

Ontwikkeling van de besturing van een 3-D- ruwheidmeetmachine

Citation for published version (APA):

Piceni, F. L. J. (1990). *Ontwikkeling van de besturing van een 3-D-ruwheidmeetmachine*. (TH Eindhoven. Afd. Werktuigbouwkunde, Vakgroep Produktietechnologie : WPB; Vol. WPA0844). Technische Universiteit Eindhoven.

Document status and date:

Gepubliceerd: 01/01/1990

Document Version:

Uitgevers PDF, ook bekend als Version of Record

Please check the document version of this publication:

- A submitted manuscript is the version of the article upon submission and before peer-review. There can be important differences between the submitted version and the official published version of record. People interested in the research are advised to contact the author for the final version of the publication, or visit the DOI to the publisher's website.
- The final author version and the galley proof are versions of the publication after peer review.
- The final published version features the final layout of the paper including the volume, issue and page numbers.

[Link to publication](#)

General rights

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal.

If the publication is distributed under the terms of Article 25fa of the Dutch Copyright Act, indicated by the "Taverne" license above, please follow below link for the End User Agreement:

www.tue.nl/taverne

Take down policy

If you believe that this document breaches copyright please contact us at:

openaccess@tue.nl

providing details and we will investigate your claim.

BB 449200

ONTWIKKELING VAN DE BESTURING
VAN EEN 3-D-RUWHEIDSMEETMACHINE.

F.L.J. Piceni

WPA-rapport 0844 jan 1990

25 april 1988

Eindstudie-opdracht : F.L.J. Piceni
Afstudeerhoogleraar : Prof.dr.ir. J.E. Rooda
Begeleider : Ing. K.G. Struik
Onderwerp : Meten van oppervlaktestructuur.

Toelichting

Binnen de groep geometrische meettechniek wordt reeds geruime tijd onderzoek verricht naar beschrijvingen en meetprocedures van oppervlaktestructuren. Hiertoe is onder andere een opstelling ontwikkeld waarmee op mechanische en optische wijze de oppervlakteruwheid langs een lijn kan worden bepaald. Het op te zetten onderzoek naar de functionele karakterisatie van een oppervlak eist echter een meerdimensionale generalisatie in zowel meetprocedure als beschrijving.

Opricht

Hiertoe dient software voor sturing van genoemde meetopstelling, data-aquisitie en data-verwerking te worden ontwikkeld.

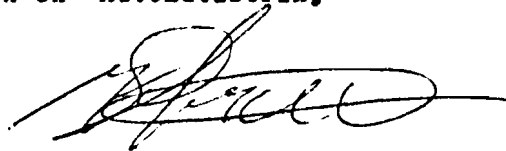
- Stel m.b.v. de proces-interactie-benadering een programmastructuur op voor de besturing van het meetproces.
- Opzet van een programmastructuur die gezien de snelle ontwikkeling in dit gebied flexibel moet zijn ten aanzien van veranderende gebruikers-eisen.
- Realisering van een eenvoudige twee-assige besturing (translatorisch-translatorisch en translatorisch-rotatorisch).
- Ontwikkeling van achtergrond software met betrekking tot:
 - dialoog met gebruiker.
 - uniforme grafische presentatie.

Verslag etc.:

Het memorandum "Afstuderen in de Produktietechniek en -Automatisering" is bij de secretaresse verkrijgbaar.



Prof.dr.ir. J.E. Rooda



Ing. K.G. Struik

SAMENVATTING

In dit verslag wordt uiteengezet hoe een besturingprogramma voor een 3D-ruwheidsmeetmachine is ontwikkeld. Om ruwheden van oppervlakken te meten is er een IBM personal computer, door middel van een Labmaster interfacekaart, gekoppeld aan een, in het laboratorium voor geometrische meettechniek ontworpen, ruwheidsmeetmachine. Deze computer moet de data van het gemeten ruwheidprofiel opslaan, weergeven, verwerken en tevens de drie assen besturen. Naast het maken van een besturingsprogramma is ook de nauwkeurigheid van het uiteindelijke systeem van belang. Voor de modellering van het systeem is gebruik gemaakt van de Proces-Interactie benadering. Het programma is geschreven in de Modula-2. Om de nauwkeurigheid van het systeem te bepalen is het statische en dynamische gedrag van de meetmachine onderzocht.

Uiteindelijk is er een programma ontwikkeld dat een goede basis legt voor de besturing van de ruwheidsmeetmachine.

VOORWOORD

In dit rapport wordt een besturing voor een 3D–ruwheidsmeetmachine ontwikkeld. Het onderzoek werd verricht in het kader van een afstudeeropdracht binnen het laboratorium voor geometrische meettechniek, vakgroep WPA van de faculteit Werktuigbouwkunde van de Technische Universiteit Eindhoven.

Het onderzoek werd begeleid door Ing. K.G. Struik.

Mijn dank gaat uit naar bovengenoemde en al diegene die op een positieve manier hebben bijgedragen aan dit onderzoek.

