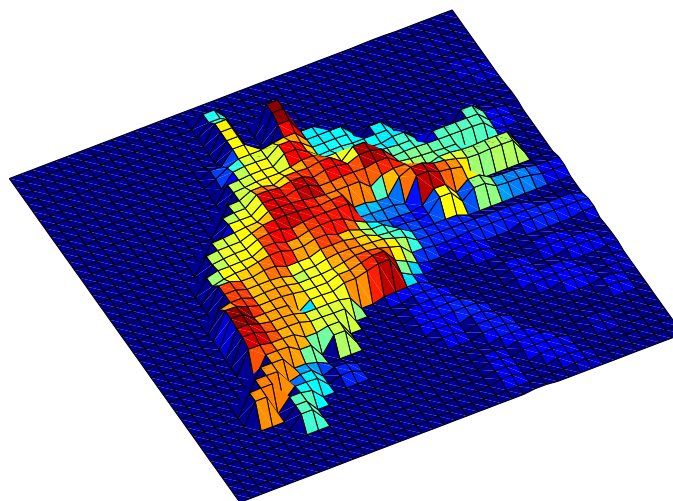


# Äventyr i tre dimensioner

Optikuppgift 2  
EXPERIMENTELL FYSIK

<http://www.dd.chalmers.se/~f96hajo/scan3d>



Håkan T. Johansson

Grupp 187

David Fendrich

11 februari 2000

## Sammanfattning

Vi har byggt en avståndsmätare av en 3 mW laser och en PSD<sup>1</sup>. Avståndsmätaren hade specifikationen att den skulle kunna mäta med 0.1 mm noggrannhet från ett avstånd på 50 cm och över ett intervall på 1 cm. Vi lyckades uppfylla dessa specifikationer med god marginal. Som extrauppgift byggde vi en 3D-scanner med hjälp av vår avståndsmätare, en vippande spegel och en roterande basplatta.

## Abstract

We have built a distance-meter, using a 3 mW laser and a PSD. The distance-meter was specified to be able to measure with a resolution of 0.1 mm over a distance of 50 cm and through an interval of 1 cm. We were able to meet these specifications with some marginal. As an extra assignment we chose to build a 3D-scanner, using our distance-gizmo, a tilting mirror and a rotating base.

---

<sup>1</sup>Position Sensitive Detector

## Innehåll

<b>1</b>	<b>Uppgiftsformulering</b>	<b>4</b>
<b>2</b>	<b>Grunduppgift</b>	<b>4</b>
2.1	Experimentuppställning . . . . .	4
2.1.1	Diodlaser . . . . .	5
2.1.2	Position Sensitive Detector . . . . .	5
2.1.3	Lock-in förstärkare . . . . .	5
2.2	Resultat . . . . .	5
<b>3</b>	<b>Extrauppgift - 3D-scanner</b>	<b>7</b>
3.1	Experimentuppställning . . . . .	7
3.2	Extrahera 3D-koordinater . . . . .	8
3.3	Resultat . . . . .	8
3.3.1	Diskussion . . . . .	9
<b>A</b>	<b>Mätdata</b>	<b>11</b>
<b>B</b>	<b>Datamining</b>	<b>11</b>
B.1	Bestämning av $\alpha$ . . . . .	12
B.2	Bestämning av $\beta$ . . . . .	12
B.3	Filtrera bort skräppunkter . . . . .	12
B.4	3D-punkter . . . . .	13

# 1 Uppgiftsformulering

*Grunduppgift:* Tillverka en avståndsmätare som bygger på trianguleringsmetoden. Vi ska på ett avstånd av 50 cm kunna mäta med en precision på 0.1 mm över ett 1 cm långt intervall. Datainsamlingen ska ske med hjälp av en PC och ett LabView-program.

