



NOTAT

Til: Styringsgruppen for Miljøstyrelsens Referencelaboratorium for Kemiske Miljøanalyser

Fra: Anders Favrbø og Ulla Lund, DHI - Institut for Vand og Miljø

Dato: 18. december 2001

Vedr: **Usikkerhedsbudget for oxygenmålinger i forbindelse med BOD analyse**

Baggrund

Som opfølgning på styringsgruppemøde nr. 19 for Miljøstyrelsens Referencelaboratorium for kemiske miljøanalyser den 12. marts 2001 og kommentarerne fra styringsgruppemøde nr. 20 den 10. september er der beregnet usikkerhedsbudgetter for oxygenmåling med henholdsvis Winkler-titrering (DS 2205) og elektrodemåling (DS 2206). Disse resultater er sammenholdt med kontroldata opnået ved kalibreringer udført på DHI fra 1997.

Dette har interesse for bedømmelsen af metoden til analyse af BOD i spildevand på lavt niveau beskrevet i /1/.

Undersøgelse af kalibrering af oxygenmåling

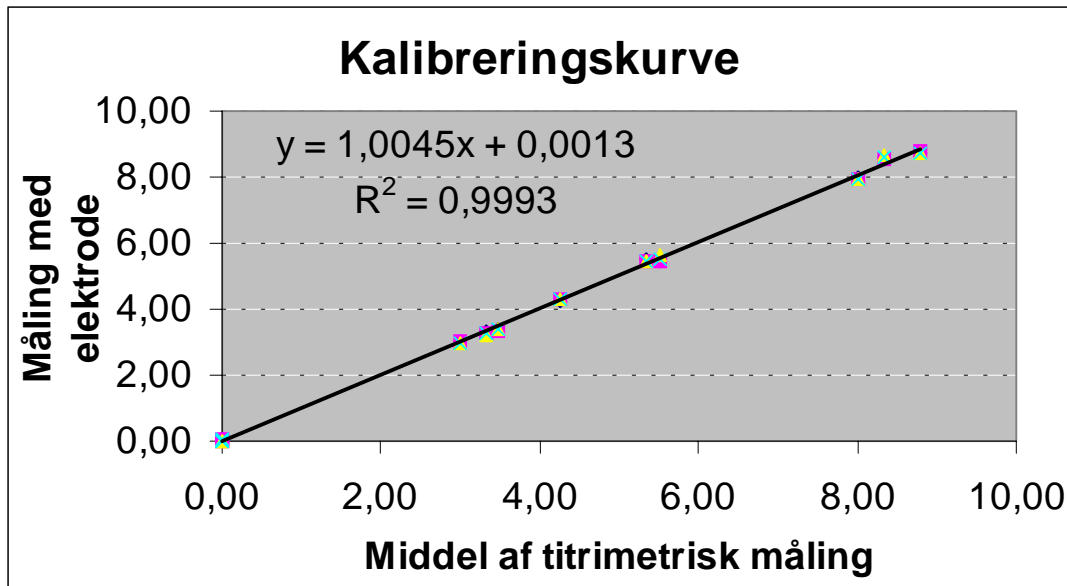
Til identifikation af de forskellige faktorer, der bidrager til usikkerheden på kalibrering af O₂-måling med elektrode, er der gennemført en undersøgelse af eksisterende data fra kalibrering af iltmålingsudstyr på DHI fra 1997 - 2000. Disse resultater er vedlagt i bilag A og B.

Variation af bias på elektrodemåling fra dag til dag

I bilag A undersøges om der statistisk kan skelnes mellem usikkerheden på målinger indenfor dagen (repetérbarhed) og målinger mellem dagene for elektrodemålingen. Da der sammenlignes måleresultater på forskellige niveauer er måleresultaterne normaliserede med gennemsnittet af den titrimetriske måling. Det fremgår af bilag A, at der ikke kan skelnes mellem repetérbarhed og den total variation mellem dage. Dag-til-dag variation bidrager derfor ikke måleligt til den samlede variation. Det kan derfor konkluderes, at en eventuel bias på elektrodemålingen ikke ændres fra dag til dag.

Variation af bias på elektrodemåling som funktion af koncentration

Målingerne, der anvendtes til undersøgelse af variationen fra dag til dag, var foretaget ved flere forskellige koncentrationer, og resultaterne betyder derfor, at der heller ikke ses ændring af bias som funktion af koncentrationen mellem nul og mætning. Dette forhold illustreres tydeligere ved nedenstående kurve, der sammenholder koncentrationen målt ved titrering med koncentration målt med elektrode.



Som det fremgår viser elektrodemålingerne ingen tendens til større afvigelse fra de titrimetriske målinger ved mellem-koncentrationer i forhold til nul og mætning. Det kan derfor konkluderes, at en eventuel bias på elektrodemålingen ikke varierer med oxygenkoncentrationen.

Repetierbarhed for oxygenmåling

På basis af kalibreringsdata fra perioden 1997 - 2001 er samlet repeterbarhedsstandardafvigelse for oxygenmåling på flere koncentrationsniveauer for henholdsvis elektrodemåling og titrering. Datene er vist i bilag B sammen med et diagram, som illustrerer repeterbarheden som funktion af oxygenkoncentrationen.

