meetbereik.

Voor de beschrijving van de MEX-3/RD-20-10 verwijzen we dan ook naar die van de MEX-3/RD-10-5 (bijlage II.a), met uitzondering van:

Meetbereik

0,2-10 g actiefslib g^{-1} , 0-2,5 g primairslib g^{-1} .

Prijs

Dompelsensor	: kf 2
Insteeksensor + kogelkraan	: kf 8.

II.c Monitek 52 LE

Zie Fig. 10 voor dwarsdoorsnede van de sensor.

Uitvoering

De sensor kan gebruikt worden als dompelsensor en als insteeksensor voor een kogelkraan in een (pijp-)wand.

Principe

Het sensor-uiteinde heeft de vorm van een holle cilinder waarin, per meetcyclus, een zuiger een monster "aanzuigt". Deze reinigingszuiger veegt langs de glazen cilinderwand, waarachter de lichtbron en de detector zijn gemonteerd. Het uitgangssignaal, dat verkregen wordt na logaritmische versterking van het transmissiesignaal (zie Vgl. 2.2), luidt:

$$S = k_5 C_m + k_6,$$

met k_5 : constante bepaald door deeltjeseigenschappen,
 k_6 : constante bepaald door transducent- en vloeistofeigenschappen, vensterdoorlatendheid, lichtbronsterkte en omgevingslicht.

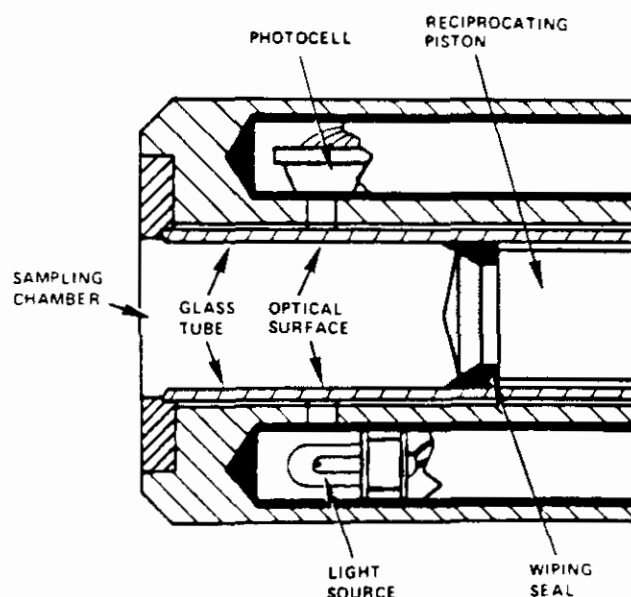


Fig. 10 Monitek 52 LE / 52 H sensor.

Eigenschappen

De meting gebeurt in het zichtbare deel van het spectrum, d.w.z. de kleur van de deeltjes en de vloeistof beïnvloedt het meetsignaal.

Gezien de hoge slibconcentraties en de sensorconstructie zal de invloed van omgevingslicht nihil zijn.

Schurende deeltjes in het slib kunnen de vensterdoorlatendheid doen verlopen.

Meetbereik

0-30 g actiefslib l^{-1} .

Reproduceerbaarheid

$\pm 1\%$.

Responsietijd

15 s, met demping 60 s (voor 90% van de eindwaarde).

Uitgangssignaal

Wijzeruitslag, plus 0-1 V, 0-20 en 4-20 mA.

Toepassing

Groot aantal RWZI's.

Prijs

Meetkast + sensor

: kf 13

Kogelkraan

: kf 1.

II.d Partech SDM 16 (en Turbi-Tech 10) sensor met 7000M verwerkingseenheid

Zie Fig. 11 voor signaalverwerkingsschema.

Uitvoering

Dompelsensor (de Turbi-Tech 10 is voorzien van een reinigingsmechanisme).

Principe

De meetsensor heeft de vorm van een gesloten cilinder, waar aan één zijde de staaftvormige lichtbron en detector uitsteken. Het meetvolume van transmissie bevindt zich tussen bron en detector. Het uitgangssignaal is (zie Vgl. 2.2):

$$S = k_5 e^{-k_6 C_m},$$

met k_5 : constante afhankelijk van transducent- en vloeistofeigenschappen,
venstervervuiling, lichtbronsterkte en omgevingslicht,
 k_6 : constante afhankelijk van deeltjeseigenschappen.

Eigenschappen

De meting vindt plaats in het zichtbare deel van het spectrum en is derhalve afhankelijk van vloeistof/deeltjeskleur.

De invloed van omgevingslicht is verwaarloosbaar indien de sensor voldoende ver onder het vloeistofoppervlak is geplaatst.

Meetbereik

0-50 g SiO₂ l⁻¹.

Reproduceerbaarheid

< 1,0% volle schaal.

Uitgangssignaal

Wijzeruitslag, plus 4-20 mA.

Andere uitvoering

Turbi-Tech 10: de staaftvormige bron en detector worden gereinigd door ze, per meetcyclus, langs afdichtingsringen in de cilindervormige behuizing terug te trekken. Voor het overige komt het instrument overeen met de SDM 16.