Fridjof Piceni

INHOUDSOPGAVE

OPDRACHTSOMSCHRIJVING

VOORWOORD	2
SAMENVATTING	3
INHOUDSOPGAVE	4
1. INLEIDING	6
2. ANALYSE VAN HET TE VERRICHTEN ONDERZOEK	8
2.1. De hardware componenten	8
2.2. Meten met het bestaande ruwheidsprogramma	10
2.3. De ontwerpeisen	10
2.4. Aspecten die zijn onderzocht	12
3. MODELLERING VAN HET SYSTEEM	13
3.1. De Proces-Interactie benadering	13
3.2. Het model van het besturingsprogramma	13
4. VAN MODEL TOT BESTURINGSPROGRAMMA	17
4.1. De Kernel	17
4.2. Quasi-parallelle interne processen	17
4.3. Communicatie tussen computer en interfacekaart	18
4.4. De programmeertaal	19
4.5. Het besturingsprogramma	19
5. ANALYSE EN TESTEN VAN HET SYSTEEM	21
5.1. Statisch gedrag	21
5.2. Dynamisch gedrag	22
6. CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN	25
LITERATUUR	26
BIJLAGEN	28
Bijlage 1. DIDOC's	28
Bijlage 2. Hardwarebeperkingen	42
Bijlage 3. Ingrijpen op signalen van externe processen	43
Bijlage 4. Bijzonderheden van het meetproces	45
Bijlage 5. Gebruik van de elementen van de labmasterkaart	46
Bijlage 6. Specifieke 9513-timer informatie	48
Bijlage 7. Beschrijving van computer en labmasterkaart	49
Bijlage 8. Het adresseren van registers	50
Bijlage 9. Jumperinstelling van de labmasterkaart	51

Bijlage 10. De y-richting controller	56
Bijlage 11. Library modules	58
Bijlage 12. Een optimaal sampelinterval voor het digitaliseren van het oppervlakteprofiel	66
Bijlage 13. De overbrenging tussen de motor en de tafel	68
Bijlage 14. Invloed van de onnauwkeurigheid in de wrijvingswielen op de verplaatsing	81
Bijlage 15. Doorschot en nauwkeurigheid	84
Bijlage 16. Bepaling van de verplaatsingnauwkeurigheid	86
Bijlage 17. Digitaliseringsfout	90
Bijlage 18. Temperatuursinvloed op de staalband	91

1. INLEIDING

Ruwheidsonderzoek wordt in veel vakgebieden steeds belangrijker, vooral daar waar de procesbeschrijvingen zich op microschaal afspelen. De uit het ruwheids-onderzoek voortkomende parameters worden gebruikt om te komen tot een betere procesbeschrijving. In de omvormtechnologie is het mechanisme dat bij wrijving optreedt weliswaar uitermate ingewikkeld, echter de mate waarin metallisch contact aanwezig is tussen werkstuk en gereedschapmateriaal is hierbij steeds belangrijk. De ruwheid van werkstuk- en gereedschapoppervlak speelt hier een rol van betekenis. Als voorbeeld uit de tribotechniek kan men denken aan de hydrodynamische smering. Het is duidelijk dat een doelbewust streven naar het vermijden van elk direct contact tussen twee ten opzichte van elkaar bewegende oppervlakken door toepassing van een smeerfilm, de wrijving en slijtage zal verminderen. Het verwezenlijken van dit doel vereist kennis van de ruwheid van beide oppervlakken.

Ruwheidsinformatie wordt verkregen door het verplaatsen van een taster over een oppervlak. Deze optische of mechanische taster meet de hoogte loodrecht op het oppervlak. Tot nu toe was het ruwheidsonderzoek steeds gebaseerd op hoogte-informatie welke was verkregen door een ééndimensionale tasterverplaatsing. Omdat het, zoals uit het bovenstaande blijkt, steeds meer gewenst is ruwheidsinformatie van oppervlakken te verkrijgen is er een onderzoek opgezet naar de functionele karakterisatie van een oppervlak en naar de ontwikkeling van meetprocedures om de benodigde hoogteinformatie van het oppervlak te krijgen.

Het doel van het hier beschreven onderzoek kan als volgt worden samengevat:

- Opstellen van een programmastructuur voor de besturing van het meetproces bij twee dimensionale metingen met behulp van de proces-interactie benadering.
- Bouwen van een eenvoudige twee-assige besturing met de aanwezige hardware.

Allereerst volgt er een beschrijving van de hardware en het bestaande besturingprogramma. Daarna worden de ontwerpeisen geformuleerd waaruit de aspecten die nader onderzoek vereisen, voortvloeien. In hoofdstuk drie wordt de Proces-Interactie benadering en het hiermee ontworpen model van het besturingsprogramma beschreven. In hoofdstuk vier wordt beschreven hoe uit het model het besturingsprogramma is gevormd. Het uiteindelijke besturings-

programma wordt aan het einde van dit hoofdstuk beschreven. In hoofdstuk vijf wordt het besturingsprogramma getest. De conclusies en aanbevelingen staan in hoofdstuk zes.

