

2012

Noninvasiv pH-måling ved bruk av hjertelungemaskin



Heidi Kittilsen Gudbrands

Universitetet i Oslo

31.05.2012

Forord

Denne masteroppgaven er et resultat av hovedprosjektet i masterutdanningen min på program for elektronikk og datateknologi (ELDAT-programmet), studieretning Mikroelektronikk, ved Det matematisk-naturvitenskapelige fakultet ved Universitetet i Oslo, og er en videreføring av masteroppgaven til Frode Kristiansen [1]. Forsøk og målinger er utført ved Medisinsk-teknologisk virksomhetsområde (MTV) i samarbeid med Thorax-kirurgisk avdeling, begge ved Oslo Universitetssykehus, samt Avdeling for ingeniørutdanning, Elektro, ved Høgskolen i Oslo og Akershus.

Forsidebildet er av mørkeboksen. Foto: Heidi K. Gudbrands.

Student: Heidi Kittilsen Gudbrands, Master i Elektronikk og Datateknologi

Hovedveileder: Jan Olav Høgetveit, Dr.Sc., Førsteamanuensis ved Universitetet i Oslo

Medveiledere: Frode Kristiansen, Perfusjonist, ECCP, CCP
Peyman Mirtaheri, Dr.Sc., Førsteamanuensis ved Høgskolen i Oslo og Akershus

Avdelinger: Medisinsk-teknologisk virksomhetsområde, Oslo Universitetssykehus
Thorax-kirurgisk avdeling, Oslo Universitetssykehus
Avdeling for ingeniørutdanning, Elektro, Høgskolen i Oslo og Akershus

Innholdsfortegnelse

Forord	2
Sammendrag	5
Innledning.....	6
Mål for oppgaven	7
Hovedmål	7
Delmål.....	7
Bakgrunnsstoff	8
pH	8
Spektrofotometri.....	9
Bølgelengder	11
Lyskilder.....	14
Hjertelungemaskin	15
Materialer og metoder.....	18
Måling på blod.....	18
Bølgelengdeområde	18
Absorpsjon – transmisjon – refleksjon.....	18
Målesystemet.....	20
Hvor	20
Utstyr.....	21
Oppsettet.....	24
Gjennomføring av første hovedoppsett.....	26
Gjennomføring av delforsøket	27
Gjennomføring av andre hovedoppsett.....	28
Resultater	29
Første hovedoppsett	29
Delforsøket	29
Andre hovedoppsett	32
Diskusjon	39
Lyskilden	39
Fiberkabler.....	39
Måleområde.....	39
Metode	39
Mørkeboksen	39

Målinger	40
Måleparameterne	40
Feilkilder	41
Anbefalinger	41
Videre arbeid	41
Konklusjon	42
Takk	43
Nomenklaturliste	44
Referanser	45
Vedleggsoversikt	47

Sammendrag

Målet med denne studien var å avklare om spektrometri er en egnet metode for kontinuerlig monitorering av pH-nivået i pasientens blod ved bruk av hjertelungemaskin (HLM) under kirurgiske prosedyrer.

Rapporten gir en innføring i noen av områdene som inngår i forsøkene, så som pH, spektrofotometri, bølgelengder, lyskilder og hjertelungemaskin. Den belyser også flere sider av blodets egenskaper.

Rapporten inneholder også alle detaljer rundt oppsettet for forsøkene, gjennomføring og resultater av disse.

Resultatene viser at bølgelengdeområdet for måling av pH i arterielt blod ligger mellom ca. 700 og 850 nm, og at spektrometri kan være en egnet metode for kontinuerlig monitorering av pH-nivået i pasientens blod ved bruk av HLM under kirurgiske prosedyrer, men må utredes nærmere og utvides med kliniske studier for å kvalitetssikre metoden.

Innledning

Introduksjonen av hjertelungemaskiner (HLM) har revolusjonert moderne hjertekirurgi. En HLM gjør det mulig å stoppe pasientens hjerte for å utføre kirurgiske inngrep på det, mens maskinen sørger for oksygenering og sirkulasjon av pasientens blod. Når en HLM erstatter pasientens eget kretsløp, er det av avgjørende betydning at operatøren av maskinen, en perfusjonist, har kontroll på de viktigste fysiologiske parametrene i pasientens blod. Eventuelle avvik på disse parametrene i forhold til det som er definert som et normalt spekter, kan føre til forstyrrelser i sentrale funksjoner i organismen, og i verste fall pasientskader og død [2].

Normalt gjøres dette ved hjelp av jevnlig blodprøver som tas fra slangesettet til en HLM, og som så settes inn i en nærliggende blodgassanalysator, såkalte pasientnære analyser (PNA). Dette er en invasiv metode. Normalt måles pH invasivt på en av to forskjellige måter. Enten ved å bruke strips av papir innsatt med syre, eller ved å måle spenningsforskjellen mellom blodet og en referansevæske [3]. Når pH måles invasivt må en inn i blodstrømmen og ta ut en prøve. Inngrep direkte i blodet er uønsket, både fordi det øker risikoen for lufttilførsel eller fremmedlegemer som kan lage fortetninger (embolier) i blodet, og fordi det øker smitterisikoen for pasienten. Det er derfor ønskelig med utstyr og målemetoder som kan gjøres noninvasivt.

Å ta ut en prøve og måle den på en blodgassanalysator tar flere minutter. Imidlertid kan en del av parametrene endre seg svært hurtig, og det er derfor ønskelig med kontinuerlig overvåkning av de mest sentrale parametrene i blodet.

En av de viktigste parametrene i blodet er pH. Blodets pH er normalt 7,40 (ubenevnt) og kan typisk variere mellom 7,31 og 7,45 i arterielt blod [4]. Kommer pH utenfor et område på omkring 6,0 – 7,8, kan ikke lenger livet opprettholdes. Eventuelle korrigerende tiltak må derfor settes i verk tidlig for å justere blodets pH tilbake til fysiologisk akseptable verdier, før det skjer uopprettelig skade [5].

”Acidose er en tilstand der konsentrasjonen av H^+ i blodet er høyere enn normalt (pH i arterielt blod lavere enn 7,35), mens alkalose kjennetegnes ved en lavere H^+ -konsentrasjon enn normalt (pH i arterielt blod høyere enn 7,45). Acidose og alkalose skyldes at det har oppstått ubalanse mellom tilførsel og tap av hydrogenioner [5].” Det er to typer acidose og alkalose: respiratoriske og metabolske [5].

”Respiratoriske syre-base-forstyrrelser oppstår når lungene blåser ut mindre CO_2 , respiratorisk acidose, eller mer CO_2 , respiratorisk alkalose, enn den mengden som vevene produserer [5].” ”Metabolsk acidose oppstår når kroppen tilføres syre utenfra, eller når det produseres økte mengder ikke-flyktige syrer i kroppen [5].” ”Metabolsk alkalose kan oppstå ved oppkast av mageinnhold (tap av syre) [5].”

En velkjent metode for måling av oksygenmetning i blodet, uten å være i direkte kontakt med blod eller vev (noninvasiv måling), er oksimetri. Ved bruk av oksimetri kan blodets oksygeninnhold måles indirekte ved å lyse gjennom en finger eller en øreflipp ved hjelp av lys med to bølgelengder, og deretter måle absorpsjonen som vil variere som funksjon av oksygenmetningen av Hemoglobinet i blodet [6]. Samme teknologi har vært brukt for å bestemme pH i blod i et prøverør (in vitro) [7].

Spektrometri er også brukt til å måle konsentrasjonen av oksygen (pO_2) og karbondioksid (pCO_2) direkte på slangesettet til en HLM [1].

Mål for oppgaven

Hovedmål

Målet med denne studien er å avklare om spektrometri er en egnet metode for kontinuerlig monitorering av pH-nivået i pasientens blod ved bruk av HLM under kirurgiske prosedyrer.

Delmål

Første delmål er å identifisere hvilken metode som er egnet for målemetoden; absorpsjon, transmisjon eller refleksjon av lys.

Andre delmål er å identifisere hvilke bølgelengder som kan egne seg til måling av pH i blod ut fra valgte metode i første delmål.

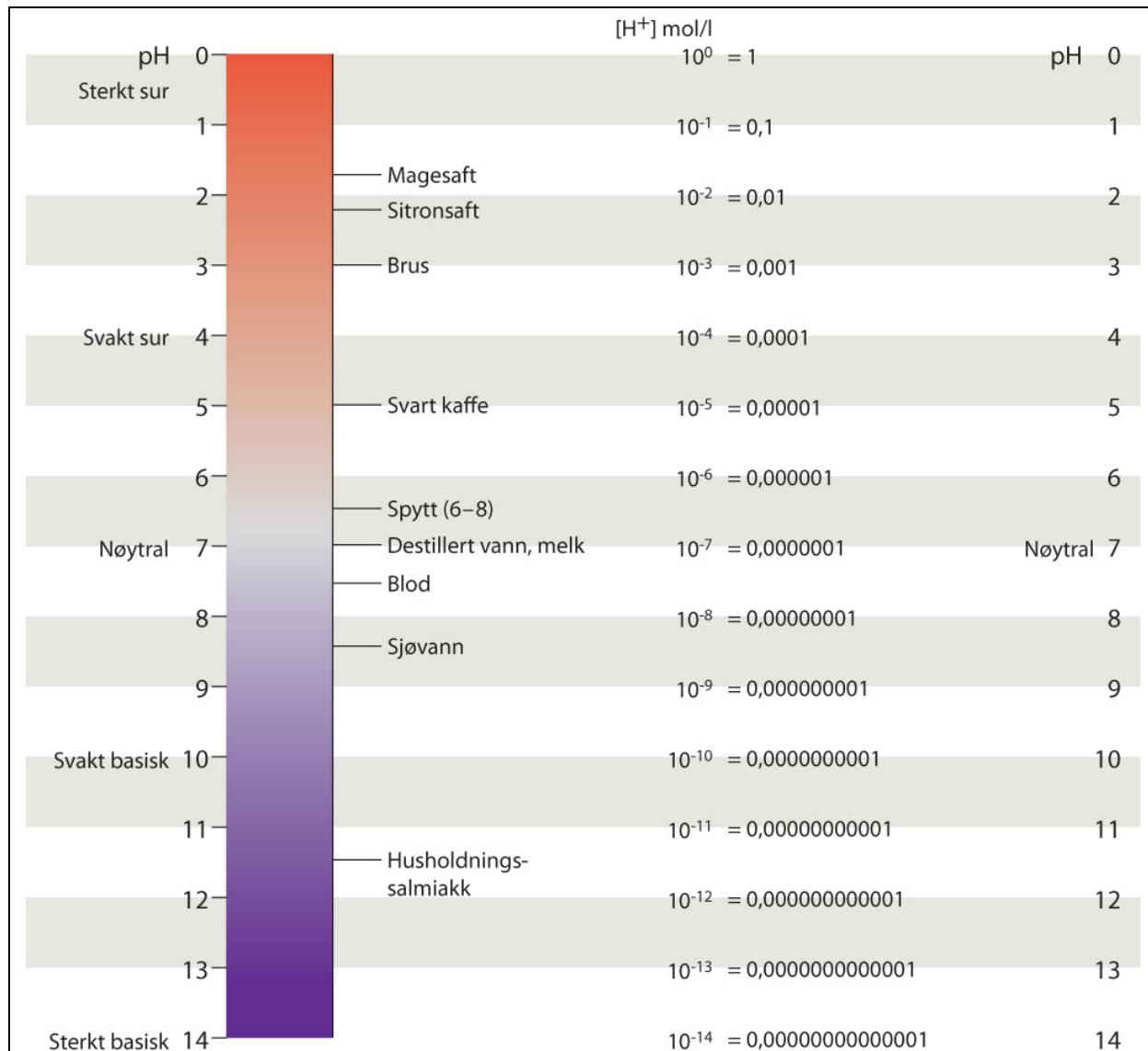
Tredje delmål er å sette sammen resultatene fra første og andre delmål sammen med en egnet algoritme for å bestemme blodets pH og gjøre et antall forsøk med varierende pH-verdier for å bestemme metodens nøyaktighet, stabilitet og repeterbarhet i et in-vitro forsøk.

Bakgrunnsstoff

pH

pH er den negative logaritmen til konsentrasjonen av hydrogenioner, $-\log_{10}[\text{H}^+]$. pH leses av på en logaritmisk skala fra 0 til 14, men det er også mulig å ha verdier utenfor denne skalaen. På en logaritmisk skala endres surhetsgraden 10 ganger for hvert trinn på skalaen.

pH og $[\text{H}^+]$ er omvendt proporsjonale, slik at når $[\text{H}^+]$ øker, blir pH lavere og omvendt. En pH på 7,0 er nøytral, verdier lavere enn 7,0 er sure og verdier høyere enn 7,0 er basiske. Syrer avgir H^+ og baser binder H^+ [5]. Se Figur 1.



Figur 1 pH-skalaen [8]

pH har forskjellig verdi på forskjellige steder i kroppen. I bukspyttet er den 8,0 (basisk), i magesaften er den 2,0 (svært sur), mens den i blodplasma og den øvrige ekstracellulærvæsken normalt er på 7,4 (litt basisk) [5].

I arterielt blod ligger pH normalt mellom 7,37 og 7,43. pH går ned ved redusert utskilling av CO₂, ved økning i produksjon av syre som ved diabetes, og ved unormalt tap av bikarbonat. pH øker ved økt utskilling av CO₂ og ved unormalt tap av syre, som ved langvarig oppkast. Bikarbonat er det største hydrogenionlageret i blodet, og dermed den største bufferen for pH [3] . Den raskeste endringen i pH gjøres via utvekslingen av gasser med lungene, og det er derfor viktig å holde kontroll på pH-nivået via HLM.

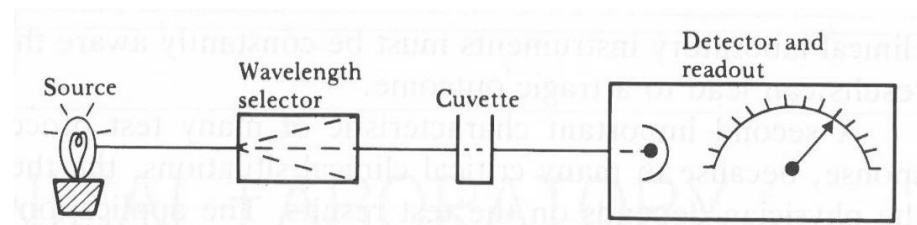
Moderne blodgassmaskiner måler pH-verdien til en blodprøve ved en temperatur på 37 °C. Når en prøve blir kjølt ned, øker pH-verdien [9] . Under operasjon blir ofte pasienten kjølt noe ned for at blodet ikke skal strømme så fort rundt i kroppen [2] . For å finne ut hvilken pH-verdi blodprøven hadde ved en lavere temperatur, gjør maskinen en matematisk kalkulasjon ved å bruke Rosenthals korreksjonsfaktor, som er anbefalt for klinisk bruk [9] .

Endring i pH = 0,015 pH-enheter pr °C endring i temperatur [9]

Spektrofotometri

Spektrofotometri er en teknologi som er enkel å bruke, har tilfredsstillende nøyaktighet og presisjon i mange tilfeller, er noninvasiv og anvendelig i automatiserte instrumenter. Spektrofotometri er basert på det faktum at prøver av klinisk interesse selektivt absorberer eller emitterer elektromagnetisk energi med forskjellig bølgelengde [10] .

Prinsippet i sin enkleste form består av fire deler: En lyskilde sender ut lys. Lyset går gjennom et filter som bryter lyset, slik at man kan velge et ønsket spekter. Dette spesielle spekteret av lys går så gjennom et prøveglass (cuvette) med en prøve i. Det lyset som så transmitterer gjennom prøven, blir lest av en detektor med en forsterkerkrets og en avleser/visnings-skive [10] . Se Figur 2.



Figur 2 Oppsett for spektrofotometri [11]

I leksikonet til Aschehoug og Gyldendal er spektroskopi og spektrofotometer definert på følgende måte: ”**spektroskopi**, registrering, utmåling og tolkning av spektrer. Opprinnelig bare brukt om det synlige spektrum, men etter hvert overført til å gjelde undersøkelse av annen elektromagnetisk stråling (radio-, mikrobølge-, infrarød, ultrafiolett, røntgen- og gammaspektroskopi), av partikkelstråling (alfa-, beta-, nøytronspektroskopi) og av akustiske bølger (lydspektroskopi) [12].”

”R. W. Bunsen og G. Kirchhoff oppdaget 1859 at spektrallinjene i det synlige spektrum kunne brukes for å identifisere anvendelse av spektroskopi i kjemien.”... ”Ordning av spektrallinjer fra samme grunnstoff i spektralserier, påvisning av finstruktur ved at en tilsynelatende enkel linje i spektrometer med god oppløsning lot seg spalte i flere, variasjoner i finstrukturen ved stråling fra atomer i sterke elektriske eller magnetiske felter (starkeffekt og zeemaneffekt) utgjorde en vesentlig del av det eksperimentelle grunnlaget for atomfysikken etter N. Bohrs og A. J. W. Sommerfelds teorier og senere for kvante- og bølgemeknikken [12].”

”Utvidelsen av spektroskopien til å omfatte det ultrafiolette området og røntgenområdet har foruten å gi utførligere opplysninger om de enkelte atomer også hatt betydning for kjennskapet til krystallstrukturer [12].”

”Spektroskopi innen den langbølgede del av spektret, infrarød og mikrobølgespektroskopi gir opplysninger om molekylstrukturer og molekylbevegelse [12].”

”Gammaspektroskopi, som omfatter undersøkelser av den mest kortbølgede del av det elektromagnetiske spektrum, gir opplysninger om atomkjernenes struktur [12].”

”Partikkelspektroskopi omfatter undersøkelser av alfa- og betastråling fra radioaktive desintegrasjoner og av partikler som sendes ut i kjernereaksjoner. På samme måte som gammaspektroskopi er partikkelspektroskopi et viktig hjelpemiddel ved undersøkelse av atomkjerners struktur [12].”

”**spektrofotometer**, instrument som brukes for å måle absorpsjon av elektromagnetisk stråling med en bestemt frekvens eller som funksjon av frekvensen, når strålingen går gjennom en stoffprøve [12].”

”Spektrofotometeret består av regulerbar lyskilde, monokromator, holder for stoffprøve og detektor for strålingen. Lyskilden (strålekilden) kan være dagslys, glødelampe, lysbue, nernstlampe eller kvikksølvlampe. Kollimert stråle sendes fra lampen inn i monokromator, som består av fargefilter eller spektroskop, hvor man tar ut en liten del av spektret, dvs. et lite frekvensområde. Strålen som tas ut, sendes gjennom stoffprøven og faller inn på detektoren, som kan være fotocelle, termoelement, bolometer eller fotografisk film. Man kan også fange strålen opp på en skjerm og iaktta den direkte med øyet [12].”

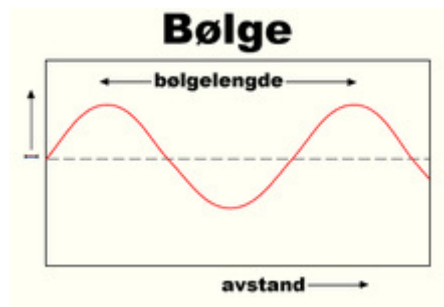
”Intensiteten av stråling som slipper gjennom stoffprøven, avhenger av stoffets absorptans og av mengden av absorberende stoff. Skal man foreta en fullstendig analyse, registrerer man intensiteten av strålingen som funksjon av frekvensen og sammenligner resultatet med målinger på prøver av kjente stoffer. Sterk absorpsjon ved de samme frekvenser viser at samme stoff er til stede i begge prøver [12].”

”Spektrofotometer brukes for bølgelengder i området 200 nm (nanometer) til 0,3 mm, dvs. i deler av det ultrafiolette, i det synlige og det infrarøde området av spektret [12].”

For å oppsummere kan vi derfor si at spektrofotometri er en teknologi, spektroskopi er anvendelsen av denne teknologien, og et spektrometer er et måleinstrument.

Bølgelengder

En bølgelengde er avstanden fra en bølge er i en gitt periode til neste bølge er i samme periode, for eksempel mellom to bølgetopper i en periodisk kurve. Se Figur 3.

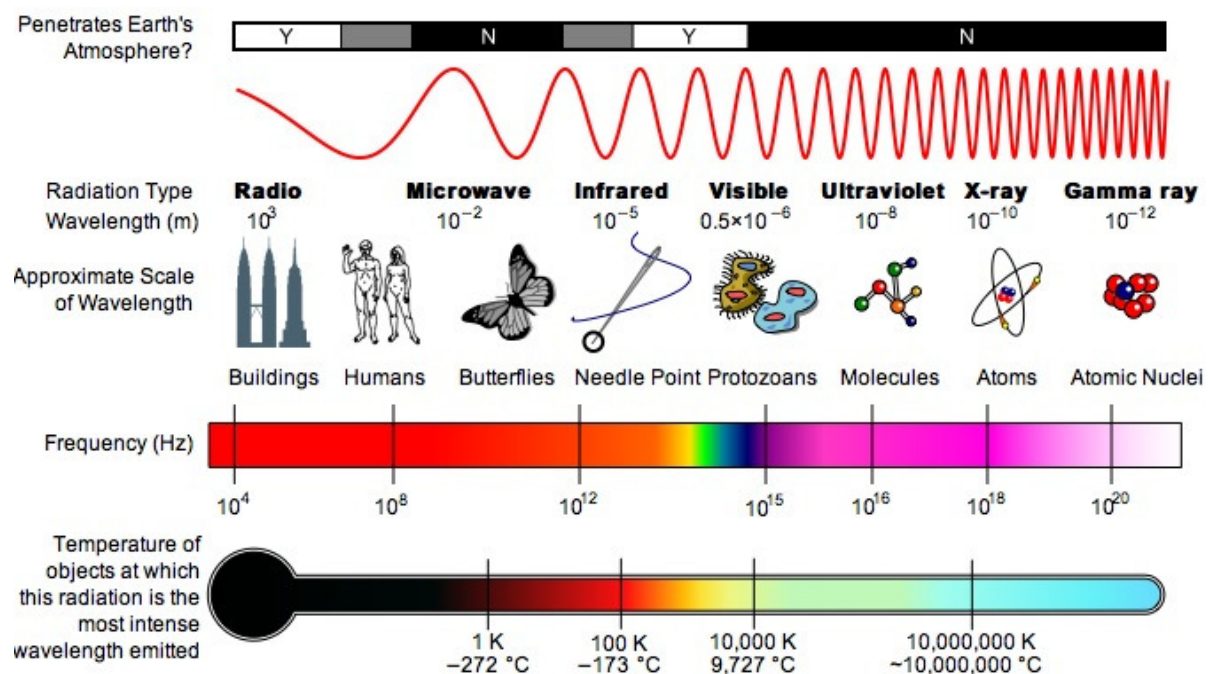


Figur 3 Bølgelengde [13]

Det finnes et helt spekter av bølgelengder, fra lange radiobølger til korte gammastråler. Se Figur 4. Når bølgelengdene blir kortere blir frekvensen høyere. De er omvendt proporsjonale og har en sammenheng med lyshastigheten i tomt rom som følger [14] :

$$\text{Lyshastighet}(c_0) = \text{bølgelengde}(\lambda) * \text{frekvens}(f) \quad (1)$$

Temperaturen stiger også med kortere bølgelengder og høyere frekvens, se Figur 4.