Diagrammet viser ingen tendens til at repeterbarheden (s_w) afhænger af niveauet af målt oxygen.

I de følgende usikkerhedsbudgetter anvendes derfor medianværdien for s_w for alle målinger, uafhængig af oxygenkoncentrationen.

Samlet vurdering af kalibreringsdata

Samlet bevirker undersøgelserne af kalibreringsdata for oxygenmåling ved titrering og ved elektrode, at BOD-målingen kan betragtes som 2 uafhængige O_2 -målinger (se afsnittet for BOD-analyse), og at repeterbarheden kan beskrives med én standardafvigelse, som er uafhængig af oxygenkoncentrationen.

Usikkerhedsbudgetter for oxygenmåling

Til udregning af usikkerhedsbudgetterne er benyttet metoden beskrevet i /2/. Denne fremgangsmåde benytter følgende 4 trin:

1. trin er en specificering af specien, der ønskes målt (her O_2)
2. trin er identifikation af faktorer, der bidrager til usikkerheden. Usikkerhedsfaktorerne kan anskueliggøres et usikkerhedsdiagram

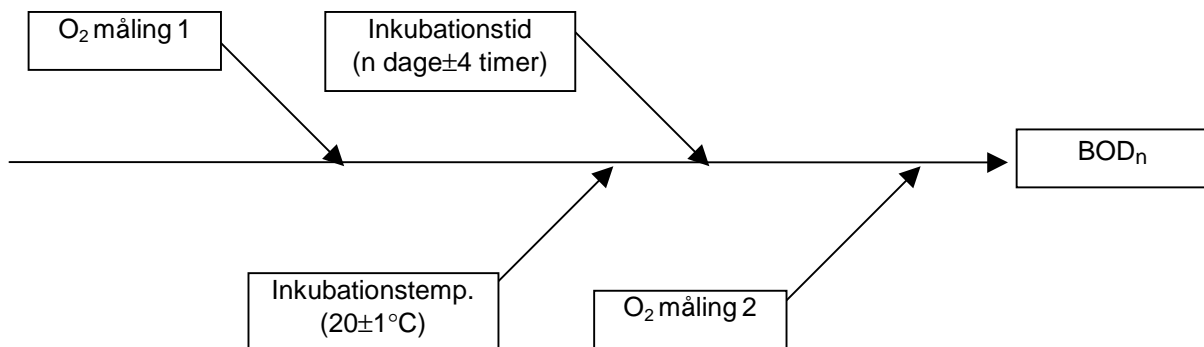


- trin er en kvantificering af usikkerhedsfaktorerne
- trin er en udregning af den samlede usikkerhed.

Vedlagt er usikkerhedsdiagrammerne (trin 2, se bilag C og D) og de benyttede regneark til udregning af den samlede usikkerhed. Heraf fremgår, hvordan de enkelte usikkerhedskomponenter bidrager til den totale usikkerhed (trin 3 og 4, se bilag E og F).

Usikkerhed for BOD₅-analyse

Hvis BOD-analysen gennemføres uden fortynding vil usikkerhedsbidragene bestå af faktorerne beskrevet i nedenstående usikkerhedsdiagram.



Da BOD-analysen er en differensmåling vil usikkerheden stammende fra systematiske fejl på oxygenmålingen ikke påvirke usikkerhedsbudgettet. Dette underbygges af de ovenfor nævnte undersøgelser af kalibreringsdata, som viser, at repeterbarheden og reproducerbarheden ikke er signifikant forskellige over en periode på 3 år. Altså er de systematiske fejl, der kan opstå fra f.eks. aftørring af elektrode, skift af elektrode i de foreliggende resultater ikke-signifikante og usikkerheden på BOD-målingen stammer derfor fra repeterbarheden.

Usikkerheden stammende fra inkubationstiden og inkubationstemperaturen er uafhængig af princippet for måling af O₂. I usikkerhedsbudgettet vil disse faktorer ikke indgå. Sammenholdes usikkerhedsbudgettet for oxygenmåling med faktiske resultater vil det kunne slutes, om disse usikkerheder kan antages at være negligerbare.

Hvis det antages at kun usikkerheden fra 2 oxygenmålinger i BOD-analysen bidrager i usikkerhedsbudgettet, vil den samlede usikkerhed på BOD-analysen kunne udregnes ved:

$$u(\text{BOD}_n) = \sqrt{(u(\text{O}_2 \text{ måling 1}))^2 + (u(\text{O}_2 \text{ måling 2}))^2}$$

Da usikkerhedsbidraget fra repeterbarheden ikke afhænger af niveauet af iltmålingerne (jf. bilag B), fås:

$$u(\text{BOD}_n) = \sqrt{2} * u(\text{O}_2 \text{ måling})$$



I nedenstående tabel er resultaterne angivet.