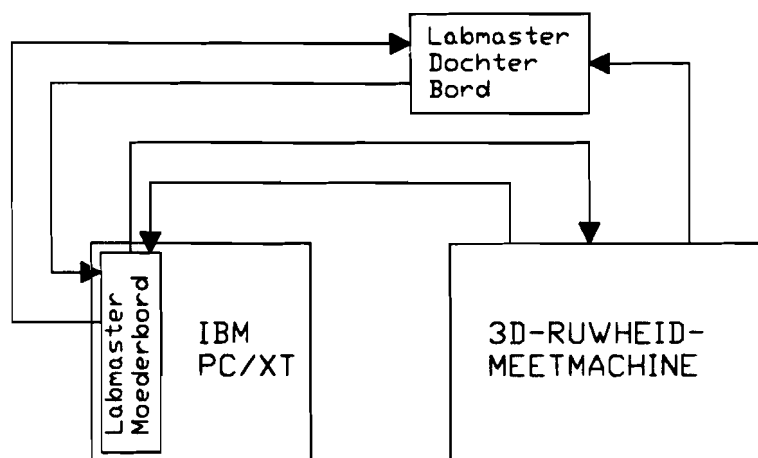
In de tekst wordt herhaaldelijk naar de bijlagen verwezen, waarin zich belangrijke informatie over het besturingsprogramma en de hardware bevindt. Deze bijlagen zijn achter in dit verslag opgenomen. Verwijzingen naar de alfabetisch gerangschikte literatuurlijst zijn van de vorm : auteur(jaar) of [auteur, jaar].

2. ANALYSE VAN HET TE VERRICHTEN ONDERZOEK

In dit hoofdstuk zal eerst de meetopstelling worden verduidelijkt. Vervolgens worden de tekortkomingen van het bestaande ruwheidsprogramma beschreven waaruit de huidige eisen voortvloeien. In de laatste paragraaf worden de problemen beschreven die onderzoek vereisen.

2.1 De hardware componenten

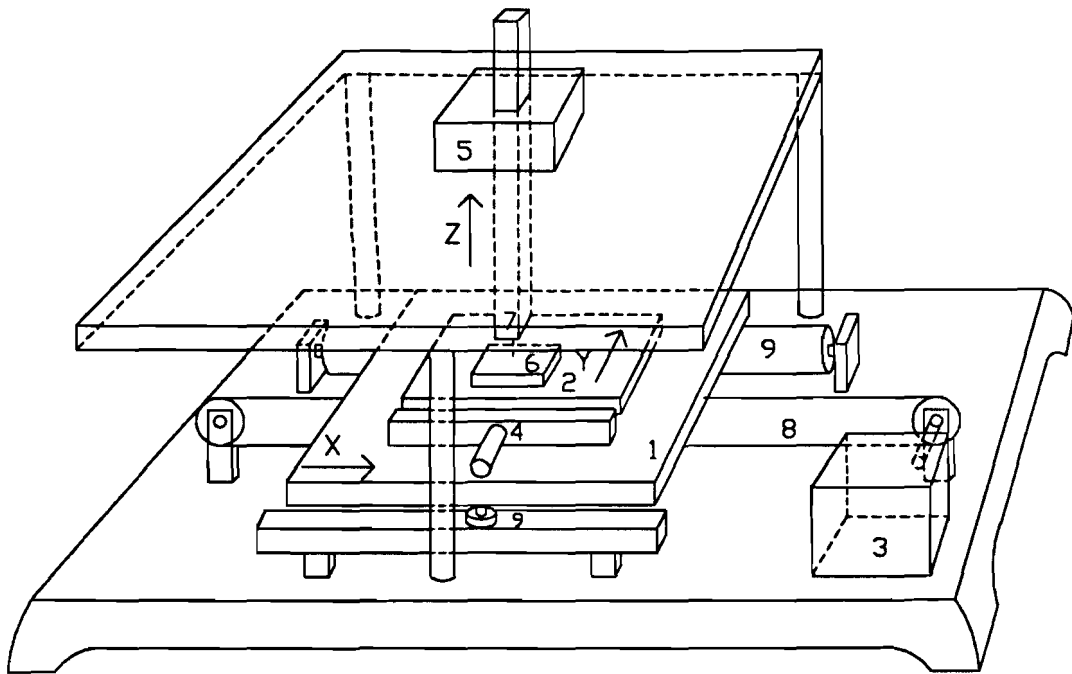
De opstelling waarmee de ruwheid kan worden gemeten bestaat uit een experimentele ruwheidsmeetmachine, in het vervolg aangeduid als 2D-ruwheidsmeetmachine omdat het oppervlak in één richting kan worden bewogen en de meting in de richting loodrecht daarop gebeurt, die via een Labmaster kaart aan een computer is gekoppeld. Om van deze 2D-ruwheidsmeetmachine een 3D-ruwheidsmeetmachine te maken is er een mogelijkheid gemaakt om het oppervlak ook in een tweede dimensie te bewegen. Een schematische weergave van het geheel staat in figuur 1.



Figuur 1: De Hardware

De ruwheid van het oppervlak van een werkstuk kan met behulp van een mechanische en een optische taster worden gemeten. De uitwijking ten opzichte van de referentiegeleiding wordt, bij beide meetmethoden, met behulp van een inductief meetsysteem gemeten. Het ruwheidssignaal wordt weergegeven als een analog signaal. Er zijn nog twee overige signalen die door de ruwheidsmeetmachine worden gegenereerd. Positieverandering van de tafel in de

x-richting wordt door een rotatieopnemer in de vorm van pulsen gesignaleerd. Het verschuiven van de referentiegeleiding in de z-richting wordt kenbaar gemaakt door een logisch signaal. In figuur 2 wordt de ruwheidsmeter weergegeven.