Figur 4 Bølgespekteret [15]

Infrarød stråling ligger mellom synlig lys og mikrobølger, og er delt inn i [16] :

- nær infrarød **NIR** i området 0,7 – 1,4 μm
- kortbølge IR **SWIR** i området 1,4 – 3 μm
- mellombølge IR **MWIR** i området 3 – 8 μm
- langbølge IR **LWIR** i området 8 – 15 μm
- fjern infrarød **FIR** i området 15 – 1000 μm

”Alle legemer med temperatur over det absolutte nullpunkt sender ut termostråling. Så lenge stoffpartiklene ikke er i absolutt ro, vil det dannes elektromagnetiske bølger. På grunn av stoffpartiklenes kaotiske bevegelser vil termostråling alltid bestå av et sammenhengende spekter og et bredt bølgelengdeområde [14].” Se Figur 4.

Hydrogenionet er et rent proton med en positiv elementærladning på $1,60 * 10^{-19}\text{C}$ og en masse på $1,67 * 10^{-27}\text{kg}$.

Et hydrogenion/proton har bare ett skall, $n = 1$, og ingen elektroner. Når dette protonet trekker til seg et elektron, må det komme fra ”uendelig” langt borte og gå inn i bane 1. Den vil da gå fra en energi E_{∞} til en energi E_1 , slik at energiforskjellen blir [17] :

$$E_{\Delta} = E_{\infty} - E_1 = -\frac{B}{\infty^2} - \left(-\frac{B}{1^2}\right) = 0 + B = 2,18 * 10^{-18}\text{J} \quad (2)$$

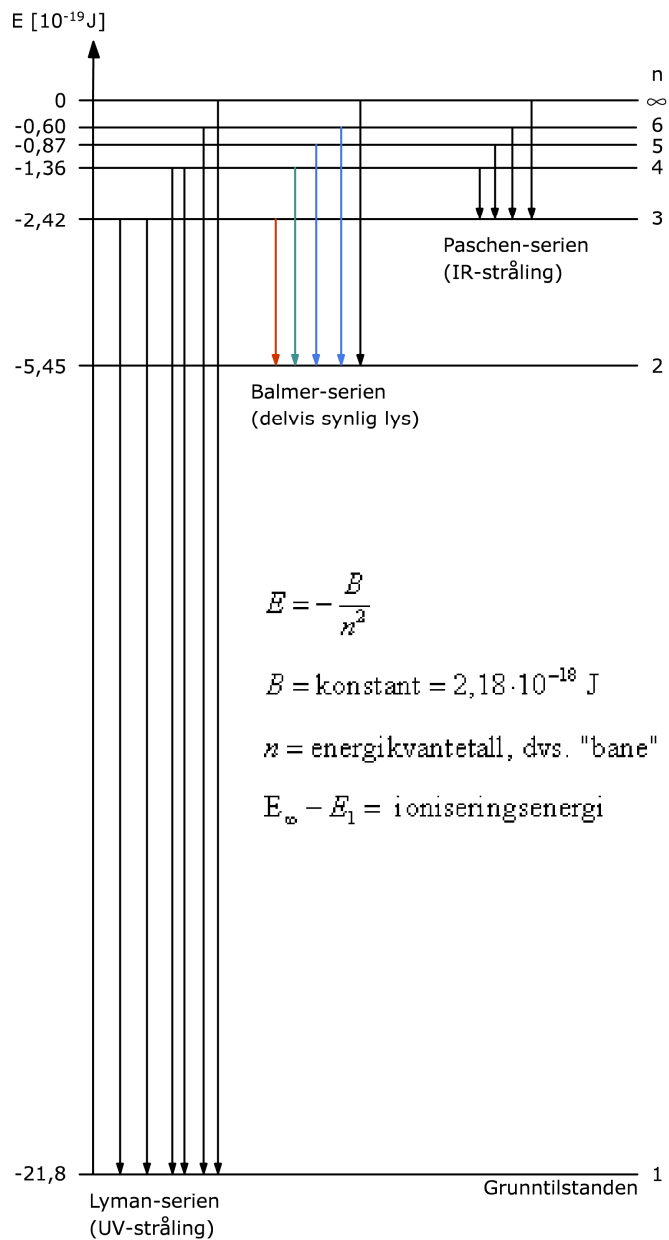
Hvor E_{Δ} er energiforskjellen, E_{∞} er energien ”uendelig” langt borte, E_1 er energien i skall 1 og B er Bohrs konstant. Energiforskjellen, og også egenfrekvensen til hydrogenionet, er altså lik Bohrs konstant [16] .

Det gir bølgelengden til hydrogenionet

$$\lambda = \frac{hc}{E_{\Delta}} = \frac{6,63 * 10^{-34}\text{Js} * 299792458\text{m/s}}{2,18 * 10^{-18}\text{J}} = 91,18\text{nm} \quad (3)$$

Hvor λ er bølgelengden, h er Plancks konstant, c er lysfarten og E_{Δ} er energiforskjellen. Det gir en bølgelengde i UV-området, for hydrogen i luft [17] .

Energivåene i hydrogen er vist i Figur 5.



Figur 5 Energinivåene i hydrogen [18]

Lyskilder

”En lyskilde er et objekt som stråler ut synlig lys. Eksempler på lyskilder er sola, flammen fra et levende lys eller en lyspære. I dagligtale brukes lyskilde oftest om menneskeskapte lyskilder, da særlig elektriske lyskilder [19].”

”En elektrisk lyskilde er en lyskilde hvor lyset er frembrakt ved hjelp av elektrisitet [19]. Det finnes flere grupper som buelamper, lys som oppstår ved varmestråling og lys som oppstår ved luminescens [19].”

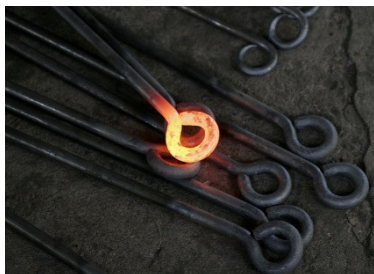
Buelamper består av en pære med to elektroder, en gass og metallsalter. En ballast (lampestarter) sender inn opptil 23000 volt mellom elektrodene, og lager lys ved å danne en kontrollert lysbue mellom to elektroder i gassen i pæra. En buelampe gir mye lys pr. watt og lyset holder en høy temperatur (normalt mellom 4300 Kelvin og 8000 Kelvin) [20].

En **Xenonpære** er en type buelampe som brukes som lyskilde i billykter, operasjonslamper og andre steder hvor man trenger sterkt lys. Se Figur 6.



Figur 6 Xenonpære [21]

Varmestråling er elektromagnetisk stråling som oppstår når varme fra bevegelsen til ladde partikler i atomer blir omformet. Den er synlig når et legeme blir varmt nok [22]. Se Figur 7. Lys som oppstår ved varmestråling er glødelamper som vanlig lyspære og halogenlampe [23]. Se Figur 8.



Figur 7 Varmestråling fra varmt metall [22]



Figur 8 Halogenlampe [24]

En **lyspære** sender strøm gjennom en tynn leder i en lufttom glasskuppel. Lederen begynner å gløde fordi strømstyrken er stor i forhold til tverrsnittet [23].

I en **halogenlampe** er tråden av wolfram og kapselen fylt med en halogengass. I forhold til en vanlig lyspære har den lengre levetid og gir et klart lys uten vesentlig reduksjon i lysstyrken gjennom hele lampens levetid [24] .

Luminescens er lysstråling som ofte opptrer ved lave temperaturer, og skjer ved hjelp av kjemiske eller biokjemiske endringer, elektrisk energi eller reaksjoner i krystaller [25] . "Ved luminescens blir atomene eller molekylene i et stoff ved en eller annen ytre påvirkning eksitert til bestemte energinivåer, og sender derpå ut lys (stråling) som svarer til overganger fra disse nivåene [26] ." "Man skiller mellom to former for luminescens: fluorescens og fosforescens. Ved fluorescens skjer lysutsendelsen spontant som følge av den ytre påvirkningen, og lyset opphører straks påvirkningen blir borte. Ved fosforescens vedvarer lysutsendelsen kortere eller lengre tid (mer enn 10^{-6} s) etter at årsaken til lysutsendelsen er fjernet [26] ." Lys som oppstår ved luminescens brukes i lysrør, sparepærer og LED.

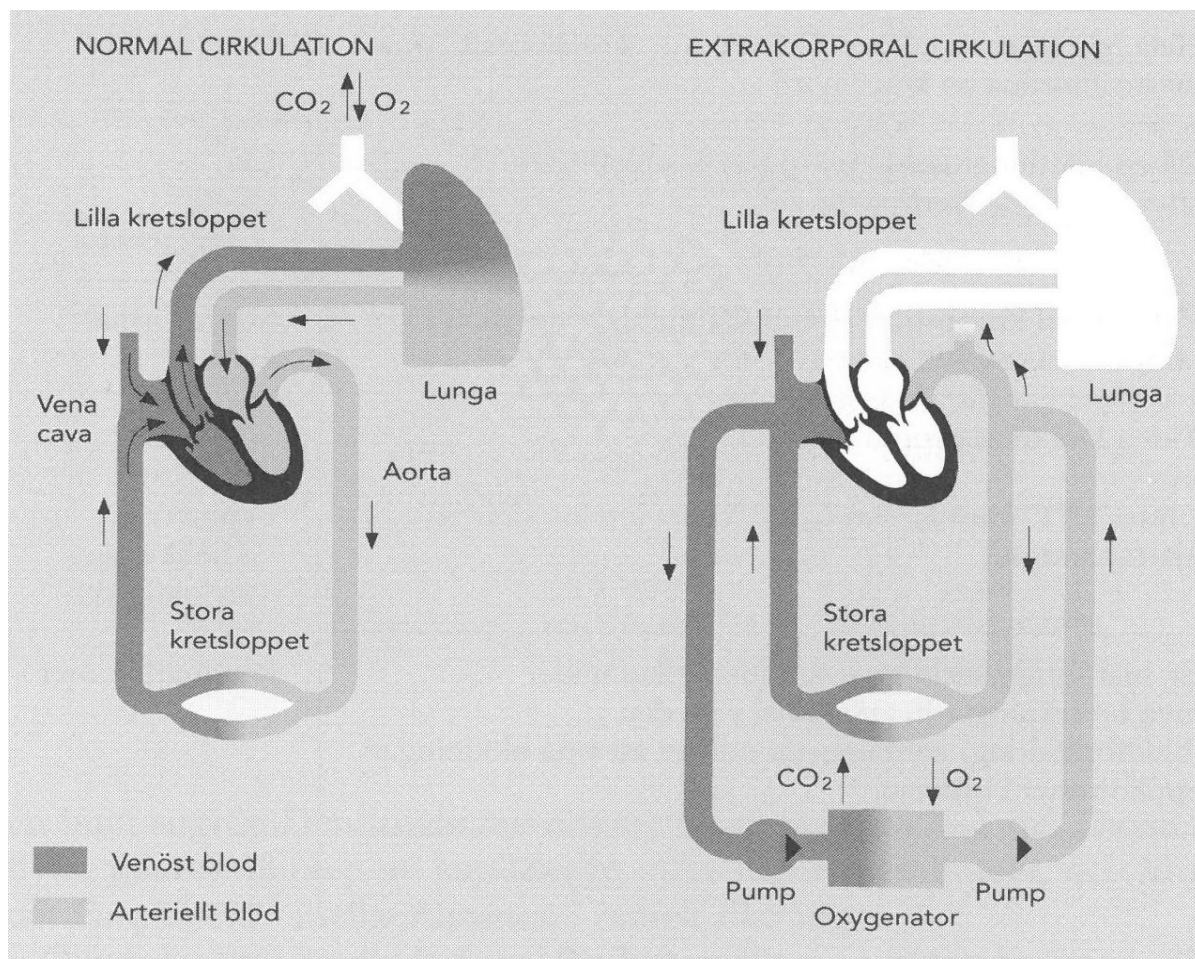
Hjertelungemaskin

For å gi kirurgen optimale arbeidsforhold under en hjerteroperasjon, blir pasienten kjølt noe ned for å få oksygenforbruket til å gå ned. Dette sparer hjertemuskelcellene når de får for lite blodtilførsel og minsker risikoen for skader. Pasienten blir så koblet til en hjertelungemaskin, som overtar både hjertets og lungenes funksjoner [27] . Se Figur 9.



Figur 9 En hjertelungemaskin ved Oslo Universitetssykehus i full drift [28]

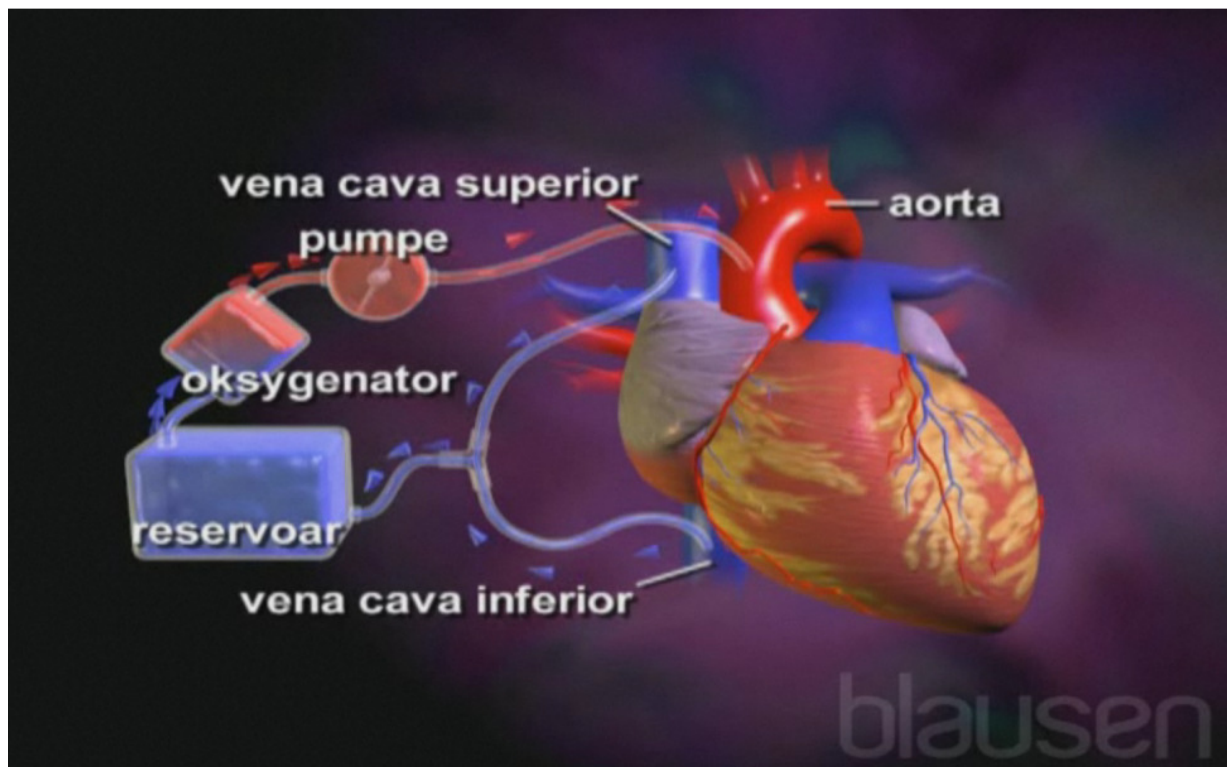
”En hjertelungemaskin består av et kammer, en pumpe, en oxygenator og noen filtre. Kammeret samler opp og er som et mellomlager for blodet. Pumpen erstatter hjertefunksjonen og kan enten være en rullepumpe eller en sentrifugalpumpe. Oxygenatoren erstatter lungefunksjonen. Den fjerner CO₂, tilfører oksygen og har innebygget en varmeutveksler. Oxygenatoren kan enten være en bobleoxygenator eller en membran-oxygenator. Filtrene filtrerer bort mulige suturer og annet som blir med når det suges opp blod fra såret, samt andre embolier som for eksempel blodklumper [29].”
 Se Figur 10.



Figur 10 Skjematisk tegning med og uten tilkobling av en HLM [30]

Ved bruk av en HLM, blir blodet hentet ut fra høyre forkammer eller utenfor høyre forkammer, filtreres og går inn i reservoaret (mellomlageret) i maskinen. Det pumpes så gjennom et nytt filter og inn i oxygenatoren, som fjerner CO₂ og tilfører O₂. Der reguleres også temperaturen på blodet. Blodet blir så pumpet gjennom enda et filter og tilbake til hovedpulsåra (aorta). Blodet går så rundt i hele kroppen og tilbake til høyre forkammer. Pumpen pumper blodet gjennom dette kretsløpet, og underveis måler maskinen forskjellige verdier i blodet, så som pCO₂, pO₂, pH og en del andre parametre. Se Figur 10 og Figur 11.

Under en hjerteoperasjon stanses hjertet og HLM overtar hjertets og lungenes oppgaver. Når operasjonen er ferdig startes hjertet igjen, og HLM kobles fra.



Figur 11 Kretsløpet i en HLM [31]

Materialer og metoder

Måling på blod

Blodet inneholder mange parametre. $p\text{CO}_2$ og $p\text{O}_2$ er gasser, mens H^+ , Ca^{2+} , K^+ , Fe^+ , Mg^{2+} , Na^+ , Cl^- , La^- og HCO_3^- er stoffer. Måling av konsentrasjonen av disse stoffene kan ikke sammenliknes med måling av gassparametrene, når de måles på tradisjonell måte. De nevnte stoffene finnes i varierende mengder. $[\text{H}^+]$ er det veldig lite av; ca. 100 nanomol/liter [3].

Hvis det bare hadde vært to stoffer som utgjorde syrebasebalansen i blodet, så kunne man ha målt på komplementærstoffet. Men blodet består av mange stoffer, hvor summen av prosessene som skjer mellom de ulike stoffene, gjør at syrebasebalansen holdes så stabil som den gjør. Det må derfor utelukkende måles på $[\text{H}^+]$ og ingen andre stoffer [3].

$[\text{H}^+]$ eller et rent proton er et reaktivt stoff som har mange flyktige forbindelser og er av den grunn også vanskelig å måle på.

Så vidt vi har klart å avdekke, eksisterer det ikke dokumenterte forsøk som måler andre stoffer som inngår i syrebasebalansen. Slike metoder kunne potensielt hatt overføringsverdi for å måle $[\text{H}^+]$.

Bølgelengdeområde

Bølgelengden til $[\text{H}^+]$ er på ca. 91 nm, ifølge mine beregninger (se ligning 3 på side 12). Det ligger i området mellom UV og røntgen. Bølgelengdene er i størrelsesorden et sted mellom molekyler og atomer, se Figur 4. De fleste spektrometre måler fra 200 nm og oppover. Optocon i Tyskland har imidlertid et spektrometer som måler i området fra 155 nm til 1100 nm [32], men det er allikevel ikke i området for $[\text{H}^+]$.

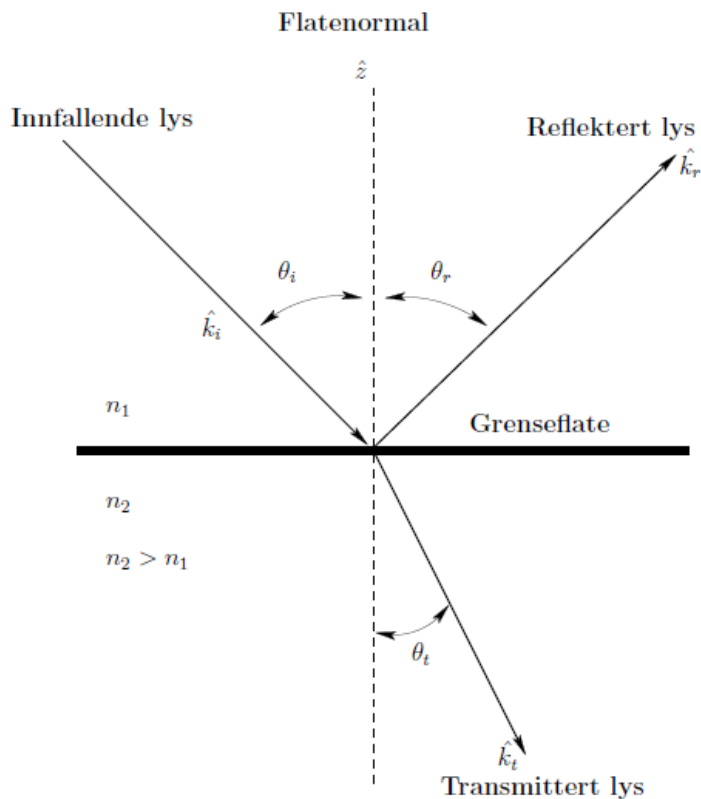
På studien med tittel "Near-Infrared Spectrometric Determination of Blood pH [7]" er konklusjonen: "Blood pH can be predicted in vitro with clinical significance using reflectance near-infrared spectroscopy (650-1050 nm) within a standard error of 0.050 pH unit. [7]" I denne studien har de målt pH med en probe nedsenket i et beger med utvannede røde blodceller. De har altså lagt proben ned i blodet, men målt det ved hjelp av lys [7].