	Oxygenmåling		BOD analyse
	Standardafv. (s _r) mg/L	Varianskoeff. %	Standardafv. (s _r) mg/L
Usikkerhedsbudget (titrimetrisk) – se bilag E	0,08	0,9	0,11
Usikkerhedsbudget (elektrode) – se bilag F	0,05	0,6	0,08
Generel analysekvalitet i hidtidige præstationsprøvniger baseret på ferskvandsprøver uden fortynding /3/+5/	-	-	0,1-0,2
Generel analysekvalitet i hidtidige præstationsprøvniger baseret på biologisk resnset spildevandsprøver med fortynding /5/	-	-	0,5-0,7
Resultater opnået med metodesammenligning DS/EN 1899-1 (Elektrode måling) /1/	-	-	0,045-0,64
Resultater opnået med metodesammenligning DS/EN 1899-2 (NY) (Elektrode måling) /1/	-	-	0,07-0,53
Kravværdi fersk overfladevand /4/	-	-	0,15 (3-15 s _{Tmax})
Kravværdi spildevand, resnset /4/	-	-	1 (3-15 s _{Tmax})

Tabel 1: Opsamling af resultater fundet ved usikkerhedsbudgettet, tidligere præstationsprøvniger og metodeevalueringen af DS/EN 1899-1 og DS/EN 1899-2 (NY). Bemærk, at der ikke er medtaget generel analysekvalitetsdata fra præstationsprøvniger på biologisk resnset spildevand uden fortynding, da disse data ikke findes.

Konklusion

Benyttes usikkerhedsbudgettet til udregning af usikkerhed på oxygenmåling i BOD-analyser indikerer resultaterne, at oxygenmålingen udgør hovedparten af usikkerheden ved analysen uden fortynding. Usikkerhedsfaktorerne stammende fra inkubationstiden og inkubationstemperaturen kan, som forventet, negligeres. Derfor er detektionsgrænsen af metoden hovedsageligt bestemt af kvaliteten af oxygenmålingen.

Usikkerhedsbudgetterne for elektrodemåling og titrimetrisk måling afviger kun lidt fra hinanden.

Usikkerheden på metoderne, der benytter fortynding, viser, at de ekstra trin bidrager til den samlede analyseusikkerhed.



Referencer

- /1/ C. Grøn, A. Favrbø, L. Olsen, J. Merry "BOD₅ på lavt niveau – Udvikling og bestemmelse af BOD₅ på lavt niveau ud fra DS/EN1899-2" (2000), DHI - Institut for Vand og Miljø.
- /2/ S. L. R. Ellison, M. Rosslein, A. Williams, "Quantifying Uncertainty in Analytical Measurement", 2nd Edition (2000), EURACHEM /CITAC guide.
- /3/ C. Grøn, A. Favrbø, "BOD₅ på lavt niveau – Evaluering af BOD₅-metoder til anvendelse på detektionsgrænse niveau i spildevand" (2000), DHI - Institut for Vand og Miljø.
- /4/ Miljø- og Energiministeriets bekendtgørelse nr. 637 af 30. juni 1997: Bekendtgørelse om krav til miljømålinger udført af akkrediterede laboratorier, certificerede personer mv.
- /5/ K. J. Andersen, U.O. Lund, "Kompendium over metoder til miljøanalyser – gennemgang af metoder i forhold til kvalitet og kemikalieanvendelse (1997), Miljøstyrelsens Referencelaboratorium

BILAG A

Undersøgelse af repeterbarhed og reproducerbarhed

For at kunne undersøge dag til dag variationens størrelse er det nødvendigt at normalisere målingerne over for de titrimetriske målinger. Dette gør, at variationen fra de forskellige mætningsgrader fjernes. Det forudsættes, at den titrimetriske måling måler rigtigt hver gang, således at den ikke bidrager med en dag til dag variation.

Titrimetrisk			Gennemsnit mg/L O2	Elektrode			Normaliserede elektrode målinger			Middel	Varians
mg/L O2	mg/L O2	mg/L O2		mg/L O2	mg/L O2	mg/L O2					
8,83	8,76	8,78	8,79	8,75	8,77	8,75	1,00	1,00	1,00	1,00	0,000002
8,16	8,31	8,58	8,35	8,60	8,53	8,65	1,03	1,02	1,04	1,03	0,000052
8,06	7,93	8,06	8,02	7,98	7,95	7,94	1,00	0,99	0,99	0,99	0,000007
8,92	8,89	8,94	8,92	8,83	8,86	8,84	0,99	0,99	0,99	0,99	0,000003
8,53	8,61	8,50	8,55	8,65	8,62	8,61	1,01	1,01	1,01	1,01	0,000006
8,43	8,48	8,42	8,44	8,36	8,27	8,35	0,99	0,98	0,99	0,99	0,000034
8,44	8,47	8,60	8,50	8,22	8,23	8,25	0,97	0,97	0,97	0,97	0,000003
8,58	8,65	8,64	8,62	8,57	8,57	8,61	0,99	0,99	1,00	1,00	0,000007
4,19	4,30	4,30	4,26	4,22	4,30	4,31	0,99	1,01	1,01	1,00	0,000134
2,96	3,00	3,02	2,99	3,03	3,01	2,94	1,01	1,01	0,98	1,00	0,000249
5,36	5,35	5,33	5,35	5,52	5,44	5,43	1,03	1,02	1,02	1,02	0,000085
3,32	3,35	3,32	3,33	3,32	3,29	3,19	1,00	0,99	0,96	0,98	0,000418
5,52	5,49	5,51	5,51	5,43	5,46	5,65	0,99	0,99	1,03	1,00	0,000469
3,45	3,47	3,49	3,47	3,42	3,36	3,42	0,99	0,97	0,99	0,98	0,000100

På de normaliserede målinger udregnes en inden for dag variation og en mellem dage variation.