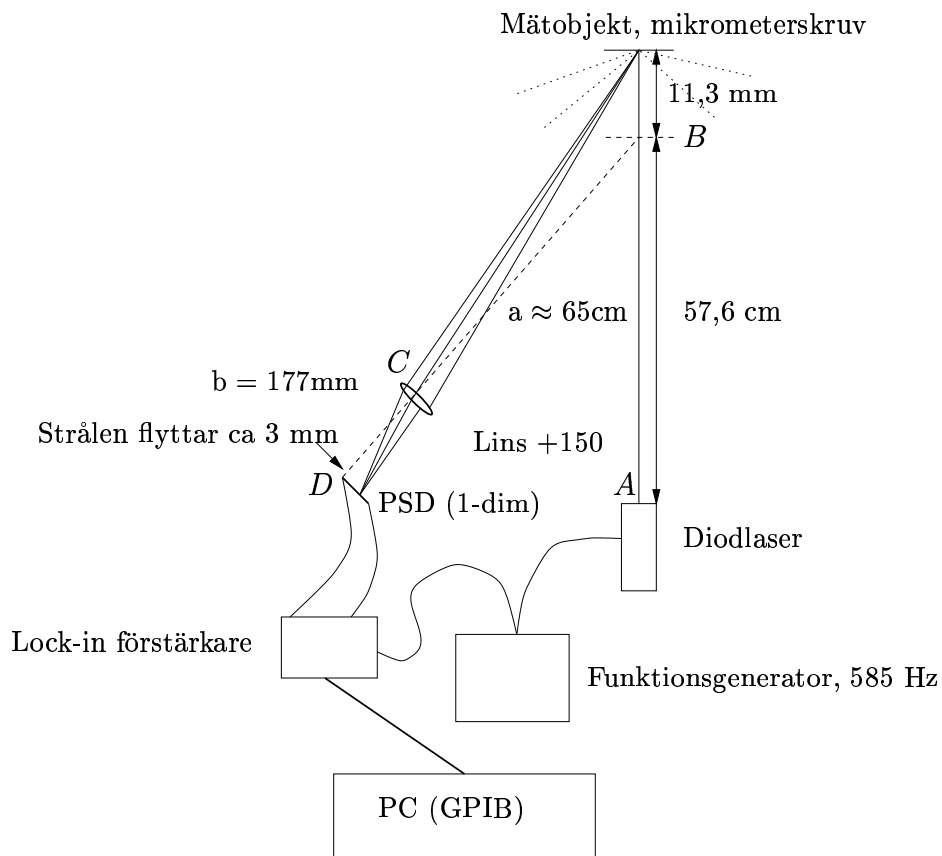
*Extrauppgift:* Hitta på en tillämpning för avståndsmätaren.

## 2 Grunduppgift

Vi mäter ett föremåls relativa förflyttning (inom ett 1 cm intervall) med trianguleringsmetoden. Genom att från en punkt/riktning  $A$  belysa föremålet och samtidigt bestämma riktningen till ljuspunkten  $B$  på objektet från en känd punkt  $C$  kan läget för  $B$  bestämmas. Se figur 1.

### 2.1 Experimentuppställning

För att få en koncentrerad ljusstråle används en 3 mW diodlaser som fokuseras ungefär vid  $B$  (som ju flyttas lite). Vi märker målobjektet med vitt papper så att laserljuset sprids i alla riktningar, bland annat mot  $C$ . Genom att med en PSD mäta var  $D$  är kan vinkeln till  $B$  bestämmas.



Figur 1: Experimentuppställning.

### 2.1.1 Diodlaser

Vi använder en Beta TX 106012S diodlaser. Lasern moduleras med signal från en funktionsgenerator. Funktionsgeneratorns frekvens väljs skiljd från nätspänningens och dess övertoner.

### 2.1.2 Position Sensitive Detector

Mätljuset sprids från  $B$  över en halvsfär. Med en uppskattad linsdiameter 3 cm och ett avstånd  $BC = 50$  cm kommer ca  $\frac{1}{2000}$  av lasereffekten på 3 mW att träffa PSD:n. PSD:n kan då ge som mest 400 nA total mätsignal. Detta är ett maximum, räknat utan förluster.

