

Metod för våglängdskalibrering
av färgämneslaser

Examensarbete av
Kristofer Ljunggren
Lund Reports on Atomic Physics, LRAP-132

AUGUSTI 1992

Handledare: Hans Edner

Utförd vid Avdelningen För Atomfysik
Lunds Tekniska Högskola

Innehåll

1 Förord	2
2 Sammanfattning	3
3 Inledning	4
4 Systembeskrivning	5
5 Metod	10
6 Realisering	12
7 Program	20
8 Prestanda	23
9 Förbättringar	24
10 Resultat och Slutsatser	25
A Programlistningar	27
B Schema	42

1 Förord

Detta examensarbete har utförts i etapper med början i juni 1991 och har utförts dels vid Avdelningen för Atomfysik, dels vid Institutionen för Tillämpad Elektronik på Lunds Tekniska Högskola.

Jag vill tacka alla de som har hjälpt mig med olika delar av examensarbetet. Speciellt vill jag tacka min handledare Hans Edner, Professor Sune Svanberg, institutionsteknikerna Per Olsson, Bertil Hermansson och Åke Bergquist vid Avdelningen för Atomfysik för ideer, uppslag och lösningar på praktiska problem.

Jag vill även rikta ett varmt tack till de anställda vid Institutionen för Tillämpad Elektronik ; Lars Olsson för stöd och generöst erbjudande av institutionens resurser, Henrik Börjesson för hjälp med dator, Göran Jönsson för hjälp med praktiska arrangemang av arbetet, Mats Ågren och Lars Hedenstjerna för hjälp med kretskort och mekanik samt P-O Klingvall som lärde mig kretskorts-CAD, utan deras hjälp och generösa assistans hade det inte varit möjligt att genomföra arbetet.

LUND i AUGUSTI 1992

2 Sammanfattning

Föreliggande arbete har utförts på Avdelningen För Atomfysik vid Lunds Tekniska Högskola inom ramen för ett forskningsprojekt om atmosfärisk atomabsorptionsspektroskopi. Arbetet behandlar våglängdskalibrering av en färgämneslaser speciellt för mätning av kvicksilverkoncentrationer i atmosfären. Kviksilver (Hg) är ett av de grundämnen som i högst grad påverkar de ekologiska systemen och näringskedjorna. Att mäta utsläpp av kvicksilver, speciellt i gasform har blivit intressantare allt eftersom miljömedvetenheten runt om i världen växer. Den mätmetod som används i det aktuella fallet kallas LIDAR - Light Detection And Ranging (jfr. RADAR - Radio Detection And Ranging).

Vid mätningar av kvicksilver krävs extrem noggrannhet i våglängdskalibreringen eftersom den spektrala absorptionslinje man använder sig av är mycket smal. Avsikten med arbetet var att hitta en automatisk, snabb och säker metod att våglängdskalibrera den färgämneslaser som finns hos forskningsgruppen.

I arbetet implementeras ett datorbaserat, generellt kalibreringsförfarande som bör kunna anpassas till de flesta lasertillämpningar. Principen för kalibreringsmetoden har varit att söka absorptionsmax / transmissionsminimum för laserljus genom en cell med kvicksilverånga.

3 Inledning

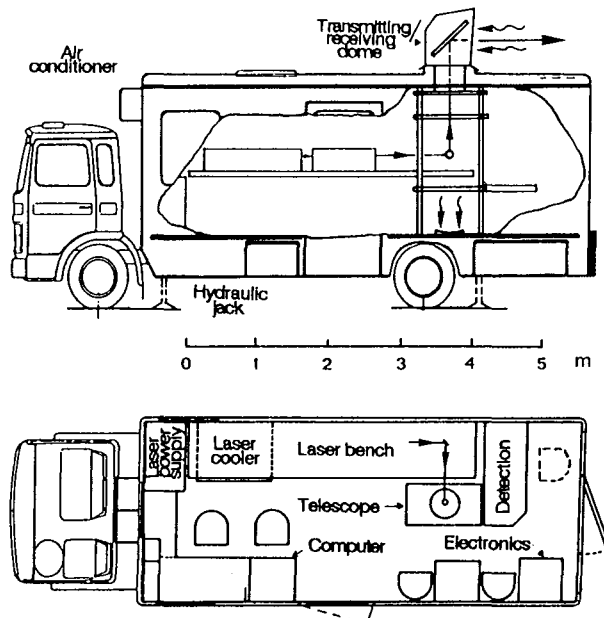
Detta arbete har utförts på Avdelningen För Atomfysik vid Lunds Tekniska Högskola inom ramen för ett forskningsprojekt om atmosfärisk atomabsorptionspektroskopi. Avsikten med arbetet var att hitta en automatisk, snabb och säker metod att våglängdskalibrera en färgämneslaser. Eftersom den befintliga datorkapaciteten inte räcker till för att sköta både huvuduppgiften, att läsa in och behandla mätvärden, och bevaka kalibreringen av färgämneslasern samtidigt, måste mätsystemet kunna arbeta utan datorkontakt. Man kan låta de analoga enheterna arbeta både självständigt och under datorkontroll. Man låter datorn söka, beroende på metod, signalminimum eller signalmaximum hos två olika typer av givare.

Endast en metod har implementerats i detta arbete.

I "Systembeskrivning" förklaras uppbyggnaden av hårdvaran, där redovisas också arbetets bakgrund och problemformulering. Olika sätt att lösa problemen återfinns i avsnittet "Metod". Avsnittet "Realisering" beskriver hur de praktiska detaljerna i projektet utförts. Mjukvaran behandlas i avsnittet "Program". I avsnittet "Slutsatser" redovisas lärdomar och tankar om hur man kanske egentligen skulle ha gått tillväga och under "Förbättringar" ges förslag till förändringar som kan/bör göras. I Appendix finns dessutom kopplingschema för elektroniken och en redovisning av procedurer/funktioner som finns tillgängliga i olika Turbo Pascal Units.

4 Systembeskrivning

Hela mätsystemet, dvs. laser med kylutrustning, datorer, optisk bänk och all kringutrustning, är moterade på ett lastbilschassie, se figur 1.

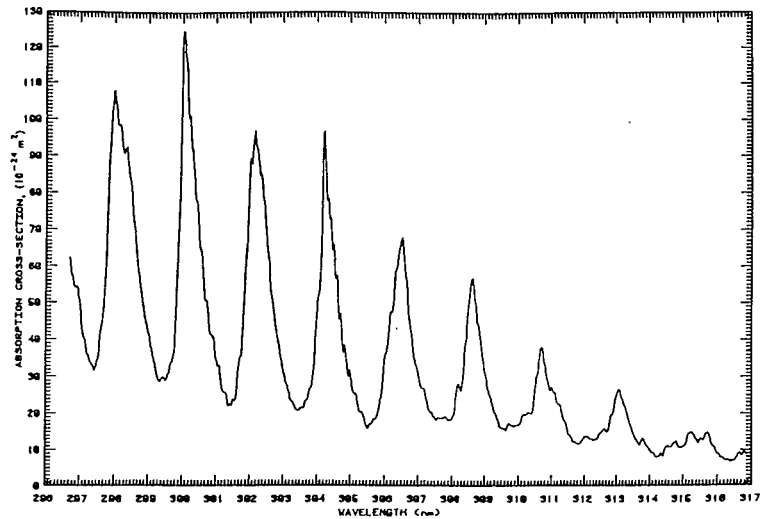


Figur 1: Schematisk bild över det mobila systemet

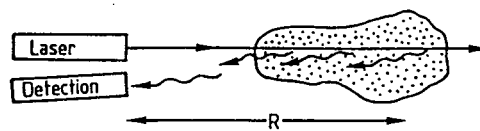
Bakgrundsteori och en mera utförlig beskrivning finns att läsa i S. Svanbergs bok om atomspektroskopi [1].

Systemet är alltså mobilt och kan placeras varhelst lastbilen kan komma fram. Atmosfärisk atomabsorptionsspektroskopi genomförs med en metod kallad LIDAR. LIDAR står för LIght Detection And Ranging. I princip fungerar LIDAR-systemet på följande sätt:

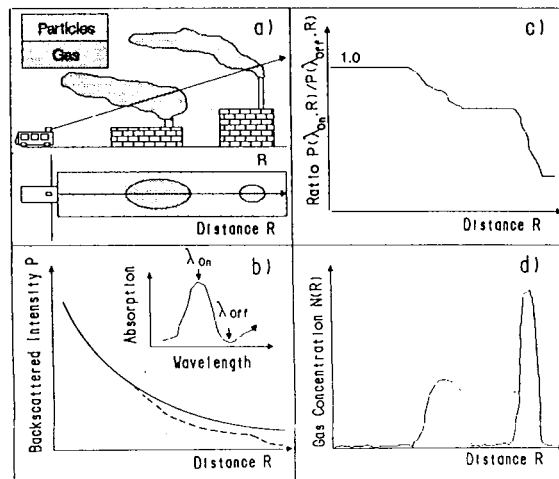
Alla grundämnen och kemiska föreningar har ett karaktäristiskt absorptionspektrum; se figur 2. Absorptionsspektret får sitt utseende genom att det aktuella ämnet kan absorbera mer energi vid vissa våglängder och mindre vid andra. Om man belyser, exempelvis en gas, med laserljus med precis den våglängd där gasen ifråga har en absorptionstopp, dvs. absorberar så mycket energi som möjligt, kommer gasen att absorbera en stor del av energin i ljuspulsen. Principen för LIDAR visas i figurerna 3 och 4.