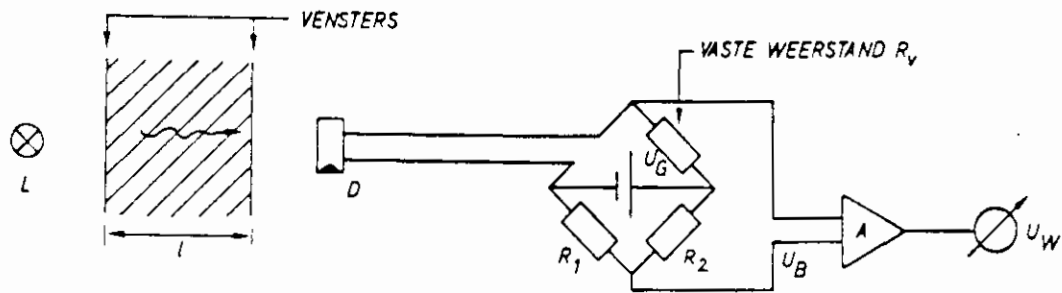


Fig. 11 Partech-signaalverwerkingsschema.

Toepassing

De SDM 16 is als draagbaar meetinstrument geleverd aan enkele RWZI's.
(De Turbi-Tech 10 is niet in Nederland verkocht.)

Prijs

7000 M (verwerkingseenheid voor één sensor)	: kf 4
SDM 16	: kf 2
Turbi-Tech 10	: kf 7.

II.e Sigrist K5ASJ

In Fig. 12 is schematisch de opbouw van het instrument en de vorm van het meetvolume weergegeven.

Uitvoering

Doorstroomsensor die continu meet door middel van afzuiging.

Principe

Met de oscillerende spiegel FS wordt de lichtbundel gesplitst in een meet- en een referentiebundel. De beide bundels worden, na het doorlopen van het instrument, achtereenvolgend in de fotocel F gedetecteerd. In de meetbundel is een compensator K opgenomen die de intensiteit tot een gewenst niveau verzwakt. De referentiebundel doorloopt een instelbare lichtverzwakker D en het meetvolume P. Het verschil tussen gedetecteerde intensiteiten is via de lichtverzwakker zo teruggekoppeld dat de intensiteiten van referentie- en meetbundel gelijk zijn. De instelling van de lichtverzwakker is bepalend voor het gelineariseerde uitgangssignaal:

$$S = k_5 C_m + k_6,$$

met k_5 : constante bepaald door deeltjeseigenschappen,
 k_6 : constante bepaald door vloeistofeigenschappen.

Opmerking:

Het meetvolume bevindt zich in een vrijvallende straal P, die ontstaat tussen de uitstroomopening van een verticale toevoerleiding (debiet 7 l/min) en de daaronder aangebrachte afvoerleiding.

Eigenschappen

De methode is ongevoelig voor variatie in bronsterkte en stabiliteit van de elektronica.

Door het ontbreken van vensters kan geen vervuiling van de vensters optreden. Het doorstroomdebiet moet constant zijn om variatie in Q , en daarmee in k_5 en k_6 , te voorkomen.

Meting gebeurt met zichtbaar licht en is dus gevoelig voor variatie in vloeistof/deeltjeskleur.

III OPTISCHE MEETAPPARATUUR; VERSTROOIINGSMETINGEN

III.a BTG: SMS-3000 signaalverwerkingseenheid en HC-100 sensor

In Fig. 13 is de opbouw van de sensor weergegeven.

Uitvoering

Insteeksensor voor kogelkraan die gemonteerd is in een (pijp-)wand.

De SMS-3000 kan parallel de signalen verwerken van 4 (BTG: HC- en/of RD-) sensoren.

Principe

Via glasvezel 3 wordt een gepulste infrarood (880 nm) bundel naar de vloeistof geleid. Deze bundel bestrijkt in de vloeistof een volume dat bepaald wordt door bundelintensiteit, openingshoek van de bundel, en verzwakking van de bundel in de suspensie. De overlap van dit volume met de "observatie"-volumina van de detectie-vezels 1 en 2 vormen de beide meetvolumina van verstrooiing. De grootte van deze meetvolumina zijn onder meer afhankelijk van concentratie, venstervervuiling, bronsterkte en detectorgevoeligheid.

De bronsterkte wordt zo gestuurd dat het quotiënt van beide ontvanstsignalen constant is. Door regeling van dit quotiënt, dat mede bepaald wordt door concentratie en venstervervuiling, vindt een correctie voor venstervervuiling plaats. Het uitgangssignaal is rechtevenredig met C_m .

N.B. Voor hoge concentraties kan meervoudige verstrooiing significant worden, waardoor de vorm van de meetvolumina verandert.

Eigenschappen

De verkrijgbare specificaties van de recent ontwikkelde meter zijn (momenteel nog) summier. Dit houdt in dat geen uitspraak mogelijk is over de invloed op het uitgangssignaal van bijvoorbeeld venstervervuiling, deeltjes- en vloeistof-eigenschappen.

Meetbereik

Tot 200 g primairslib l^{-1} , 150-900 g SiO_2 l^{-1} .

Uitgangssignaal

Digitale display, plus 0-20 en 4-20 mA.