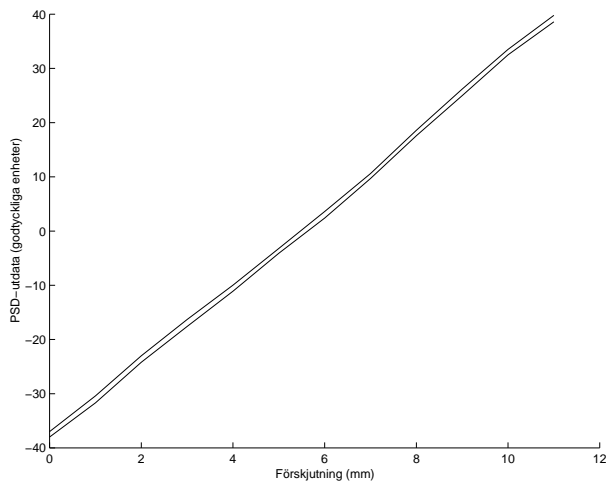
### 2.1.3 Lock-in förstärkare

Lock-in förstärkaren SR510 används för att mäta de delar av signalerna från PSD:n som härrör från vårt laserljus. Referenssignalen tas naturligtvis från frekvensgeneratorn. För att ytterligare reducera bruset skärmar vi strålgången lins→PSD med en svart papperstub.

## 2.2 Resultat

För att slippa räkna på PSD tar vi upp en mätserie med dels värden från PSD:n och dels värden på förskjutningen. Genom att använda denna serie som referens kan vi sedan lätt med interpolation förknippa nya PSD-värden till förskjutningar.

I figur 2 syns hur utdata från PSD:n varierar vid mätningar. För att minimera felutslagen vid senare testkörningar sätter vi en tidskonstant 3 s på lock-in förstärkaren.



**Figur 2:** Fladder i utdata

Data från två testkörningar finns i tabell 1 och 2. Mellan testkörning 1 och 2 har referenskurvan finslipats. Vi ser att med maxfelet 0.01 mm uppfyller vi med marginal kravet att på ett avstånd av 50 cm kunna mäta med en precision på 0.1 mm över ett 1 cm långt intervall.

Mikrometern IRL <sup>2</sup> (mm)	Datorn sade	Fel
10,27	10,28	0.01
9,40	9,38	0.02
8,15	8,14	0.01
7,22	7,22	0.00
6,19	6,19	0.00
5,11	5,12	0.01
4,79	4,79	0.00
4,07	4,08	0.01
3,11	3,11	0.00
2,07	2,06	0.01
1,20	1,20	0.00
0,13	0,15	0.02

**Tabell 1:** Första testkörningen

IRL (mm)	Virtuellt	Fel
9,04	9,03	0.01
10,11	10,10	0.01
10,66	10,65	0.01
11,11	11,11	0.00
6,63	6,63	0.00
6,28	6,28	0.00
5,56	5,56	0.00
5,11	5,12	0.01
$\pi$	3,14	0.00
1,30	1,31	0.01
0,77	0,76	0.01
0,35	0,35	0.00

**Tabell 2:** Andra testkörningen

---

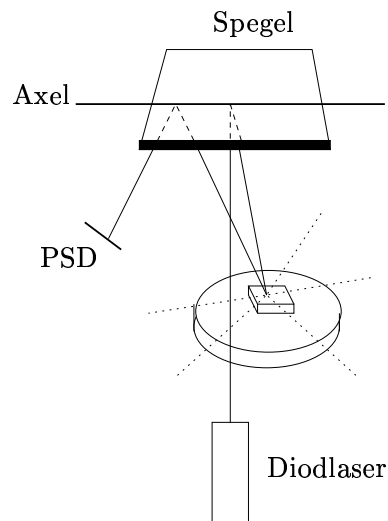
<sup>2</sup>In Real Life.