Figur 2: Absorptionspektrum för SO₂



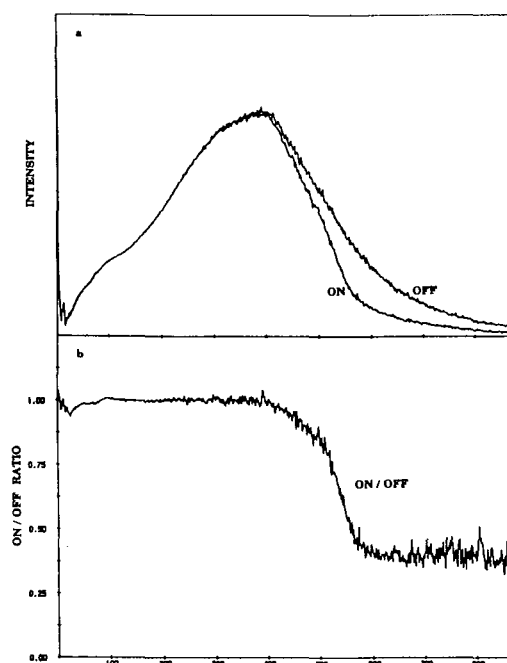
Figur 3: LIDAR-principen med bakåtspritt ljus



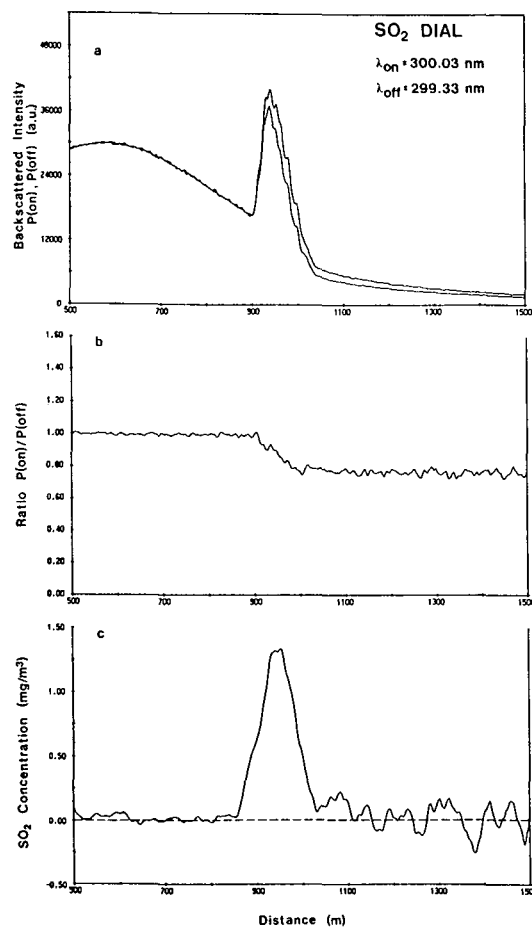
Figur 4: Arbetsprinciper för LIDAR-systemet

Den övre vänstra bilden i figur 4 visar hur det mobila systemet placeras invid två fabrikk skorstenar för att mäta olika föroreningar i rökgaserna. Man skjuter

omväxlande med ljus på, respektive vid sidan av, absorptionsvåglängden. Den övre högra bilden visar kvoten mellan absorptionerna vid två olika våglängder, en där den aktuella föroreningen absorberar maximalt, en där absorptionen är minimal. Nederst till vänster ser vi den tillbakaspridda intensiteten vid de olika våglängderna, kallade λ_{on} , resp. λ_{off} . Index 'on' avser våglängd på absorptionslinjen, index 'off' avser våglängd omedelbart vid sidan av absorptionslinjen. Slutligen visas den framräknade koncentrationen av det aktuella ämnet som intensitet som funktion av avstånd från den mobila enheten. Hur kvoten mellan den tillbakaspridda intensiteten vid λ_{on} , resp. λ_{off} fås fram syns ännu bättre i fig 5.



Figur 5: Kvotbildning mellan intensiteterna vid λ_{on} , resp. λ_{off} för *Hg*-mätning

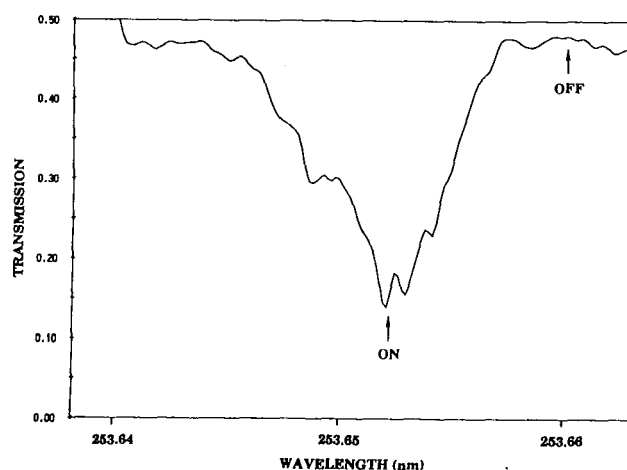


Figur 6: Resultat av SO_2 -mätning med LIDAR

I figur 6 ser vi, uppifrån och nedåt, den tillbakaspridda intensiteten, kvotbildningen ($\frac{Intens.\lambda_{on}}{Intens.\lambda_{off}}$) och slutligen den framräknade koncentrationen av, i det här fallet, SO_2 .

Huvudbeståndsdel i mätsystemet är en pulsad Nd:YAG laser som i sin tur pumpar en färgämneslaser. Eftersom färgämneslasern är kontinuerligt avstämbar kan laservåglängder erhållas ur ett brett spektrum. Spektrumets bredd beror på färgämnet och är typiskt $\approx 20nm$.

Målet med detta examensarbete var att utföra en datorstyrd kalibreringsprocedur för färgämneslasern som var relativt snabb och så exakt som möjligt. Arbetet är utformat speciellt för kvicksilver (Hg). Lasermätningar av Hg är speciella så till vida att Hg har en enda dominerande absorptionstopp vid 253.65nm; se figur 7. Toppens halvvaldesbredd är dessutom mycket smal, ca. 0.005nm, varför det är mycket viktigt att man ligger precis på rätt våglängd med lasern.



Figur 7: Absorptionslinjen för Hg

Det är önskvärt att kalibreringsproceduren är så smidig att man kan genomföra en kalibrering så ofta som var tionde minut, efter som temperaturdrift i både optiska och mekaniska komponenter i dye-lasern orsakar våglängdsdrift. Metoden är alltså speciellt framtagen för Hg-mätningar, men alla ingående delar är utförda så generellt som möjligt. Det torde inte vara några problem att applicera de allmänna principerna på ett godtyckligt lasersystem.

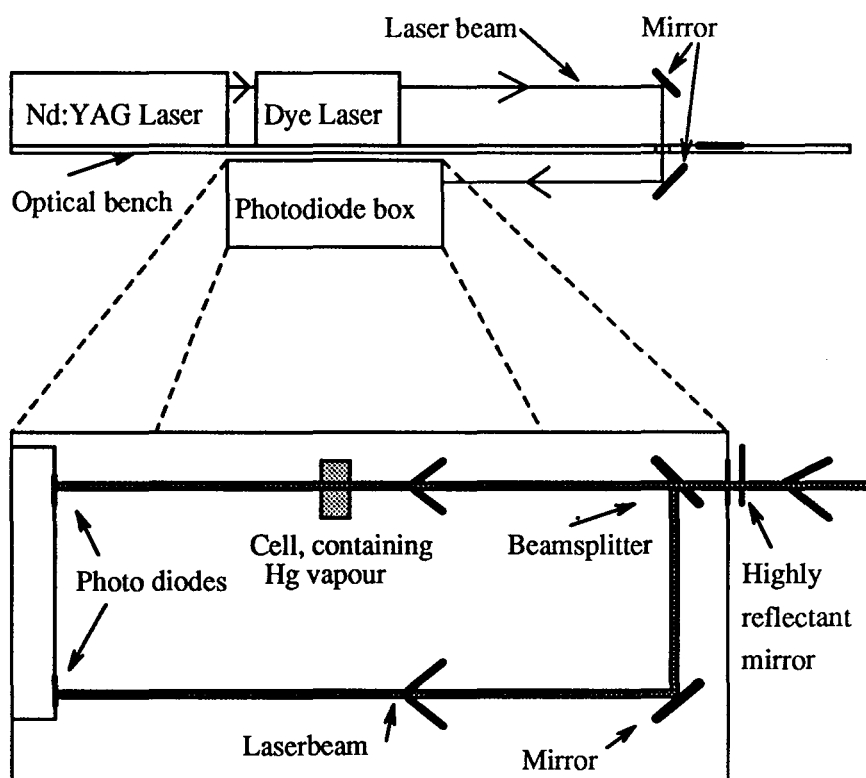
De aktuella principerna för kalibrering är:

- Uppsökande av absorptionsmax genom en cell med kvicksilverånga.
- Uppsökande av excitationmax genom att använda en hålkatodlampa med kvicksilverkatod där den fotogalvaniska effekten ger en ström som är proportionell mot antalet exciterade atomer, som i sin tur är ett mått på hur mycket energi som absorberats.