Figuur 2: De ruwheidsmeetmachine

- 1 : X-tafel
- 2 : Y-tafel
- 3 : X-motor en rotatieopnemer
- 4 : Y-motor en rotatieopnemer
- 5 : Z-motor
- 6 : Produkt
- 7 : Taster (mechanisch of optisch)
- 8 : Staalband
- 9 : Luchtlagering en ondersteuning

Voor een nauwkeurigere beschrijving van de computer en interfacekaart wordt naar de bijlage 7 verwezen.

2.2. Meten met het bestaande ruwheidsprogramma

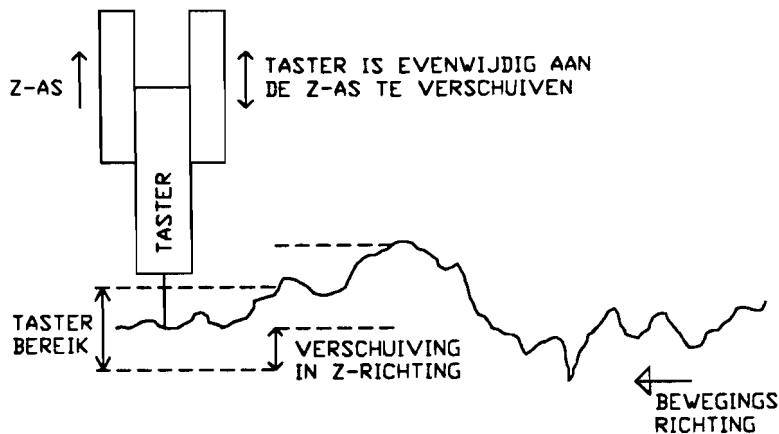
Het bestaande ruwheidsmeetprogramma was slechts geschikt om de uitwijking als functie van één variabele te meten, namelijk ten aanzien van een translatie in één richting. Hiervoor werd de tafel waarop zich het te meten oppervlak bevindt alleen in de x-richting bewogen, middels aandrijfeenheid 3 (zie figuur 2). Het analoge signaal, dat door de taster wordt gegenereerd, wordt op discrete posities middels een Analoog-Digitaal-converter omgezet en in het achtergrondgeheugen van de computer opgeslagen voor verdere verwerking. Het starten van de AD-converter gebeurt direkt door de rotatieopnemer die verbonden is aan de aandrijfeenheid voor de x-richting. (De resolutie van deze rotatieopnemer bedraagt $0.25 \mu\text{m}$.) De processor controleert in een loop of de AD conversie gereed is en slaat, afhankelijk van de gewenste meetstap, deze waarde wel of niet in een array op. Hierdoor wordt de maximale meetsnelheid beperkt en de processor continue gebruikt. Tijdens het meten vindt er geen grafische uitvoer plaats, wat als zeer nadelig wordt ervaren. Door op een efficiënte manier gebruik te maken van de hardware op de Labmaster kaart en slechts te communiceren met de hardware op de kaart indien dit noodzakelijk is, wordt de processor ontlast. De processor kan zich nu bezighouden met het verwerken van de meetgegevens of deze op het scherm zetten, terwijl de meetsnelheid toch hoog is. Om dit te verwezenlijken moet er een nieuw besturingsprogramma worden ontwikkeld.

2.3. De ontwerpeisen

Een algemene omschrijving van het te ontwerpen besturingsprogramma is als volgt:

Alvorens men begint te meten, moeten er bepaalde gegevens, die van belang zijn voor het meten en de verwerking, worden ingevoerd. De meetgegevens en enkele parameters die bij de verwerking van de meetgegevens worden gebruikt, moeten in filevorm worden weggeschreven. Indien de communicatie met de gebruiker is voltooid, kan het meten worden gestart. De meettafel moet in x-richting onder de taster, die meet in de z-richting, worden bewogen over de ingegeven afstand. Tijdens deze beweging van de tafel moet de hoogteinformatie van het oppervlak waar de taster overheen gaat worden gemeten, opgeslagen en grafisch gepresenteerd. Het verkrijgen van deze informatie gebeurt steeds op ingestelde sampelaafstanden. De taster heeft een bepaald meetbereik. Wanneer het

tastersignaal buiten het meetbereik dreigt te komen moet de beweging in x-richting worden onderbroken. Het bereik van de taster wordt, door een geheel in hardware uitgevoerde besturing, in z-richting dusdanig verschoven dat de huidige positie van de taster in het midden van het bereik ligt. Als de taster in z-richting verplaatst, wordt er een puls gegenereerd. Om de exacte verplaatsing van de taster in de z-richting achteraf uit te kunnen rekenen moet het laatste meetpunt worden herhaald. Dit wordt nog eens verduidelijkt in figuur 3.