### 3 Extrauppgift - 3D-scanner

Som extrauppgift har vi bytt noggrannhet mot mätområde och digitaliserat konturer av föremål genom att låta dem rotera i avståndsmätarens stråle. En spegel får strålen att samtidigt svepa över föremålet.

#### 3.1 Experimentuppställning

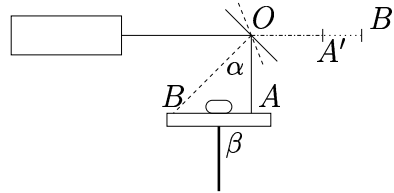
Uppställningen är samma som i grunduppgiften, med  $C$  i figur 1 utbytt mot anordningen i figur 3 och 4. Avstånden till lins och PSD har förändrats för att tillåta mätningar över ett större område. Figur 4 visar hur vi vikt strålgångsplanet i grunduppgiften så att vi kan mäta avstånd mellan  $O$  och föremål.



Figur 3: Experimentuppställning, extrauppgift.

### 3.2 Extrahera 3D-koordinater

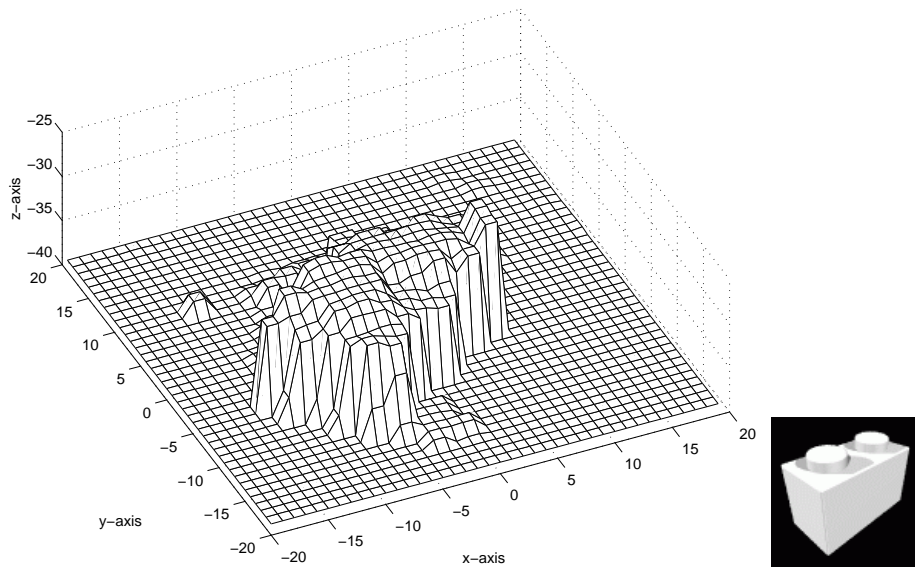
Genom att koppla rotationen av föremålet till spegelvridningen (nedväxlad rotation) får vi en förutsägbar koppling mellan rotationsvinkeln  $\beta$  och spegelns läge  $\alpha$  (som kan relateras till mätstrålen). Genom att koppla de båda rotationerna till hjul med hål i som placeras mellan en diod och en fotodiod kan vi också binda mätdata till  $\alpha$  och  $\beta$ . Fotocellerna avläses med ett oscilloskop, som vi (i likhet med lock-in förstärkaren) kopplat via GPIB till PC:n. Vi skrev ett litet program i C<sup>3</sup>, som plockade in information från alla våra GPIB-källor och dumpade allt till en fil. I appendix A finns en utförlig beskrivning av mätdata och hur vi extraherat våra 3D-punkter ur dessa (appendix B).



Figur 4: Experimentuppställning, extrauppgift.