Replikater (indenfor dage) Var(replikater)= 0,00011 $f=14*(3-1)=$ 28

Mellem dage Var(dage)= 0,0003 $f=14-1=$ 13

$F(\text{test})=\text{Var}(\text{dage})/\text{Var}(\text{replikater})=$ 2,34

$F(\text{Tabel, 95\%})=$ 2,089

$F(\text{Tabel, 99\%})=$ 2,842

Da $F(\text{tabel, 99\%}) > F(\text{Test})$, er variationen mellem dagene ikke-signifikant forskellig (99%-niveau) fra indenfor dag variationen

Repeaterbarheden og reproducerbarheden for elektrodemåling kan derfor ikke skelnes.

Bilag B

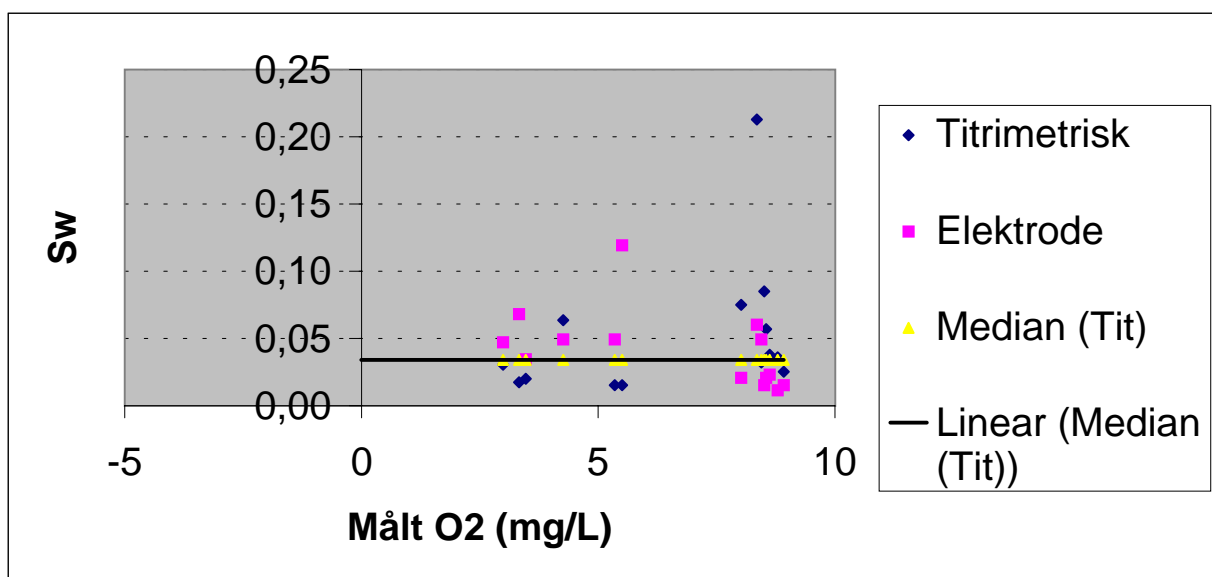
Undersøgelse af standardafvigelsen afhængighed af niveauet.

For at kunne undersøge, hvorvidt usikkerheden på målingen afhænger af niveauet af målt oxygen, undersøges standardafvigelse inden for dagen (Sw).

Titemetrisk			Gennemsnit mg/L O2	Elektrode			Sw	
mg/L O2	mg/L O2	mg/L O2		mg/L O2	mg/L O2	mg/L O2	Titemetrisk	Elektrode
8,92	8,89	8,94	8,92	8,83	8,86	8,84	0,03	0,02
8,83	8,76	8,78	8,79	8,75	8,77	8,75	0,04	0,01
8,58	8,65	8,64	8,62	8,57	8,57	8,61	0,04	0,02
8,53	8,61	8,50	8,55	8,65	8,62	8,61	0,06	0,02
8,44	8,47	8,60	8,50	8,22	8,23	8,25	0,09	0,02
8,43	8,48	8,42	8,44	8,36	8,27	8,35	0,03	0,05
8,16	8,31	8,58	8,35	8,60	8,53	8,65	0,21	0,06
8,06	7,93	8,06	8,02	7,98	7,95	7,94	0,08	0,02
5,52	5,49	5,51	5,51	5,43	5,46	5,65	0,02	0,12
5,36	5,35	5,33	5,35	5,52	5,44	5,43	0,02	0,05
4,19	4,30	4,30	4,26	4,22	4,30	4,31	0,06	0,05
3,45	3,47	3,49	3,47	3,42	3,36	3,42	0,02	0,03
3,32	3,35	3,32	3,33	3,32	3,29	3,19	0,02	0,07
2,96	3,00	3,02	2,99	3,03	3,01	2,94	0,03	0,05