Figuur 3: Het Tasterbereik

Indien er meerdere meettracks worden uitgevoerd, moet na iedere track de tafel over een bepaalde afstand in de y-richting verplaatsen. Deze meettracks mogen in x-richting onderling niet zijn verschoven.

Algemene eisen ten aanzien van de beweging in de drie richtingen zijn:

- Ten aanzien van de positioneringsnauwkeurigheid: In de x-richting is deze $0.25 \mu\text{m}$. In y-richting $0.1 \mu\text{m}$. In z-richting $0.01 \mu\text{m}$.
- Er moet een groot snelheidsbereik zijn in x-richting. Om te komen tot een concretere omschrijving van het begrip "groot" het volgende: Per meettrack wordt er een maximum tijdsduur aangehouden van 30 sec (indien de meting niet wordt onderbroken omdat de taster buiten zijn bereik komt). Voor bepaling van de vorm van een oppervlak is de maximale meetweg 150 mm. De meetsnelheid is dus 5 mm/sec. Bij snelheden in deze orde van grootte blijken

er componenten van trillingen in de z-richting te zijn in orde van grootte van $0.01 \mu\text{m}$. Deze trillingen worden veroorzaakt door de ruwheid van het oppervlak van de wrijvingwielen tijdens het roteren. Deze onnauwkeurigheid is bij de meting van de vorm niet belangrijk, echter wel bij de meting van gladde oppervlakken. De maximale aanvaardbare orde van grootte van de trillingen bij vormmetingen in de z-richting is $0.1 \mu\text{m}$. De maximale snelheid in de x-richting die deze trillingen veroorzaken moet nog experimenteel worden bepaald. Deze snelheid dient te worden nagestreefd. Meetsnelheden in de orde van grootte van $10 \mu\text{m}/\text{sec}$ veroorzaken geen trillingen. Een meetweg van $200 \mu\text{m}$ is voor de bepaling van de ruwheid van gladde oppervlakken een goede lengte. Met deze snelheid wordt er aan de eis omtrent de maximale meettijd ruimschoots voldaan.

- De verplaatsingssnelheid in y-richting moet zo hoog mogelijk zijn. Om een minimum eis voor de snelheid te bepalen het volgende: De maximale verplaatsing in y-richting tussen twee meettracks is $50 \mu\text{m}$. Er wordt een maximale tijdsduur aangehouden van 1 sec. De snelheid is dus $50 \mu\text{m}/\text{sec}$.

Het uiteindelijke programma voor dit besturingsprobleem moet overzichtelijk zijn en de programmastructuur moet flexibel zijn in verband met veranderende gebruikerseisen.

2.4. Aspecten die zijn onderzocht

Belangrijk bij het besturen van een mechanisch systeem is het statisch en dynamisch gedrag. Enkele aspecten van dit gebied zijn reeds beschreven door Toscani[1984]. Een volledige dynamische analyse van het systeem valt buiten het kader van dit onderzoek. Aspecten als de nauwkeurigheid van het positie-meetsysteem in de x-richting en het maximale koppel dat de motor mag leveren zodat er geen slip optreedt in de aandrijving worden hier onderzocht.

Een efficiënt gebruik van de interfacekaart zorgt voor ontlasting van de processor waardoor een hoge snelheid mogelijk wordt gemaakt. Hiervoor moeten de mogelijkheden van de interfacekaart worden onderzocht.

Aan de basis van een overzichtelijk en flexibel programma staat een goede modelvorming van het systeem. Om het besturingsprobleem op een nette manier te modelleren is gebruik gemaakt van de proces-interactie benadering.

3. MODELLERING VAN HET SYSTEEM

In dit hoofdstuk zal de manier waarop dit besturingsprogramma is gemodelleerd worden omschreven. In de eerste paragraaf wordt de gebruikte benadering nader toegelicht, terwijl in paragraaf twee de toegepaste Proces-Interactie benadering wordt besproken.

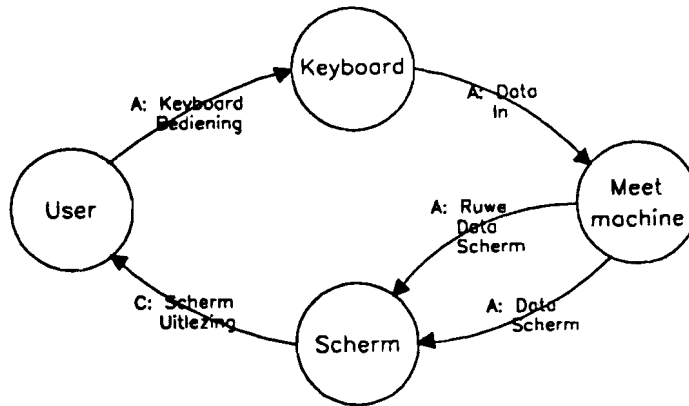
3.1. De Proces-Interactie benadering.