Siden det ikke ser ut til å finnes noe spektrometer som måler i området rundt 91 nm, så har jeg valgt å prøve ut bølgelengdeområdet fra sistnevnte studie. Det ligger i nær infrarødt område (NIR).

Når det måles ved hjelp av lys, er det naturlig nok avgjørende for målingen hva lyset treffer. Det er som tidligere nevnt veldig lite av $[\text{H}^+]$ i blodet, og stoffet opptrer ikke alene men som en del av blant annet hemoglobinet. Det er derfor en mye grovere struktur som belyses. Området for såpass grov struktur ligger i NIR-området, som har bølgelengder på ca. 700 – 1400 nm [16]. Det er derfor i dette området det bør måles, når det skal måles ved hjelp av lys.

Absorpsjon – transmisjon – refleksjon

Når lys treffer et medium blir energien fra fotonene delvis absorbert, delvis reflektert og delvis transmittert. Den energien som kommer tilbake, er refleksjon. Den energien som blir tatt opp i mediet, er absorpsjon. Den energien som går gjennom mediet og ut på den andre siden, er transmisjon. Se Figur 12.



Figur 12 Refleksjon og transmisjon [33]

Blod er et veldig tett medium med store partikler, slik som hemoglobin. Ved å bruke refleksjon, vil mye lys komme tilbake og gi et veldig sterkt signal. Ved å bruke transmisjon, vil det komme lite lys og svake signaler igjennom. Skal man bruke absorpsjon, må man måle enten refleksjon eller transmisjon og regne ut absorpsjonen ut fra det.

Studien nevnt i forrige avsnitt [7] har brukt refleksjon. De senket en probe ned i blod som både sendte og leste lyset. SpO₂-prober brukt i helsevesenet bruker rødt lys og transmisjon. Disse settes på en finger eller en øreflipp. Apparatet som skal brukes til å måle pH i blodet skal omslutte blodslangen på en HLM, og da kan man egentlig bruke både transmisjon og refleksjon.

Når lyset sendes mot blodet, blir mye lys absorbert. Bare det som er karakteristisk for mediet transmitteres og danner et emisjonsspekter. Forskjell på absorpsjonsspekter og emisjonsspekter er vist i Figur 13.



Emisjonsspekter



Absorpsjonsspekter

Figur 13 Emisjons- og absorpsjonsspekter (for hydrogen) [34]

Ved å bruke transmisjon bør det være mulig å finne de karakteristiske bølglengdene til blodet. Både i medveileder Frode Kristiansens rapport [1] og tidligere nevnte studie [7] er det brukt refleksjon. Siden det etter hva det har vært mulig å avdekke, ikke er prøvd transmisjon i en slik studie, var det interessant å se på det. Utstyret som skal brukes til målingene blir da også noe forenklet, da man ikke trenger splitter. Medveileder Peyman Mirtaheri har omfattende erfaring med å måle med lys, og på bakgrunn av dette var det grunn til å anta at bølglengdeområdet lå rundt 700 nm og at transmisjon var et riktig valg.

Målesystemet

Pasientsikkerhetsansvarlig ble kontaktet, men ettersom dette ble karakterisert som metodeutvikling, mente pasientsikkerhetsansvarlig at det ikke var søknadspliktig.

Det ble gjennomført to runder med målinger på hovedoppsettet. Siden det første hovedforsøket ikke ga de ønskede resultater, ble det i tillegg gjort et delforsøk før andre hovedforsøk for å avdekke mulige feilkilder før siste forsøksrunde.

Målingene som kom inn på PC'n var kontinuerlige og noninvasive. Blodprøvene som ble tatt ut av oppsettet og målt i blodgassanalysatoren (BGA), var stokastiske og invasive. Siden det var sammenhengen mellom pH målt i BGA og intensiteten målt med spektrometeret som var interessant, ble det bestemt å ta parvise stokastiske målinger.

Hvor

Målingene på hele systemet ble gjennomført på avdeling for FoU, Medisinsk-teknologisk virksomhetsområde, Rikshospitalet, OUS, torsdag 23. februar 2012 og fredag 13. april 2012.

Delforsøket ble gjennomført på det optiske mørkelaboratoriet på Avdeling for ingeniørutdanning, Elektro, HIOA, onsdag 21. mars 2012.

Utstyr

Utstyrsliste for hovedoppsettene finnes i Tabell 1.

Tabell 1 Utstyrsliste for hovedoppsettene

Utstyr	Lånt / fått fra	Merknad
Reservoar	OUS	
Pumpe	OUS	Forskjellig fra forsøk 1 til 2
2 oksygenatorer	OUS	En som fungerte som oksygenator og en som fungerte som substitutt for menneske
Slangesett	OUS	Ca. 2,5 m
Blodblending	OUS	Av sag (sentrifugert blod), Flexbumin og Heparin
Varmeutveksler	OUS	Forskjellig fra forsøk 1 til 2
Nitrogen	OUS	Gassflaske
Oksygen og Medisinsk luft	OUS	Fra gassuttak i vegg
Mørkeboks	UiO	Prototype, laget på Instrumentverkstedet ved Fysisk Institutt, se Vedlegg D
2 linser	HIOA	
Skrue med hette	HIOA	For å blende refleksjonsåpningen
Mørkeblå tøystoff	Kandidaten	For å dekke til for å unngå spredelys
2 fiberoptiske kabler	OUS og HIOA	For datablad; se Vedlegg E og Vedlegg F
Lyskilde	HIOA og OUS	Forskjellig fra forsøk 1 til 2. For datablad; se Vedlegg G og Vedlegg H.
Spektrometer med USB2-kabel	HIOA og OUS	Forskjellig fra forsøk 1 til 2. For datablad; se Vedlegg I og Vedlegg J.
Bærbar PC	Kandidaten	
Programvare for spektrometeret	HIOA og OUS	Forskjellig fra forsøk 1 til 2
Minnepinne	Kandidaten	
2 blodgassanalyser	OUS	
Buffermateriale	OUS	
Diverse sprøyter	OUS	
Rack og diverse annet festeutstyr og koblinger	OUS	
Speilreflekskamera	OUS	For å ta bilder av oppsettet
Temperaturmåler	OUS	For å måle temperaturen i rommet

For detaljert utstyrliste, se Vedlegg A for utstyr til første oppsett og Vedlegg B for utstyr til andre oppsett.

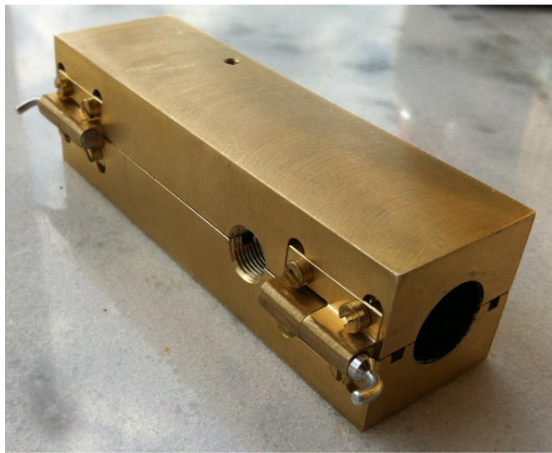
Utstyrliste for delforsøket er i Tabell 2.

Tabell 2 Utstyrliste for delforsøket

Utstyr	Lånt / fått fra	Merknad
Mørkeboks	UiO	Prototype, laget på Instrumentverkstedet ved Fysisk Institutt, se Vedlegg D
2 linser	HIOA	
Skrue med hette	HIOA	For å blende refleksjonsåpningen
2 fiberoptiske kabler	OUS	For datablad; se Vedlegg E og Vedlegg F
Lyskilde	HIOA	For datablad; se Vedlegg G
Spektrometer med USB2-kabel	HIOA	For datablad; se Vedlegg I
Bærbar PC	Kandidaten	
Programvare for spektrometeret	HIOA	
Minnepinne	Kandidaten	
Slanger	OUS	En med blod (ca. 25 cm) og en med vann

For detaljert utstyrliste, se Vedlegg C.

Mørkeboksen ble designet av kandidaten i samarbeid med medveiler Peyman Mirtaheri, delvis inspirert av utstyrsenheten konstruert for Masteroppgaven til medveileder Frode Kristiansen. Instrumentverkstedet ved Fysisk institutt, UiO, laget mørkeboksen i messing med utfreste hull og påmontert hengsler og selvlagede låser. Den ble sortlakkert innvendig på den fiberoptiske mørkelaben ved Avdeling for ingeniørutdanning, Elektro, HIOA. Mørkeboksen vises i Vedlegg D og Figur 14, Figur 15 og Figur 16.



Figur 14 Mørkeboksens ende og forside med låser. Foto: Heidi K. Gudbrands



Figur 15 Mørkeboksens bakside med hengsler. Foto: Heidi K. Gudbrands



Figur 16 Mørkeboksens innside med pakninger. Foto: Heidi K. Gudbrands

Oppsettet

Det ble målt på arterielt blod, tilsvarende det blodet som går tilbake i kroppen fra en hjertelungemaskin. Blodblandingen som ble brukt var noe fortynnet i forhold til fullblod, men tilsvarte det blodet som i praksis føres tilbake til pasient ved bruk av en hjertelungemaskin.

Blodblandingen besto av sag, Flexbumin og Heparin. Sag er sentrifugert blod som stort sett består av røde blodlegemer (erythrocytter). Flexbumin er blodplasma. Heparin hindrer blodet i å koagulere [35] .

Blodet sirkulerte i et lukket system bestående av et reservoar, en pumpe og to oksygenatorer; en som fungerte som oksygenator og en som fungerte som substitutt for menneske ved å være tilkoblet nitrogengass og dermed fjerne oksygen. Apparatene ble koblet sammen med PVC-slanger. En varmeutveksler ble koblet til den ene oksygenatoren for å holde temperaturen i blodkretsen konstant (oksygenatoren). Varmeutveksleren sirkulerte med vann og var innstilt på å holde 37 °C.

Pumpen i det første oppsettet gikk med en gjennomstrømning på litt under 1 liter pr. minutt (0,87 – 0,98). Pumpen i det andre oppsettet gikk med en hastighet på mellom 1300 og 1500 rpm.

I det første oppsettet ble den ene oksygenatoren tilkoblet en gassflaske med 2 liters trykk, 93 % nitrogen (N) og 7 % karbondioksid (CO₂) for å desaturere blodet (fjerne oksygen, substitutt for menneske). I det andre oppsettet måtte det byttes så mye utstyr at gassflaske gikk tom for gass før målingene kom i gang, og oppsettet ble derfor kjørt uten desaturering.

Den andre oksygenatoren ble tilkoblet medisinsk luft og oksygen (O₂) fra vegguttak. I det første oppsettet ble det satt 0,5 liters trykk i en blanding på 30 % O₂ fra tredje måling (25 % O₂ for de to første målingene) for å oksygenere blodet (oksygenatoren). I det andre oppsettet ble trykk og blanding startet som i det første oppsettet, men justert noe underveis for å holde O₂ og CO₂-nivåene i sjakk, da det ikke var gass igjen til å desaturere med.

Mørkeboksen ble festet slik at den omsluttet blodslangen mellom de to oksygenatorene. Det ble tilsluttet en fiberkabel og en linse på hver side av mørkeboksen, vinkelrett på blodslangen. Linsene ble brukt for å gjøre lysstrålen gjennom blodet større. Åpningen for refleksjonskabelen ble blendet. Denne åpningen var tenkt brukt til å måle på en pH-sensor, som skulle vært montert inni blodslangen, for å logge kontinuerlig pH-verdi. Det ble imidlertid ikke brukt, da det ikke ble valgt kontinuerlige målinger. Mørkeboksen og blodslangen mellom oksygenatorene ble pakket inn i mørkeblå stoffer for å unngå strølys fra lyskilder i rommet.

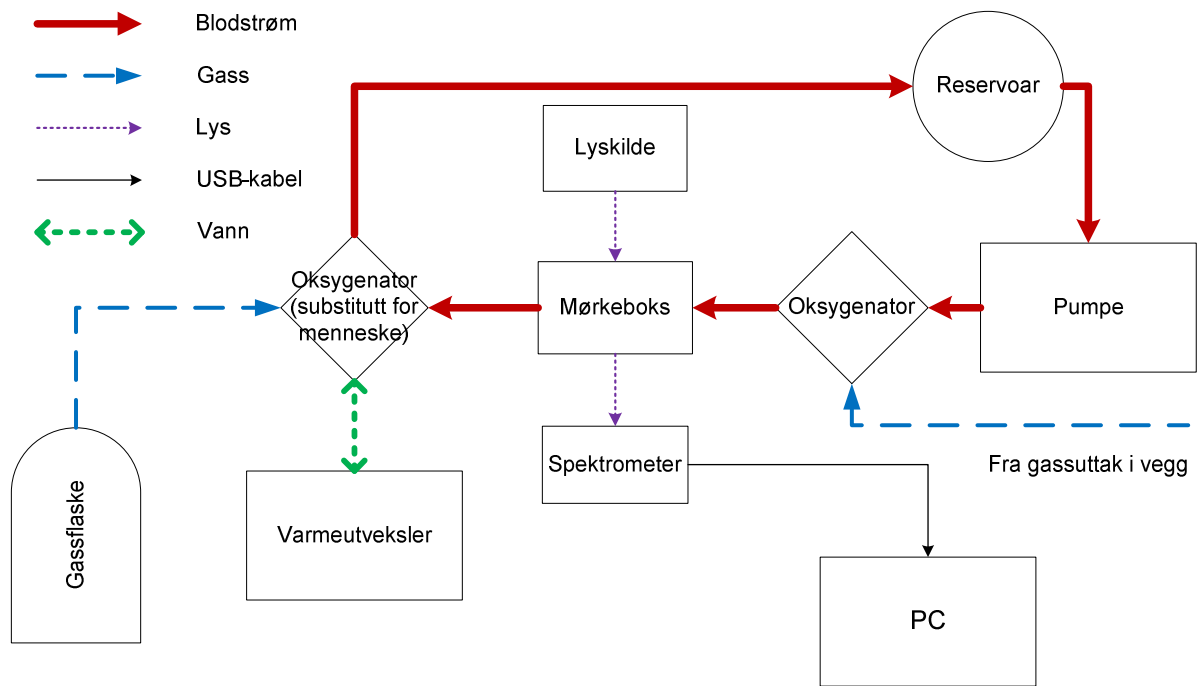
Den ene fiberkabelen ble koblet til lyskilden (Halogenlampe i det første oppsettet og Xenonlampe i det andre oppsettet), den andre til spektrometeret (fra Avantes i det første oppsettet og fra Ocean Optics i det andre oppsettet). Lyskilden ble tilsluttet strømuttak i vegg (via tilhørende adapter i det første oppsettet). Spektrometeret ble tilsluttet en bærbar PC via USB2-kabel.

En mobil blodgassanalysator sto separat ved siden av det andre oppsettet. I tillegg ble det brukt en blodgassanalysator som sto på Thorax-kirurgisk avdeling.

Temperaturen i rommet holdt seg stabil på 22,2 °C.

Oppsettet var som vist i Figur 17,

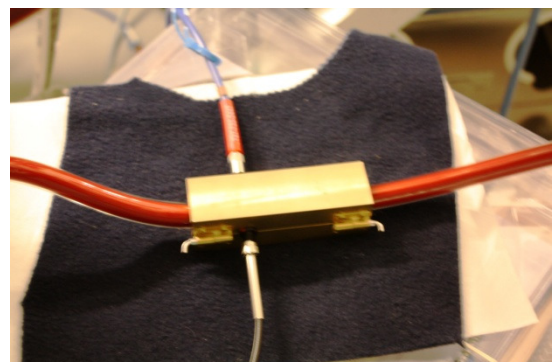
Figur 18 og Figur 19.



Figur 17 Skjematisk tegning av oppsettet



Figur 18 Det fysiske oppsettet
Foto: Jan Olav Høgetveit



Figur 19 Mørkeboksen under forsøkene
Foto: Heidi K. Gudbrands

Gjennomføring av første hovedoppsett

Blodgassanalysatoren og Halogenlampa ble satt på først, da disse trengte en halvtimes oppvarming.

Heparin ble tilsatt hver av blodsagposene for at det ikke skulle koagulere underveis. Det ble tilsatt tre poser Flexbumin og tre poser blodsag. Så ble det åpnet for gjennomstrømning i systemet.

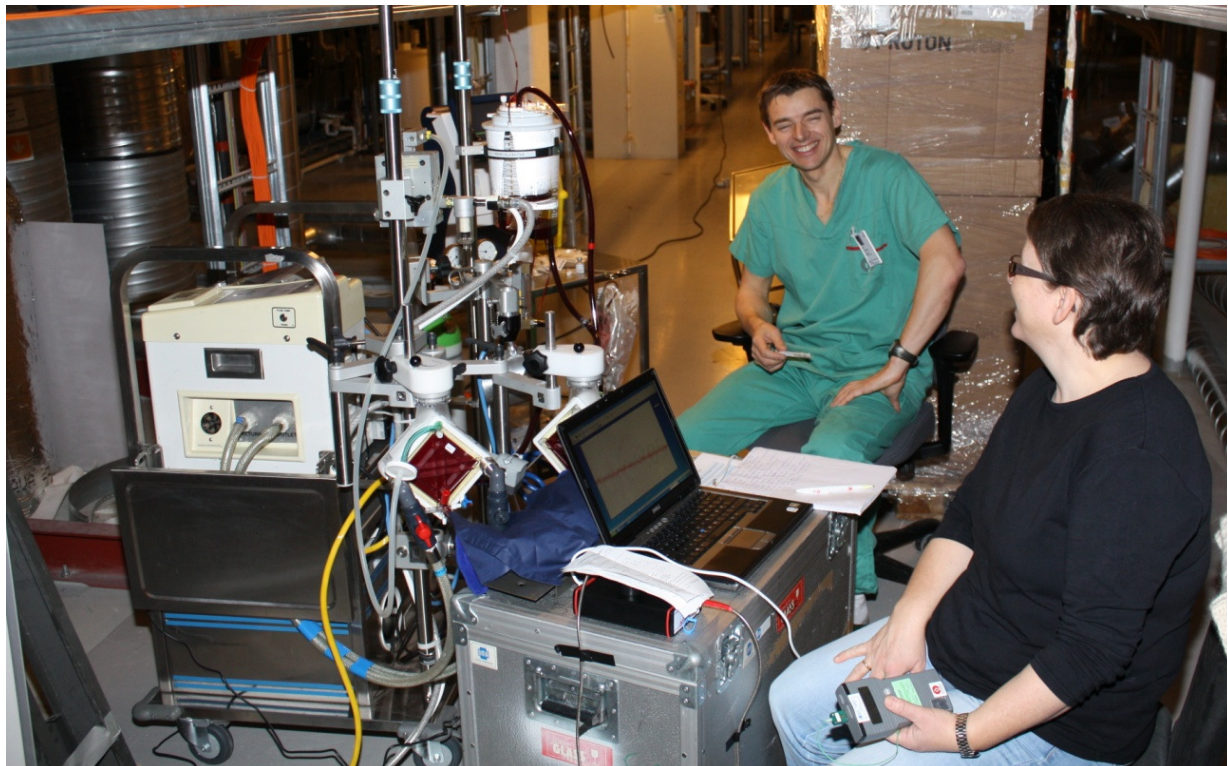
Det ble prøvd en stund med forskjellige verdier på integrasjonstid og gjennomsnittstall (average), før det ble bestemt at målingene skulle logges ved en integrasjonstid på 10,00 ms og et gjennomsnittstall på 50. Dette så ut til å gi minst støy.

Pumpa og varmeutveksleren ble satt på og innstillingene ble sjekket.

Det ble tatt et par startmålinger bare på BGA, og blodet var da ganske surt; under måleområdet for den mobile blodgassanalysatoren (BGA1). Det ble bufret med 10 ml og tatt en måling på blodgassanalysatoren på Thorax-kirurgisk avdeling (BGA2). Den viste da en pH på 6,603, fortsatt utenfor måleområdet for BGA1.

Det ble lagret en måling med programvaren til spektrometeret samtidig med uttak av blodprøve til blodgassanalyse. pH-verdien ble endret ved å tilsette buffer.

Det ble bufret med 5 ml til (totalt 15 ml buffer) og foretatt måling både oppe på BGA2 i 4. etasje, og nede på BGA1 i 3. etasje. Det ble bufret med 5 ml til (totalt 20 ml buffer) og foretatt nye målinger på begge BGAene. Under disse målingene var oksygenblandingen til oksygenatoren på 25 % O₂.



Figur 20 Medveileder Frode Kristiansen og kandidaten i gang med første hovedforsøk
Foto: Jan Olav Høgetveit

Siden O₂-verdiene lå litt lavt, ble oksygenblandingen til oksygenatoren økt til 30 % O₂. Det ble bufret med 10 ml til (totalt 30 ml buffer) og forsøkt foretatt måling, men dessverre falt sprøyta i gulvet. Den tredje digitale målingen med filnavn "MASTER0003.RCM" ble derfor slettet, da det ikke finnes noen utskrift fra BGA på denne målingen. En ny måling (med samme buffer) ble foretatt på begge BGAene.

Det ble bufret med 5 ml til (totalt 35 ml buffer) og foretatt måling bare på BGA2, da BGA1 kalibrerte på det tidspunktet. Videre ble det bufret med 10 ml til før hver måling (fra totalt 35 ml til totalt 65 ml buffer) og foretatt måling på begge BGAene for måling 6 og 8, mens måling 7 bare ble foretatt nede da BGA2 ble kalibrert på dette tidspunktet.

Det ble så bufret med en gang 5 ml og to ganger 10 ml til (fra totalt 65 ml til totalt 90 ml buffer) og foretatt målinger på begge BGAene.