Median værdi 0,03

0,04



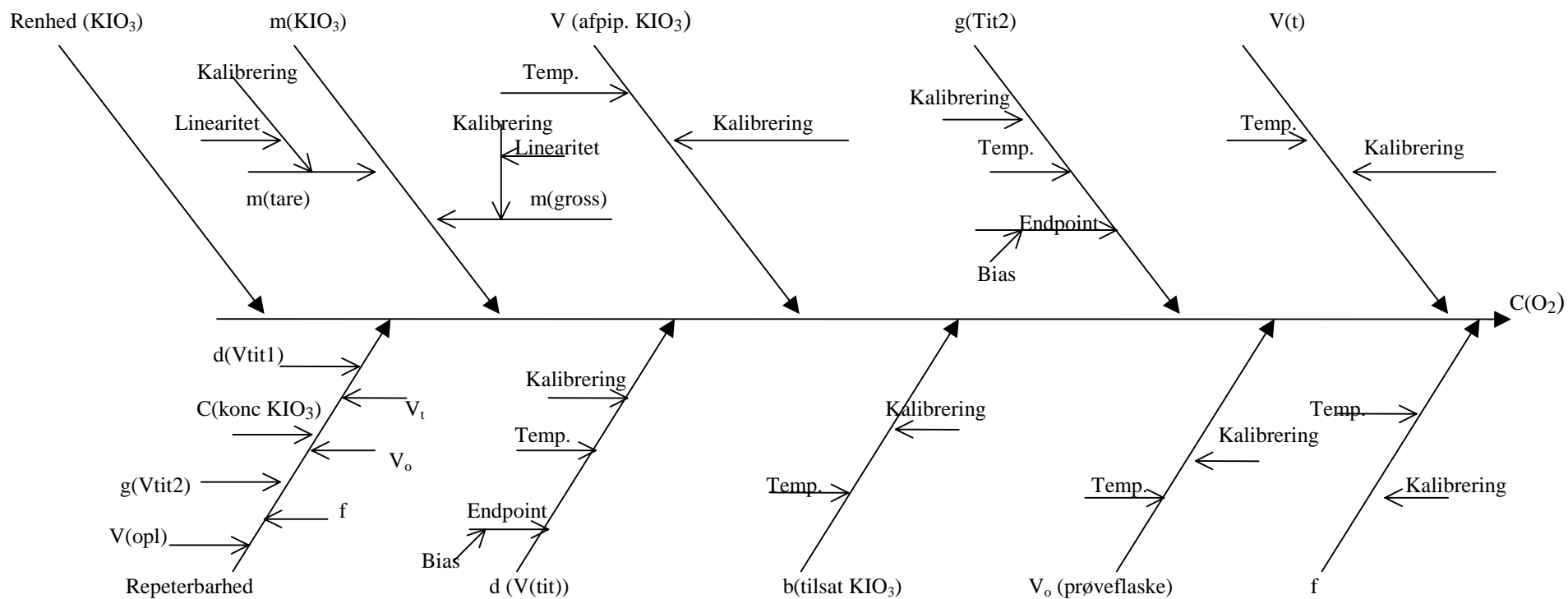
Konklusion:

Diagrammet viser, hvorledes standardafvigelse inden for dagen (Sw) varierer som funktion af niveauet af oxygen. I diagrammet er medianværdien af standardafvigelse fra de titemetriske målinger indtegnet.

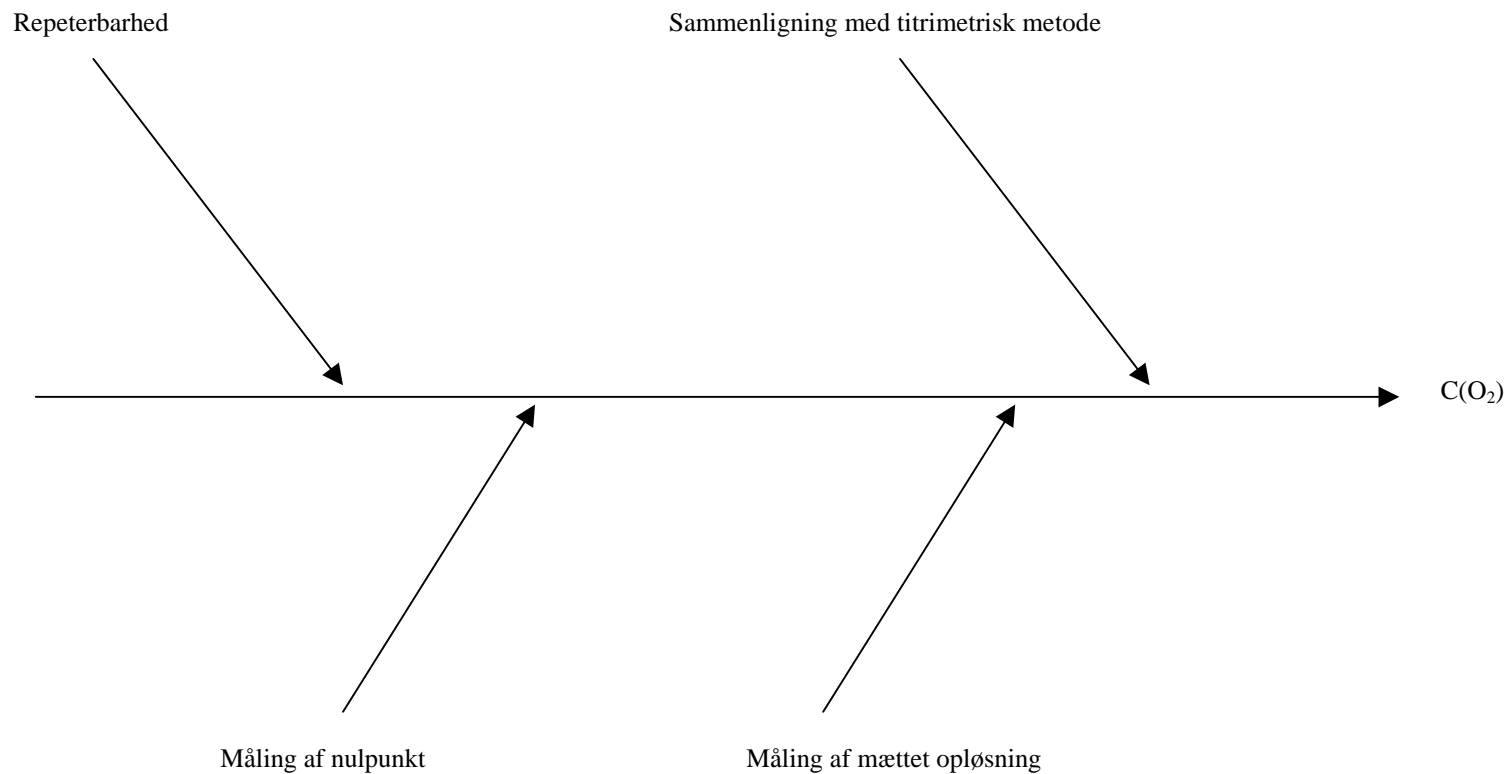
Diagrammet viser ingen tendens til, at standardafvigelse afhænger af niveauet af målt ilt.