### 3.3 Resultat

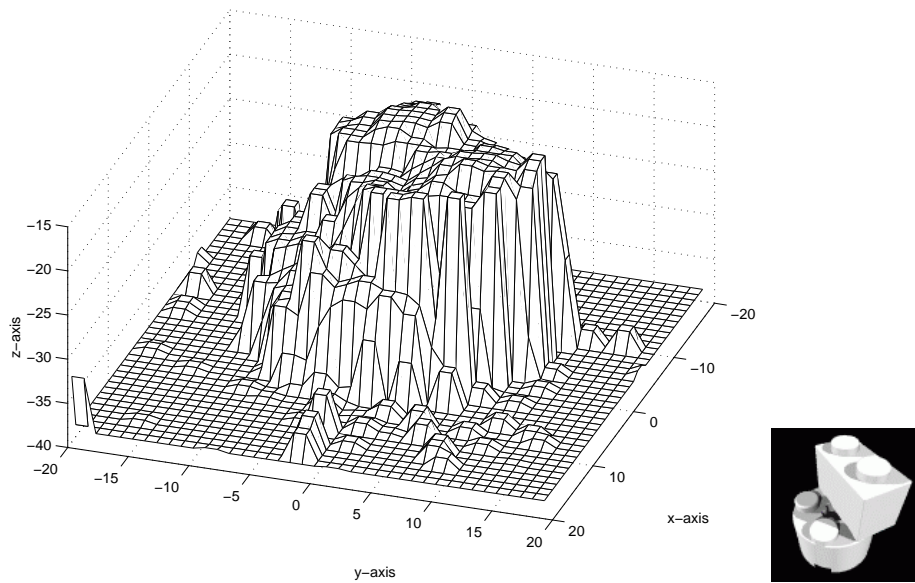
Figurerna 5-8 visar data efter behandling. Interaktiva modeller finns på <http://www.dd.chalmers.se/~f96hajo/scan3d>



Figur 5: En legobit, 2x1x1. Till höger syns originalet. Endast ett halvt varv har scannats.

<sup>3</sup>Chalmers borde ceremoniellt slänga ut allt som har med Labview att göra



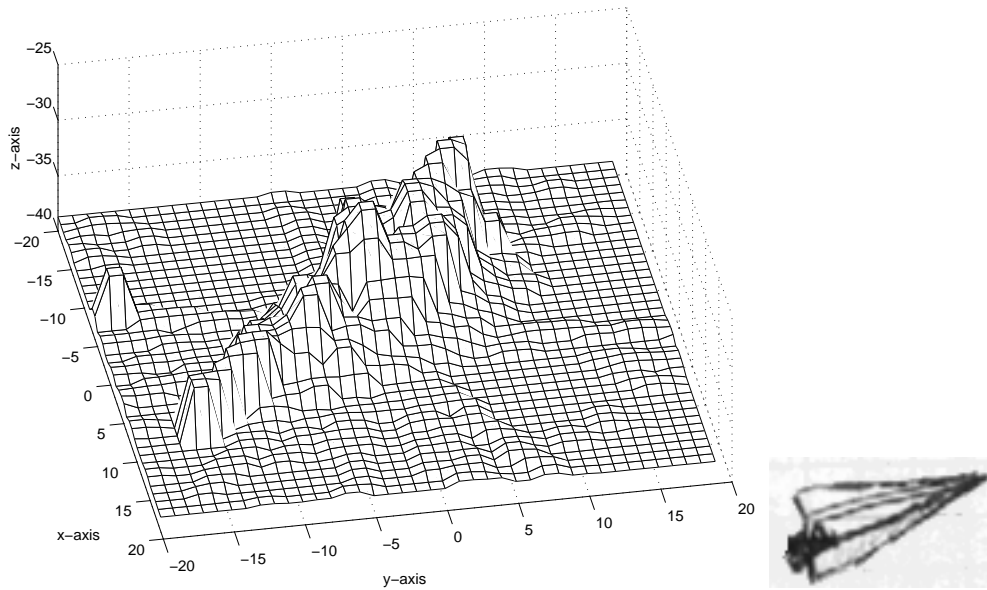


Figur 6: Två legobitar, 2x1x1 ovanpå cylinder 2x2x1. Till höger syns originalet.