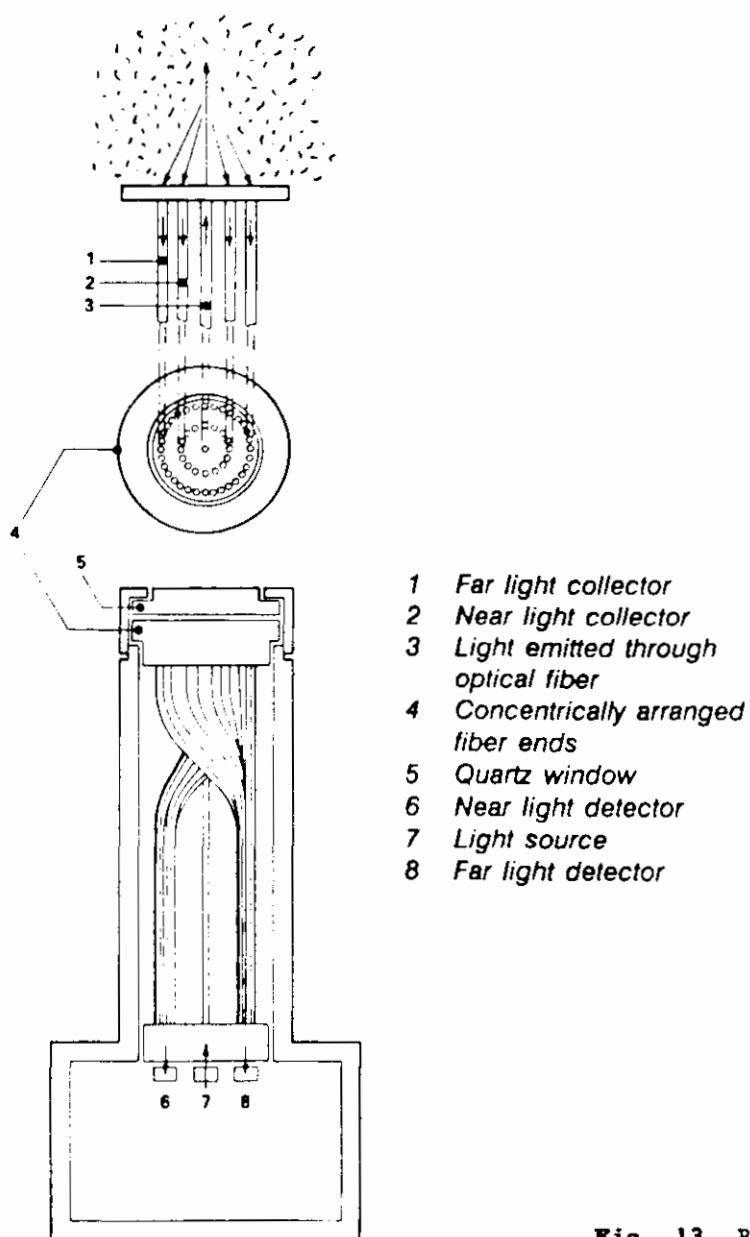


Fig. 13 BTG: HC-100 sensor.

Toepassing

Enkele geïnstalleerd bij RWZI's (systeem is pas sinds kort leverbaar).

Prijs

SMS-3000

: kf 23

Insteeksensor

: kf 11

Kogelkraan

: kf 4.

III.b Dr Lange slibconcentratiesensor PSI

Uitvoering

Dompelsensor.

Principe

De sensor heeft de vorm van een gesloten cilinder. Aan de onderzijde van de sensor is een venster aangebracht waardoor een gepulste infrarood (880 nm) bundel in het medium straalt en waardoor het verstrooide licht wordt waargenomen. Het venster is voorzien van een ruitewisser.

De door de leverancier verstrekte informatie is summier: het is niet duidelijk hoe (bijvoorbeeld onder welke hoek) het verstrooide licht wordt waargenomen. Aangenomen wordt dat de pulserende bundel dient voor het uitvoeren van een correctie voor achtergrondlicht. Het uitgangssignaal luidt dan, conform Vgl. 2.3:

$$S = k_5 C_m e^{-k_6 C_m},$$

met k_5 : constante bepaald door bundelgeometrie, bronsterkte, transducent-, vloeistof- en deeltjeseigenschappen,
 k_6 : constante bepaald door bundelweglengte en deeltjeseigenschappen.

Eigenschappen

Voor zover variaties in de "kleur" van de deeltjes en de vloeistof de brekingsindices bij 880 nm niet beïnvloeden, is de meting ongevoelig voor kleurvariaties.

Het risico bestaat dat schurende deeltjes in het slib de doorlatendheid van het venster, en daarmee k_5 , beïnvloeden.

Meetbereik

0-8 g slib l⁻¹.

Uitgangssignaal

Digitale display, plus 0-2 V, 0-20 en 4-20 mA.

Toepassing

Niet geleverd in Nederland (meter sinds begin 1990 op de markt).

Prijs

Sensor + meeteenheid

: kf 11.

III.c Hach Surface Scatter 6 turbidimeter

Zie Fig. 14a voor een schematische weergave van het meetprincipe.

Uitvoering

Doorstroomsensor die continu de afgezogen vloeistof bemeet. Voor vloeistoffen die gasbellen bevatten wordt een ontluchtingsapparaat aanbevolen.