Videre ble det bufret med 5 ml før hver måling (fra totalt 95 ml til totalt 130 ml buffer) og foretatt tre ulike målinger for hvert buffernivå, den første på begge BGAene og de to neste på BGA1. På måling nummer 32 kom det imidlertid ikke ut utskrift fra BGA1, så den digitale målingen med filnavn "MASTER0032.RCM" ble derfor slettet. Måling nummer 33 erstatter denne.

Til slutt ble det bufret med 10 ml til (totalt 140 ml buffer) og foretatt tre ulike målinger, den første på begge BGAene og de to siste på BGA1. Da var det tomt for gass i flaska (blandingen til substitutt for menneske) og verdien for pCO₂ hadde begynt å synke. (Gjelder kun de to siste målingene og verdien sank fra 4,95 på måling nummer 37 til 4,32 på måling nummer 39.)

Da det bare ble målt termisk støy, er det ingen vedlegg på rådata fra dette hovedoppsettet.

Gjennomføring av delforsøket

En slange med vann ble plassert i mørkeboksen og linser og skrue med hette ble montert på. Spektrometeret fra Avantes og halogenlampa ble koblet til via 2 stk. 400 µm fiberkabler. Spektrometeret ble tilsluttet PC via USB2-kabel, og halogenlampa ble tilsluttet strømmettet via tilhørende adapter. Software tilhørende spektrometeret ble brukt til målingene. Målingene ble foretatt i mørkt rom.

En referanse ble lagret, med filter av dobbelt papir/plast, på slangen med vann. Så ble slangen med vann byttet ut med slangen med blod. Målingen som ble lagret hadde en integrasjonstid (IT) på 10 000 og en average (A) på 1. Likevel var det en rett strek, så fiberkabelen mellom lyskilden og mørkeboksen ble byttet fra en på 400 µm til en på 600 µm. Da ble det en liten krumning på streken, og utprøving av parametrene kunne begynne.

Det ble tatt diverse målinger med variasjoner i integrasjonstid fra 1000 til 10 000 og average fra 1 til 10. Under måleprosessen var systemet først i ro og så ble det vendt på (også mens målingen ble tatt).

Siden lysgjennomføringen var montert ca. 3 cm fra den ene enden på mørkeboksen, lakk det lys ut i denne enden. Det ble derfor tapet rundt slangen på denne siden underveis, for å hindre dette. Etter hvert ble systemet vendt frem og tilbake mellom målingene, mens det var i ro i det øyeblikket målingen ble tatt. På de siste målingene ble det i tillegg lagt på en glatting ("smoothing") på 10.

En liste over måleparametre og hvilke forhold som er med når målingene ble tatt, finnes i Vedlegg K.

Gjennomføring av andre hovedoppsett

Blodgassanalysatoren og Halogenlampa ble satt på først, da disse trengte en halvtimes oppvarming.

Heparin ble tilsatt hver av blodsagposene for at det ikke skulle koagulere underveis. Reservoaret ble fylt opp med blodsag og Flexbumin.

Det ble tatt to referanser med utgangsoppsettet og 8 lag med papir/plast; en på tom slange med integrasjonstid 5000 og average 1, og en på slange med vann med integrasjonstid 200 og average 1 (med halogenlampa og spektrometeret fra Avantes).

Systemet ble i utgangspunktet satt opp som i første hovedoppsett, med unntak av pumpe, varmeutveksleren og de 2 fiberkablene på 600 μm . Sirkulasjon ble satt i gang, og det ble bufret flere ganger og tatt flere prøver til BGA, for å få systemet innenfor grensene til BGA1 (den mobile blodgassanalysatoren).

Samtidig ble det jobbet med å få signaler opp på skjermen. Spektrometeret ble testet for seg og sammenlignet med et annet spektrometer fra MTV. Det viste seg at det første var for dårlig, så det ble byttet ut med det fra MTV. Det gjorde at annen software måtte benyttes, og denne ble lastet inn på kandidatens PC.

Da det fortsatt ikke var noen signaler på skjermen, ble lyskilden sjekket. Det fantes en Xenonlampe på MTV, og det ble byttet over til denne. Wattstyrken ble da endret fra 30 W til 300 W. Da ble det tydelige utslag på skjermen.

Det utstyret som ble benyttet under dette forsøket, er det utstyret som er listet opp i Vedlegg B.

Da målingene begynte var det allerede tilsatt 40 ml buffer. Programmet var innstilt på integrasjonstid 6000, average 1 (average 2 for første måling), boxcar 3 og strobe frequency 20. Pumpe gikk med en fart på 1330 rpm. Siden alle utbyttingene hadde tatt sin tid, var første måling allerede oppe i en pH på 7,272.

Det ble tatt 3 målinger med 40 ml buffer, bufret med 5 ml til (til sammen 45 ml buffer), tatt 3 målinger til og bufret med 5 ml til (til sammen 50 ml buffer).

Deretter ble det tatt 12 målinger, siden det nærmet seg en pH på 7,4 og den fortsatte å stige uten mer buffer. Da det ikke steg mer, ble det bufret med 5 ml til (til sammen 55 ml buffer) og tatt 3 målinger.

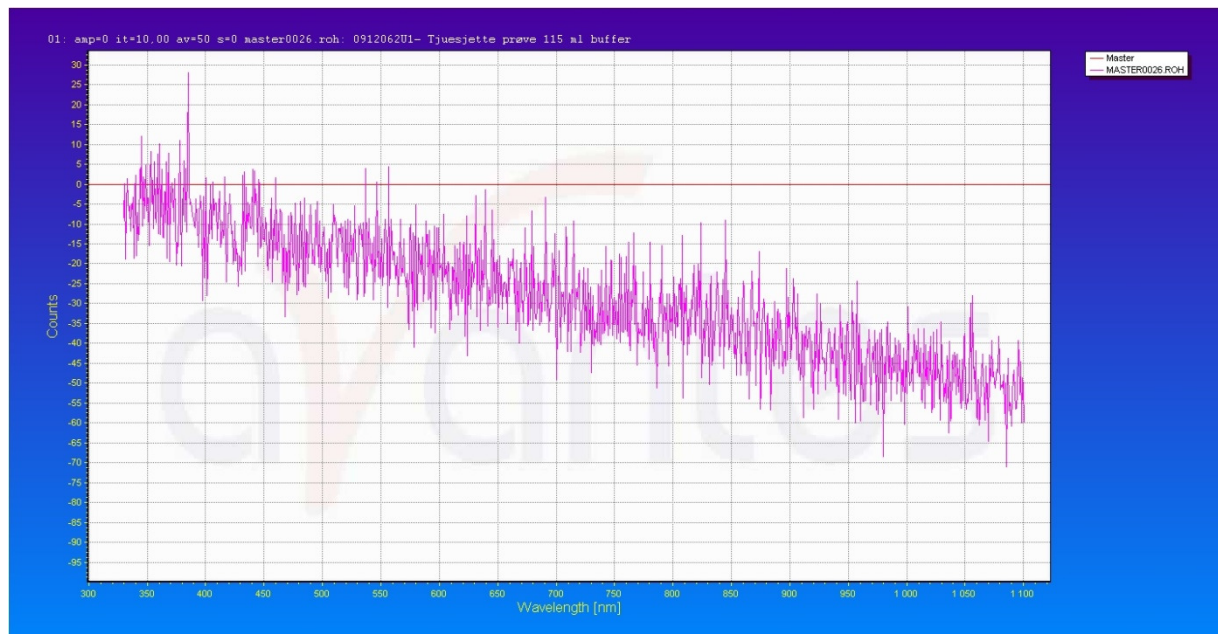
For å få et litt større spekter på målingene, ble det bufret med 5 ml til (til sammen 60 ml buffer), tatt 4 målinger og bufret med 10 ml til (til sammen 70 ml buffer). Før siste måling ble farten på pumpe satt opp til 1460 rpm, for å få bufferet forttere rundt. Det ble så tatt 1 måling til slutt. Da var blodet kommet opp i en pH på 7,766, og forsøkene ble avsluttet.

Bakgrunnstallene fra dette hovedoppsettet, finnes i Vedlegg L.

Resultater

Første hovedoppsett

Det første hovedoppsettet ga ingen resultater, bare støy. Det var imidlertid en "peak" på 384,926 nm, og det var uvisst under forsøket om den ville ha noen betydning. Grafen ved pH på 7,402 så ut som i Figur 21. Det at det meste av målingene ligger under null, skyldes at det ikke er trukket fra for referanse, men kjørt på "scope mode".



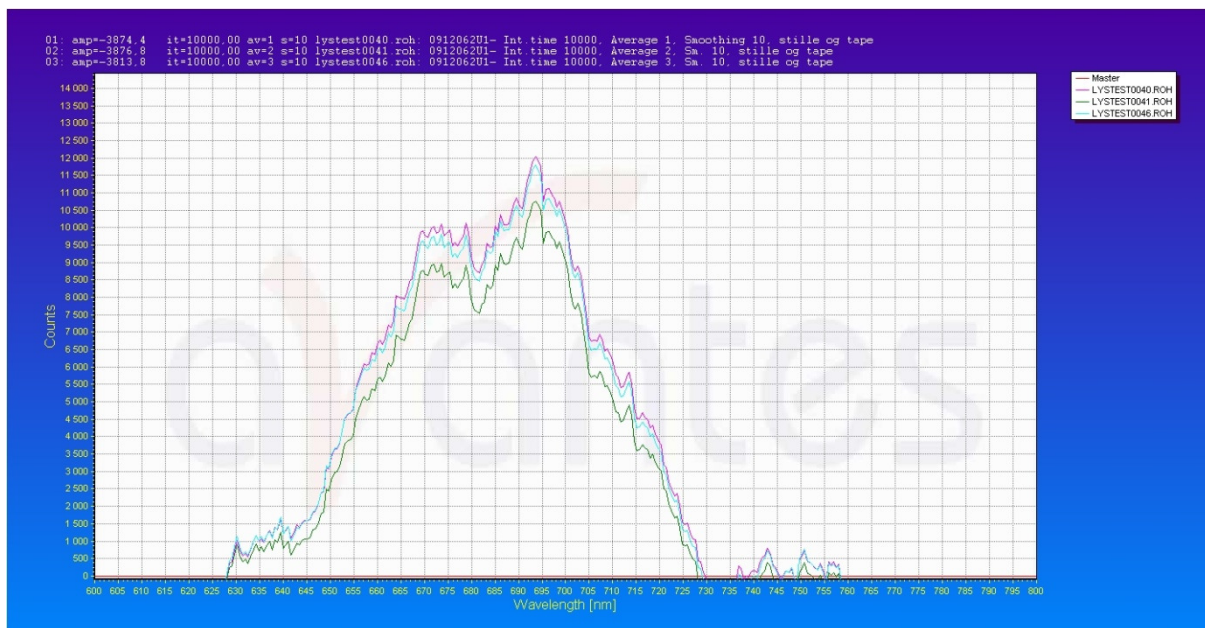
Figur 21 Graf fra første hovedoppsett for pH = 7,402

Delforsøket

Målingene er tatt ved å vende på mørkeboksen med blodslangen mellom målingene, og ved å holde den stille i det målingen ble tatt. Slangen er også tapet i den ene enden for å unngå lekkasje av lys. Disse forholdene gjelder både for Figur 22, Figur 23 og Figur 24.

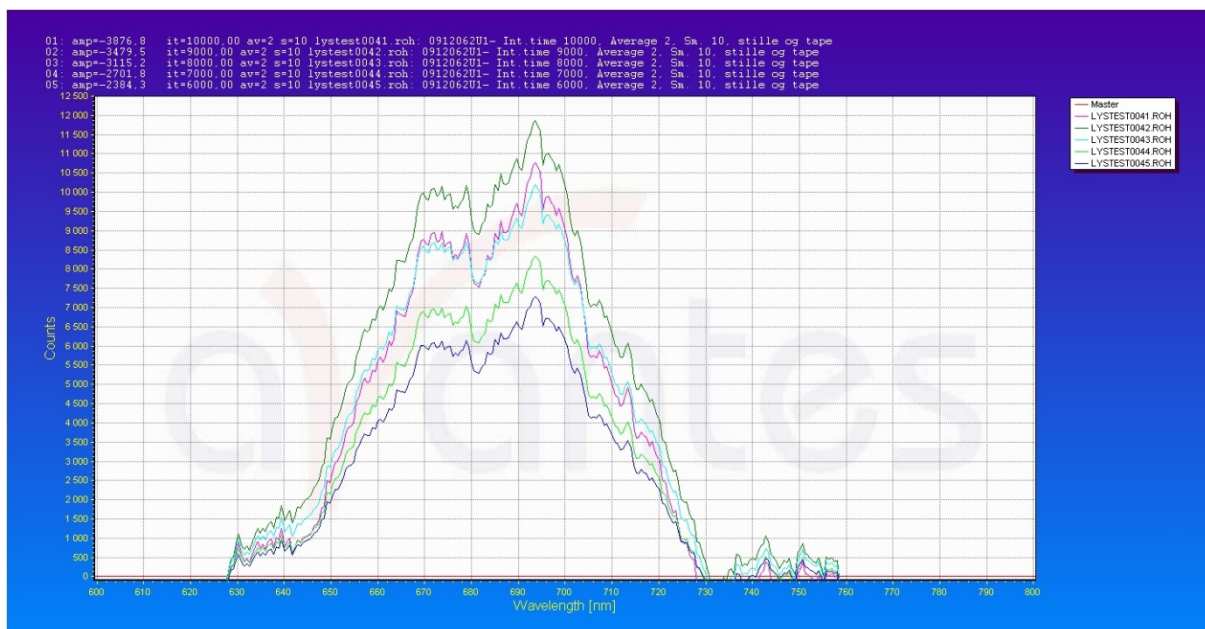
Med fast integrasjonstid på 10 000 og glatting (smoothing) på 10, viser Figur 22 variasjonen i average. Lilla kurve som ligger øverst har en average på 1, grønn kurve som ligger nederst har en average på 2, og blå kurve som ligger i midten har en average på 3.

Siden det bare er tre målinger med i denne grafen så er det ikke noe entydig svar, men det ser ut til at average har liten betydning.



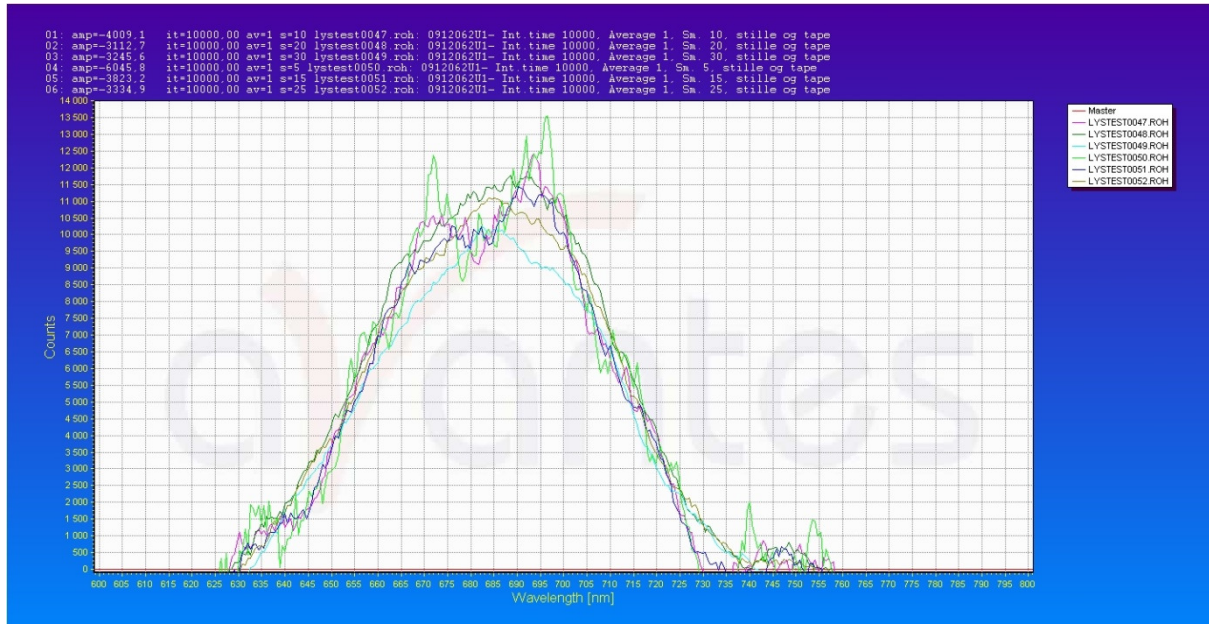
Figur 22 Variasjon i average

I Figur 23 er glatting satt til 10 og average til 2, mens integrasjonstiden varierer fra 6 000 til 10 000 med trinn på 1 000. Den øverste kurven er for 9 000 og den nest øverste for 10 000, mens resten er synkende fra 8 000 til 6 000. Det blir generelt en synkende kurve for synkende integrasjon.



Figur 23 Variasjon i integrasjonstid

I Figur 24 er integrasjonstiden satt til 10 000 og average til 1, mens glattingen varierer fra 5 til 30 i trinn på 5. Kurvene fra 5 til 30 i stigende rekkefølge har henholdsvis fargene lysegrønn, lilla, mørkeblå, mørkegrønn, grå og lyseblå. Grafen viser at de to toppene går mer og mer over til en buet kurve ved økende glatting.

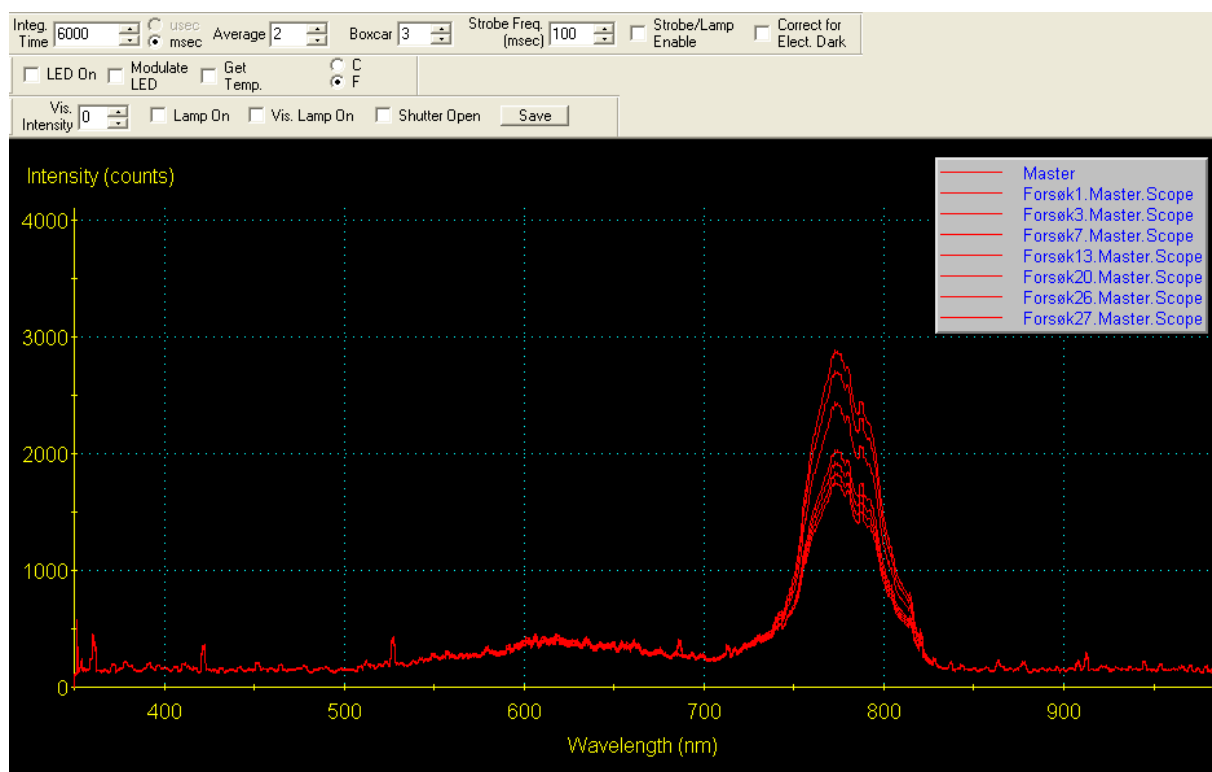


Figur 24 Variasjon i glatting (smoothing)

Med en glatting på 10 er høyeste topp på 693,945 nm. Nærmeste dypeste dal til venstre ligger på 681,507 nm og første topp til venstre for denne igjen ligger på 679,018 nm.

Andre hovedoppsett

I andre hovedoppsett ble det tatt 26 par med målinger. (Egentlig 27 par med målinger, men måling 15 måtte slettes, da det ikke kom noen utskrift fra BGA på denne.) Hvert par besto av en blodprøve for BGA og en lagret måling av spekteret. Antall tellinger sank med økende pH. Dette vist ved at hele kurven ble lavere og lavere etter hvert som pH-verdien steg. Se Figur 25. Toppverdi og pH-verdi for de syv kurvene er vist i Tabell 3. Det er valgt de kurvene som ligger nærmest tiendedelen av pH-verdien (7,3 – 7,4 – 7,5 – 7,6 – 7,7), samt høyeste og laveste kurve.