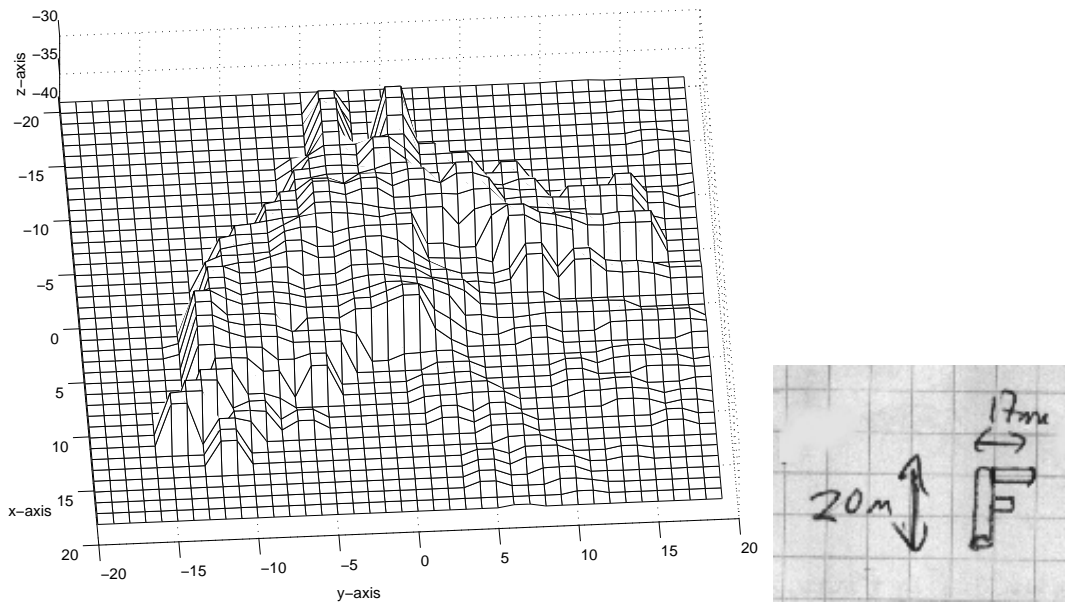
### 3.3.1 Diskussion

Vi har upptäckt flera möjliga förbättringar av experimentutförandet:

- **Snabbhet** Genom att använda till exempel ett A/D-kort istället för GBIP skulle datainsamlingen kunna gå mycket fortare. Vi scannade med en hastighet av ca 1 modell/40 min, dvs 1 varv/40 min. Hastigheten begränsades av att GPIB bara gav oss 2 mätpunkter/s, varför vi fick hålla en låg hastighet. Möjligt är dock att mätadata blir mer onoggranna vid högre hastigheter.
- **Avgränsning** Om mätutrustningen konstrueras så att mätstrålen ofta befinner sig på objektet, förloras mindre tid på onödiga mätningar.
- **Spökreflexer** har sannolikt uppkommit på grund av för blanka och komplicerade mätobjekt. Mätstrålen har reflekterats spekulärt och PSD har fått in två diffusa mätpunkter som har superponerats. Det går inte att avgöra vilken del av superpositionen som är korrekt, så dessa punkter har slopats vid databehandlingen, eftersom de ofta går att hitta tack vare sina extrema värden.



**Figur 7:** Ett flygplan. Till höger syns samma flygplan ur en artists synvinkel (scannat ur labloggen). Onda tungor gör gällande att flygplanet kraschat i en fiskdamm och att utslaget i vänstra hörnet  $(x, y) = (-20, -10)$  är en haj.