Principe

De afgezogen vloeistof wordt omhooggestuwd in een continu overstromende scheefstaande meetbuis. De invallende lichtbundel is gefocusseerd op het vloeistofoppervlak in de meetbuis. De detector is zo gepositioneerd dat het in de bovenste vloeistoflaag onder 90° verstrooide licht wordt waargenomen. De aan het oppervlak gereflecteerde en gebroken lichtbundels worden afgevangen. In de bodem van de meetbuis zit een afvoer voor bezonken materiaal. Het uitgangssignaal komt overeen met de onder 90° verstrooide intensiteit (Vgl. 2.3):

$$S = k_5 C_m e^{-k_6 C_m},$$

met k_5 : constante bepaald door bundelgeometrie, bronsterkte, transducent-, vloeistof- en deeltjeseigenschappen,

k_6 : constante bepaald door bundelweglengte en deeltjeseigenschappen.

Opmerking:

Voor een "standaard" verstrooiingsopstelling (Fig. 3) zal bij toenemende C_m de absorptie, langs de in de suspensie af te leggen weg, zo groot worden dat de waargenomen intensiteit gaat afnemen (Fig. 4, voor $C_m > k_2^{-1}$). Dit effect treedt bij de Hach-sensor niet op. Bij hoge C_m neemt de verstrooide intensiteit wel minder toe (afname-gevoeligheid) maar niet af (zie Fig. 14b). Voor toenemende C_m dringt het licht minder ver de vloeistof in: de verstrooiing concentreert zich in een kleiner gebied nabij het oppervlak waardoor de totale in de suspensie geabsorbeerde lichtintensiteit afneemt en S blijft toenemen (meetvolume en daarmee k_5 en k_6 zijn voor hoge concentraties afhankelijk van C_m).

Eigenschappen

Indien het vloeistofoppervlak niet vlak is, zal dit de bundelgeometrie en daarmee de waarden van k_5 en k_6 beïnvloeden.

De meting is gevoelig voor variatie van vloeistof/deeltjeskleur omdat gewerkt wordt met zichtbaar licht.

Vensters ontbreken zodat geen venstervervuiling op kan treden.

Meetbereik

0-9999 NTU (Nephelometric Turbidity Unit).

De eenheid NTU is gebaseerd op een standaard formazine suspensie. Voor meetwaarden van verstrooiingsapparatuur kan conversie tussen verschillende concentratie-eenheden in feite alleen experimenteel verkregen worden omdat dit gerelateerd is aan stralingsgolflengte, deeltjeseigenschappen en strooihoek. Gezien het hoge bereik in NTU's is de kans echter reëel dat de meter ook als slibmeter voor $C_m > 1 \text{ g l}^{-1}$ bruikbaar is.

Reproduceerbaarheid

±1%.

Responsietijd

100 s voor 90% van de eindwaarde, bij een debiet van 2 l/min.

Uitgangssignaal

Digitale display, plus 0-10/100/1000 mV en 4-20 mA.

Toepassing

Niet bekend.

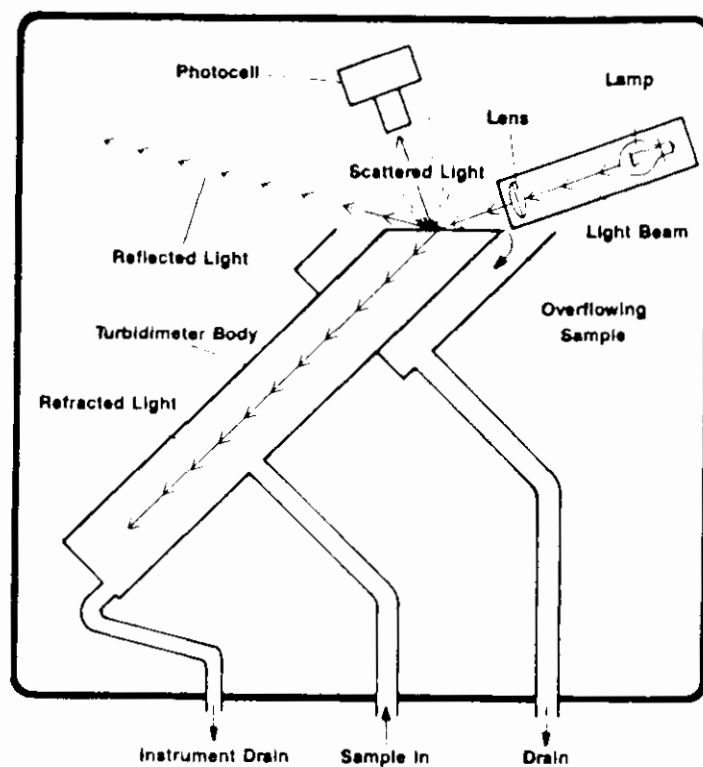
Prijs

Meter + verwerkingseenheid (excl. aanzuigstelsel)

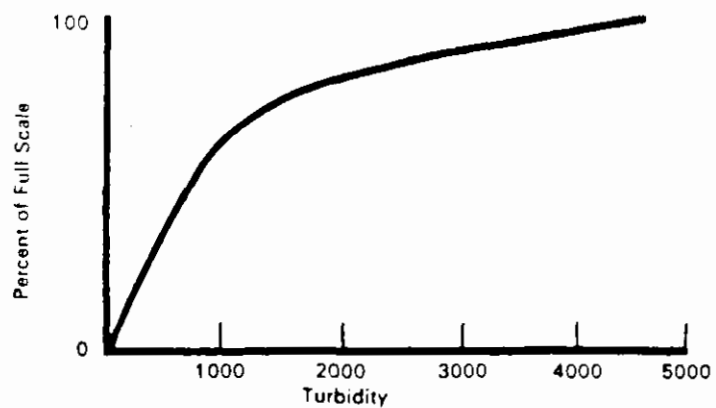
: kf 10

Ontluchtingstelsel

: kf 1.