Derfor kan medianværdien benyttes til beregningerne i usikkerhedsbudgettet.

BILAG C : Bidrag til usikkerhedsbudgettet for analyse af O₂ med titring



BILAG D : Bidrag til usikkerhedsbudgettet for analyse af O₂ med elektrode



BILAG E

Analyse af O₂ - titrimetrisk efter DS 2205

- 1 Opløs KIO₃ (m=428,0 g +/- 0,1 g) i 1000 mL målekolbe (vol KIO₃)
- 2 Natriumthiosulfat opløsningen indstilles ved titrering (d volumen til indstilling) på 10 ml KIO₃ opløsning
- 3 Koncentrationen af KIO₃ omregnes fra mg til mol. Usikkerheden på molmassen negligeres
- 4 Oxygen i prøven fikseres med f=2 mL fikseringsopløsning (Usikkerheden stammende fra denne fortyndingen negligeres)
- 5 Af prøvens totalvolumen (Vo=130 mL) udtages et delvolumen (Vt=50 mL) med fuld pipette
- 6 Delprøven titreres med natriumthiosulfat (g=5 mL)

Følgende volumener og masser er brugt i de følgende beregninger

Repetérbarhed	1	
Renhed (KIO ₃)	0,9975	
m (KIO ₃)	428 mg	
vol (KIO ₃)	1000 mL	
b (afpipetering af KIO ₃)	10 mL	
d (volumen til indstilling)	12 mL	
f (tilsat fældningsvolumen)	2 mL	(Usikkerhed fra denne negligeres)
Vt (delvolumen til titrering)	50 mL	
Vo (prøveffaskevolumen)	130 mL	
g (volumen til titrering af prøve)	5,3 mL	

Ved titrering i punkt d og g anvendes samme burette, og der er derfor en korrelation mellem de to usikkerhedsbidrag. Denne korrelation antages at være ubetydelig, hvorfor den ikke medtages.

Usikkerhedsbidrag er fundet på anvendt udstyr. På volumetrisk udstyr er påvirkningen af variationen i rumtemperaturen i laboratoriet medtaget. Det antages at temperaturen varierer +/- 4 C.

			Standard uncertainty
Repetérbarhed	Sw=0,03 (fundet i bilag B). For fastlæggelse af bidraget se nedenfor.		0,0035
Renhed (KIO ₃)	min. 99,5% -> 99,75 +/- 0,25 %	0,0025	0,001443376
m (KIO ₃)	analysevægt samt usikkerhed på afvejning +/-	0,1 mg	0,057735027 mg
vol (KIO ₃)	1000 mL målekolbe (temp. bidrag+kolbebidrag)		0,5259 mL
b (afpipetering af KIO ₃)	10 mL fuld pipette (temp. bidrag+pipettebidrag)		0,013 mL
d (volumen til indstilling)	titrering med burette (temp. bidrag+burettebidrag)		0,031 mL
f (tilsat fældningsvolumen)	tilsætning af 2 mL fikseringsreagens		0 mL
Vt (delvolumen til titrering)	50 mL fuld pipette (temp. bidrag+pipettebidrag)		0,0474 mL
Vo (prøveffaskevolumen)	130 mL Winklerflaske (temp. bidrag+pipettebidrag)		0,111 mL
g (volumen til titrering af prøve)	titrering med burette (temp. bidrag+burettebidrag)		0,031 mL

Til udregning af kombinerede usikkerheder er benyttet, at usikkerheden på de enkelte komponenter kan adderes som varianser hvis de er uafhængige ved:

$$U(X) = [(U(\text{temperatur}))^2 + (U(\text{volumetrisk udstyr}))^2]^{1/2}$$

Det er antaget, at usikkerheden på volumetrisk udstyr følger en triangulær fordeling, og de resterende følger en rektangulær fordeling.