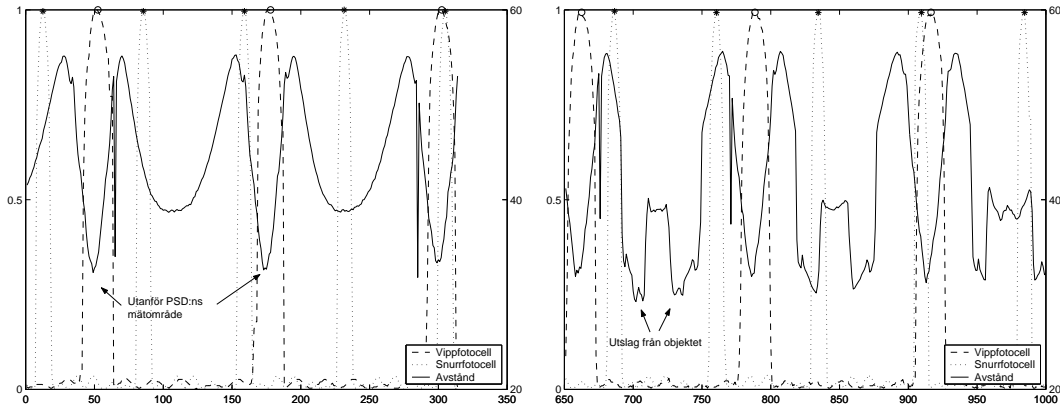


**Figur 8:** Ett F. Till höger syns specifikationen från labloggen. Måtten är i mm.

## A Mätdata

Mätdata finns i filer uppbyggda av rader på formatet:

```
I1 I2 vipffotocell snurffotocell
```



**Figur 9:** Kalibrerings och mätdata. Från scanning av en legobit.

Dessa läses av ett Matlab-program och i figur 9 syns:

- **Vipffotocell** markerar genom pulser då vipparmen, spegeln och vinkeln  $\alpha$  har rört sig en period.
- **Snurffotocell** markerar genom pulser då basplattan (vinkeln  $\beta$ ) roterat  $\frac{1}{56}$  varv.
- **Avståndet** mellan spegeln och mätpunkten. Beräknas ur  $f(\frac{l_2 - l_1}{l_2 + l_1})$ , där  $f(x)$  är en interpolerings-kalibreringsfunktion som erhållits ur mätning med känt avstånd mellan spegel och mätpunkt.

De stora dalarna (markerade 'Utanför PSD:ns mätområde') beror på att vi låtit mätstrålen vandra alltför långt framåt.

## B Dataming

För att bestämma en mätpunkts läge i rymden krävs vinklarna  $\alpha, \beta$  (se figur 4) och avståndet  $d$  mellan spegel och mätpunkt. Läget i rymden ges då av

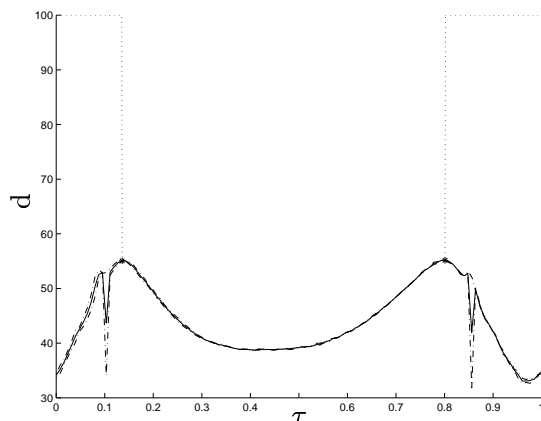
$$\begin{cases} l = d \sin \alpha \\ z = -d \cos \alpha \\ x = (l - l_0) \sin \beta \\ y = (l - l_0) \cos \beta \end{cases}$$

där  $z$  anger mätpunktens höjd och  $l$  dess avstånd från A.  $l_0$  är avståndet från A till basplattans vridningsaxel.  $x$  och  $y$  fås genom rotation med  $\beta$ .