(a)



(b)

Fig. 14 Hach Surface Scatter 6: (a) meetopstelling, en (b) strooisignaal als functie van de troebelheid.

IV OPTISCHE MEETAPPARATUUR; TRANSMISSIE- EN VERSTROOINGSMETINGEN

IV.a Monitek 52 H

Zie Fig. 10 voor dwarsdoorsnede van de sensor.

Uitvoering

De sensor kan gebruikt worden als dompelsensor en als insteeksensor voor een kogelkraan in een (pijp-)wand.

Principe

Vormgeving en reinigingsmechanisme komen overeen met die van de Monitek 52 LE (bijlage II.c).

Naast de transmissiemeting vindt een verstrooiingsmeting onder 90° plaats. Het uitgangssignaal is gelijk aan het quotiënt van beide ontvangstsignalen (zie Vgl. 2.4):.

$$S = k_5 C_m,$$

met k_5 : constante afhankelijk van bundelgeometrie en deeltjeseigenschappen.

Eigenschappen

Hoge-concentratiemetingen bij RWZI's zijn dikwijls gewenst in pijpleidingen. Gezien de overdruk die in dergelijke systemen vaak heerst, is toepassing van een insteeksensor niet aan te bevelen: door de overdruk zijn lekkages via de reinigingszuiger te verwachten.

Meetbereik

0-50 tot 100 g slib l^{-1} .

Reproduceerbaarheid

±2%.

Responsietijd

40 s, met damping 160 s (voor 90% van de eindwaarde).

Uitgangssignaal

Wijzeruitslag, plus 0-1 V, 0-20 en 4-20 mA.

Toepassing

Laatste 5 jaar: incidenteel geleverd aan RWZI's.

Prijs

Sensor + meetkast

: kf 18

Kogelklep

: kf 1.

V AKORSTISCHE MEETAPPARATUUR; TRANSMISSIEMETINGEN

V.a Bestobell-Mobrey: MSM40 verwerkingseenheid en 433S of 448S sensor

Zie Fig. 15 voor het principe van de transmissiemeting.

Uitvoering

Dompelsensor en in-linesensor (het pijpstuk waarin beide transducenten met een wartelmoer zijn bevestigd, is leverbaar met kranen voor reiniging en bemonstering).

Principe

Er zijn twee typen transducenten verkrijgbaar: voor aansturing op 1 en op 3,7 MHz. Het meetbereik wordt bepaald door de frequentie van de akoestische golf en de af te leggen weglengte: een grotere frequentie/weglengte geeft een hogere verzwakking en daarmee een grotere gevoeligheid en een lager bereik. Het uitgangssignaal is het gelineariseerde (logaritmische versterker) transmissiesignaal (Vgl. 2.2):

$$S = k_5 C_m + k_6,$$

met k_5 : constante bepaald door deeltjeseigenschappen en akoestische weglengte,

k_6 : constante bepaald door zendvermogen, transducent- en vloeistofeigenschappen en akoestische weglengte.

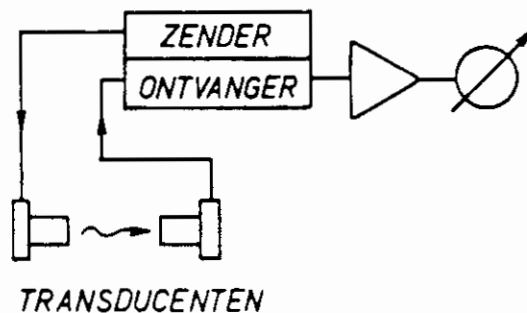


Fig. 15 Akoestische transmissiemeting.

Eigenschappen

Voor de in-linesensor geldt dat de leiding waarin het pijpstuk is geplaatst voorzien moet zijn van een bypass, zodat onderhoud kan plaatsvinden zonder het slibtransport te verstoren.

Indien de zendtransducent continu met de zendfrequentie wordt aangestuurd (zoals mondeling door de leverancier is medegedeeld) bestaat het risico dat door geluidsreflectie aan zender en ontvanger resonantieverschijnselen optreden. Variaties in bijvoorbeeld de vloeistoftemperatuur beïnvloeden deze resonantie en daarmee het uitgangssignaal.

Meetbereik

Is afhankelijk van de akoestische frequentie en de afstand tussen de transducenten. Voorbeeld voor primairslib:

$\varnothing = 15 \text{ cm}$, $f = 1,0 \text{ MHz}$: $10\text{--}200 \text{ g l}^{-1}$
 $\varnothing = 20 \text{ cm}$, $f = 3,7 \text{ MHz}$: $2\text{--}30 \text{ g l}^{-1}$.

Uitgangssignaal

Wijzeruitslag, plus 0-10 V, 0-20 en 4-20 mA.

Toepassing

In-linesensor in enkele RWZI's.

Prijs

Dompelsensor (433S)	: kf 1
In-linesensor (448S)	: kf 7
MSM40	: kf 11.

V.b Krohne USS11 verwerkingseenheid met US12 sensor

Zie Fig. 16 voor sensor-constructie.