Avsikten var att jämföra de olika metoderna med avseende på precision, noggrannhet och konvergenshastighet. I avsaknad av en del utrustning som behövs för en säker avläsning av hålkatodlampa, fick arbetet begränsas till att behandla metoden med uppsökande av absorptionsmax. Metoden behandlas i nästa avsnitt.

5 Metod

Försöksupställningen visas i figur 8 (jfr. figur 1). Observera att bara den nedre av fotodiодerna i figur 8 används i den beskrivna metoden.



Figur 8: Laseruppställning

Arbetsmetod:

En diffus reflex från lasern ledes via lämpliga speglar till fotodiодerna. Det behövs bara en bråkdel av laserns utintensitet för att fotodiодerna skall mätas. Genom att svepa färgämneslasern (i fortsättningen kallad dye-lasern) över det våglängdsområde där man förväntar sig att absorptions-toppen skall finnas och registrera signalamplituden hos en fotodiod söker man den våglängd där absorptionen i mätkammaren är som störst, och som följaktligen ger minst amplitud hos signalen från fotodiодen. Man mäter absorptionen vid vartannat skott, eftersom man växlar mellan de olika våglängderna λ_{on} och λ_{off}) och vi bara är intresserade av absorptionen vid λ_{on} .

Ett problem med detta tillvägagångssätt är att amplituden hos mätsignalen blir så liten att den kan komma i närheten av brusnivån i systemet. Detta kan undvikas genom att man delar upp laserstrålen i två delar och låter den ena gå genom en kammare med, i det här fallet Hg-ånga och den andra får gå odämpad till en fotodiod, se figur 8. Man registrerar utsignalerna från de båda fotodiодerna och dividerar dem med varandra. Om det inte skett någon absorption,

kommer kvoten att vara nära ett. Om det däremot skett en absorption, och den direkta signalen divideras med den dämpade, kommer vi naturligtvis att få en stor kvot. En annan fördel med division av signalerna är att fluktuationer i lasereffekten inte påverkar kvoten.

Absorptionskammaren har fördelen att ha ett mycket stabilt beteende. Den uppvärmning som sker i cellen vid absorption innebär visserligen att trycket ökar, vilket i sin tur leder till ökad absorption, men eftersom lasern körs med låg skotffrekvens, är effekten av uppvärmningen försumbar.

En annan mätprincip som såg lovande ut till en början var den med hålkatod-lampa, eller HCL (Hollow Cathode Lamp). Detta är den gängse principen bland lasertekniker att döma av den mängd artiklar som publicerats om metoden. Nackdelen med HCL-lampor är att de gärna vill självsvänga och att man inte kan vara riktigt säker på att den avläsning man gör är korrekt, eftersom det pålagda E-fältet ger upphov till en assymetrisk breddning av absorptionslinjen. För att undvika att hålkatodlampan självsvänger brukar man därför använda pulsade nätaggregat 150 - 300V. Tyvärr fanns inget sådant att tillgå, och att bygga ett sådant skulle nästan räcka till ett examensarbete bara det. Metoden är dock intressant och värd att se närmare på.

Den metod som använts i detta examensarbete är absorption i Hg-kammare och en enda fotodiod. Man kan komma till rätta med brusproblemet genom filtrering och statistisk behandling av signalen.

I programmet får användaren själv specificera i vilket våglängdsintervall som sökandet skall ske. Normalt vet användaren var toppen bör finnas och kan ange ett relativt smalt sökområde. I programmet kan man också ställa parametrar i signalfiltreringen, exempelvis hur många mätvärden man skall medelvärdesbilda över för att eliminera brusinverkan. De värden som sätts initialt är dock för det mesta adekvata.

6 Realisering

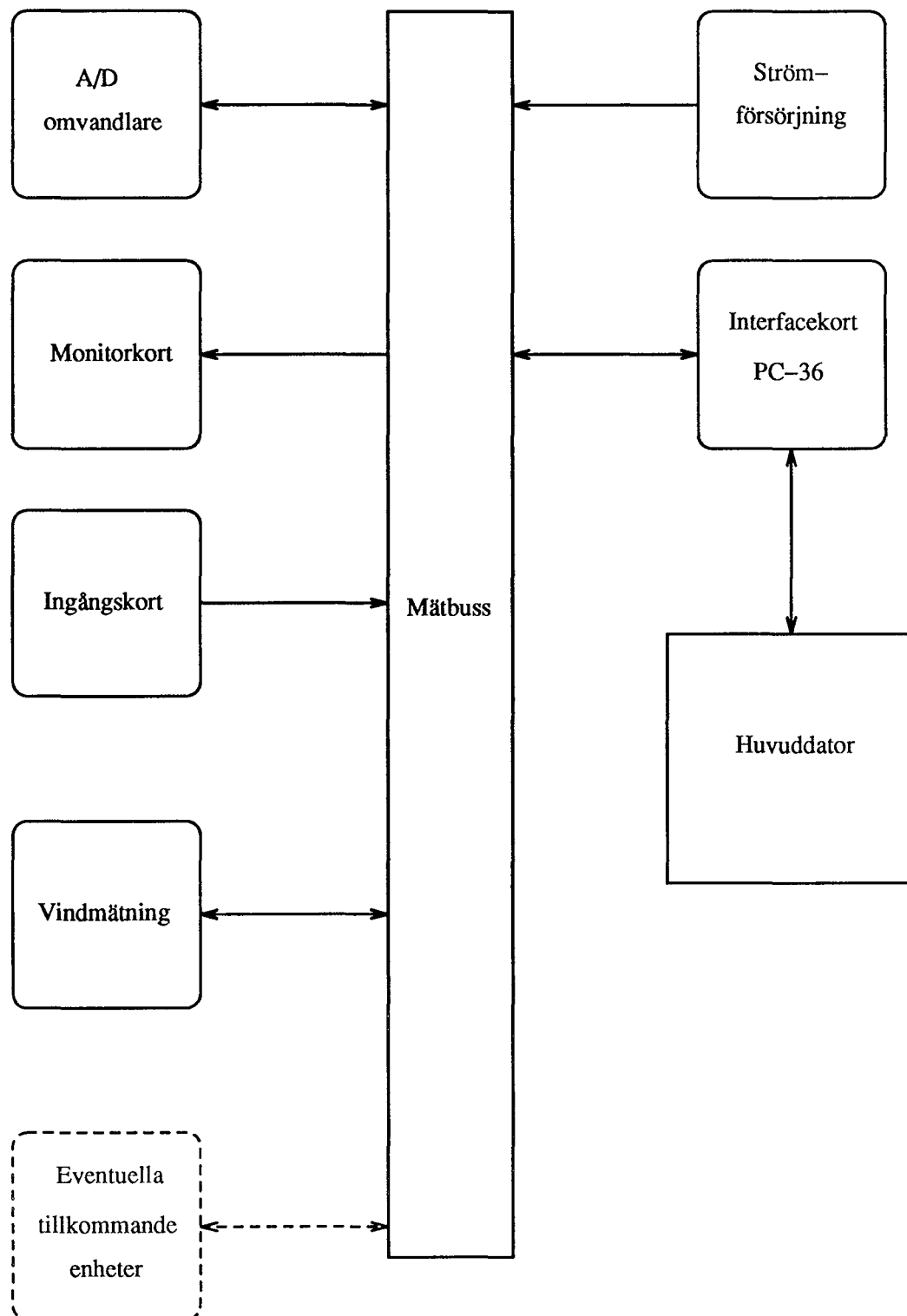
För att kunna utföra kalibreringen av lasern, behövdes någon form av datainsamlingsenhet. Då det inte fanns någon tillgänglig i LIDAR-lastbilen, byggdes ett generellt racksystem (19-tum) som är lätt att utöka med nya funktioner och moduler som kan tänkas behövas i framtiden. Systemet har ett åtta-bitars datorinterface som är en programmerbar parallellport. Systemet är i första hand tänkt att arbeta "stand alone", dvs. kunna arbeta oberoende av vad datorn håller på med. Det är dock förberett för direkt datorkontroll. Systemet skall kunna samla indata från olika givare och ha aktuell information klar, närhelst datorn går ut på bussen och frågar. Det behövs alltså mätförstärkare och A/D-omvandlare, plus en del andra funktioner.

Kalibreringssystemet består av följande delar:

1. Strömförsörjning
2. A/D omvandlarmodul
3. Ingångsmodul för sampling signalen från fotodioderna
4. Adapterkort mellan 37-pol D-Sub och Europakontakten
5. Monitorkort för övervakning av bussen

Den övergripande strukturen visas i figur 9.

Alla kretskort till systemet ritades med CAD-programmet McCadPCB på en Apple MacIntosh. Därefter tillverkades en positiv fotomask som användes för att belysa fotoresist-belagda kretskort. Sedan kunde kretskorten etsas. Allt detta skedde på Institutionen för Tillämpad Elektronik. Systemet är konstruerat med tanken att en adresserbar A/D-omvandlare skall serva alla andra perifera enheter (sensorer, etc.). Det visade sig så småningom att det skulle vara bättre att låta varje enhet själv omvandla sina respektive insignaler, alternativt tillåta vissa moduler att sköta A/D-omvandlingen själva, medan vissa moduler skulle kunna dela på en A/D-omvandlare. I figur 9 finns också en modul för vindmätning. Denna modul har i efterhand byggts av en institutionstekniker och är ett bra bevis på att systemet fungerar som tänkt, vad avser flexibilitet. Synpunkter på busstorlek, prestanda och eventuella förbättringar diskuteras i avsnittet "Förbättringar".