### B.1 Bestämning av $\alpha$

Vippfotocellen ger utslag varje gång spegeln befinner sig i ett visst läge. Genom att beräkna en mätpunkts avstånd till närmast föregående och efterföljande topputslag kan en periodisk tid  $\tau$  beräknas.

Eftersom kalibreringsdata är upptaget som en normal mätning utan objekt, kan vi räkna baklänges och sätta  $z$  till det kända avståndet OA och beräkna  $\alpha$  som  $\arccos \frac{z}{d}$ , samt förknippa detta med aktuellt  $\tau$ .

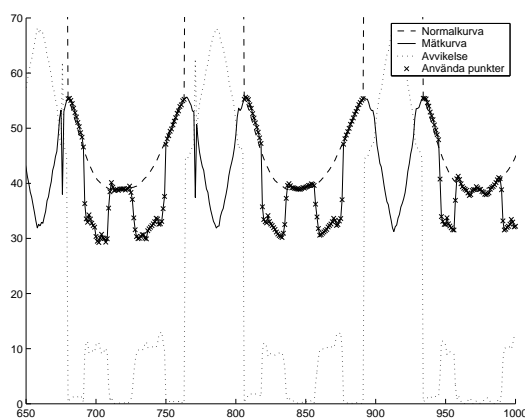


Figur 10: Finna vinkeln  $\alpha$  ur kalibreringsdata.

### B.2 Bestämning av $\beta$

$\beta$  beräknas enkelt genom att räkna upp den med  $\frac{1}{56}360^\circ$  för varje snurrfotocellstopp och linjärt däremellan.

### B.3 Filtrera bort skräppunkter



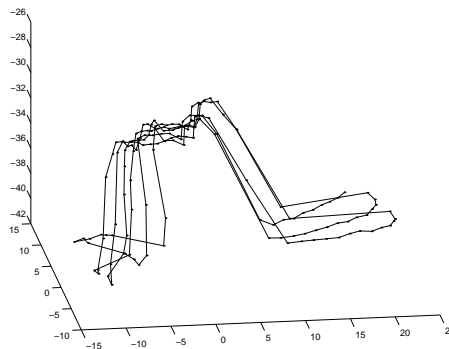
Figur 11: Finna punkter som tillhör objektet.

I figur 11 finns:

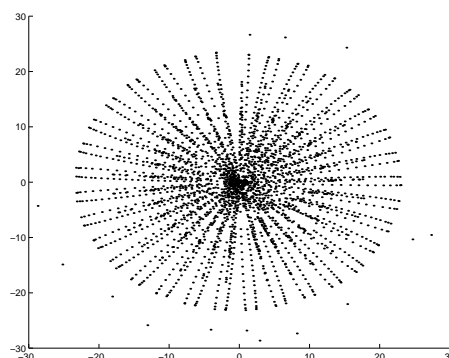
- **Normalkurva** tagen från kalibreringsmätning. Normalavståndet har satts till 100 då strålen var utanför PSD:ns mätområde.
- **Mätkurva** Där mätkurvan avviker från normalkurvan har mätstrålen uppenbart träffat något annat än basplattan.
- **Avvikelse** anger skillnaden mellan normalkurvan och mätkurvan.
- **Använda punkter** blir de vars avvikelse är större än 1 mm, för att undvika att avbilda basplattan, samt mindre än 20 mm (lite varierande för olika mätobjekt), för att sälla bort uppenbara felmätningar (spökpunkter).

## B.4 3D-punkter

De använda punkterna i figur 11 återfinns i figur 12. I figur 13 syns en körning uppifrån.



**Figur 12:** Punkter i rummet. Med lite vilja kan legoknopparna urskiljas. Det sneda till höger beror på att strålen här har passerat objektet och går direkt från ovanpå biten till basplattan.



**Figur 13:** Punktmönster uppifrån vid scanning av ett F. Mätpunktens blomformade rörelse syns tydligt.