Uitvoering

Dompelsensor

Principe

De sensor bestaat uit één transducent en een reflector die op verschillende afstanden van de transducent instelbaar is. De transducent is een gecombineerde zend-/ontvangsteenheid: gedurende korte tijd zendt de transducent akoestische energie het medium in, na reflectie detecteert dezelfde transducent, die nu als ontvanger is geschakeld, het gereflecteerde geluid.

Het uitgangssignaal (Vgl. 2.2) is:

$$S = k_5 e^{-k_6 C_m},$$

met k_5 : constante bepaald door zendvermogen, transducent- en vloeistofeigenschappen en akoestische weglengte,
 k_6 : constante bepaald door deeltjeseigenschappen en akoestische weglengte.

Eigenschappen

Doordat de zender niet continu wordt aangestuurd kan resonantie, van akoestische golven tussen transducent en reflector, worden uitgesloten. De beschikbare informatie is echter te beperkt voor het doen van een uitspraak over de invloed van bijvoorbeeld de vloeistoftemperatuur op het uitgangssignaal.

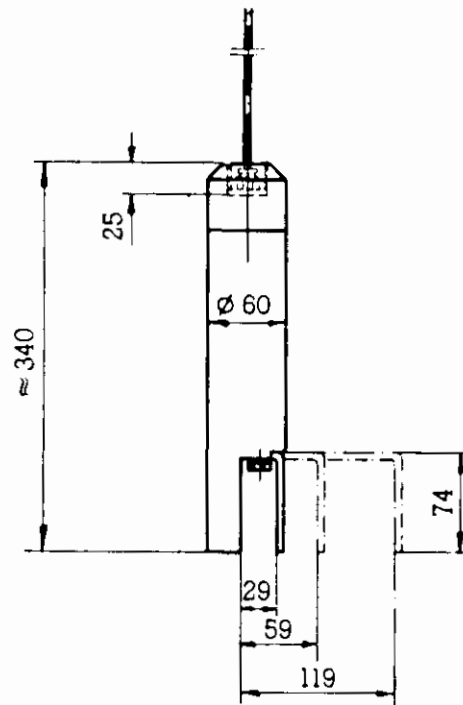


Fig. 16 Krohne sensor met verstelbare reflector. Afmetingen in mm.

Bereik

5-80 g slab l^{-1} .

Uitgangssignaal

0-20 en 4-20 mA (niet lineair).

Toepassing

?

Prijs

?

V.c Nishihara NU-Sludge Density Meter

Zie Fig. 15 voor het meetprincipe.

Uitvoeringen

Dompelsensor.

In-linesensor bestaande uit een pijpstuk met transducenten, een inspectieopening en kranen voor reiniging en bemonstering.

In-linesensor die naast bovenstaande is voorzien van een zogenaamde stabilizer waarmee gasbellen uit de suspensie kunnen worden verwijderd.

Principe

Gedetailleerde informatie over de werking van de meter ontbreekt. Na linearisering van het transmissiesignaal (Vgl. 2.2) is het uitgangssignaal:

$$S = k_5 C_m + k_6,$$

met k_5 : constante bepaald door deeltjeseigenschappen en akoestische weglengte,

k_6 : constante bepaald door zendvermogen, transducent- en vloeistofeigenschappen en akoestische weglengte.

Eigenschappen

Voor de "eenvoudige" in-linesensor geldt dat de leiding waarin het pijpstuk is geplaatst voorzien moet zijn van een bypass, zodat onderhoud kan plaatsvinden zonder het slibtransport te verstoren.

De in-linesensor met stabilizer werkt als volgt: Aan de zijkant van het pijpstuk is een meetkamer aangebracht die met behulp van een draaiklep van de pijp kan worden afgesloten. Bij "geopende" klep doorstroomt de suspensie de meetkamer. Bij "gesloten" klep bevindt zich een slibmonster in de meetkamer en vindt het transport aan de andere kant van de klep, in de pijp, voortgang. In deze fase wordt het slibmonster zo sterk gecomprimeerd dat de aanwezige gasbellen in de vloeistof oplossen. Aan het einde van de compressiefase meten de beide, in de kamer aangebrachte, transducenten de verzwakking. Vervolgens wordt het meetsignaal opgeslagen en kan, na opening van de klep, een nieuwe bemonstering plaatsvinden.

Meetbereik

Dompelsensor, leverbaar van 0-30 tot 0-100 g slib l^{-1} .

In-linesensor, leverbaar van 0-30 tot 0-150 g slib l^{-1} .

Reproduceerbaarheid

$\pm 2\%$ volle schaal.

Responsietijd

De minimale duur voor een meetcyclus van de stabilizer bedraagt circa 10 s.

Uitgangssignaal

Wijzeruitslag, plus 4-20 mA.

Toepassing

Geleverd aan enkele RWZI's.

De NU-Stabilizer is in Nederland niet geleverd.

Prijs

Dompelsensor incl. meeteenheid : kf 14

In-linesensor incl. meeteenheid : kf 15

In-linesensor met stabilizer : kf 50.

VI NUCLEAIRE MEETAPPARATUUR; TRANSMISSIEMETINGEN

VI.a Kay-Ray Density Measurement System

Zie Fig. 17 voor mogelijke meetconfiguraties.

Uitvoeringen

In-linesensor, bron en detector worden tegen de buitenkant van een pijp gemonteerd.