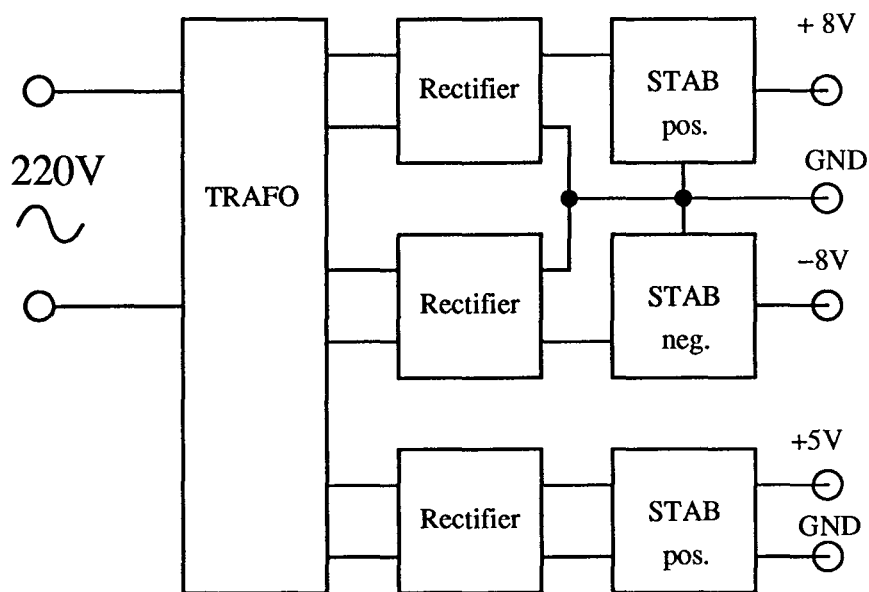
Figur 9: Schematisk bild över racksystemet

Strömförsörjning

Modulen innehåller transformator, likriktare, glättningskondensatorer och spänningsstabilisatorer. Kondensatorer och säkringar är inte medtagna i figur 10. De utspänningar som erhålles är +/- 8V, samt 5V. 8V-jorden är tänkt att agera analog jord, 5V-jorden används som digital jord. Om analog och digital jord inte separeras, uppkommer lätt problematiska störningar.

Genom att byta ut spänningsregulatorerna kan man enkelt få +/- 15V, 12V, 9V, osv.

Om strömkapaciteten inte är tillräcklig i framtida tillämpningar kan nätdelen enkelt bytas mot en kraftigare.



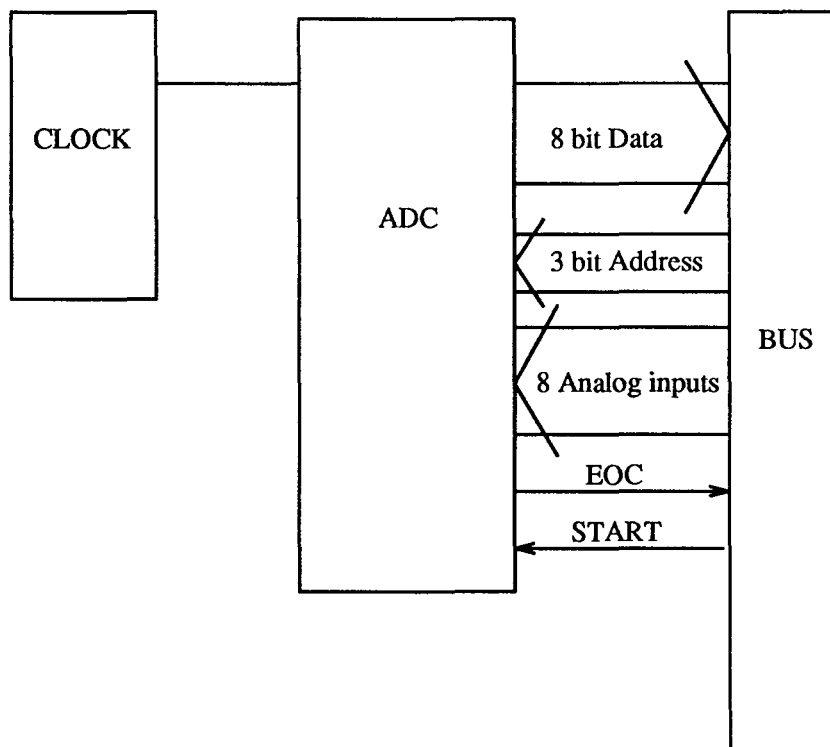
Figur 10: Strömförsörjning

Spänningsstabilisatorer ur 78xx- och 79xx serien monterade på kylflänsar av aluminium-vinkelprofil. Eventuellt kan nätdelen komma att kompletteras med drivtransistorer för högre strömkapacitet.

A/D-omvandlare

Den generella A/D-omvandlarmodulen innehåller endast en omvandlarkrets, samt dess klockkrets; se figur 13.

A/D-omvandlaren ADC0809 valdes därför att den är lätt att få tag i, den är billig och den har en inbyggd 8-kanals multiplexer. Upplösningen (8 bitar) är fullt tillräcklig för den här applikationen. Om det i framtiden skulle behövas större upplösning, eller en snabbare krets, kan den nuvarande modulen lätt bytas ut.



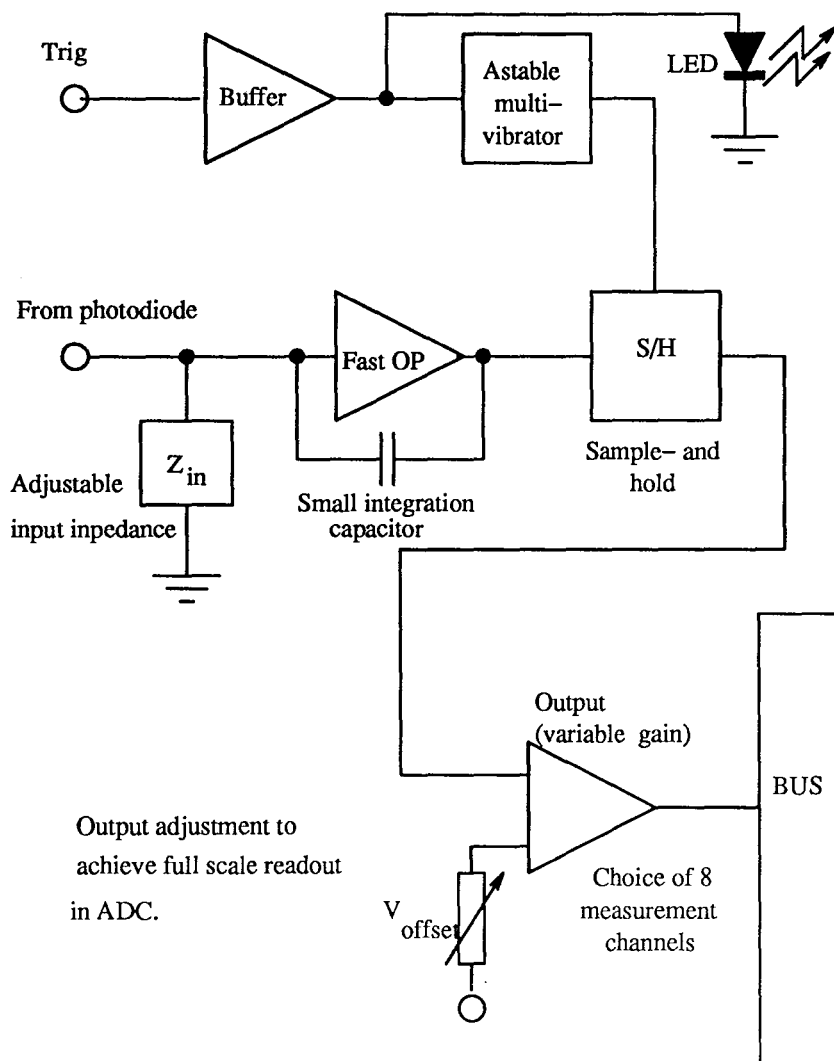
Figur 11: A/D-omvandlarkort

Klockkretsen består av två inverterare kopplade som en astabil vippa, vars frekvens kan vara upp till ca. 1.5 MHz. Det visade sig att klockkretsen genererar störningar som påverkar andra moduler i mätsystemet, mer om detta under "Förbättringar".