Temperatur bidraget er udregnet ud fra:

$$\pm (V(\text{Volumen af vand})) \cdot (2,1 \cdot 10^{-4}) \cdot C^{-1} \cdot (\text{variation i laboratoriet})$$

Eksempel (d volumen til indstilling):

Usikkerhed på volumen indeholder både temperaturbidrag og tolerance på udstyr:

Temperaturbidraget er beregnet ud fra:

$$U(\text{temp}) = (V(\text{Volumen}) \cdot \text{Udvidelseskoefficient} \cdot \text{temperatur variation i laboratoriet}) / \sqrt{3}$$

Udvidelseskoefficient for vand er 0,00021

Det antages at temperaturen i laboratoriet afviger højst 4

grader fra standardtemperatur ved kalibrering af det volumetriske udstyr

Volumen er sat til 12 mL

Derfor er temperatur usikkerheden:

$$U(\text{temp}) = 0,00582$$

Buretten er certificeret til +/- 0,075 mL

$$U(\text{burette}) = 0,075 \text{ mL} / \sqrt{6} = 0,03062 \quad (\text{triangulær fordeling})$$

$$U(X) = [(U(\text{temperatur}))^2 + (U(\text{volumetrisk udstyr}))^2]^{1/2} = 0,031 \text{ mL}$$

Reference: S. L. R. Ellison, M Rosslein, A Williams, "Quantifying Uncertainty in Analytical Measurement", 2nd Edition (2000), EURACHEM /CITAC guide

Den vigtigste faktor i usikkerhedsbudgettet er repetérbarheden. I bilag B er det vist, at Sw ikke påvirkes af niveauet af målt ilt. Her benyttes derfor resultatet (8,56) til at udregne den relative usikkerhed. Denne findes ved $0,03/8,56=0,0035$

BILAG E

Analyse af O2 - titrimetrisk efter DS 2205

Parameter Usikkerhed	Repetierbarhed	Renhed (KIO3)	m (KIO3)	vol (KIO3)	b (afpipetering	d (volumen til indstilling)	f (tilsat fældning	Vt (delvolumen til ti	Vo (prøveflask g (volumen til	
	0,0035	0,001443376	0,057735	0,5259	0,013	0,031	0	0,0474	0,111	0,031

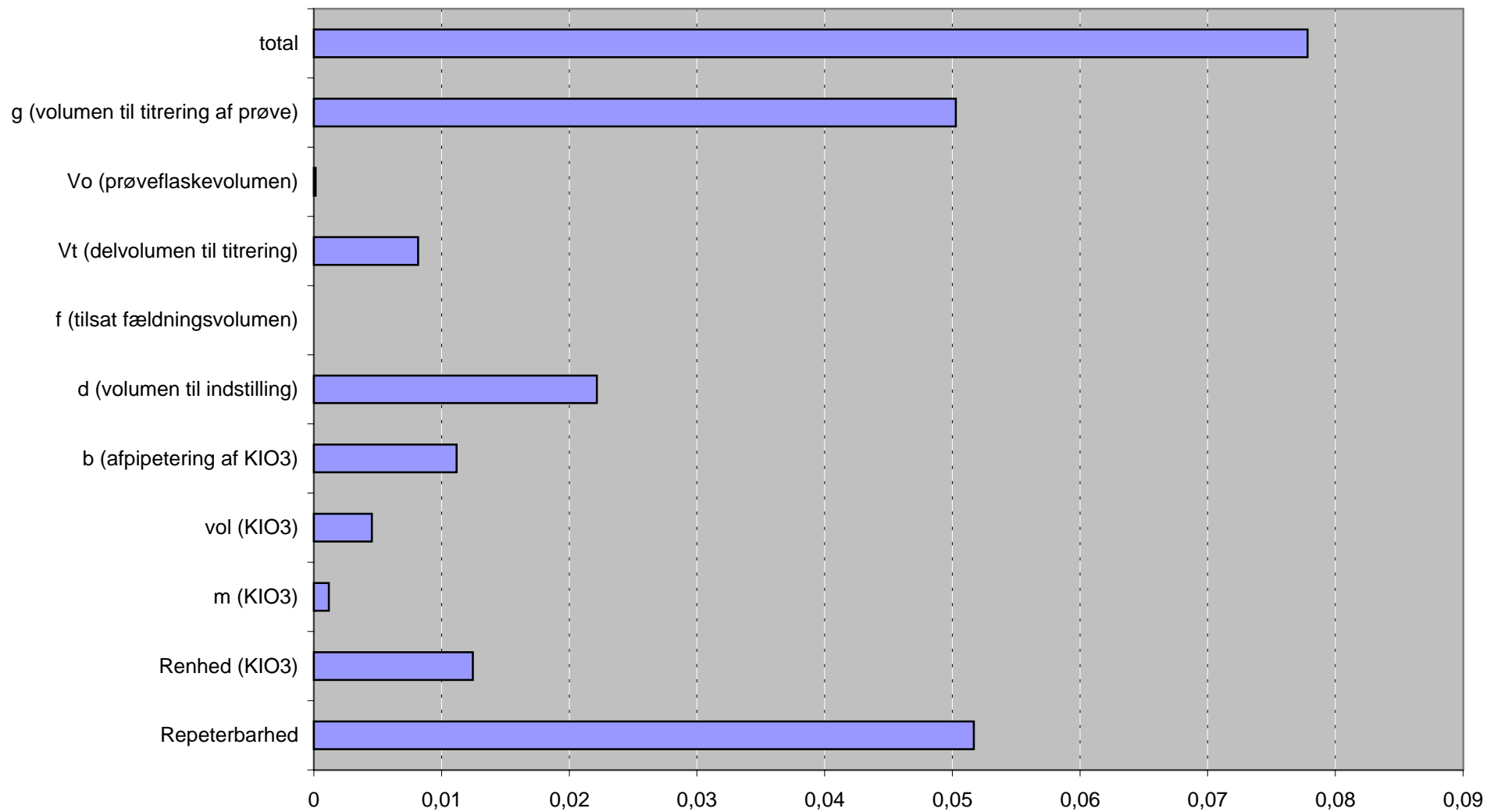
Parameter	Værdier										
Repetierbarhed	1	1,0035	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Renhed (KIO3)	0,9975	1	0,998943376	0,9975	0,9975	0,9975	0,9975	0,9975	0,9975	0,9975	0,9975
m (KIO3)	428 mg	428	428	428,05774	428	428	428	428	428	428	428
vol (KIO3)	1000 mL	1000	1000	1000	1000,5259	1000	1000	1000	1000	1000	1000
b (afpipetering af KIO3)	10 mL	10	10	10	10	10,013	10	10	10	10	10
d (volumen til indstilling)	12 mL	12	12	12	12	12	12,031	12	12	12	12
f (tilsat fældningsvolumen)	2 mL	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Vt (delvolumen til titrering)	50 mL	50	50	50	50	50	50	50	50,0474	50	50
Vo (prøveflaskvolumen)	130 mL	130	130	130	130	130	130	130	130	130,111	130
g (volumen til titrering af prøve)	5,3 mL	5,3	5,3	5,3	5,3	5,3	5,3	5,3	5,3	5,3	5,331