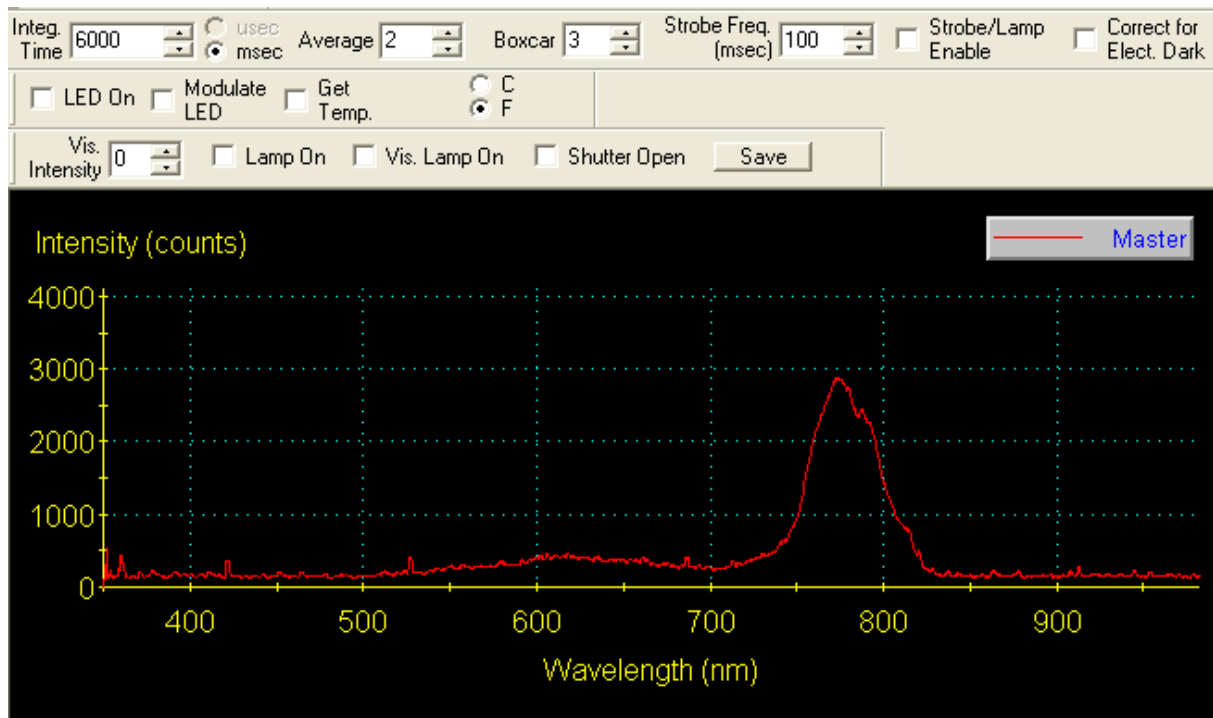
Figur 25 Variasjonen i kurvene

Tabell 3 Toppunkt og pH-verdi for utvalgte kurver

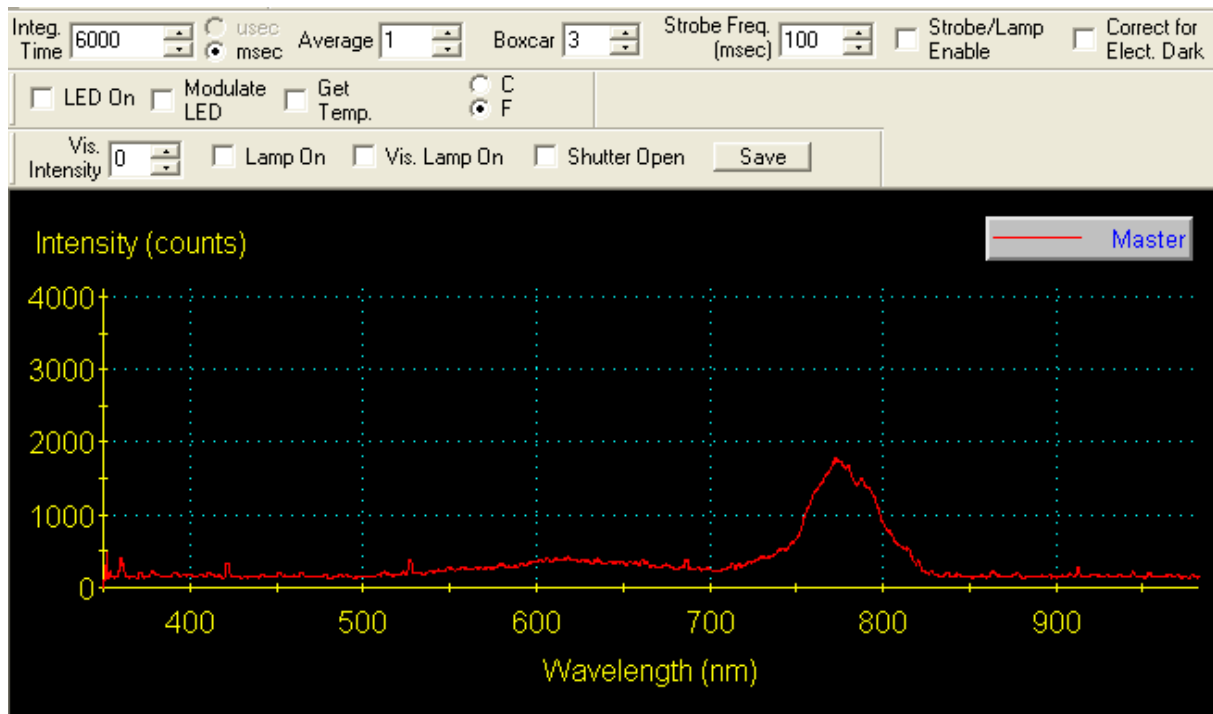
Navn på kurve	Toppverdi (antall tellinger, avrundet til hele tall)	pH-verdi
Forsøk1.Master.Scope	2886	7,272
Forsøk3.Master.Scope	2715	7,311
Forsøk7.Master.Scope	2439	7,416
Forsøk13.Master.Scope	2035	7,505
Forsøk20.Master.Scope	1933	7,606
Forsøk26.Master.Scope	1840	7,712
Forsøk27.Master.Scope	1774	7,766

Ifølge tallmaterialet hadde de aller fleste målingene (22 av 26) sin toppverdi ved en bølgelengde på 772,69 nm, mens de andre fire hadde sin toppverdi ved en bølgelengde på 772,39. Jeg antar derfor at reell toppverdi ligger et sted mellom disse to.

For bedre å vise kurvefasongen, er kurvene for første og siste måling vist hver for seg. Kurven til første måling er vist i Figur 26, mens kurven til siste måling er vist i Figur 27.



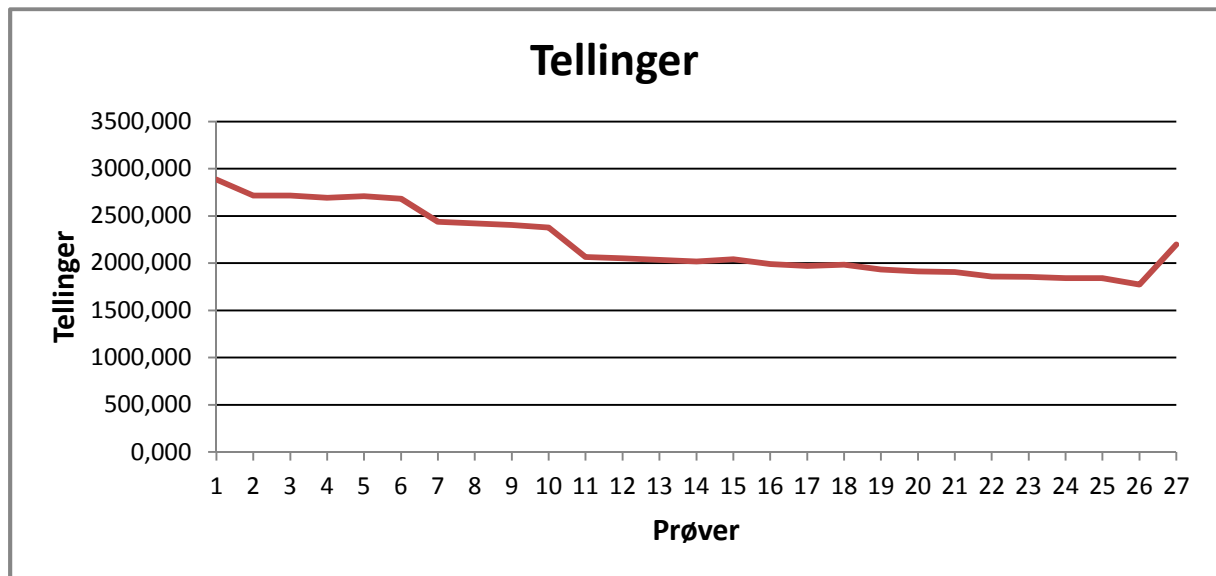
Figur 26 Kurven fra første måling



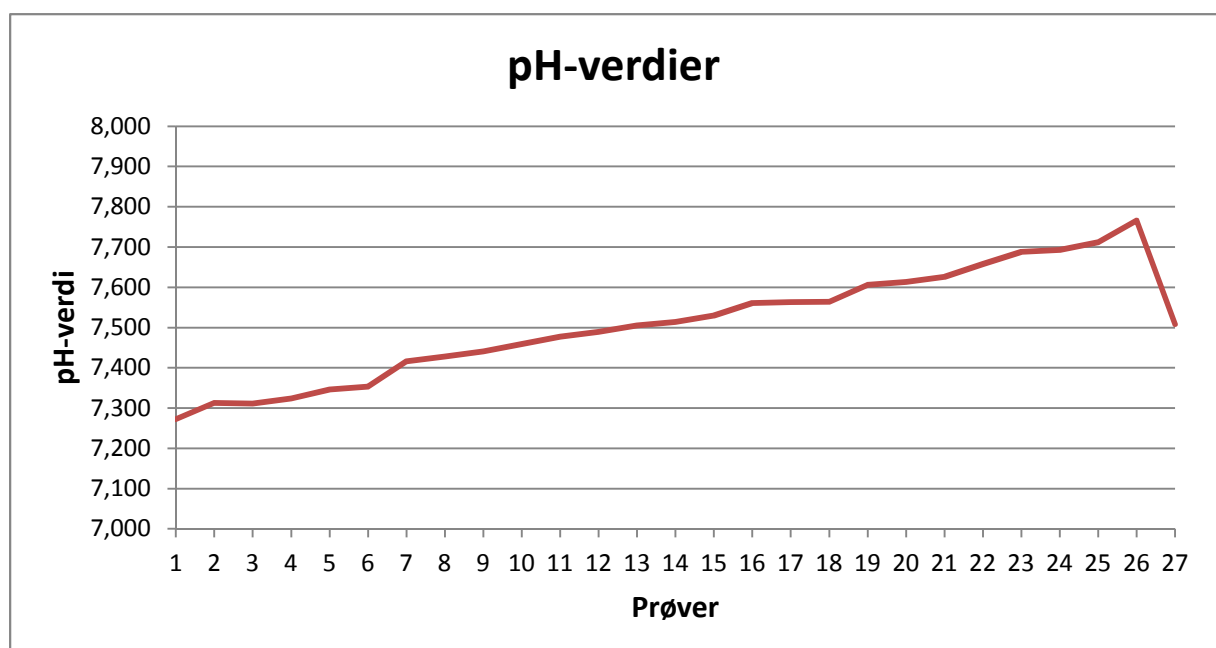
Figur 27 Kurven fra siste måling

Fra første til siste måling er forskjellen i toppverdien på 1112 tellinger. Forskjellen i pH-verdi fra første til siste måling er på 0,494. Hvis forholdet hadde vært lineært, ville det gitt en endring i antall tellinger på ca. 2,25 per 0,001 pH-enhet. Ved nærmere kalkulasjon er det ingen lineær sammenheng, heller ikke i det mest aktuelle pH-området (fra 7,36 til 7,44).

Siden målingene ikke er tatt med likt tidsintervall og pH-verdien ikke steg lineært, vil det være like illustrativt (eller misvisende) om en bruker per måling eller per tidsenhet som enhet på X-aksen. De neste to figurene er ment å indikere hvordan antall tellinger sank og pH-verdien steg gjennom forsøket. Antall tellinger per måling er vist i Figur 28, og pH-verdien per måling er vist i Figur 29.



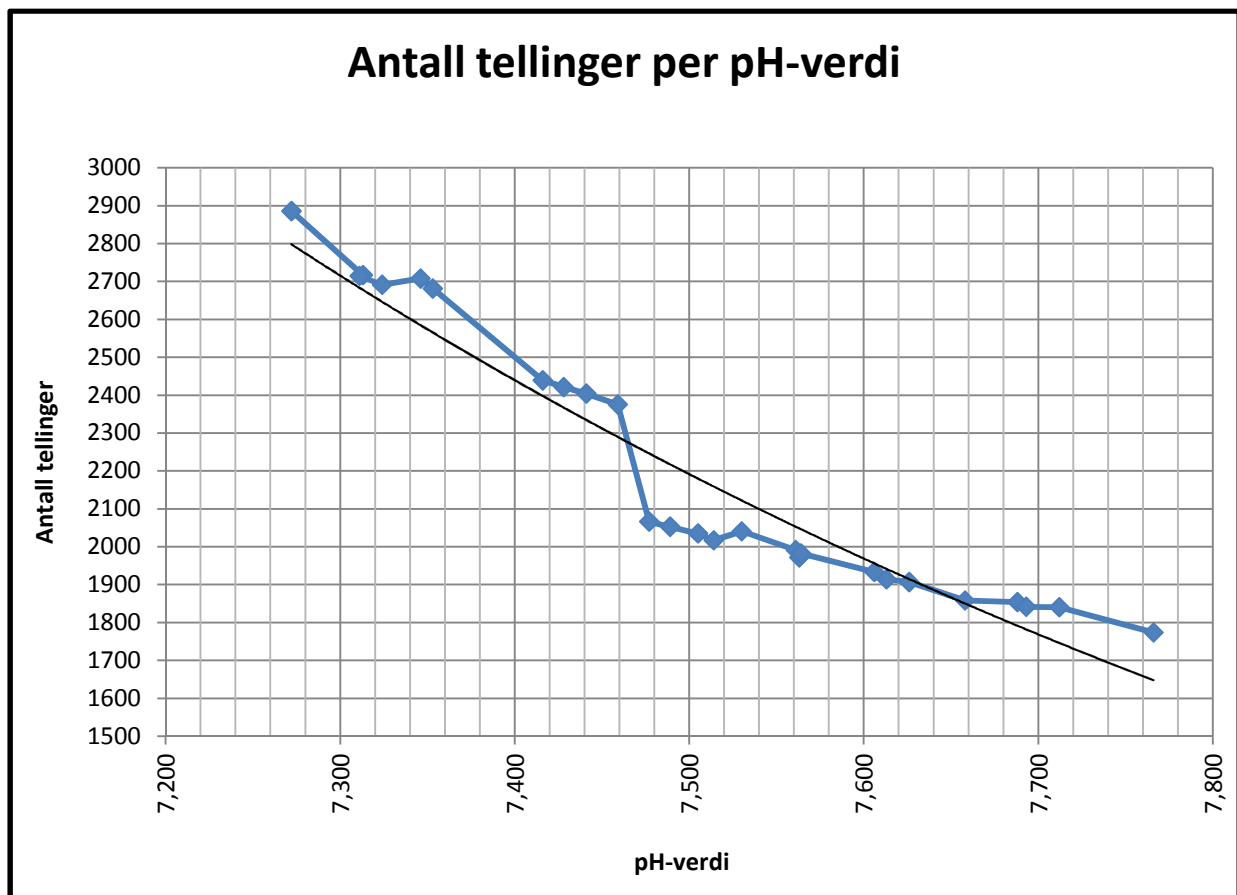
Figur 28 Antall tellinger per måling



Figur 29 pH-verdi per måling

Antall tellinger per pH-verdi er vist i Figur 30. Antall tellinger synker kraftig, men litt trinnvis. Det er også lagt på en eksponentiell trendlinje. Når pH-verdien stiger, blir blodet mer basisk og det er mindre konsentrasjon av hydrogenioner i blodet ($[H^+]$). Da går antall tellinger ned. Det betyr at antall tellinger er omvendt proporsjonal med pH-verdien og proporsjonal med $[H^+]$. Det vil i praksis si at det går mer lys igjennom blodet når blodet har høy konsentrasjon av hydrogenioner (altså lav pH).

I det mest aktuelle området rundt $pH = 7,4$ (fra 7,36 til 7,44), ligger antall tellinger mellom 2 400 og 2 700. Denne delen er relativt lineær.



Figur 30 Antall tellinger per pH-verdi

På utskriftene fra blodgassanalysatoren var det mange måleparametre, se Tabell 4. Det var imidlertid ikke alle parameterne som ga noen verdier under vårt forsøk. Det skyldtes at gassflaska gikk tom før målingene begynte, noe som blant annet ga altfor lave $p\text{CO}_2$ -verdier. Disse verdiene er derfor ikke tatt med. Verdispredningen på de ni måleparameterne som ga verdier, er vist i Tabell 5.

Tabell 4 Måleparametre fra blodgassanalysatoren (en Radiometer ABL90 series)

Måleparameter	Måleenhet	Normalområde	Forklaring
<i>Blodgassverdier:</i>			
pH	–	7,360 – 7,440	$-\log_{10}[\text{H}^+]$, den negative logaritmen til hydrogenioner
$p\text{CO}_2$	kPa	4,70 – 5,90	Konsentrasjon av karbondioksid
$p\text{O}_2$	kPa	10,0 – 14,0	Konsentrasjon av oksygen
<i>Oksimetrivverdier:</i>			
ctHb	g/dL	11,7 - 17,0	Konsentrasjon av hemoglobin
Hct _c	%	0,3 – 0,5	Konsentrasjon av hematokrit
sO ₂	%	94,0 – 98,0	Oksygenmetningen
FMetHb	%	0,0 – 1,0	Andel av methemoglobin
<i>Elektrolyttverdier:</i>			
cNa ⁺	mmol/L	137 – 144	Konsentrasjon av natrium
cK ⁺	mmol/L	3,50 – 4,40	Konsentrasjon av kalium
cCa ²⁺	mmol/L	–	Konsentrasjon av kalsium
cCl ⁻	mmol/L	100 – 109	Konsentrasjon av klor
<i>Metabolittverdier:</i>			
cGlu	mmol/L	4,3 – 6,2	Konsentrasjon av glukose
cLac	mmol/L	0,4 – 1,3	Konsentrasjon av laktose

Tabell 5 Verdispredningen på de ni måleparameterne som ga verdier på utskriftene

Måleparameter	Laveste verdi	Høyeste verdi	Middelverdi	Normalområde
pH	7,272	7,766	7,509	7,360 – 7,440
pO_2	27,3	28,9	27,696	10,0 – 14,0
ctHb	12,0	12,3	12,131	11,7 - 17,0
Hct _c	36,7	37,6	37,181	0,3 – 0,5
sO ₂	99,6	100,3	99,938	94,0 – 98,0
FMetHb	0,6	0,9	0,738	0,0 – 1,0
cNa ⁺	151	160	154,500	137 – 144
cGlu	15,6	17,8	16,627	4,3 – 6,2
cLac	19,0	20,0	19,346	0,4 – 1,3

Det ble valgt å ta målinger av pH over et stort område, og det er derfor et bevisst valg at pH-verdiene er utenfor normalområdet i begge ender.

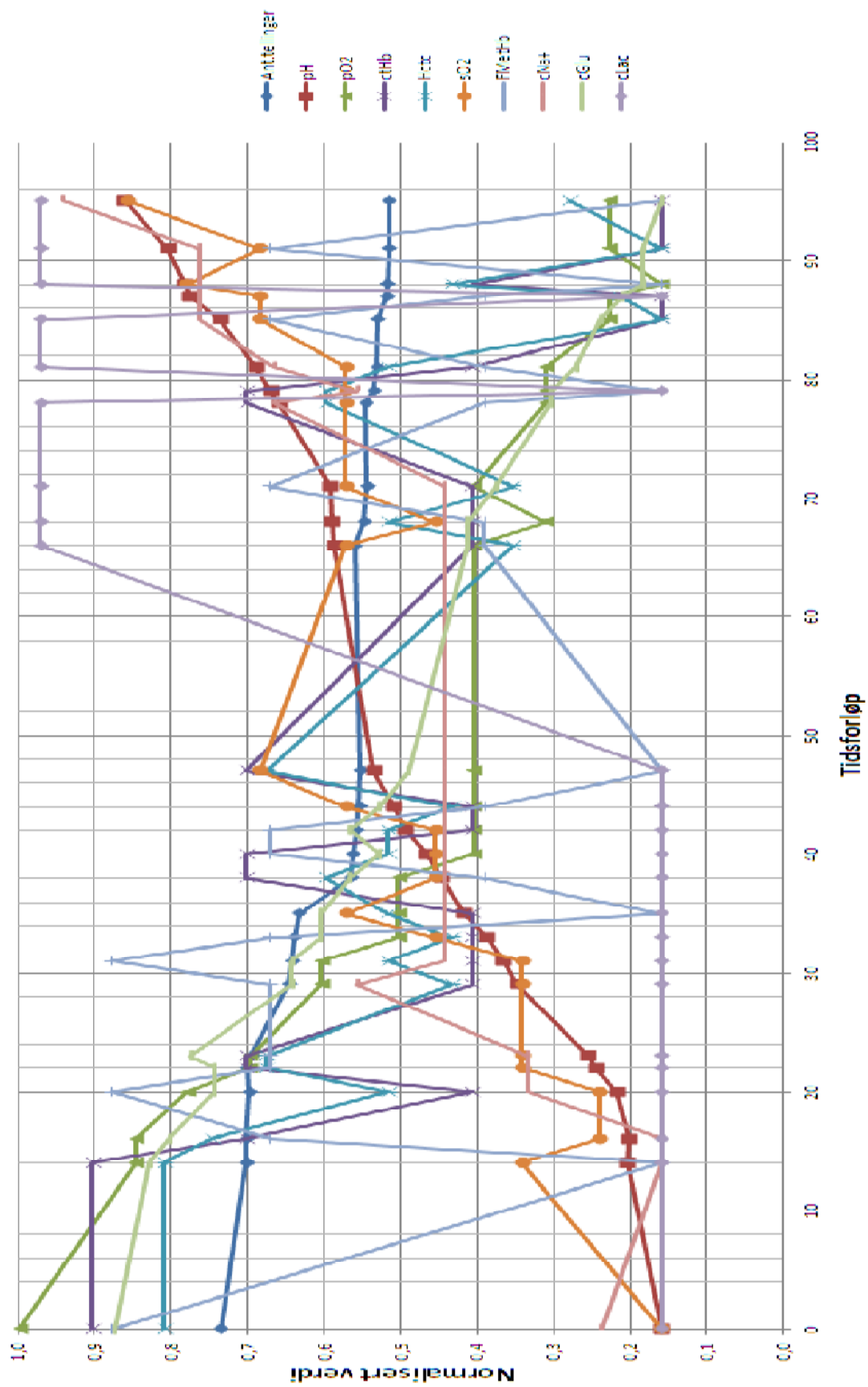
pO_2 , Hct_c, cNa⁺, cGlu og cLac ligger altfor høyt i forhold til normalområdene sine, mens sO₂ ligger litt over normalområdet sitt. Dette skyldes blant annet at gassflaska gikk tom før målingene startet.

ctHb og FMetHb ligger innenfor normalområdet, henholdsvis i nedre og øvre sjikt.