Samplande Ingångskort

Inångsmodul med sampling för signal från fotodiod:

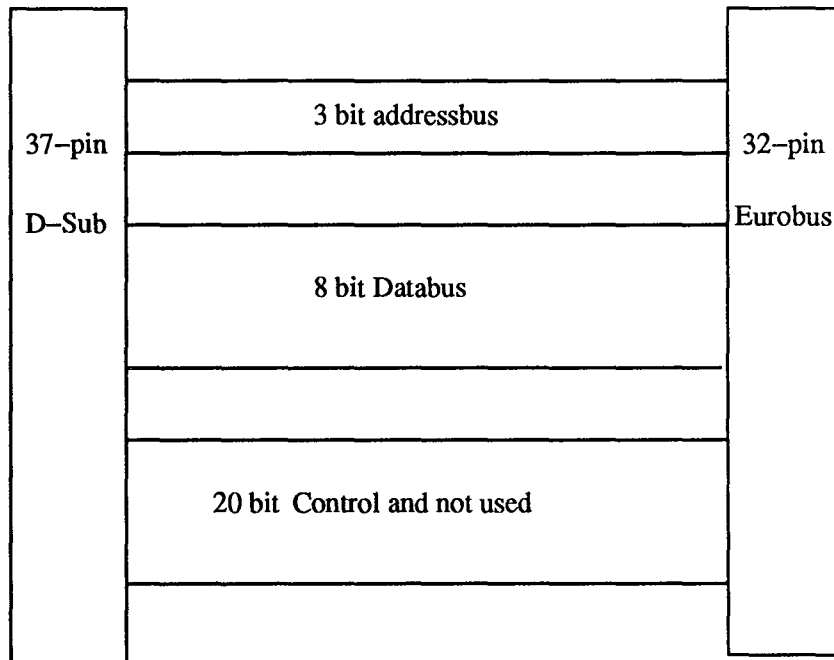
Funktion i korthet: Insignalen (från fotodiod) förstärks av en mycket snabb pulsförstärkare. En utifrån kommande trigg-signal behandlas med avseende på pulslängd och pulskvot. Trigg-signalen styr sedan sampel-grinden så att signalen (som har kort varaktighet) samplas vid ett någorlunda stabilt värde. Den samplade signalen läggs sedan på en av A/D omvandlarens ingångar. På varje ingångs modul kan användaren själv välja vilken A/D-ingång som skall användas. Som bilaga finns kopplingsschema för modulen.



Figur 12: Samplande ingångskort

Adapterkort

Den programmerbara parallellporten som tjänstgör som interface mellan huvuddatorn och mätsystemet har en 37-polig D-Subkontakt och mätsystemet har ett 32-poligt Europadon som busskontakt. Övergången mellan de båda bussarna sker i en speciell rackmodul som bara innehåller ett kretskort. Tanken är att om man skulle vilja ansluta mätsystemet till någon annan typ av dator med andra anslutningar, så kan man enkelt göra en ny modul med aktuella kontaktdon.



Figur 13: Adapterkort mellan de två bussarna

De båda kontaktdonen är konfigurerade enligt följande:

Europakontakt

<i>Pin</i>	<i>Funktion</i>
1	GND
2	+8V
3	-8V
4	NC
5	IN 0
6	IN 1
7	IN 2
8	IN 3
9	IN 4
10	IN 5
11	IN 6
12	IN 7
13	NC
14	START
15	EOC
16	Add A
17	Add B
18	Add C
19	NC
20	(Trigg)
21	NC
22	LSB D 0
23	D 1
24	D 2
25	D 3
26	D 4
27	D 5
28	D 6
29	MSB D 7
30	+5V
31	GND
32	GND

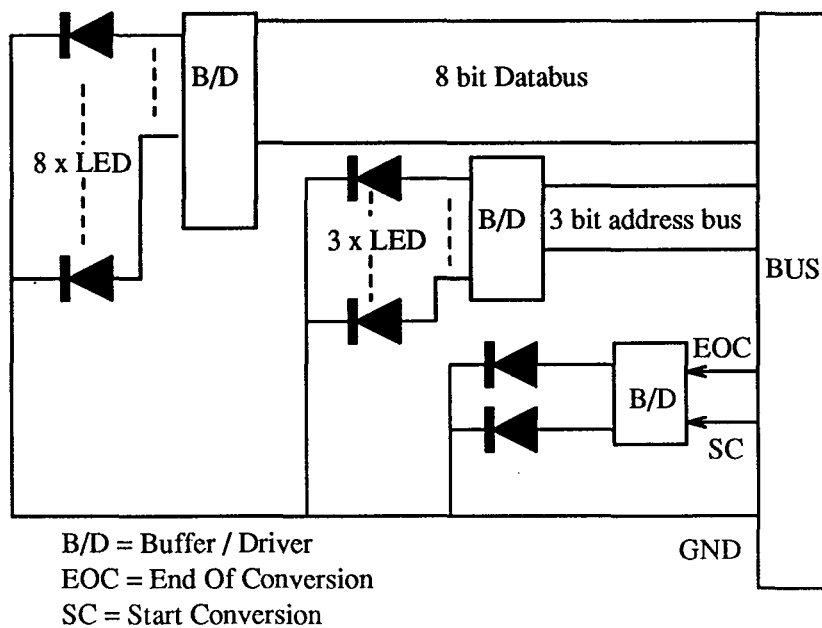
37 - Pol D-SUB

<i>Pin</i>	<i>Namn</i>	<i>Funktion</i>
1	+12V	
2	+5V	
3	NC	
4	PA 0	LSB D0
5	PA 1	D1
6	PA 2	D2
7	PA 3	D3
8	PA 4	D4
9	PA 5	D5
10	PA 6	D6
11	PA 7	MSB D7
12	PB 0	START
13	PB 1	EOC
14	PB 2	
15	PB 3	
16	PB 4	
17	PB 5	
18	PB 6	
19	PB 7	
20	PC 3	(Trigg)
21	PC 2	
22	PC 1	
23	PC 0	
24	PC 4	Add A
25	PC 5	Add B
26	PC 6	Add C
27	PC 7	
28	NC	
29	NC	
30	NC	
31	NC	
32	NC	
33	NC	
34	NC	
35	NC	
36	NC	
37	GND	

Monitorkort

Det här kortet tillverkades för att man lätt skulle kunna se vad som sker på mätbussen. Här finns lysdioder som indikerar aktivitet enligt följande:

- 8 st. röda lysdioder för databussen. Det är värdefullt att kunna se om det inlästa värdet stämmer med verkligheten.
- 3 st. gröna lysdioder som visar vad som finns på A/D-omvandlarens adressbuss, dvs. vilken av de åtta mätkanalerna som för närvarande är ansluten till A/D-omvandlaren.
- 2 st. gula lysdioder som indikerar START CONVERSION och END OF CONVERSION hos A/D-omvandlaren, dvs. om det har givits någon order om att göra en omvandling resp. om kretsen är klar med omvandlingsoperationen.

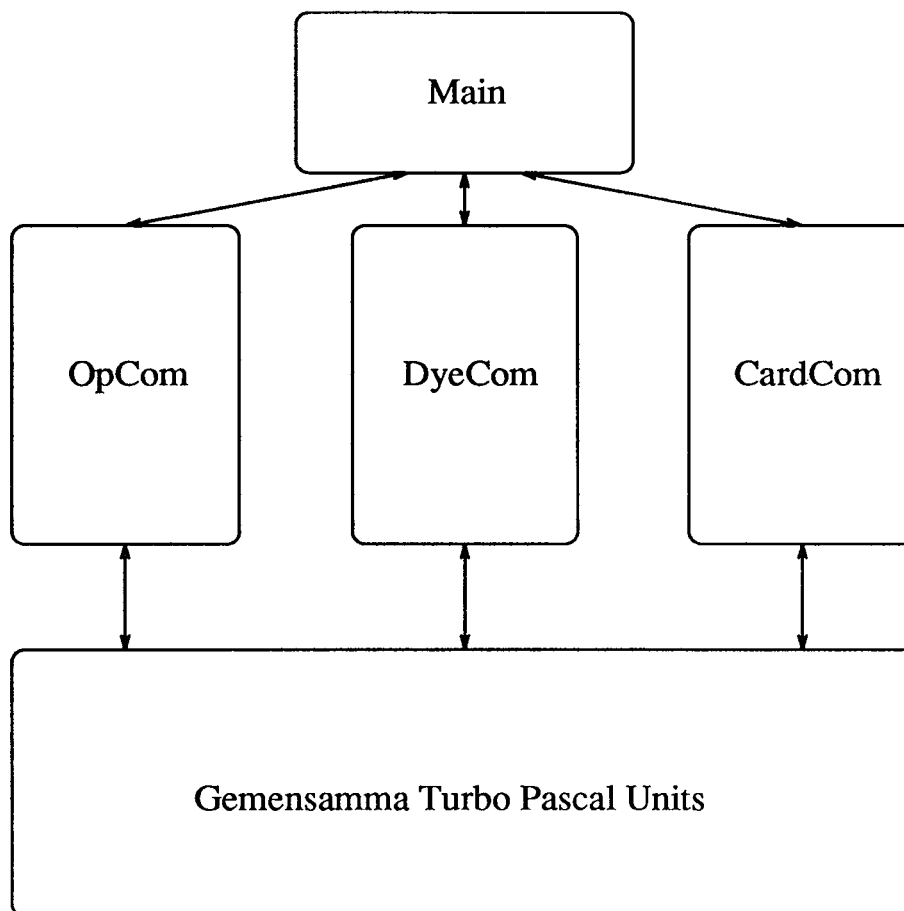


Figur 14: Monitorkort för mätbussen

7 Program

Stor ansträngning har gjorts att hålla programmet strukturerat med litet beroende mellan de olika modulerna. Programmet använder sig av ett antal Turbo Pascal Units, vilka finns listade nedan. Den övergripande programstrukturen visas i figur 15.