Nominel værdi	8,56097 mg/L	8,61264	8,57340	8,56213	8,55645	8,57214	8,53883	8,56097	8,55283	8,56085	8,61122
u(nom)i		0,051675	0,0124	0,0011589	-0,0045156	0,011168259	-0,022136151	0	-0,008136525	-0,00011452	0,05024906
u(nom)^2	0,006052495	u(nom)i^2	0,002670306	0,000154532	1,343E-06	2,039E-05	0,00012473	0	6,6203E-05	1,31139E-08	0,00252497

u(nom)	0,07779778 mg/L	0,9 %
Dækningsfaktor	2	
Ekspanderet usikkerhed	1,8 %	

Reference: S. L. R. Ellison, M Rosslein, A Williams, "Quantifying Uncertainty in Analytical Measurement", 2nd Edition (2000), EURACHEM /CITAC guide

Usikkerheder ved bestemmesle af O2 med DS2205



BILAG F

Analyse af O₂ - elektrode efter DS 2206

- 1 Nulpunkt findes i opløsning af 1g natriumsulfit og ca. 1 mg Co(III)salt i 1 L
- 2 Målepunkt tæt på mætningsgraden findes ved gennembobling af vand med luft i 15 min og derefter måling. Dette resultat sammenholdes med den iodometriske metode (DS 2205)

Det antages at kalibreringen af apparatur foretages ved samme temperatur som ilmålingerne på prøverne.

Følgende voluminer og masser er brugt i de følgende beregninger

Repeterbarhed	8,545 mg/L
Måling af nulpunkt	1
Måling af mættet opløsning	1

Der tages udgangs punkt i de oplysinger, der kan findes for StirrOX G oxygenmåler

		Standard uncertainty
Repeterbarhed	Sw=0,04 (fundet i bilag B)	0,04 mg/L
Måling af nulpunkt	Repeterbarhed for StirrOX G oxygenmåler (<0.3%)	0,003
Måling af mættet opløsning	Repeterbarhed for StirrOX G oxygenmåler (<0.3%)	0,003

Reference: S. L. R. Ellison, M Rosslein, A Williams, "Quantifying Uncertainty in Analytical Measuremet", 2nd Edition (2000), EURACHEM /CITAC guide

BILAG F

Analyse af O₂ - elektrode efter DS 2206

Parameter	Repeterbarhed	Måling af nulpunkt	Måling af mættet opløsning
Usikkerhed	0,04	0,003	0,003
Parameter	Værdier		
Repeterbarhed	8,545 mg/L	8,585	8,545
Måling af nulpunkt	1	1	1,003
Måling af mættet opløsning	1	1	1,003

Nomival værdi	8,545 mg/L	8,585	8,571	8,571
	$u(\text{nom})_i$	0,04	0,0256	0,0256
$u(\text{nom})^2$	0,002914306	$u(\text{nom})_i^2$	0,0016	0,000657
$u(\text{nom})$	0,053984317 mg/L	0,6 %		
Dækningsfaktor		2		
Ekspanderet usikkerhed		1,3 %		

Reference: S. L. R. Ellison, M Rosslein, A Williams, "Quantifying Uncertainty in Analytical Measurement", 2nd Edition (2000), EURACHEM /CITAC guide

Usikkerheder ved bestemmesle af O2 med elektrode