Når så forskjellige måleverdier skal sammenstilles i samme diagram, må tallene normaliseres. Det er gjort i Figur 31. Noen av parameterne har liten forskjell mellom laveste og høyeste verdi. Dette vises som store variasjoner og må derfor sees i sammenheng med Tabell 5. cLac varierer for eksempel bare mellom 19,0 og 20,0, og grafen til denne får derfor store hopp.

I Figur 31 er tidsforløpet i antall minutter tatt inn på X-aksen. (Målingene starter på tiden 0 minutter.)

Normaliserte verdier for alle faktorer på utskriften fra BGA sammen med antall tellinger



Figur 31 Sammenstilling av normaliserte måleparametre

Diskusjon

Lyskilden

Det ble i starten brukt en Halogenlampe på 30 W. Den ble byttet ut med en Xenonlampe på 300 W. Siden det ble målt på transmisjon og blodet er ganske tett, ble det nødvendig med veldig sterkt lys. Det passet ikke så godt sammen med fiberkabelen, som ble ganske varm i den enden som var koblet til lyskilden. Det bør nok derfor brukes større kabler og en noe svakere lyskilde. For øvrig tror jeg ikke det hadde noen større innvirkning på målingene, da denne varmen ikke strakk seg særlig langt på kabelen, og derfor heller ikke ga noe varme til blodslangen. Lyset som kom ut i den andre enden og gikk inn i mørkeboksen var likevel stabilt.

Fiberkabler

Vi begynte med fiberkabler på 400 μm både mellom lyskilden og mørkeboksen, og mellom mørkeboksen og spektrometeret. På delforsøket ble fiberkabelen mellom mørkeboksen og lyskilden byttet ut med en fiberkabel på 600 μm , for å få mer lys frem til blodet. På siste hovedoppsett var begge fiberkablene byttet til 600 μm . De kunne med fordel hatt enda større diameter.

Måleområde

Måleområdet på 650 – 1050 nm var valgt ut fra en tidligere studie [7]. Spektrometeret som ble brukt målte i området 350 – 1000 nm. Som måleresultatene viser, ligger våre målinger mellom 700 og 850 nm. Det bekrefter at våre antakelser om bølgelengdeområde var riktig.

Metode

Vi valgte transmisjon fremfor refleksjon. Det viste seg å være en vellykket metode, da vi fikk resultater i siste forsøk. Begge metoder er mulig og valg av metode hadde også noe å gjøre med tilgangen på utstyr, men det var først og fremst spennende å prøve transmisjon da det så ut til å være en hittil uprøvd metode når det gjelder måling på blod.

Mørkeboksen

Mørkeboksen passet perfekt til standard slangesett for HLM og var laget med stor presisjon. Et minus var at gjennomgangshullet for fiberkablene var laget for nær den ene enden. Det var fordi det var laget et hull til referansekabel i den andre enden. Dette hullet var tenkt brukt til å måle på en pH-sensor som skulle limes inni blodslangen og brukes som referanse ved hjelp av refleksjon. Dette ble det imidlertid ikke noe av, da det ble valgt enkeltmålinger og ikke kontinuerlige målinger. I det ekstra hullet ble det satt en skrue med hette, og enden ved fiberkablene ble tapet for å unngå at lyset "lakk" ut.

Målinger

Det var først tenkt å ta kontinuerlige målinger. Når man skal ta ut en blodprøve fra slangesettet, tar det litt tid. Det ble derfor endret til trinnvise målinger. Det viktigste var at det var par av målinger. Kurven på skjermen ble lagret idet blodprøven ble tatt ut av slangesettet til HLM. Så ble blodprøven lagt inn i BGA. Det tar forskjellig tid fra gang til gang, og det var ikke mulig å gjøre dette med faste tidsintervaller. Det var et tregt og manuelt målesystem, men parene ble alltid forsøkt tatt så samtidig som mulig. Det er også grunnen til at punktene ligger litt i klynger på diagrammet. Se Figur 30.

Måleparameterne

Antall tellinger og konsentrasjon av glukose (c_{Glu}) er svakt synkende og pH er ganske jevnt stigende, se Figur 31. Oksygenkonsentrasjonen (pO_2) er relativt jevnt synkende uten noen store hopp. Hemoglobinkonsentrasjonen ($ctHb$) i likhet med hematokritkonsentrasjonen (Hct_c), går derimot mye opp og ned. Oksygenmetningen (sO_2) og konsentrasjonen av natrium (cNa^+) er også litt varierende, men generelt stigende. Sistnevnte har for øvrig et litt større variasjonsområde enn hva som er vanlig ved normale verdier. Andelen av methemoglobin ($FMetHb$) er den parameteren som har størst utslag i variasjonen av målingene. Det kan skyldes at den bare varierer i et område på 0,3 enheter, mens den normalt vil variere en hel enhet. Laktosekonsentrasjonen ($cLac$) ser også ut til å variere veldig i siste del av diagrammet, men i realiteten er den veldig stabil og varierer bare mellom 19 og 20 mmol/L.

Det at konsentrasjonen av karbondioksid (pCO_2) er altfor lav, og at flere av de andre parameterne ligger (til dels langt) utenfor sine områder, har selvfølgelig betydning for nivået på pH, men det ser ikke ut til at det er noen unormale endringer i de ulike måleparameterne som kan gi spesielle utslag på målingene av pH. Det er hvordan intensiteten i målingene (antall tellinger) speiler variasjonen i pH-målingene, som er det sentrale her. Det ser ut til at det er en sammenheng mellom dem, men det må utredes nærmere.

Feilkilder

Det er mange ting som kan virke inn på målingene i et slikt oppsett:

- Lyskilden kan være ustabil, for svak, for sterk eller ha feil spekter
- Fiberkablene kan ha for krappe buktninger på seg, ha for tynn kjerne eller være skjevt skrudd fast i endene
- Linsene kan være skadet eller uklare på grunn av støv, eller de kan være skjevt skrudd fast (slik at de blir stående i feil vinkel i forhold til hverandre)
- Mørkeboksen hadde gjennomgangen for lyset for nær enden
- Det kan komme spredelys og forstyrre lysgjennomgangen
- Tida det tok fra blodprøven ble tatt til den ble lagt inn i BGA var forskjellig for hver måling
- Apparatene kan være stilt inn feil
- Blodstrømmen kan sirkulere med forskjellig hastighet
- Temperaturen i blodstrømmen kan endre seg underveis
- Det kan komme embolier i blodstrømmen
- Blodet kan være inkonsistent
- Blodgassene kan endre seg (uønsket) underveis
- Målingene av parene ble ikke tatt akkurat samtidig hver gang

Anbefalinger

Det bør lages en prototype som ligner på mørkeboksen med lysåpningen på midten. Boksen bør være av et lettere, men likevel stabilt materiale, og ha låser som er enklere å åpne/lukke. Mørkeboksen i denne studien hadde senter for lystilkoblingen 3 cm inn fra den ene enden og 7 cm inn fra den andre enden. 3 cm var for lite, der lakk lyset ut. 7 cm var nok.

Videre arbeid

Videre arbeid kan være:

- Å ta kontinuerlige målinger i et litt smalere pH-område (for eksempel fra 7,35 til 7,45) og la pH økes stabilt, for å få en mer nøyaktig kurvetilpasning.
- Å finne en lyskilde som er avgrenset til området rundt spekteret på 700 – 850 nm, for å unngå å belyse mer enn nødvendig.
- Å optimalisere et av to oppsett:
 - Bruke transmisjon, store kabler og tilpasse lyset
 - Bruke refleksjon, tynne kabler og tilpasse lyset
- Å lage en prototype som fungerer på laboratoriet og teste den ut parallelt med ordinær måling av pH på en HLM, for å se om resultatene også stemmer i en klinisk studie.

Konklusjon

Både refleksjon og transmisjon egner seg for måling av pH.

Bølgelengdeområdet for måling av pH i arterielt blod ligger mellom ca. 700 og 850 nm.

Det er for få målinger til å bestemme en entydig algoritme, men basert på dette prosjektet er det mye som tyder på at denne vil kunne utledes entydig dersom forsøksserien gjentas tilstrekkelig antall ganger.

Spektrometri kan være en egnet metode for kontinuerlig monitorering av pH-nivået i pasientens blod ved bruk av HLM under kirurgiske prosedyrer, men må utredes nærmere og utvides med kliniske studier for å kvalitetssikre metoden.

Takk

Aller først vil jeg takke Jan Olav Høgetveit og Forsknings- og utviklingsavdelingen på Medisinsk-teknologisk virksomhetsområde ved Oslo Universitetssykehus for oppgaven. Det har vært en interessant og utfordrende oppgave.

Til hovedveileder Jan Olav: Du er en diplomatisk mann med stor tålmodighet, god innsikt og en stor menneskekjenner. Du har visst når jeg trengte tid og når det var på tide å presse litt. Du har stilt opp på mange ting på kort varsel og det har aldri vært vanskelig å få tak i deg. Tusen takk for et unikt samarbeid!

Jeg vil også rette en stor takk til resten av Forsknings- og utviklingsavdelingen for god hjelp til små og store ting, lån av utstyr og tilskudd til materiell. Spesielt vil jeg trekke frem André Bakken, som er en utrolig kunnskapsrik mann. Det var du som viste meg et spektrometer for første gang, og det hadde vel ikke blitt noen resultater i andre forsøk uten din hjelp.

Til medveileder Frode Kristiansen: Det var du som hadde den største kunnskapen om hjertelungemaskiner og parametrene i blodet. Du gjorde en uvurderlig jobb i første forsøk, så det var veldig beklagelig at det ikke ble noen resultater da. Takk for den kunnskapen du delte.

Jeg vil også takke Thorax-kirurgisk avdeling på Rikshospitalet, OUS for alt forbruksmateriell og lån av utstyr, og Blodbanken på Ullevål, OUS for blodet.

Til medveileder Peyman Mirtaheri: Du kom sent inn i prosjektet, men har vært en veldig viktig brikke for å få det til. Du har stor kunnskap, ikke bare om elektronikk og optikk, men også om blod og vev og fysiologi ellers. Du er entusiastisk og inspirerende. Takk for din kunnskap, forståelse og smidighet.

Jeg vil også takke Avdeling for ingeniørutdanning, Elektro, Høgskolen i Oslo og Akershus for lån av utstyr og et optisk mørkelaboratorium som passet perfekt til oppgaven. Jeg vil samtidig takke stipendiat Maryam Amini for all god hjelp, både i fravær av Peyman og ellers.

Så vil jeg takke Instrumentverkstedet på Fysisk institutt ved Universitetet i Oslo, som laget mørkeboksen til prosjektet. Dere gjorde et flott arbeid med stor presisjon.

Jeg vil også takke lærerne mine på Universitetet i Oslo: Jan Olav Høgetveit, Ola Sveen, Eli Olaug Hole, Anne Catrine T. Martinsen, Hilde Olerud, Jan Kenneth Bekkeng og Toralf Bernhard Skaali. Dere har gitt meg mye kunnskap som har vært nyttig inn i prosjektet, og som også vil være nyttig videre i jobbsammenheng.

Jeg vil også takke rådgiver på seksjon for laboratoriemedisin Andreas Reine ved Sykehuset Telemark HF i Skien for svar på utdypende spørsmål om stoffer i blodet og konvensjonelle målemetoder for pH.

Og jeg vil takke Medisinskteknisk seksjon ved Sykehuset Telemark i Skien for råd og støtte, samt stor fleksibilitet for å få til både jobb og studier.

Sist, men ikke minst, vil jeg rette en stor takk til familien min! Dere har måttet holde ut med en kone og mor som ikke har hatt tid til dere på lang tid. Det har vært hektiske dager og lange kvelder, og dere har måttet ta over en god del av det jeg skulle ha gjort hjemme. Tusen takk!

Nomenklaturliste

ELDAT	–	elektronikk og datateknologi
MTV	–	Medisinsk-teknologisk virksomhetsområde
HLM	–	hjertelungemaskin
PNA	–	pasientnære analyser
H ⁺	–	hydrogenioner
CO ₂	–	karbondioksid
pO ₂	–	konsentrasjon av oksygen
pCO ₂	–	konsentrasjon av karbondioksid
[H ⁺]	–	konsentrasjon av hydrogenioner
NIR	–	near infrared
SWIR	–	shortwave infrared
MWIR	–	middelwave infrared
LWIR	–	longwave infrared
FIR	–	far infrared
n	–	antall skall rundt kjernen i atomer
SpO ₂	–	oksygenmetning
Ca ²⁺	–	kalsium
K ⁺	–	kalium
Fe ⁺	–	jern
Mg ²⁺	–	magnesium
Na ⁺	–	natrium
Cl ⁻	–	klor
La ⁻	–	lantano
HCO ₃ ⁻	–	karbonsyre
FoU	–	Forskning og Utvikling
OUS	–	Oslo Universitets Sykehus
HIOA	–	Høgskolen i Oslo og Akershus
UiO	–	Universitetet i Oslo
BGA	–	blodgassanalyse
rpm	–	rotation per minute
BGA1	–	den mobile blodgassanalysatoren som sto ved siden av oppsettet på MTV
BGA2	–	blodgassanalysatoren på Thorax-kirurgisk avdeling

Referanser

- [1] Kristiansen Frode. Master thesis: Wavelength selection for accurate oximetry during cardiopulmonary bypass. 27.04.2011.
- [2] Høgetveit, Jan Olav. Hovedveileder.
- [3] Reine Andreas, rådgiver på seksjon for laboratoriemedisin, Sykehuset Telemark HF. Møte 29.11.2011.
- [4] Webster John G.. Medical instrumentation – Application and Design, third edition. Wiley, John & Sons, inc. s.440-446.
- [5] Sand Olav, Sjaastad Øystein V., Haug Egil, Bjålie Jan G., Toverud Kari C.. Menneskekroppen – Fysiologi og anatomi, 2. utgave, 3. opplag. Gyldendal akademisk, 2009, s.28-30, 482-487.
- [6] Webster John G.. Medical instrumentation – Application and Design, third edition. Wiley, John & Sons, inc. s.470-472.
- [7] Rosen NA, Charash WE, Hirsch EF. Near-Infrared spectrometric determination of blood pH. Journal of Surgical Research 2002 Aug; 106(2): 282-286. Lokalisert på Verdensveven 04.03.2011: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/12175979>
- [8] pH-skalaen. Kilde: Eidsmo, John Arne. Lokalisert på Verdensveven 22.03.2011: http://web2.gyldendal.no/undervisning/felles/pixdir20/?archive=bi2_grunnbok&menuitem=menu_1_5&resultsource=menu_1_5&detailsource=image_26
- [9] Brandis Kerry. Acid-Base Physiology. <http://www.anaesthesiaMCQ.com>, 2008 November, kapittel 1.4. Lokalisert på Verdensveven 12.11.2011: http://www.anaesthesiamcq.com/AcidBaseBook/ab1_4.php
- [10] Webster John G.. Medical instrumentation – Application and Design, third edition. Wiley, John & Sons, inc. s.486-491.
- [11] Webster John G.. Medical instrumentation – Application and Design, third edition. Wiley, John & Sons, inc. s.487 via [30] , bilde 10.
- [12] Kortner Olaf, Munthe Preben, Tveterås Egil. Aschehoug og Gyldendals STORE NORSKE leksikon, bind 11 – Sp-Trd, 5.opplag, 1985. Kunnskapsforlaget, Oslo. S.33 – 35.
- [13] Bølgelengde. Kilde: Chrmb. Lokalisert på Verdensveven 02.06.2011: <http://no.wikipedia.org/wiki/B%C3%B8lgelengde>
- [14] Bakke Inge. Naturfag for alle – Digitalt læreverk. Internettforlaget 2011. Kap.4I. Lokalisert på Verdensveven 03.06.2011: http://naturfag.info/4fenomener/i_elektromagnetisk.htm
- [15] Bølgespekteret. Kilde: Stangeland Maren. Lokalisert på Verdensveven 02.06.2011: http://4.bp.blogspot.com/_IMChvCH0PsE/TQZUe_58X_I/AAAAAAAAAvA/BwrXio5O4L0/s1600/bilde5ol2.jpg Også vist på forelesning i FYS3710 høst 2010: Stråling del 1, foil 1.
- [16] Infrarød stråling. Kilde: Wikipedia. Kategorier: Elektromagnetisme | Stråling. Lokalisert på Verdensveven 03.03.2011: <http://no.wikipedia.org/wiki/Infrar%C3%B&d>
- [17] Egeland Alv, Cadow Renate. Fysikk. NAROM AS - Nasjonalt senter for romrelatert opplæring. Kap.3.3. Lokalisert på Verdensveven 06.11.2011: <http://romteknologi.no/books/38/3.html>
- [18] Opphavsmann: NAROM. Energinivåene i hydrogen. NDLA. Lokalisert på Verdensveven 04.05.2012: <http://ndla.no/nb/node/58664>
- [19] Lyskilde. Kilde: Wikipedia. Kategorier: Lys | Optikk. Lokalisert på Verdensveven 13.11.2011: <http://no.wikipedia.org/wiki/Lyskilde>
- [20] Buelampe. Kilde: Wikipedia. Kategorier: Elektriske komponenter | Lys. Lokalisert på Verdensveven 13.11.2011: <http://no.wikipedia.org/wiki/Buelampe>

- [21] Xenonpære. Kilde: Modul Nordic. Lokalisert på Verdensveven 26.04.2012: http://www.modulnordic.uown.it/images/detail/X-004.88.111_6V_Heine.jpg
- [22] Varmestråling. Kilde: Wikipedia. Kategori: Termodynamikk. Lokalisert på Verdensveven 13.11.2011: <http://no.wikipedia.org/wiki/Varmestr%C3%A5ling>
- [23] Glødelampe. Kilde: Wikipedia. Kategorier: Elektriske komponenter | Lys. Lokalisert på Verdensveven 13.11.2011: <http://no.wikipedia.org/wiki/Gl%C3%B8delampe>
- [24] Halogenlampe. Kilde: Wikipedia. Kategorier: Lys | Elektriske komponenter. Lokalisert på Verdensveven 13.11.2011: <http://no.wikipedia.org/wiki/Halogenlampe>
- [25] Luminescens. Kilde: Wikipedia. Kategori: Lys. Lokalisert på Verdensveven 13.11.2011: <http://no.wikipedia.org/wiki/Luminescens>
- [26] Holtebekk Trygve. Luminescens. Store norske leksikon. Lokalisert på Verdensveven 19.11.2011: <http://snl.no/luminescens>
- [27] Hjerne/lunge-maskin. Kilde: Feiringklinikken – LHL. Lokalisert på Verdensveven 13.11.2011: http://www.feiringklinikken.info/pdf/hjertelunge_maskin.pdf
- [28] Bilde av hjertelungemaskin. Kilde: forskning.no. Lokalisert på Verdensveven 13.11.2011: <http://static.forskning.no/00/18/80/53/188052Oversiktsbilde-1.jpgNone.full.jpg>
- [29] Gudbrands Heidi Kittilsen. Hjerne/lungemaskin – FYS4250 Prosjektoppgave 10.11.2010. Upublisert.
- [30] Høgetveit Jan Olav. Repetition part 2 new.ppt – powerpointpresentasjon, bilde 58. Lokalisert på fagsiden til FYS4250 på Universitetet i Oslo 11.12.2011: <http://www.uio.no/studier/emner/matnat/fys/FYS4250/h11/forelesningsmaterieell/>
- [31] Bilde av kretsløp hjerte/hjertelungemaskin. Kilde: NHI – Norsk helseinformatikk. Publisert 14.10.2009. Sist endret 26.10.2009. Bilde hentet 1 minutt og 20 sekunder ut i video. Lokalisert på Verdensveven 13.11.2011: <http://nhi.no/forside/animasjoner/hjerte-og-kar/hjerte-lunge-maskin-32077.html>
- [32] Firmside. Kilde: Optocon. Lokalisert på Verdensveven 21.12.2011: <http://www.optocon.de/en/products/spectrometer/maya-pro/>
- [33] Diffus refleksjon. Kilde: Wikipedia. Kategori: Optikk. Lokalisert på Verdensveven 27.04.2012: http://no.wikipedia.org/wiki/Diffus_refleksjon
- [34] Opphavsmann: NAROM. Emisjons- og absorpsjonsspekter. NDLA. Lokalisert på Verdensveven 04.05.2012: <http://ndla.no/nb/node/58687>
- [35] Kristiansen Frode. Medveileder.
- [36] Laget av Steinar Skaug Nilsen på Instrumentverkstedet, Fysisk Institutt, UiO
- [37] Fulgte med fiberkabelen fra leverandør
- [38] Forfatter: bennoo. Avalight-HAL-S manual. Avantes.
- [39] Forfatter: Line L. Handjian. LuxTec 9300 xsp xdp service manual 616. Ocean Optics. S.13.
- [40] Forfatter: Benno Oderkerk. Spectrometer manual. Avantes. S.24 – 26.
- [41] Forfatter: Amy Lisk. USB2000 Manual and Operating Instructions. Ocean Optics. S.5 – 7.