De tre stora Units som används heter OpCom, DyeCom och CardCom. Dessa Units använder i sin tur ett stort antal Turbo Pascal Units från olika kommersiella Unit libraries.



Figur 15: Programstruktur

Implementeringen har gjorts för att i så hög grad som möjligt fungera som programmering med abstrakta datatyper, dvs användaren behöver inte ha en aning om hur de olika procedurerna är implementerade utan får precis så mycket information att han/hon kan använda procedurerna.

De olika programmodulerna är:

<i>Namn</i>	<i>Funktion</i>	<i>Förklaring</i>
Main	Huvudprogram	Initiering och avslutning.
OpCom	Användarkommunikation	Skärm och tangentbord.
DyeCom	Laserkommunikation	Styr färgämneslasern.
CardCom	I/O till mätsystem	Läser värden från givare.

Funktioner i korthet:

Main:

Huvudprogrammet som sköter all initiering och uppstart. Vissa globala definitioner görs, men huvuddelen av definitionerna ligger i respektive Unit. För att underlätta för efterkommande programmerare är alla konstanta värden deklarerade som const-typer. Programmet anropar olika menyer i OpCom för olika funktioner och OpCom returnerar aktuella värden och parametrar. Main styr också kommunikationen med dye-lasern och datainsamlingskortet via DyeCom och Cardcom.

Vid programstart visas en huvudmeny med möjligheter att:

1. Svepa dye-lasern från en våglängd till en annan utan att mäta insignalen
2. Gå till en specifik våglängd. Här tar man hänsyn till hysteresen i mekaniken genom att, om den nya våglängden är mindre än den aktuella, gå "under" den önskade våglängden med $0.02nm$. Därefter går man från "rätt" håll till den önskade våglängden.
3. Utföra en kalibrering, dvs. söka absorptionsmaximum och sedan flytta dye-lasern till denna våglängd.
4. Styra dye-lasern manuellt med knappar på tangentbordet (denna funktion är ännu inte implementerad, då funktionen inte har behövts hittills och den dessutom redan finns på dye-laserdatorn).
5. Visa inlästa värden från ingångsmodulen med så snabb uppdatering som möjligt. Det inlästa värdet presenteras som ett stapeldiagram samtidigt som värdet skrivs ut på skärmen. Eftersom det tar relativt lång tid att skriva ut på skärmen sker uppdateringen inte med optimal "samplingshastighet". Andra sätt att presentera inlästa värden är under utveckling och skall förhoppningsvis visa sig vara mer effektiva.
6. Läsa in värden och medelvärdesbilda över ett godtyckligt antal värden. Funktionen är bra för att undersöka hur många värden som behöver användas för att det glidande medelvärdet skall bli tillräckligt stabilt.
7. Avsluta programmet

De olika valen orsakar sedan anrop till undermenyer som är självförklarande.

OpCom:

Handhar kommunikationen till/från användaren. Skriver ut aktuella menyer. Editerar och läser in värden från tangentbordet.

DyeCom:

Sköter kommunikationen till/från dye-laserdatorn. Styrprogrammet i den PC-XT som sköter manövreringen av dye-lasern är skrivet i Quick-Basic, och är inte särdeles snabbt. Den seriella kommunikationen till/från dye-laserdatorn fungerar otillfredsställande vilket förmodligen beror på felaktigheter i manualen till dye-laserdatorn [2]. Dye-laserdatorn skall i princip vara helt transparent för huvuddatorn.

CardCom:

Innehåller alla rutiner för kommunikation med mätsystemet. De operationer som görs är i huvudsak att skriva ett värde till en port och läsa in ett värde från en annan port. Här användes ett inköpt kort med färdig programvara, ett s.k. PC-36 från ELFA. På kortet finns en enkel och beprövad typ av PIA (Peripheral Interface Adapter) av typ 8255.

8 Prestanda

Tidsåtgången för kalibreringen beror i hög grad på vilken svephastighet dye-laserdatorn är inställd på. Det visar sig att en svephastighet om $0.02 \text{ \AA}/\text{sek}$ gör att kalibreringen går rimligt snabbt, och noggrannheten bibehålles. Allt förutsatt att intervallet inte är för stort. I praktiken är intervallet aldrig större än 0.1 nm . Att kalibreringen verkligen ställer in dye-lasern till rätt våglängd har verifierats genom att låta programmet svepa ett våglängdsområde där man visste att det fanns en absorptionslinje. Systemet hittade då det intervall där absorptionen var som störst och ställde dye-lasern mitt i det intervallet. Man kunde emellertid ställa in våglängden för hand och få bättre precision, vilket betyder att metoden verkar vara korrekt, men både hård- och mjukvara behöver förfinas. Man hamnar ungefär 0.01 \AA vid sidan av absorptionslinjen, vilket är för mycket. Hänsyn har tagits till hysteres i mekaniken hos dye-lasern, vilket förlänger kalibreringsförfarandet något då man låter dye-lasern svepa från samma håll varje gång, dvs. från kortare till längre våglängd.

9 Förbättringar

De delar av mätsystemet som skulle behöva förbättras är:

Nätaggregatet. Det är bättre om nätdelen skapar en systemspänning om ca. 19 Volt ($\sqrt{2} \cdot 15V$ sekundärspänning från trafo). Varje modul får sedan reglera ner systemspänningen till den spänning som önskas. Principen har fördelen att de olika modulerna stör varandra mindre och man fördelar värmeutvecklingen i en mycket större luftvolym. Systemet blir också mera flexibelt.

Systembussen. Det skulle utan vidare gå att byta upp sig till en dubbelt så stor buss(64-pol) som den nuvarande. Det är direkt dumt att snåla med bussutrymmet om man inte måste.

Mätförstärkarna. Det pågår vidareutveckling av de samplande ingångsförstärkarna där man använder sig av olika typer av simultan kvotbildning för att undvika att fluktuationer i lasereffekten stör mätningarna.

A/D-omvandlaren. Den A/D-omvandlare som sitter i systemet för närvarande fungerar inte riktigt tillfredsställande, då dess externa klockkrets genererar kraftiga omslagstransienter. Det enklaste sättet att komma till rätta med störningarna vore att byta ut A/D-omvandlaren mot en krets med intern klocka, om den centrala A/D-omvandlaren nu alls behövs, vilket beror på konfigurationen av systemet. Om man väljer att ha en krets med multiplexer som kan serva andra moduler bör man välja en krets med intern klocka och gärna även track/hold funktion och/eller inbyggd spänningsreferens.

Sannolikt kommer de flesta ingående delarna att förändras och förbättras, men systemet är uppbyggt med tanke på detta och för att underlätta uppdatering och ombyggnad.

10 Resultat och Slutsatser

Resultat:

Det datorstyrda kalibreringsförfarandet är, såvitt kan bedömas, en användbar metod för färgämneslasrar. Vid simulering av absorptionsmaximum genom att sätta in ett dämpande fönster i strålvägen visade sig metoden fungera. Man hade i förväg bestämt att absorptionsmaximum skulle ligga i ett visst svepintervall. Eftersom varje nytt svep startades manuellt kunde man sätta in spegeln i strålgången under en liten tid, så att datorn registrerade en lägre medelintensitet. På så sätt itererade programmet sig fram till det intervall (= minsta upplösning) där absorptionsmaximum satts att vara. Därefter ställdes dye-lasern mitt i det funna intervallet. När man kalibrerar systemet för Hg vid en normal mätning beror resultatet mest på hur väl inställda övriga delar i systemet är, t.ex. dubbingskristaller. Man kan med datorns hjälp komma nära rätt våglängd om alla övriga parametrar är rätt inställda, men det visade sig att man kunde ställa in våglängden bättre för hand.

Den i arbetet använda principen förefaller vara korrekt och användbar, medan signalbehandlingen i och utanför datorn kan och bör förfinas för att den framtagna utrustningen skall bli ett effektivt och lättanvänt instrument för generell våglängdskalibrering.

Slutsatser om våglängdskalibrering:

Den primärt beskrivna metoden, uppsökande av absorptionsmaximum visade sig vara mycket starkt beroende på mätförstärkarens funktion, dvs. hur exakt man kunde sampla signalen från fotodioderna. Den preliminära avsikten var att bygga två likadana mätkort och sedan dividera mätvärdena i datorn. Detta visade sig vara svårt att få att fungera eftersom datorn inte kan kontrollera att de båda senaste mätvärdena verkligen härrör från samma skott. Den naturliga åtgärden blir att dividera de båda signalerna analogt och sedan A/D-omvandla dem och läsa in dem i datorn. Man kan dock komma runt problemet med fluktuationer i lasereffekten genom att medelvärdesbilda över ett antal skott, vilket visar sig fungera bra. Man kan sluta sig till att det krävs relativt avancerad och högkvalitativ elektronik för en säker funktion. Ett annat problem var datorstyrningen av dye-lasern som inte fungerade tillfredsställande, beroende på gammalmodig/långsam programvara och felaktig manual. Det fysiska resultatet av arbetet är alltså den generella styr- och mätenheten, samt programvaran som förhoppningsvis är lätt att arbeta vidare med och anpassa till andra tillämpningar.