Principe

Als bron fungeert het radio-actieve isotoop Cs^{137} . Desintegrerende kernen van dit isotoop zenden gammastraling uit. Deze straling bestaat uit hoogenergetische elektromagnetische golven. De gedetecteerde intensiteit van het transmissiesignaal (Vgl. 2.2) is gelijk aan:

$$S = k_5 e^{-k_6 \rho},$$

met ρ : de dichtheid van het medium,
 k_5 : constante bepaald door de bronsterkte en detectoreigenschappen,
 k_6 : constante bepaald door de chemische samenstelling van het medium (massa-verzwakkingscoëfficiënt) en de weglengte.

Opmerking:

Bij de besproken optische en akoestische methoden, die gebaseerd zijn op verstrooiing en absorptie aan deeltjes, wordt C_m gemeten. Bij de transmissie van gammastralen is de bundelverzwakking evenredig met de massa in het meetvolume: de dichtheid ρ wordt gemeten.

Eigenschappen

De bronsterkte wordt bepaald door de desintegratie van kernen waarbij gamma-quanten vrijkomen. Is het, per tijdseenheid, gemeten aantal quanten N , dan volgt uit de telstatistiek dat de nauwkeurigheid waarmee N bepaald kan worden gelijk is aan $\sqrt{N}$. Tengevolge van de variërende bronsterkte dient dus, voor het verkrijgen van de gewenste meetnauwkeurigheid (relatieve fout: $\sqrt{N/N-1}/\sqrt{N}$), een zekere meettijd in acht genomen te worden.

Voor de geleidelijke afneming van de bronsterkte (Cs^{137} heeft een halfwaarde tijd van 30 jaar) kan eenvoudig gecorrigeerd worden.

Voor de berekening van C_m uit de gemeten totale dichtheid ρ_{tot} moet de meettemperatuur bekend zijn omdat ρ temperatuur-afhankelijk is. Indien de dichtheid ρ_v van de vloeistof en ρ_p van de deeltjes bekend zijn, ligt C_m vast:

$$C_m = \rho_p(\rho_{\text{tot}} - \rho_v) / (\rho_p - \rho_v).$$

Een voordeel van de methode is dat detector en bron aan de buitenzijde op een bestaande pijp aangebracht kunnen worden.

Bereik

0-100 g slib ℓ^{-1} .

Uitgangssignaal

Digitale display, plus 4-20 mA (signaal linearisering is mogelijk).

Toepassing

Niet in Nederland.

Prijs

Voor basisopstelling (bron, detector en signaalverwerking)

: kf = 20.

VI.b Endress en Hauser

Apparatuur in de beproevingsfase: Endress en Hauser is bezig transmissiemetingen met gammastraling te beproeven aan slib van RWZI's. Deze testmetingen worden uitgevoerd in Nederland (slib van Houtrust in Den Haag) en Zuid Duitsland (nabij Basel). In de tweede helft van 1990 is een evaluatie van beide projecten te verwachten.

Voor principe en eigenschappen van de methode zie het Kay-Ray Density Measurement System, bijlage VI.a.

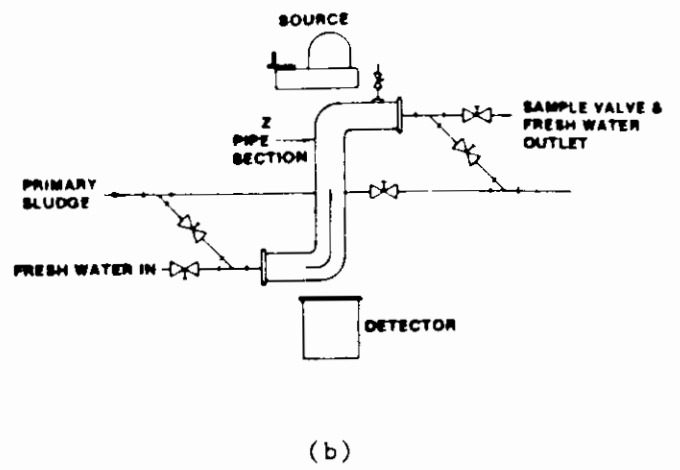
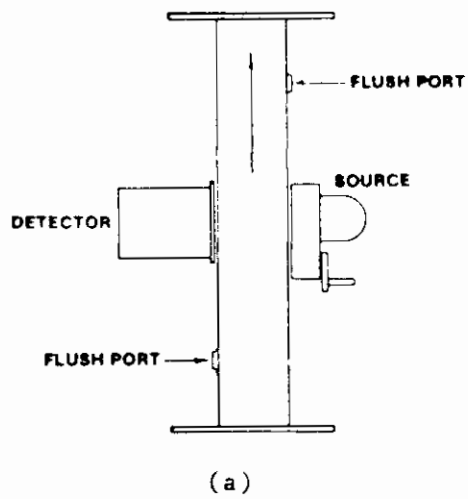


Fig. 17 Nucleaire transmissiemeting voor: (a) recht pijpstuk en (b) een Z-stuk inclusief bypass en kranen voor reiniging, bemonstering, en omleiding.

VII MECHANISCHE MEETAPPARATUUR; TRILLINGSFREQUENTIE

VII.a Endress en Hauser: m-point massa flowmeter

VII.b Micro Motion: Density Monitoring System

VII.c Sarasota: Liquid Density Meter

Zie Fig. 18 ter illustratie van een sensor voor dichtheidsmetingen.

Uitvoering

In-linesensor (ook te gebruiken als doorstroomsensor bij bemonstering).