Om snel tot een goede oplossing van een probleem (hier de besturing van het ruwheidsmeetinstrument) te komen, kan een gestructureerde aanpak als een goed uitgangspunt dienen. Bij modellering van dit besturingsprogramma is gebruik gemaakt van de proces-interactie benadering [Overwater, 1987]. Deze proces-interactie benadering gaat ervan uit dat een systeem kan worden beschreven met behulp van processen en interacties tussen deze processen. Een proces wordt gevormd door een reeks acties die herhaald worden uitgevoerd. De uitvoering is sequentieel. Processen kunnen worden onderverdeeld in interne en externe processen. Interne processen maken gebruik van de processor in de computer, externe niet. De relaties, die de samenwerkingsverbanden tussen de processen beschrijven, worden interacties genoemd. De modellering gebeurt door het grafisch weergeven van de processen als bollen en de interacties als pijlen in een Proces Interactie Diagram (PRIND). Bij iedere PRIND hoort een Diagram Documentation (DIDOC), waarin de processen en interacties zijn gedocumenteerd. De DIDOC's zijn geschreven in een pseudo-code. In een PRIND is direct te zien hoe de verschillende processen, zowel hardwarematig als softwarematig, met elkaar samenwerken.

3.2 Het model van het besturingsprogramma

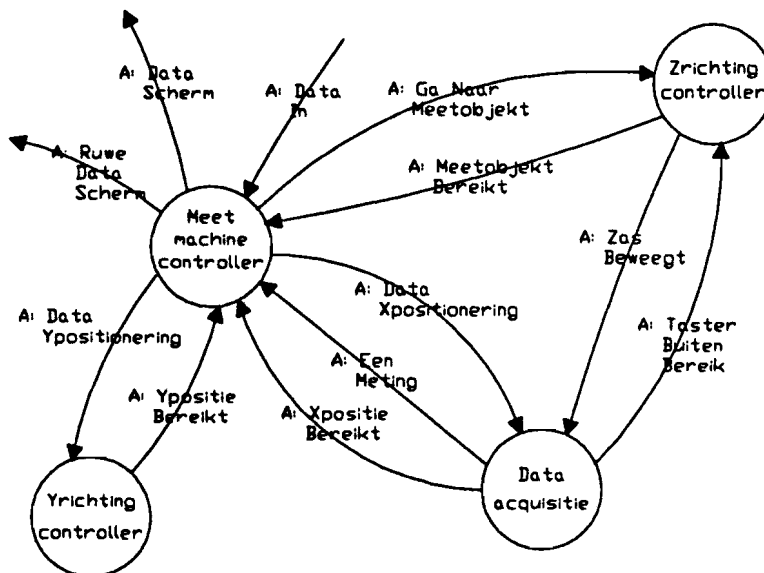
Als uitgangspunt voor de beschrijving van dit besturingsprobleem met behulp van de proces-interactie benadering wordt een gebruiker genomen die de meetmachine bedient. De gebruiker geeft opdrachten aan de meetmachine. De meetmachine voert de metingen uit en geeft de resultaten terug aan de gebruiker. De communicatie tussen de meetmachine en de gebruiker gebeurt via een keyboard en een beeldscherm. Het invoeren van een meetopdracht gebeurt via een keyboard. Na deze interactie met de gebruiker is er een meetopdracht ontstaan in de vorm

van een file. Deze file bevat informatie die voor de meetmachine en voor de gebruiker van belang is. De representatie van de meetdata tijdens het meetproces gebeurt via een beeldscherm. Men kan nu vier verschillende processen onderscheiden die onderling met elkaar in verbinding staan door middel van bepaalde interacties. Het bovenstaande wordt nu in figuur 4 grafisch weergegeven.