Referenser

- [1] Sune Svanberg, *Atomic and Molecular Spectroscopy* (Springer Verlag 1991).
- [2] Continuum, *Dye laser TDL 60 Manual*.
- [3] H. Edner, G.W. Faris, A. Sunesson, and S. Svanberg, *Atmospheric atomic mercury monitoring using differential absorption lidar techniques*, Applied Optics **28**, 921 (1989).
- [4] H. Edner, K. Fredriksson, A. Sunesson, S. Svanberg, Leif Unéus, and W. Wendt, *Mobile remote sensing system for atmospheric monitoring* Applied Optics **26**, 4330 (1987) .
- [5] Borland Turbo Pascal 5.5, *User's Manual and Reference Manual*.
- [6] Robert B. Northrop, *Analog Electronic Circuits* (Addison-Wesley 1990).

A Programlistningar

Program Main;

```
uses Cardcom,  
    Crt,  
    Defs,  
    DyeCom,  
    Graph,  
    OpCom;
```

const

```
    comport      : comporttype = com1;  
    lambdamax    = 700.000;  
    lambdamin    = 500.000;  
    resolution   = 0.001;
```

type

```
    intelementtype = record  
        start : real;  
        stop  : real;  
    end;  
  
    intvectortype = array[1..10] of intelementtype;  
  
    meanvectortype = array[1..10] of real;
```

var

```
    a          : string;  
    ans        : char;  
    channel    : integer;  
    choise     : integer;  
    code       : integer;  
    currentlambda : real;  
    dyerecord  : dyerecordtype;  
    dyesetting : dyesettingtype;  
    exit       : boolean;  
    full       : boolean;  
    index      : integer;  
    interval   : real;  
    intervalno : integer;  
    intervalstart : real;  
    intervalstop : real;  
    intvector  : intvectortype;  
    lowmean    : real;
```

```
mean          : real;
meanvector    : meanvectortype;
meaninit      : boolean;
minmean       : real;
mininterval   : integer;
noofintervals : integer;
noofsamples   : integer;
offset        : offsettype;
ok            : boolean;
quit          : boolean;
s             : string;
scanrecord    : scanrecordtype;
scanspeed     : real;
speedstring   : string;
startstring   : string;
stepsize      : real;
stopstring    : string;
string6       : string;
timeout       : integer;
valarray      : valarraytype;
valmatrix     : valmatrixtype;
value         : word;
zero          : boolean;

procedure ValueInit(var valmatrix : valmatrixtype; vallength : integer);
var
  i : integer;

procedure VInit(var valarray:valarraytype; vallength : integer);
var y : integer;

begin
  for y :=1 to vallength do
  begin
    valarray[y]:=0;
  end;
end;                                     (* end VInit *)

begin
  for i := 1 to NoOfInputs do
    VInit(valmatrix[i],vallength);
  end;                                     (* end ValueInit *)

procedure InitiationOfGlobals;
begin
  exit:=false;
  InitPort(comport);
```

```
with dyerecord do
begin
  current := 0;
  start   := 0;
  stop    := 0;
  speed   := 0;
end;
channel:=1;      (* Mät på mätkanal 1 *)
end;

procedure MakeIntVector(var intvector:intvectortype;
                        dyerecord:dyerecordtype; var noofintervals:integer);
var
  i          : integer;
  intlength  : real;
  nofin      : integer;  (* Lokal variabel med behändigare namn *)
  totinterval : real;

begin
  nofin:=noofintervals;
  totinterval:=dyerecord.stop-dyerecord.start;
  intlength:=totinterval/nofin;
  if (intlength < resolution) then
  begin
    nofin:=trunc(totinterval/resolution)-1;
    intlength:=totinterval/nofin;
  end;
  if (nofin > 1) then
  begin
    writeln('Sveper nu ',nofin,' intervall! <RETURN>');
    readln;
    for i:=1 to (nofin-1) do
    begin
      intvector[i].start:=dyerecord.start + (i-1)*intlength;
      intvector[i].stop:=dyerecord.start + i*intlength;
    end;
    intvector[nofin].start:=dyerecord.start + (nofin-1)*intlength;
    intvector[nofin].stop:=dyerecord.stop; (* Sista int. slutar i stop *)
    for i:=1 to nofin do                (* ober. av avrundningar *)
    begin
      writeln(i,'start: ',intvector[i].start:7:3);
      writeln('stop: ',intvector[i].stop:7:3);
    end;
  end;
  noofintervals:=nofin;
end;
```



```
(* Omvandlar mellan olika typer av records (till olika units) *)

begin
  with scanrecord do
    begin
      scanspeed:=dyerecord.speed;
      start:=dyerecord.start;
      current:=dyerecord.current;
      stop:=dyerecord.stop;
      calkind:=absorb;
    end;
  end;
end;

procedure Manual(dyerecord:dyerecordtype);    (* Ej färdig *)
var
  x : integer;

begin
  x:= Sentinel;
  ClrScr;
  PrintScreen('Manuell svepning med [ <-- ] och [ --> ]',x,15,3);
  PrintScreen('För att ändra steglängd, tryck "s" ',x,18,5);
  readln;
end;

(***** Huvudprogram *****)

begin
  InitiationOfGlobals;
  while not(exit)do
    begin
      ScanMenu(choise);
      case choise of
        1:begin    (* Svep från A till B *)
            Menu(dyerecord);
            ClrScr;
            with dyerecord do
              begin
                printscreen('Lambdastart (nm)      = ',start,10,10);
                printscreen('Lambdastop (nm)      = ',stop,10,12);
                printscreen('Svephastighet (nm/s) = ',speed,10,14);
              end;
            printscreen('Om ok, tryck <RETURN>, annars <Esc>!',sentinel,30,25);
            TransRecDyeToScan(dyerecord,scanrecord);
          end;
        end;
      end;
    end;
  end;
end;
```



```

    CheckDye(comport);
    SendScan(comport,scanrecord);
end;

2:begin    (* Gå till viss våglängd *)
    MenuSingle(dyerecord);
    ClrScr;
    with dyerecord do
    begin
        printscreen('CurrentLambda (nm) = ',current,10,10);
        printscreen('Lambdastop (nm) = ',stop,10,12);
        printscreen('Svephastighet (nm/s) = ',speed,10,14);
    end;
    printscreen('Om ok, tryck <RETURN>, annars <Esc>!',sentinel,30,25);
    ReadString(s,1);
    TransRecDyeToScan(dyerecord,scanrecord);
    RoundOff(scanrecord,speedstring,startstring,stopstring);
    (*CheckDye(comport);*)
    dyedummy:=SendString(comport,'G' + stopstring);
end;

3:begin                                     (** K r kalibrering **)
    CalibrationMenu(dyerecord);
    ClrScr;
    channel:=1;                            (* OBS! Skall g  att s tta! *)
    lowmean:=255;                          (* lowmean alltid <= 255 *)
    noofintervals:=10;
    readln;
    interval:=dyerecord.stop-dyerecord.start;
    while (interval > resolution) and (noofintervals >1) do
    begin                                    (* resolution => min.intervall *)
        MakeIntvector(intvector,dyerecord,noofintervals);
        writeln('Tryck <RETURN>!');
        readln;
        if (noofintervals > 1) then
        begin
            GetCurrentValues(dyesetting,comport);
            TransRecDyeToScan(dyerecord,scanrecord);
            currentlambda:=dyesetting.current;
            scanspeed:=dyesetting.scanspeed;
            writeln('Current scanspeed is: ',scanspeed:5:3,' Ok?');
            readln;
            if currentlambda<>dyerecord.start then
            begin
                if currentlambda > dyerecord.start then
                    offset:=negative(* Sveper från l g till h g våglängd *)
                else

```

```
        offset:=nooffset;
GotoLambda(scanrecord,comport,ok,offset);
if ok then
begin
    writeln('Tryck <RETURN> när dyelasern är positionerad!');
    readln;
end
else
    writeln('Något är fel med dyelasern!');
end;
writeln('Starta scan med <RETURN>');
readln;
timeout:=25000;
intervalno:=1;
repeat
with scanrecord do
begin
    start:=intvector[intervalno].start;    (* redundant *)
    stop:=intvector[intervalno].stop;
end;
noofsamples:=0;
lowmean:=255;
SendScan(comport,scanrecord);
while not(ScanReady(comport)) do
begin
    SetBusAddress(0);
    Trig;
    GetValue(value,portA);
    Inc(noofsamples);
    mean:=(mean+value)/2;
    if (mean < lowmean) then
        lowmean:=mean;
end;
for index:= 1 to timeout do
begin
    SetBusAddress(0);
    Trig;
    GetValue(value,portA);
    Inc(noofsamples);
    mean:=(mean+value)/2;
    if (mean < lowmean) then
        lowmean:=mean;
end;
writeln('Scan över intervall ',intervalno,' klart!');
writeln('Minsta medelvärde: ',lowmean:3:1);
writeln('Antal sampel:',noofsamples);
meanvector[intervalno]:=lowmean;
```

```

        Inc(intervalno);
        readln;
    until (intervalno = noofintervals+1);

    minmean:=255;
    mininterval:=0;
    for index:=1 to noofintervals do
    begin
        writeln('Intervall nr. ',index);
        write('Min. medelvärde: ',meanvector[index]:5:1);
        writeln;
        if (meanvector[index] < minmean) then
        begin
            minmean:=meanvector[index];
            mininterval:=index;
        end;
    end;
    writeln('Tryck <RETURN>!');
    readln;
end;
ClrScr;
writeln('Minsta värdet var: ',minmean:5:1);
writeln('Uppmätt i intervall ',mininterval);
dyerecord.start:=intvector[mininterval].start;
dyerecord.stop:=intvector[mininterval].stop;
interval:=dyerecord.stop-dyerecord.start;
end; (* end while interval > resolution do *)
ClrScr;
PrintScreen('Min. medelamplitud var: ',minmean,10,10);
PrintScreen('Uppmätt i intervallet:',sentinel,10,12);
intervalstart:=intvector[mininterval].start;
intervalstop:=intvector[mininterval].stop;
GotoXY(10,14);
writeln(intervalstart:7:3,' - ',intervalstop:7:3);
readln;
end;

4:begin
    GetCurrentValues(dyesetting,comport);
    currentlambda:=dyesetting.current;
    stepsize:=dyesetting.scanspeed/50;
    writeln('Want to singlestep? (Y/N)');
    readln(ans);
    if (ans = 'Y') or (ans = 'y') then
    begin
        writeln('Up or Down? (or Quit) (U/D/Q)');
        writeln('Current scanspeed is: ',stepsize);
    end;
end;