Vedleggsoversikt

- A. Utstyrsspesifikasjoner hovedoppsett I
- B. Utstyrsspesifikasjoner hovedoppsett II
- C. Utstyrsspesifikasjon for delforsøket
- D. Mørkeboksen
- E. Datablad for fiberkabel på 400 μm
- F. Datablad for fiberkabel på 600 μm
- G. Datablad for Halogenlampe
- H. Datablad for Xenonlampe
- I. Datablad for spektrometer fra Avantes
- J. Datablad for spektrometer fra Ocean Optics
- K. Måleparametre og annet ved delforsøket
- L. Bakgrunnstall fra andre hovedforsøk

Vedlegg A Utstyrsspesifikasjoner hovedoppsett I

Apparat / del av oppsettet	Spesifikasjoner
Blod	<p>Blodtype: A+</p> <p>Blanding av: 3 poser sag á 250 ml 3 poser Flexbumin 200 g/l á 100 ml 0,2 ml (= 1000 IE) Heparin pr. pose sag</p> <p>Totalt volum: ca. 1050 ml</p> <p>Redusert med ca. 1 ml pr. prøve</p>
Slangesett	<p>Materiale: PVC</p> <p>Lengde: ca. 2,5 m</p> <p>Antall koblinger / overganger: 12 (til og fra apparatene + 2 doble på 2 av slangene)</p> <p>Ytre diameter: 14 mm</p> <p>Indre diameter: 10 mm</p> <p>Veggtykkelse: 2 mm</p>
Reservoar	<p>Fabrikat: Medtronic</p> <p>Type: Cardiomy Reservoir with 40 µ Filter</p> <p>Størrelse: 3400 ml</p>
Pumpe	<p>Fabrikat: BIO Console Extracorporeal blood pump</p> <p>Type: Model 550 I</p> <p>Serienummer: 7384</p> <p>Hastighet: ca. 1 liter pr. minutt</p>
Pumpehus	<p>Fabrikat: BIO Medicus</p> <p>Type: Model 540T</p> <p>Serienummer: 1264</p>
2 stk Oksygenatorer (1 som oksygenator og 1 som substitutt for menneske)	<p>Fabrikat: Jostra</p> <p>Type: Quadrox (Hollow Fiber Membrane Oxygenator)</p>
Varmeutveksler	<p>Fabrikat: ECMO®</p> <p>Type: HEATER Cincinnati Sub-Zero, Microprocessor controlled</p> <p>Serienummer: 981-E3856</p> <p>Temperatur: 37 °C</p>

Gassuttak i vegg	100 % O ₂ og medisinsk luft Blanding: 30 % O ₂ (25 % for de to første målingene) Trykk: 0,5 liter pr. minutt
Gassflaske	Størrelse: 10 liter Blanding: 93 % Nitrogen, 7 % CO ₂ Trykk: 2 liter pr. minutt
Mobil blodgassanalysator (BGA1)	Fabrikat: Radiometer Type: ABL90 FLEX
Blodgassanalysator (BGA2)	Fabrikat: Radiometer Type: ABL800 FLEX
Buffermateriale	Natriumhydrogenkarbonat 500 mmol / l
Mørkeboks	Materiale: Messing med blank svart lakk inni Lengde: 10 cm Bredde: 3 cm Høyde: 3 cm Gjennomgående hull for blodslangen: 14,1 mm Gjengede hull for fiberkabler: 10 mm Gjenget hull for refleksjonskabel: 7 mm Blendes!
Fiberkabler	Fabrikat: Ocean Optics Delenummer.: QP400-2-VIS-BX Assemblynummer.: OOS-001595-40 Antall: 2 stk Lengde: 2,00 m Diameter fiberkjerne: 400 µm Fibertype: VIS-NIR Tilkobling: QSMA Kontakt: BX
Lyskilde	Fabrikat: Avantes Type: AvaLight-Hal-S Serienummer: -LS-0904048 Spenningskilde: 24 V DC 1,25 A fra adapter Effekt: 30 W Bølgelengdeområde: fra 360 nm til 2500 nm

Spektrometer	<p>Fabrikat: Avantes</p> <p>Type: AvaSpec-2048-USB2</p> <p>Serienummer: 0912062U1</p> <p>Software: All options</p> <p>Grating: VA, from 350 nm to 1100 nm</p> <p>Options: Slit-25µm, OSC</p> <p>Spenningskilde: USB / 12 V DC</p> <p>Oppløselighet: 0,7 nm</p>
Bærbar PC	<p>Fabrikat: DELL</p> <p>System: Microsoft Windows XP Professional</p> <p style="padding-left: 40px;">Versjon 2002, Service Pack 3</p> <p>Datamaskin: Genuine Intel(R) CPU</p> <p style="padding-left: 40px;">T2300 @ 1.66 GHz</p> <p style="padding-left: 40px;">1.66 GHz, 0,99 GB RAM</p>
Software	<p>Bruksnavn: AvaSoft 7.3 for USB2</p> <p>Fabrikat: Avantes</p> <p>Navn: AvaSoft©</p> <p>Versjon: 7.3.1 Full</p> <p>Spektrometer: Detector: Sony-ILX554</p> <p style="padding-left: 40px;">Firmware: 000.023.000.000</p> <p style="padding-left: 40px;">FPGA: 000.010.000.000</p> <p>AS5216.DLL versjon 1.6.0.0</p>

Vedlegg B Utstyrsspesifikasjoner hovedoppsett II

Apparat / del av oppsettet	Spesifikasjoner
Blod	Blanding av: 3 poser sag á 250 ml 3 poser Flexbumin 200 g/l á 100 ml 0,2 ml (= 1000 IE) Heparin pr. pose sag Totalt volum: ca. 1050 ml Redusert med ca. 1 ml pr. prøve
Slangesett	Materiale: PVC Lengde: ca. 2,5 m Antall koblinger / overganger: 12 (til og fra apparatene + 2 doble på 2 av slangene) Ytre diameter: 14 mm Indre diameter: 10 mm Veggtykkelse: 2 mm
Reservoar	Fabrikat: Medtronic Type: Cardiotomy Reservoir with 40 µ Filter Størrelse: 3400 ml
Pumpe	Fabrikat: Medtronic Bio-Console Type: Model 550 I Serienummer: 6086 Hastighet: mellom 1300 og 1500 rpm
Pumpehus	Fabrikat: BIO Medicus Type: Model 540T Serienummer: 1264
2 stk Oksygenatorer (1 som oksygenator og 1 som substitutt for menneske)	Fabrikat: Jostra Type: Quadrox (Hollow Fiber Membrane Oxygenator)
Varmeutveksler	Fabrikat: Stöckert Modell: 16-02-80 Serienummer: 16S11799 Temperatur: 37 °C

Gassuttak i vegg	100 % O ₂ og medisinsk luft Blanding: 30 % O ₂ (justert noe underveis) Trykk: ca. 0,5 liter pr. minutt
Mobil blodgassanalysator (BGA1)	Fabrikat: Radiometer Type: ABL90 FLEX
Blodgassanalysator (BGA2)	Fabrikat: Radiometer Type: ABL800 FLEX
Buffermateriale	Natriumhydrogenkarbonat 500 mmol / l
Mørkeboks	Materiale: Messing med blank svart lakk inni Lengde: 10 cm Bredde: 3 cm Høyde: 3 cm Gjennomgående hull for blodslangen: 14,1 mm Gjengede hull for fiberkabler: 10 mm Gjenget hull for refleksjonskabel: 7 mm Blendes!
Fiberkabler	Fabrikat: Ocean Optics Delenummer.: QP600-2-VIS-NIR Assemblynummer.: OOS-001721-38 Antall: 1 stk + 1 stk 600 µm lånt av HIOA Lengde: 2,00 m Diameter fiberkjerne: 600 µm Fibertype: VIS-NIR Tilkobling: QSMA Kontakt: Monocoil
Lyskilde	Fabrikat: Luxtec Type: Xenon series 9000, Supercharged Modell: 9300 Serienummer: 0645197 Effekt: 300 W Alder på pære: 1900 timer

Spektrometer	Fabrikat: Ocean Optics Inc. Type: USB 2000 Serienummer: USB2E196 Grating: 350 nm to 1000 nm Spenningskilde: USB Oppløselighet: 0,35 nm
Bærbar PC	Fabrikat: DELL System: Microsoft Windows XP Professional Versjon 2002, Service Pack 3 Datamaskin: Genuine Intel(R) CPU T2300 @ 1.66 GHz 1.66 GHz, 0,99 GB RAM
Software	Fabrikat: Ocean Optics Navn: OOIBase 32 Programversjon: 2.0.6.5 Driverversjon: 4.11.6 Serienummer: 0000-000000-0000

Vedlegg C Utstyrsspesifikasjon for delforsøket

Apparat / del av oppsettet	Spesifikasjoner
Mørkeboks	Materiale: Messing med blank svart lakk inni Lengde: 10 cm Bredde: 3 cm Høyde: 3 cm Gjennomgående hull for blodslangen: 14,1 mm Gjengede hull for fiberkabler: 10 mm Gjenget hull for refleksjonskabel: 7 mm Blendes!
Fiberkabel	Fabrikat: Ocean Optics Delenummer.: QP400-2-VIS-BX Assemblynummer.: OOS-001595-40 Antall: 1 stk Lengde: 2,00 m Diameter fiberkjerne: 400 µm Fibertype: VIS-NIR Tilkobling: QSMA Kontakt: BX
Fiberkabel	Fabrikat: Ocean Optics Delenummer.: QP600-2-VIS-NIR Assemblynummer.: OOS-001721-38 Antall: 1 stk Lengde: 2,00 m Diameter fiberkjerne: 600 µm Fibertype: VIS-NIR Tilkobling: QSMA Kontakt: Monocoil
Lyskilde	Fabrikat: Avantes Type: AvaLight-Hal-S Serienummer: -LS-0904048 Spenningskilde: 24 V DC 1,25 A fra adapter Effekt: 30 W Bølgelengdeområde: fra 360 nm til 2500 nm

Spektrometer	<p>Fabrikat: Avantes</p> <p>Type: AvaSpec-2048-USB2</p> <p>Serienummer: 0912062U1</p> <p>Software: All options</p> <p>Grating: VA, from 350 nm to 1100 nm</p> <p>Options: Slit-25µm, OSC</p> <p>Spenningskilde: USB / 12 V DC</p> <p>Oppløselighet: 0,7 nm</p>
Bærbar PC	<p>Fabrikat: DELL</p> <p>System: Microsoft Windows XP Professional</p> <p style="padding-left: 40px;">Versjon 2002, Service Pack 3</p> <p>Datamaskin: Genuine Intel(R) CPU</p> <p style="padding-left: 40px;">T2300 @ 1.66 GHz</p> <p style="padding-left: 40px;">1.66 GHz, 0,99 GB RAM</p>
Software	<p>Bruksnavn: AvaSoft 7.3 for USB2</p> <p>Fabrikat: Avantes</p> <p>Navn: AvaSoft©</p> <p>Versjon: 7.3.1 Full</p> <p>Spektrometer: Detector: Sony-ILX554</p> <p style="padding-left: 40px;">Firmware: 000.023.000.000</p> <p style="padding-left: 40px;">FPGA: 000.010.000.000</p> <p>AS5216.DLL versjon 1.6.0.0</p> <p>Windows XP (Build 2600: Service Pack 3)</p> <p>Fysisk minne tilgjengelig: 1015 MB</p>
Slange	<p>Materiale: PVC</p> <p>Lengde: ca. 25 cm</p> <p>Ytre diameter: 14 mm</p> <p>Indre diameter: 10 mm</p> <p>Veggtykkelse: 2 mm</p>

Vedlegg D Mørkeboksen [36]

Technical drawing of a dark box lid. The drawing includes a 3D perspective view, a top view, and a side view. Dimensions are provided: 90,00 (length), 30,00 (width), 15,00 (height), and R7,05 (radius). Labels include 'Hengsel' (hinge) and 'Lås' (lock). A table at the bottom contains design and material information.

Designed by skaugn	Checked by	Approved by	Date 24.01.2012
Verkstødet/Fysisk inst		Materialer Messing	
Med mål		edition	sheet 1 / 1

Vedlegg E Datablad for fiberkabel på 400 µm [37]



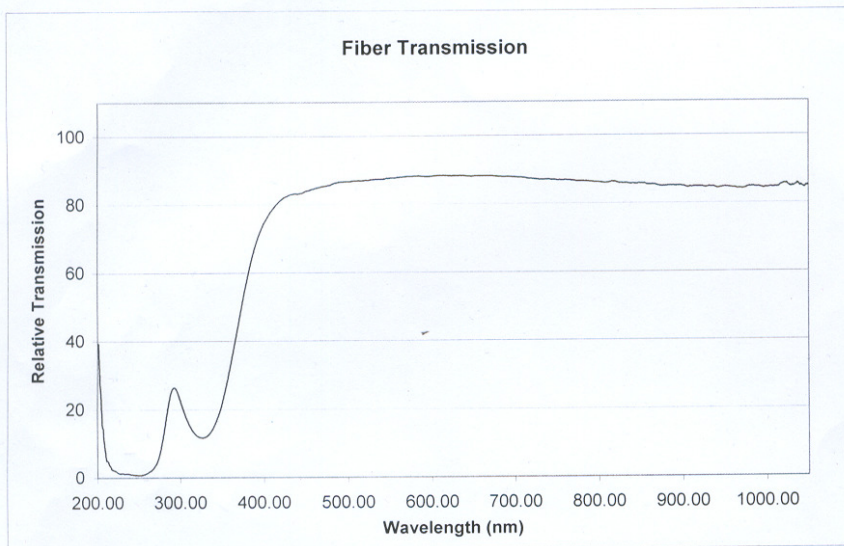
Part #: QP400-2-VIS-BX
Date: July 25, 2011
Assembly #: OOS-001595-40
Connector 1 #: QSMA
Connector 2 #: QSMA
Sales Order #: STOCK

www.OceanOptics.com
Phone: 727-733-2447
Fax: 727-733-3962
info@OceanOptics.com
830 Douglas Ave
Dunedin, FL 34698

Ask about our custom line of Optical Probes and Assemblies.

Fiber Type: VIS-NIR
Fiber Core Diameter:(µm) 400µm

Jacketing: BX
Length (meters): 2.00



Inspection Checklist X
Polish: X
Concentricity: X
Cap Placement: X
Labeling: X
Color Coding: X
Ferrule length: X

Inspected by: Le Zhang
Le Zhang

PRODUCT OF OCEAN OPTICS SHANGHAI PRC



RoHS - Compliant

Vedlegg F Datablad for fiberkabel på 600 µm [37]



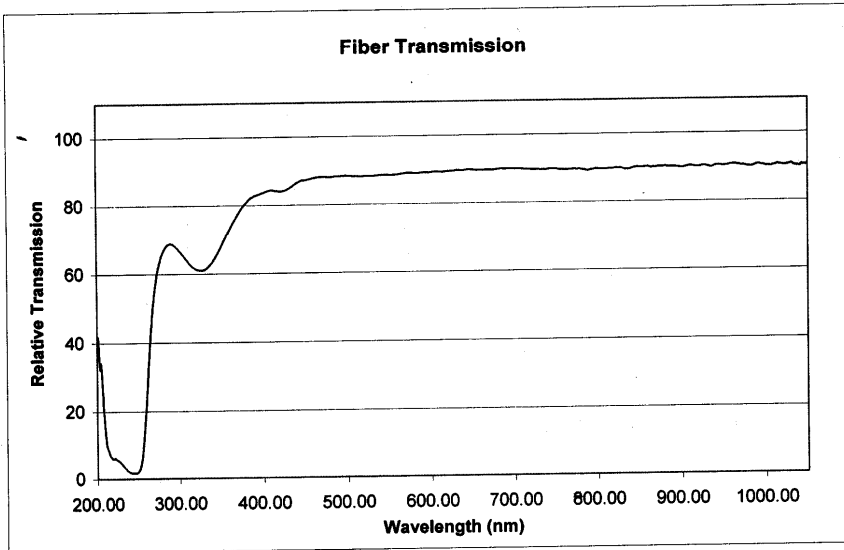
Part #: QP600-2-VIS-NIR
Date: September 7, 2011
Assembly #: OOS-001721-38
Connector 1 #: QSMA
Connector 2 #: QSMA
Sales Order #: STOCK

www.OceanOptics.com
Phone: 727-733-2447
Fax: 727-733-3962
Info@OceanOptics.com
830 Douglas Ave
Dunedin, FL 34698

Ask about our custom line of Optical Probes and Assemblies.

Fiber Type: VIS-NIR
Fiber Core Diameter: (µm) 600µm

Jacketing: Monocoil
Length (meters): 2.00



Inspection Checklist X
Polish: X
Concentricity: X
Cap Placement: X
Labeling: X
Color Coding: X
Ferrule length: X

Inspected by: Le Zhang
Le Zhang

PRODUCT OF OCEAN OPTICS SHANGHAI PRC



RoHS - Compliant

Vedlegg G Datablad for Halogenlampe [38]



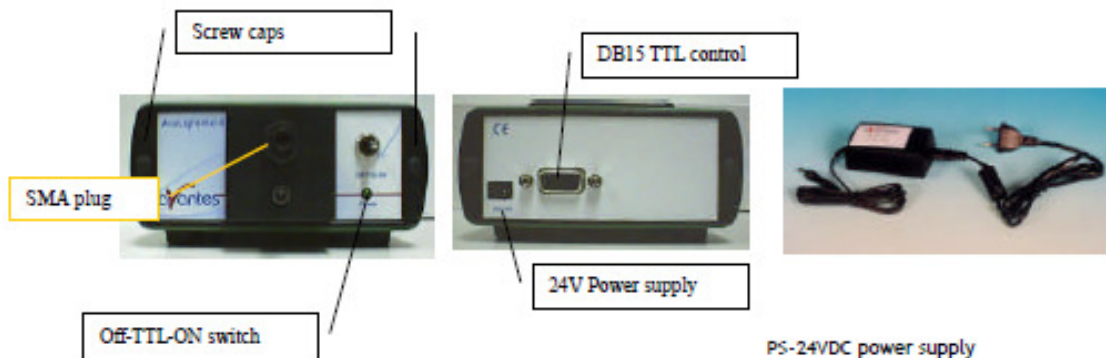
AvaLight-HAL-S Tungsten Halogen light source with Shutter

Starting up

1. Plug in the PS-24V power supply .
2. Plug in the connector of the power supply into the socket of AvaLight-HAL.
3. Connect the SMA-connectors of your fibers to the SMA-plug
4. For automatic TTL-shutter control insert interface cable IC-DB15-2 plug in connector and connect to AvaSpec spectrometer
5. Choose operating mode for the mode-switch:

Switch position	TTL signal	Lightsource	Shutter
OFF	X	OFF	Closed
TTL	Not connected	ON	Close
	High	ON	Open
	Low	ON	Close
ON	X	ON	Open

6. For Automatic save-dark use AvaSoft full



Settings for high power or long lifetime

The AvaLight-HAL-S is factory set for optimal power output (medium setting), with an internal jumper the optical energy can be controlled (see table).




Jumper setting	Optical output	Color temperature	Exp. Lifetime
LOW	70%	Ca. 2.700K	> 2.000 hrs.
MEDIUM (default)	100%	Ca. 2.850K	1.000 hrs
HIGH	150%	Ca. 3.000K	< 1.000 hrs.

The internal jumper settings can be changed, please follow instructions:

1. Remove screw protection caps on the backside
2. Loosen 2 screws with philips screwdriver
3. remove backplane
4. take out electronics board
5. Adjust jumper settings according to scheme below
6. put back electronics board, be carefull not to pinch the electrical wires
7. put back backplane, screws and screw protection caps



Jumper JP1

	High (Max./blue)
	Medlum (standard setting)
	Low (long-life)

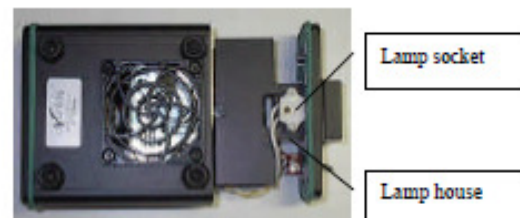
Adjustment of focusing in SMA fiber

The AvaLight is factory adjusted to optimally focus the output into a 200 μ m fiber. If lower optical power is recommended or a different fiber (bundle) diameter is used, the optical power can be adjusted.

1. Connect your fiber optic spectrometer or your optical power meter to a fiber to the AvaLight-HAL SMA socket (4).
2. Loosen blocking-screw with delivered Allen key (1,3mm).
3. By shifting the SMA socket you can optimize your optical power.
4. Secure position by tightening the blocking screw.