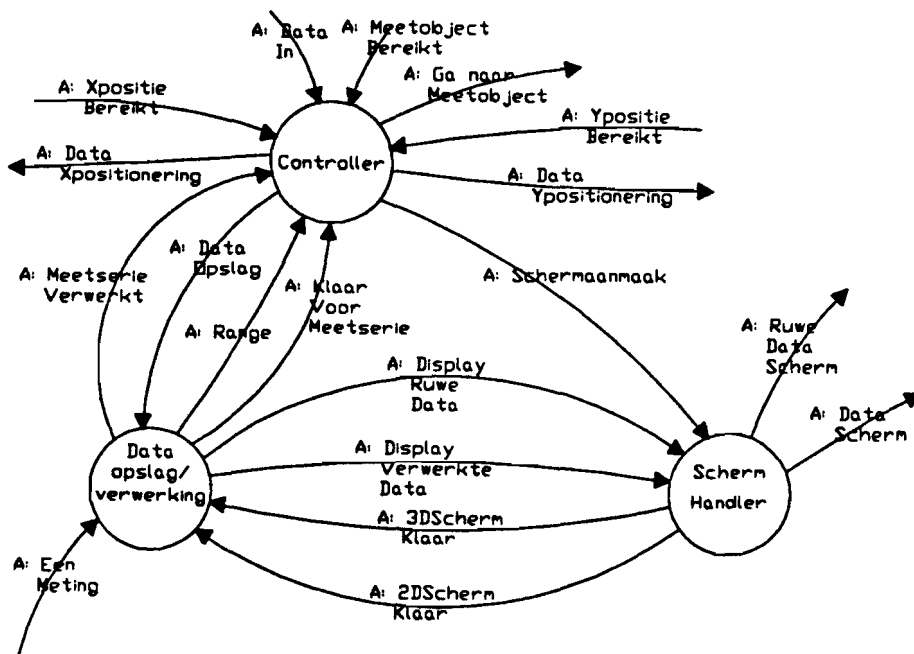


Figuur 4: Gebruiker en meetmachine

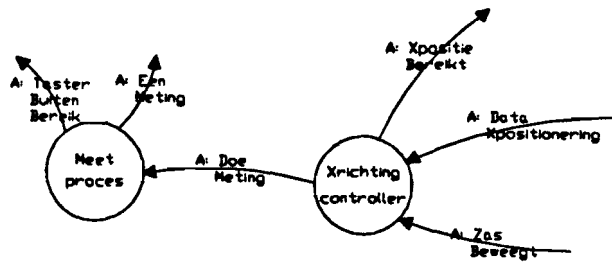
Het proces dat de meetmachine (zie figuur 4) voorstelt kan nu verder worden onderverdeeld in processen met de bijbehorende interacties. De externe processen worden op een dusdanige manier vormgegeven zodat deze de aanwezige hardware op een juiste manier representeren. Ten aanzien van de keuze van de interne processen is de ontwerpvrijheid groter. De grenzen hiervoor worden bepaald door de ontwerpisen. Het resultaat van de verdeling van de meetmachine in processen wordt weergegeven in de figuren 5 t/m 9.



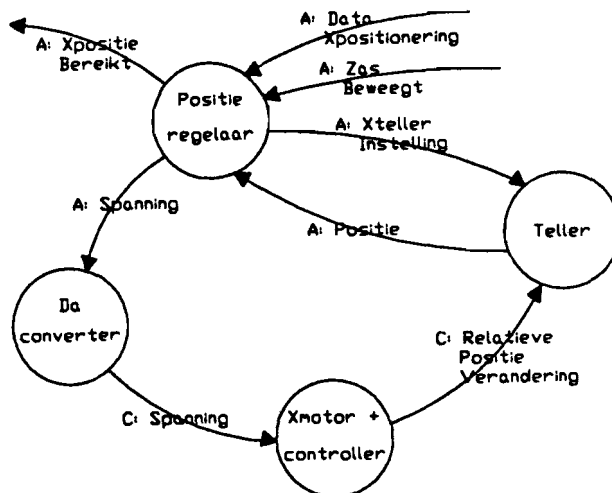
Figuur 5: De Meetmachine



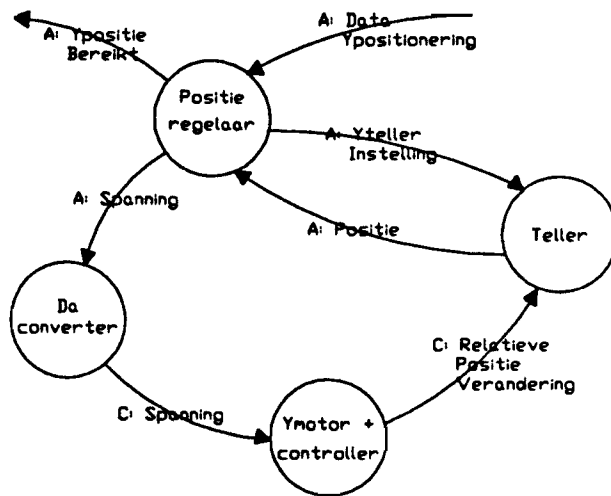
Figuur 6: De Meetsmachine Controller



Figuur 7: De Data Acquisitie



Figuur 8: De X-richtingcontroller



Figuur 9: De Y-richtingcontroller

De DIDOC's van de figuren 4 t/m 10 staan in bijlage 1.

4. VAN MODEL TOT BESTURINGSPROGRAMMA

In dit hoofdstuk wordt een opzet voor het besturingsprogramma gekozen. De eerste paragraaf beschrijft een kernel. In de paragraaf twee worden de mogelijkheden tot toepassing van parallelle interne processen beschreven. In paragraaf drie en vier wordt respectievelijk de manier van communicatie tussen computer en interfacekaart en de keuze van de programmeertaal beschreven. Paragraaf vijf bevat een beschrijving van het besturingsprogramma.

4.1 Een Kernel

Nu het DIDOC klaar is ligt het voor de hand om het gehele programma te bouwen door deze pseudo-code om te zetten in een echte programmeertaal. Er is dan een programma, dat kernel wordt genoemd vereist, dat de verschillende interne processen parallel laat verlopen. Het resultaat van deze aanpak zou moeten leiden tot een besturingsprogramma dat zo efficiënt mogelijk gebruik maakt van de hardware van het computersysteem. Daar waar wordt gesproken over parallelle processen dient men te bedenken dat bij het gebruik van een computer met één processor, zoals in dit probleem, er slechts sprake kan zijn van quasi-parallelisme omdat er maar één proces tegelijkertijd van de processor gebruik kan maken. Het lijkt voor de ontwerper of de processen parallel verlopen. In werkelijkheid volgen ze elkaar snel op. Bij de vakgroep "Productie Techniek en -Automatisering" is een kernel in ontwikkeling. Voor verdere informatie omtrend deze kernel zie Neerijnen(1989). Uit dit onderzoek blijkt dat de kernel foutgevoelig is en dat er geen handleiding aanwezig is.