Principe

De in trilling gebrachte sensor kan worden beschouwd als een massa-veersysteem waarvan de eigenfrequentie omgekeerd evenredig is met de wortel uit de massa (hier: massa buis plus suspensie). Uit de gemeten frequentie volgt de massa (en de dichtheid) van de suspensie. Het uitgangssignaal is evenredig met de dichtheid.

Eigenschappen

Aangezien de dichtheid temperatuurafhankelijk is, moet de meettemperatuur bekend zijn voor omrekening van ρ_{tot} naar C_m . C_m kan berekend worden indien de dichtheid ρ_v van de vloeistof en ρ_p van de deeltjes bekend zijn:

$$C_m = \rho_p (\rho_{\text{tot}} - \rho_v) / (\rho_p - \rho_v).$$

Voor een correcte meting dient het medium homogeen te zijn en in het geheel aan de beweging deel te nemen. Doorstroming is geen vereiste.

De mate waarin de meting gevoelig is voor uitwendige trillingen hangt af van het sensor-ontwerp en de toegepaste trillingsfrequentie.

Meetbereik

0-100 g l⁻¹ is voor geen van de meters een probleem.

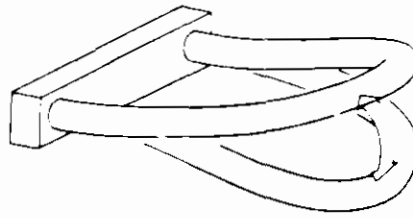


Fig. 18 Schematische weergave van de sensor voor dichtheidsmeting, in de uitvoering van een trillende U-buis

Nauwkeurigheid

- a) Endress en Hauser : $\Delta\rho = \pm 2 \text{ g l}^{-1}$
- b) Micro Motion : $\Delta\rho = \pm 0,5 \text{ g l}^{-1}$
- c) Sarasota : $\Delta\rho = \pm 0,1 \text{ g l}^{-1}$.

Responsietijd

< 1 min.

Uitgangssignaal

4-20 mA, plus digitale display bij,

- a) Endress en Hauser voor : dichtheid, temperatuur en massadebiet
- b) Micro Motion voor : dichtheid en temperatuur
- c) Sarasota voor : dichtheid en temperatuur.

Toepassing

Recente ontwikkeling, nog niet toegepast bij RWZI's.

Prijs

Voor compleet systeem,

- | | |
|----------------------|----------|
| a) Endress en Hauser | : kf 20 |
| b) Micro Motion | : kf 25 |
| c) Sarasota | : kf ? . |

VIII MECHANISCHE MEETAPPARATUUR; FRICTIE

VIII.a BTG: MEK2020

Zie Fig. 19 voor werkwijze van de MEK2020.

Uitvoering

Sensor voor montage in (pijp- of vat-) wand. Een bypass is nodig voor calibratie en reiniging.

Principe

De beide propellers 3 en 5 draaien met dezelfde snelheid door de suspensie. Propeller 3 volgt 5 door middel van de elastische as-koppeling 4. Afhankelijk van de schuifkracht die de meet-propeller 3 in het medium ondervindt, zullen de beide propeller-assen over een zekere hoek ten opzichte van elkaar verdraaien. Meting van deze hoek geeft het uitgangssignaal, dat een maat is voor de viscositeit van het medium en onder meer bepaald wordt door aard en gehalte van de gesuspendeerde vastestof.

Eigenschappen

Gezien het gewicht van de gehele constructie (rotor en motor wegen circa 40 kg) zal in het algemeen ijking in-situ plaatsvinden.

Het instrument is onderhoudsintensief: de bewegende onderdelen zijn onderhevig aan slijtage en bij aanhechting van draadvormig of grof materiaal treedt een systematische afwijking in het uitgangssignaal op.

Meetbereik

15-150 g slib d^{-1} (vereiste minimale stroomsnelheid: $0,5 \text{ ms}^{-1}$).

Reproduceerbaarheid

$< \pm 0,3\%$.

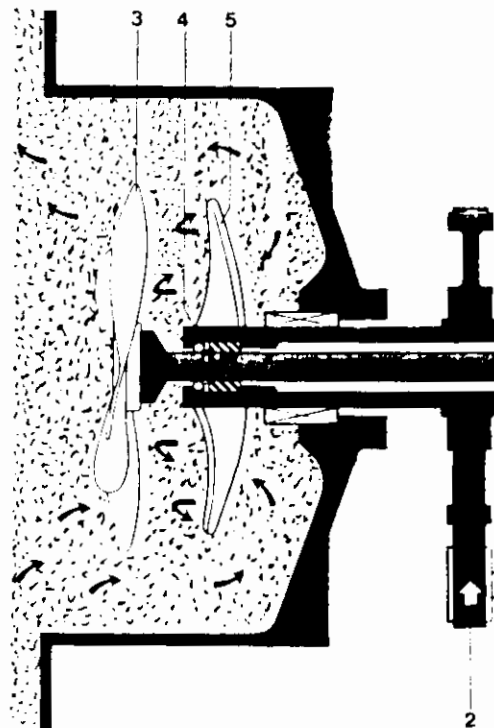


Fig. 19 MEK2020 sensor.

Uitgangssignaal

Digitale display, plus 0-20 en 4-20 mA.

Toepassing

Is geplaatst bij RWZI's.

Prijs

Sensor met signaalverwerking

: kf 30.