```

```
writeln;
repeat
  writeln('U/D/Q');
  readln(ans);
  if (ans = 'U') or (ans = 'u') then
    SingleStep(currentlambda,stepsize,comport,Up)
  else
    if (ans = 'D') or (ans = 'd') then
      SingleStep(currentlambda,stepsize,comport,Down);
    quit := (ans = 'Q') or (ans = 'q');
  until quit;
end;
Manual(dyerecord); (* Manuell inställning av dye-laser *)
end;

5:begin          (* Visa inkommande värde på kortet *)
  GraphInit;
  BarGraphInit;
  oldval:=0;
  newval:=0;
  SetColor(FillCol);
  OutTextXY(150,25,'Inläst ögonblicksvärde från PC-36');
  repeat
    SetBusAddress(0);
    Trig;
    GetValue(newval,portA);
    DrawBarGraph(oldval,newval,FillCol,BgCol);
  until KeyPressed;
  GraphExit;
end;

6:begin
  meaninit:=true;
  code:=0;
  while (code=0) do
  begin          (* Medelvärdesbilda *)
    ClrScr;
    GotoXY(10,10);
    write('Ange antal punkter: ');
    string6:='';
    ReadString(string6,6);
    Val(string6,vallength,code);
    writeln(vallength,'punkter. ');
    readln;
    if (code=0) then
      begin
        ClrScr;
```

```
ValueInit(valmatrix,vallength);
valarray:=valmatrix[1]; (* kanal 1 *)
zero:=true;
if zero then
begin
  repeat
    SetBusAddress(0);
    Trig;
    GetValue(value,portA);
    Meanvalue(valarray,mean,zero,value);
    GotoXY(10,10);
    write('Mean1: ',mean:5:5);
    GotoXY(50,10);
    write('Current1: ',value);
  until not(zero) or KeyPressed;
end;
repeat
  SetBusAddress(0);
  Trig;
  GetValue(value,portA);
  Meanvalue(valarray,mean,zero,value);
  GotoXY(10,10);
  write('Mean: ',mean:5:5);
  GotoXY(50,10);
  write('Current: ',value);
until KeyPressed;
writeln('<RETURN> för ny mätning, (Q/q) för huvudmeny!');
ReadString(string6,1);
if (string6='Q') or (string6='q') then
  code:=1;
end;
end;
end;

7:exit:=true;      (* Avsluta *)

end;
end;
ClrScr;
end.
```

UNIT Opcom;

INTERFACE

uses crt,
 dosfunc,
 edit,
 graph;

const
 sentinel = 10000;

type
 commandtype = (scan, man, gotox, calib, history, exit);

 dyerecordtype = record
 speed : real;
 start : real;
 current : real;
 stop : real;
 end;

 stringtype = string;

var
 FillCol,BgCol : word;
 Gd,Gm,Width : word;
 Xoffset,Yoffset : word;
 oldval,newval : word;

procedure BarGraphInit;

function Blanks(antal : integer):string;

procedure CalibrationMenu(var dyerecord : dyerecordtype);

procedure DrawBarGraph(var oldval : word; newval : word;
 FillCol,BgCol : word);

procedure GraphExit;

procedure GraphInit;

procedure Manual;

procedure Menu(var dyerecord : dyerecordtype);

UNIT DyeCom;

INTERFACE

var

dyedummy : boolean;
ErrCode : word;

type

BaudRateType = 110..19200;

Calibtype = (absorb,hcl);

ComPorttype = (noport,com1,com2,com3);

DataBitsType = 5..8;

DirectionType = (Up,Down);

DyeSettingType = record
 startofscan : real;
 endofscan : real;
 scanspeed : real;
 noofscans : byte;
 current : real;
end;

DyeStringType = string[20];

offsettype = (positive,nooffset,negative);

ParityType = (none, odd, even);

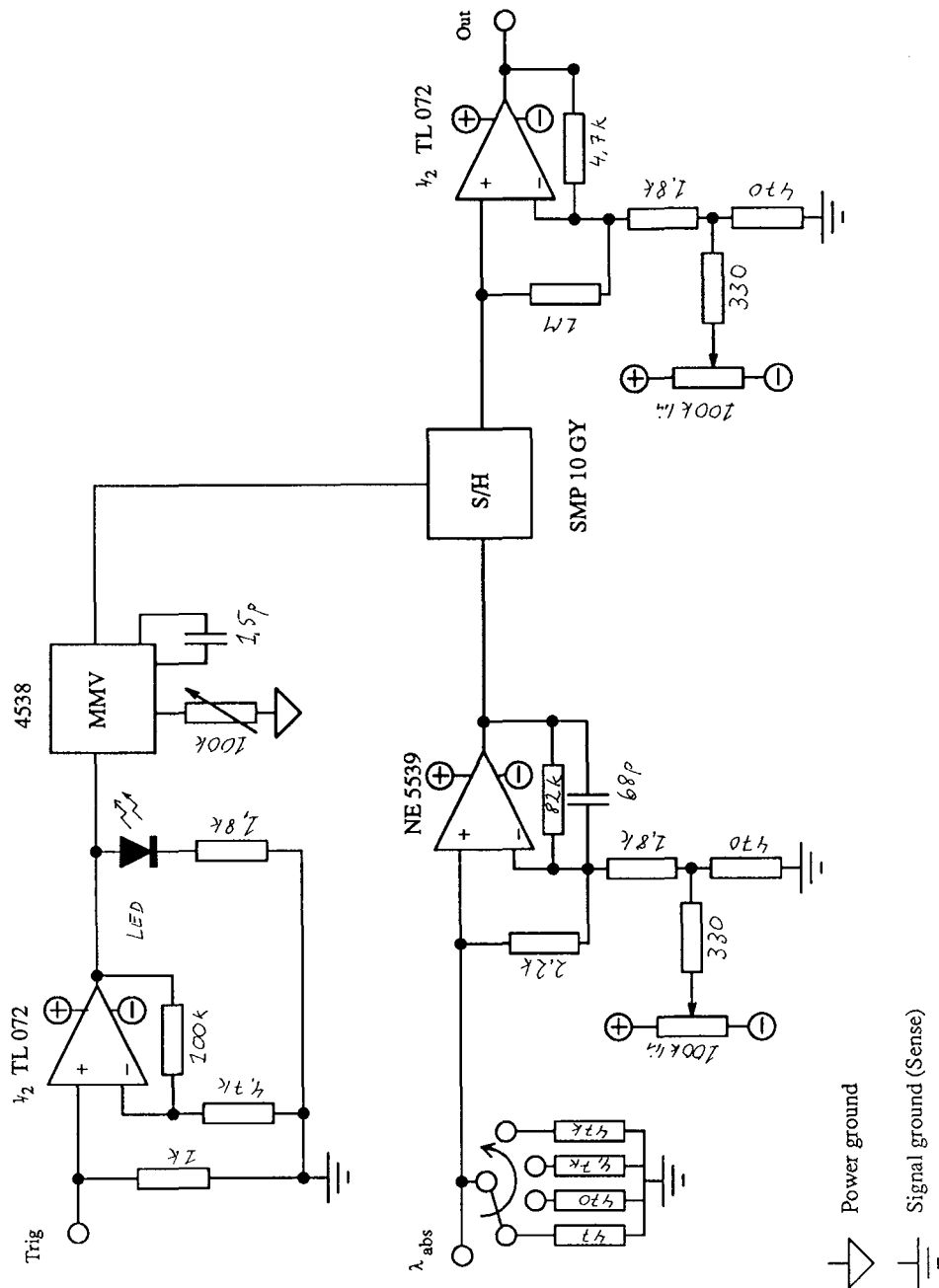
scanrecordtype = record
 scanspeed : real;
 start : real;
 current : real;
 stop : real;
 calkind : Calibtype;
end;

StopBitsType = 1..2;

Stringtype = array[1..30] of char;

B Schema

Modifierade versioner av korten är under utveckling. Dessa scheman kommer att omarbetas och uppdateras, varför den intresserade läsaren ombedes kontakta LIDAR-gruppen, Avdelningen för Atomfysik, LTH för information om aktuellt systemkonfiguration.



Figur 16: Samplande ingångskort för fotodiod-signalen