Changing the light source bulb

1. Plug out the power connector from the socket.
2. Remove screw protection caps on the frontside
3. Loosen 2 screws with philips screwdriver
4. turn the lightsource upside down
5. take out the frontplate and lamphouse
6. remove 2 nylon screws from lamp socket
7. take out the lamp socket
8. take out the bulb (carefull, may be hot)
9. replace by new bulb, do not touch glass with your fingers
10. put back lamp socket and nylon screws
11. Slide back front plate and lamp house, be carefull not to pinch the electrical wires
12. put back screws and protection caps



Lamp socket

Lamp house



Light bulb



Technical Data

	AvaLight-HAL (standard)	AvaLight-HAL (long life)	AvaLight-HAL (high power)
Wavelength Range	360 - 2000 nm		
Stability	± 0.1%		
Time to stabilize	Ca. 15 min.		
Output to bulb	12.7 VDC / 0.9A	11.3 VDC / 0.8A	14.1 VDC / 1.0A
Bulb Life	1000 hrs	> 2000 hrs	< 1000 hrs
Optical power 200µm fiber	0.5 mWatt	0.35 mWatt	0.7 mWatt
Optical power 600µm fiber	4.5 mWatt	3.2 mWatt	6 mWatt
Optical power 1000µm fiber	10 mWatt	7 mWatt	14 mWatt
Bulb Color Temperature	2.850 K	2.700 K	3.000 K
DB-15 connector	Pin 10 = GND Pin 13 = TTL input, high - shutter open, low shutter closed		
Power requirement	24 VDC / 1.25A		
Dimensions (mm)	132 x 110 x 44 mm		

Ordering Information

AvaLight-HAL	10W Tungsten Halogen Lamp, fan-cooled, needs extra PS-24V/1.25A power supply
AvaLight-HAL-S	10W Tungsten Halogen Lamp, fan-cooled, incl. TTL shutter, needs extra PS-24V/1.25A power supply
AvaLight-HAL-S-RM	Rack mounted version of the 10W Tungsten Halogen Lamp, fan-cooled, incl. TTL shutter
IC-DB15-2	Interface cable AvaSpec-USB1 platform to AvaLight-HAL-S
IC-DB26-2	Interface cable AvaSpec-USB2 platform to AvaLight-HAL-S
AvaLight-HAL-B	10W Tungsten Halogen Replacement bulb for AvaLight-HAL, AvaLight-HAL-S
CUV-HAL	Direct attach cuvette holder for AvaLight-HAL
PS-24V/1.25A	Power supply 100-240VAC/24VDC, 1.25A, necessary for AvaLight-HAL

14-02-06

AvaLight-HAL-S manual.doc

3

Avantes

www.avantes.com

info@avantes.com

Vedlegg H Datablad for Xenonlampe [39]

SPECIFICATIONS

<p>Lamp</p> <p>Type</p> <p>Wattage</p> <p>Color Temperature</p> <p>Bulb Warranty</p> <p>Position</p>	<p>Xenon Short Arc Lamp</p> <p>300 Watts</p> <p>>6000 Kelvin, IR Filtered</p> <p>650 Hours, Prorated per Hour</p> <p>Horizontal ±15°</p>
<p>Light Source</p> <p>Dimensions</p> <p>Weight</p> <p>Power Input</p> <p>Circuit Protection</p> <p>Power Consumption</p> <p>AC Power Leakage</p> <p>Classification</p> <p>Electrical Safety</p> <p>Electromagnetic Compatibility</p> <p>Environment:</p> <p> Operating Temperature</p> <p> Temperature Range</p> <p> Humidity</p>	<p>15"L x 12"W x 5"H (381mm L x 305mm W x 127mm H)</p> <p>21 lbs. (9.5kg)</p> <p>100~240V AC 50 – 60 Hz</p> <p>Fuse 6.3A 250V</p> <p>450 VA</p> <p>Leakage current to chassis (with ground wire intact), less than 100 microamps</p> <p>Leakage current to chassis (with ground wire interrupted), less than 500 microamps</p> <p>Type CF, Class 1</p> <p>CSA Listed, Conforms to UL60601-1 and CSA C22.2 NO. 601.1</p> <p>EN60601-1-2:2001</p> <p>10°C – 40°C</p> <p>10°C – 40°C</p> <p>95% Relative Humidity Non-Condensing Maximum</p>

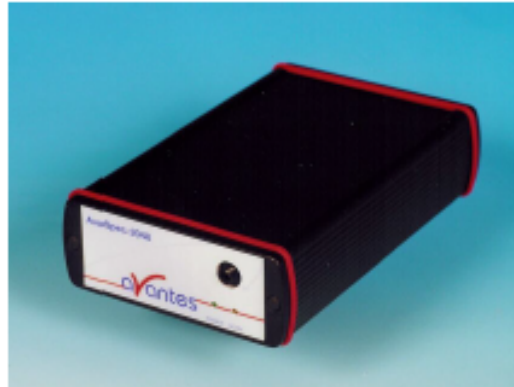
Vedlegg I Datablad for spektrometer fra Avantes [40]



2.4 AvaSpec-2048 Fiber Optic Spectrometer

AvaSpec-2048

The AvaSpec-2048 Fiber Optic Spectrometer is based on the AvaBench-75 symmetrical Czerny-Turner design with 2048 pixel CCD Detector Array. The spectrometer has a fiber optic entrance connector (standard SMA, others possible), collimating and focusing mirror and diffractive grating. A choice of 16 different gratings with different dispersion and blaze angles enable applications in the 200-1100nm range. The AvaSpec-2048 can be delivered with 2 platforms of electronics; either with USB1.1 with 14 bit AD converter or the new USB2.0 interface with 16 bit AD converter. The AvaSpec-2048 is especially suitable for low light level and high resolution applications. An optional detector coating enhances the CCD performance for the UV range and a detector collection lens offers high sensitivity. Digital IO ports enable external triggering and control of shutter and pulsed light sources from the Avantes line of instruments.



The AvaSpec-2048 is also available as dual channel or multiple channel instrument (up to 8 channels), where all spectra are taken simultaneously.

The AvaSpec-2048 comes with AvaSoft-basic, a complete manual, USB interface cable and a PS-12V/1.0A power supply. AvaSoft-full and application software can be ordered separately. Alternatively the AvaSpec-2048-SPU has a switch to run on USB power or external power.

The new AvaSpec2048-USB2 has a USB2 interface with ultrafast datasampling of 500 spectra per second and data transfer in 2msec and supports analog in-and outputs as well. Optional Bluetooth® (-BT) communication and an SD card for on-board saving of spectra can be added. The AvaSpec-2048-USB2 runs on USB power and comes with AvaSoft-basic, a complete manual and USB interface cable. Multiple (up to 127) USB2 spectrometers with different detector types can be externally coupled.

Technical Data



Spectrometer platform	AvaSpec-2048	AvaSpec-2048-USB2
Optical Bench	Symmetrical Czerny-Turner, 75 mm focal length	
Wavelength range	200-1100 nm	
Resolution	0.04 -20 nm, depending on configuration (see table)	
Stray light	< 0.1%	
Sensitivity (AvaLight-HAL, 8 μm fiber) counts/μW per ms integration time	5000 (14-bit AD converter)	20,000 (16-bit AD converter)
Detector	CCD linear array, 2048 pixels	
Signal/Noise	200:1	



AD converter	14 bit, 1.33 MHz	16 bit, 2 MHz
Integration time	2 msec - 60 seconds	1.1 ms - 10 min.
Interface	USB 1.1, 12 Mbps RS-232, 115.200 bps	USB 2.0 high speed, 480 Mbps RS-232, 115.200 bps
Sample speed with on-board averaging	17 msec / scan	1.11 msec /scan
Data transfer speed	14-31 ms / scan (depending on # pixels transferred)	1.8 msec /scan
Digital IO	DB-15 connector, 2 Digital in, 12 Digital out	HD-26 connector, 2 Analog in, 2 Analog out, 3 Digital in, 12 Digital out, trigger, sync.
Power supply	12 VDC, reverse polarity protection, 160 mA (PS-12V/1.0A) or 5VDC USB power	Default USB power, 350 mA Or with SPU2 external 12VDC, 350 mA
Dimensions, weight	175 x 110 x 44 mm (1 channel), 716 grams 175 x 165 x 85 mm (2 channel), 1.700 grams	175 x 110 x 44 mm(1 channel), 716 grams

Grating selection table for AvaSpec-2048

Use	Useable range	Spectral range (nm)	Lines/mm	Blaze (nm)	Order code
UV/VIS/NIR	200-1100**	900**	300	300	UA
UV/VIS	200-850	520	600	300	UB
UV	200-750	250-220 [†]	1200	250	UC
UV	200-650	165-145 [†]	1800	UV	UD
UV	200-580	115-70 [†]	2400	UV	UE
UV	220-400	70-45 [†]	3600	UV	UF
UV/VIS	250-850	520	600	400	BB
VIS/NIR	300-1100**	800**	300	500	VA
VIS	360-1000	500	600	500	VB
VIS	300-800	250-200 [†]	1200	500	VC
VIS	350-750	145-100 [†]	1800	500	VD
VIS	350-640	75-50 [†]	2400	VIS	VE
NIR	500-1050	500	600	750	NB
NIR	500-1050	220-150 [†]	1200	630	NC
NIR	600-1100**	500**	300	1000	IA
NIR	600-1100	500	600	1000	IB

[†] depends on the starting wavelength of the grating; the higher the wavelength, the bigger the dispersion and the smaller the range to select.

** please note that not all 2048 pixels will be used for the useable range



Resolution table (FWHM) for AvaSpec-2048

Grating (lines/mm)	Slit size (µm)					
	10	25	50	100	200	500
300	0.8	1.4	2.4	4.3	8.0	20.0
600	0.4	0.7	1.2	2.1	4.1	10.0
1200	0.1-0.2 [†]	0.2-0.3 [†]	0.4-0.6 [†]	0.7-1.0 [†]	1.4-2.0 [†]	3.3-4.8 [†]
1800	0.07-0.12 [†]	0.12-0.21 [†]	0.2-0.36 [†]	0.4-0.7 [†]	0.7-1.4 [†]	1.7-3.3 [†]
2400	0.05-0.09 [†]	0.08-0.15 [†]	0.14-0.25 [†]	0.3-0.5 [†]	0.5-0.9 [†]	1.2-2.2 [†]
3600	0.04-0.06 [†]	0.07-0.10 [†]	0.11-0.16 [†]	0.2-0.3 [†]	0.4-0.6 [†]	0.9-1.4 [†]

[†]depends on the starting wavelength of the grating; the higher the wavelength, the bigger the dispersion and the higher the resolution

Ordering Information

AvaSpec-2048	Fiber Optic Spectrometer, 75 mm Avabench, 2048 pixel CCD detector, USB1.1/RS-232 interface, incl AvaSoft-Basic, USB cable and PS-12V/1.0A power supply ,specify grating, wavelength range and options
AvaSpec-2048-USB2	Fiber Optic Spectrometer, 75 mm Avabench, 2048 pixel CCD detector, USB powered high speed USB2 interface, incl. AvaSoft-Basic, USB interface cable, specify grating, wavelength range and options
AvaSpec-2048-2	Dual channel Fiber Optic Spectrometer, 2 * 75 mm Avabench, 2048 pixel CCD detector, USB1.1/RS-232 interface, incl AvaSoft-Basic, USB cable and PS-12V/1.0A power supply ,for both channels specify grating, wavelength range and options

Options

-SPU	incl. switch for self powered USB1 or external power for RS232
-SPU2	incl. switch for self powered USB2 or external power for RS232
-SPU2-BT	Bluetooth® interface for USB2 platform only, including antenna and switch
SDXXX	Internal XXX MB SD card for on board data saving, for USB2 platform only
DUV	Deep UV detector coating >150 nm
DCL-UV/VIS	Detector Collection lens to enhance sensitivity, Quartz, 200-1100 nm
SLIT-XX	Slit size, please specify XX = 10, 25, 50, 100, 200, 500 µm
OSF-YYY	Order sorting filter for 2 nd order effects filtering, please specify YY= 375, 475, 515, 550, 600 nm
OSC	Order sorting coating with 590nm long pass filter for VA, BB (>350nm) and VB gratings in AvaSpec-2048
OSC-UA	Order sorting coating with 350 and 590nm longpass filter for UA gratings in AvaSpec-2048
OSC-UB	Order sorting coating with 350 and 590nm longpass filter for UB or BB (<350nm) gratings in AvaSpec-2048
Purge	set of 4 mm Gasfittings for AvaSpec purging in DUV (<200nm) applications

N.B. In order to change a grating, wavelength range or any of the options, the unit needs to be returned to Avantes manufacturing, please ask for an RFU number (see page 4 of this manual). The cost for the so-called AvaSpec-Upgrade depends on the modification that needs to be done.

Vedlegg J Datablad for spektrometer fra Ocean Optics [41]



USB2000 Specifications

2 USB2000 Specifications

This chapter contains information on spectrometer operation, specifications, and system compatibility. It also includes accessory connector pinout diagrams and pin-specific information.

How the USB2000 Works

The following diagram illustrates the movement of light through the optical bench of the USB2000 Spectrometer. You can customize the items marked with an asterisk (*) when ordering the USB2000.

Note: The optical bench has no moving parts that can wear or break. Ocean Optics secures all components in place permanently at the time of manufacture.

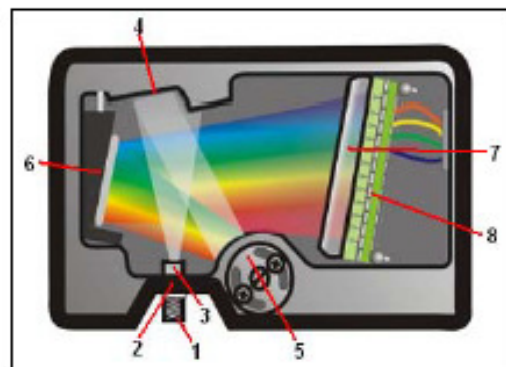


Figure 2-1: USB2000 Spectrometer with Components

The USB Component Table on the following page explains the function of each numbered component in the USB2000 Spectrometer diagram (Figure 2-1).

USB2000 Specifications

USB2000 Component Table

Ocean Optics permanently secures all components in the USB2000 at the time of manufacture. Only Ocean Optics Technicians can replace interchangeable components, where noted.

Item	Name	Description
1	SMA Connector	The SMA Connector secures the input fiber to the spectrometer. Light from the input fiber enters the optical bench through this connector.
2	Slit*	The Slit is a dark piece of material containing a rectangular aperture, which is mounted directly behind the SMA Connector. The size of the aperture regulates the amount of light that enters the optical bench and controls spectral resolution. You can also use the USB2000 without a Slit . In this configuration, the diameter of the fiber connected to the USB2000 determines the size of the entrance aperture. Only Ocean Optics technicians can change the Slit .
3	Filter*	The Filter is a device that restricts optical radiation to pre-determined wavelength regions. Light passes through the Filter before entering the optical bench. Both bandpass and longpass filters are available to restrict radiation to certain wavelength regions. Only Ocean Optics technicians can change the Filter .
4	Collimating Mirror	The Collimating Mirror focuses light entering the optical bench towards the Grating of the spectrometer. Light enters the spectrometer, passes through the SMA Connector, Slit, and Filter, and then reflects off the Collimating Mirror onto the Grating.
5	Grating*	The Grating diffracts light from the Collimating Mirror and directs the diffracted light onto the Focusing Mirror. Gratings are available in different groove densities, allowing you to specify wavelength coverage and resolution in the spectrometer. Only Ocean Optics technicians can change the Grating .
6	Focusing Mirror	The Focusing Mirror receives light reflected from the Grating and focuses the light onto the CCD Detector or L2 Detector Collection Lens (depending on the spectrometer configuration).
7	L2 Detector Collection Lens*	The L2 Detector Collection Lens (optional) attaches to the CCD Detector. It focuses light from a tall slit onto the shorter CCD Detector elements. The L2 Detector Collection Lens should be used with large diameter slits or in applications with low light levels. It also improves efficiency by reducing the effects of stray light. Only Ocean Optics technicians can add or remove the L2 Detection Collection Lens .
8	CCD Detector (UV or VIS)	The CCD Detector collects the light received from the Focusing Mirror or L2 Detector Collection Lens and converts the optical signal to a digital signal. Each pixel on the CCD Detector responds to the wavelength of light that strikes it, creating a digital response. The spectrometer then transmits the digital signal to the OOIBase32 application.

USB2000 Specifications

The following sections provide specification information for the CCD Detector in the USB2000, as well as the USB2000 Spectrometer itself.

CCD Detector Specifications

Detector:	Sony ILX511 linear silicon CCD array
Number of elements:	2048 pixels
Pixel size:	14 μm x 200 μm
Pixel well depth:	62,500 electrons
Signal-to-noise ratio:	250:1 (at full signal)
A/D resolution:	12 bit
Dark noise:	2.5 RMS counts
Corrected linearity:	>99.8%

USB2000 Spectrometer Specifications

Dimensions:	89.1 mm x 63.3 mm x 34.4 mm
Weight:	190 g (without cable)
Power consumption:	90 mA @ 5 VDC
Detector range:	200-1100 nm
Detector:	2048-element linear silicon CCD array
Gratings:	14 gratings; UV through Shortwave NIR
Entrance aperture:	5, 10, 25, 50, 100 or 200 mm wide slits or fiber (no slit)
Order-sorting filters:	Installed longpass and bandpass filters
Focal length:	f/4, 42 mm (input); 68 mm (output)
Optical resolution:	\sim 0.3-10.0 nm FWHM (depending on grating and size of entrance aperture)
Dynamic range:	2×10^8 (system); 2000:1 for a single scan
Stray light:	<0.05% at 600 nm; <0.10% at 435 nm; <0.10% at 250 nm
Sensitivity (estimate):	400 nm – 90 photons/count; 600 nm – 41 photons/count; 800 nm – 203 photons/count
Fiber optic connector:	SMA 905 to single-strand optical fiber (0.22 NA)
Data transfer rate:	Full scans into memory every 13 milliseconds
Integration time:	3 milliseconds to 65 seconds
Fiber optic connector:	SMA 905 to single-strand optical fiber (0.22 NA)
Operating systems:	Windows 98/Me/2000/XP when using the USB interface on a desktop or notebook PCs Any 32-bit Windows operating system when using the serial port on desktop or notebook PCs Windows CE 2.11 and above when using the serial port on palm-sized PCs

Vedlegg K Måleparametre og annet ved delforsøket

Måling	Integrasjonstid	Average	Annet
1	10 000	1	400 µm kabel begge steder
2	1 000	1	
3	2 000	1	
4	3 000	1	
5	4 000	1	
6	5 000	1	
7	6 000	1	
8	7 000	1	
9	8 000	1	
10	9 000	1	
11	10 000	1	
12	10 000	2	
13	10 000	3	
14	10 000	5	
15	10 000	10	
16	9 000	10	
17	9 000	5	
18	8 000	5	V (vending under måling)
19	8 000	10	V
20	7 000	10	V
21	7 000	5	V – T (tape rundt slangen er på)
22	6 000	5	V – T
23	6 000	10	V – T
24	5 000	10	V – T
25	5 000	5	V – T
26	7 000	3	S (stille ved måling, vending mellom målingene) – T
27	7 000	2	S – T
28	7 000	1	S – T
29	8 000	1	S – T
30	8 000	2	S – T
31	8 000	3	S – T
32	9 000	3	S – T
33	9 000	2	S – T
34	9 000	1	S – T
35	10 000	1	S – T
36	10 000	2	S – T

37	10 000	3	S – T
38	10 000	4	S – T
39	10 000	5	S – T
40	10 000	1	S – T – Sm=10 (Smoothing)
41	10 000	2	S – T – Sm=10
42	9 000	2	S – T – Sm=10
43	8 000	2	S – T – Sm=10
44	7 000	2	S – T – Sm=10
45	6 000	2	S – T – Sm=10
46	10 000	3	S – T – Sm=10
47	10 000	1	S – T – Sm=10
48	10 000	1	S – T – Sm=20
49	10 000	1	S – T – Sm=30
50	10 000	1	S – T – Sm=5
51	10 000	1	S – T – Sm=15
52	10 000	1	S – T – Sm=25

Vedlegg L Bakgrunnstall fra andre hovedforsøk

	772,39	772,69	[ant. minutter]	[antall tellinger]	[avrundet] x10 ³	(7,360 - 7,440)	(10,0 - 14,0)	(11,7 - 17,0)	(0,3 - 0,5)	(94,0 - 98,0)	-	(137 - 144)	(4,3 - 6,2)	(0,4 - 1,3)
1	X		0	2885,928	2,886	7,272	28,9	12,3	37,6	99,6	0,9	152	17,8	19
2	X		14	2717,000	2,717	7,313	28,1	12,3	37,6	99,8	0,6	151	17,6	19
3	X		16	2714,857	2,715	7,311	28,1	12,2	37,5	99,7	0,8	151	17,5	19
4		X	20	2691,286	2,691	7,324	28,0	12,1	37,2	99,7	0,9	153	17,3	19
5	X		22	2707,857	2,708	7,346	27,9	12,2	37,4	99,8	0,8	153	17,3	19
6	X		23	2681,572	2,682	7,353	27,9	12,2	37,4	99,8	0,8	153	17,4	19
7	X		29	2439,143	2,439	7,416	27,8	12,1	37,1	99,8	0,8	155	17,0	19
8	X		31	2421,286	2,421	7,428	27,8	12,1	37,2	99,8	0,9	154	17,0	19
9	X		33	2404,143	2,404	7,441	27,7	12,1	37,1	99,9	0,8	154	16,9	19
10		X	35	2375,428	2,375	7,459	27,7	12,1	37,2	100,0	0,6	154	16,9	19
11	X		38	2066,286	2,066	7,477	27,7	12,2	37,3	99,9	0,7	154	16,8	19
12	X		40	2052,714	2,053	7,489	27,6	12,2	37,2	99,9	0,8	154	16,7	19
13	X		42	2035,000	2,035	7,505	27,6	12,1	37,2	99,9	0,8	154	16,8	19
14	X		44	2017,000	2,017	7,514	27,6	12,1	37,1	100,0	0,7	154	16,7	19
16	X		47	2040,571	2,041	7,530	27,6	12,2	37,4	100,1	0,6	154	16,6	19
17	X		66	1991,000	1,991	7,561	27,6	12,1	37,0	100,0	0,7	154	16,4	20
18	X		68	1971,714	1,972	7,563	27,5	12,1	37,2	99,9	0,7	154	16,4	20
19	X		71	1982,286	1,982	7,564	27,6	12,1	37,0	100,0	0,8	154	16,3	20
20	X		78	1933,429	1,933	7,606	27,5	12,2	37,3	100,0	0,7	156	16,1	20
21	X		79	1914,000	1,914	7,613	27,5	12,2	37,3	100,0	0,6	155	16,1	19
22	X		81	1906,714	1,907	7,626	27,5	12,1	37,2	100,0	0,7	156	16,0	20
23	X		85	1858,143	1,858	7,658	27,4	12,0	36,7	100,1	0,8	157	15,9	20
24	X		87	1853,857	1,854	7,688	27,4	12,0	36,8	100,1	0,7	157	15,8	19
25	X		88	1841,571	1,842	7,693	27,3	12,1	37,1	100,2	0,6	157	15,7	20
26		X	91	1840,429	1,840	7,712	27,4	12,0	36,7	100,1	0,8	157	15,7	20
27,000		X	95,000	1773,714	1,774	7,766	27,400	12,000	36,900	100,300	0,600	160,000	15,600	20,000
Gjennomsnitt				2196,805	2,197	7,509	27,696	12,131	37,181	99,938	0,738	154,500	16,627	19,346
Maks				2885,928	2,886	7,766	28,900	12,300	37,600	100,300	0,900	160,000	17,800	20,000
Min				1773,714	1,774	7,272	27,300	12,000	36,700	99,600	0,600	151,000	15,600	19,000