4.2. Quasi-parallelle interne processen

Door nu de mogelijkheden tot de toepassing van parallelle interne processen verder te onderzoeken komt men tot de volgende meer concrete vraagstelling. Is er tijdens het meten, hetgeen een verplaatsing van de tafel in de x-richting is, of tijdens een verplaatsing in y-richting, de mogelijkheid om data te verwerken en/of op te slaan? Onder de verwerking van data wordt verstaan het bepalen van de ruwheidsparameters, het weergeven van iedere meting afzonderlijk in een twee dimensionale grafiek en het weergeven van het totaal van metingen in een drie dimensionale grafiek, met de voor de grafische presentatie benodigde berekeningen.

Het opslaan van data gebeurt in het achtergrondgeheugen. Binnen het laboratorium voor de meettechniek zijn programma's ontwikkeld waarmee de ruwheidparameters kunnen worden bepaald en waarmee de metingen in drie dimensies grafisch kunnen worden weergegeven. Het bepalen van de gewenste ruwheidparameters vereist een interactie met de gebruiker, wat onmogelijk is indien het oppervlak op het scherm wordt weergegeven en bepaalde bewerkingen vergen zeer veel rekentijd. De rekentijd, bij het gebruik van een 8MHz IBM AT computer met een coprocessor, ligt in de orde van grootte van enkele minuten. De geheugenruimte (er is 640 Kb aanwezig) nodig voor de drie dimensionale weergave van de meetdata is dusdanig groot dat een gedeelte van de harde schijf hiervoor nodig is. In bijlage 2 zullen de verschillende mogelijkheden ten aanzien van parallele verwerking bij data opslag worden toegelicht. De verwerking van de meetgegevens blijkt dus onmogelijk tijdens een beweging van de tafel in x- of y-richting.

Deze besturing is daarom gebouwd zonder gebruik te maken van de kernel. Er is gekozen voor een programma dat wordt onderbroken door externe processen met behulp van interrupts. De besturing bevat geen quasi-parallelle interne processen. Op dit punt wordt er dus afgeweken van de PRIND's. Tussen interne en externe processen is er wel sprake van eenzelfde parallelisme als bij gebruik van een kernel. Door nu de meetsnelheid te maximaliseren wordt de hardware van het computersysteem zo efficiënt mogelijk gebruikt. De meettijd is hierdoor zo kort mogelijk.

4.3. Communicatie tussen computer en interfacekaart

De communicatie tussen de computer en de interfacekaart gebeurt door middel van memory mapped I/O (I/O=Input/Output). Het voordeel ten opzichte van I/O mapped I/O is dat de toonbankregisters met de normale lees- en schrijfinstructies bereikbaar zijn en dat deze registers kunnen worden gebruikt als programma variabelen. De memory adressen van deze toonbankregisters worden gekozen door instelling van hardware op de interfacekaart, waarbij er op dient te worden gelet dat deze registers niet door verschillende randapparaten worden gebruikt.

4.4. De programmeertaal

Binnen de sectie meettechniek wordt veel gewerkt met de programmeertaal Turbo Pascal. Dit is een gestandariseerde programmeertaal met een groot aantal toolboxes. Echter Turbo Pascal biedt geen mogelijkheden om interrupts binnen de taal af te handelen. Daarom is gekozen voor de, weliswaar niet gestandariseerde, programmeertaal Modula-2. Deze taal biedt de gebruiker goede mogelijkheden om zijn programma op een gemoduleerde manier te bouwen. Dit vergroot de overzichtelijkheid van het programma en hierdoor is het makkelijk om dit programma te veranderen in verband met de veranderende gebruikerseisen. Verder zijn er faciliteiten, zoals het interpreteren van een register als een verzameling van bits en het declareren van variabelen op vaste geheugenplaatsen, waardoor op een overzichtelijke manier met de interfacekaart kan worden gecommuniceerd. De in deze opdracht gebruikte Modula-2 komt van Logitech en de versie is 3.00.

4.5. Het besturingsprogramma

Het besturingsprogramma bestaat uit een programma module en drie library modules. De library modules bevatten procedures, variabelen, datatypen en constanten die door de programma module wordt geïmporteerd. De drie library modules, met hun inhoud, zijn:

- LABMMLLOW : Met behulp van de variabelen, die zijn gedeclareerd op vaste adressen die overeenkomen met de toonbankregisters van de Labmaster kaart, kunnen de besturingssignalen en de data met de interfacekaart worden uitgewisseld.
- LABMM1 : Deze module bevat procedures waarmee de componenten van de Labmaster kaart kunnen worden aangestuurd.
- EASYPROC : De procedures uit deze module hebben geen betrekking op de Labmaster kaart. Zij zijn handig in het gebruik binnen dit besturingsprogramma.

Voor een uitgebreide beschrijving van deze library modules zie bijlage 11.

Het programma module dat nu wordt beschreven is degene die volledig operationeel is. In deze module vindt geen grafische uitvoer plaats en wordt geen rekening gehouden met signalen van de z-as. Programma modules waarin deze aspecten wel zijn opgenomen bevinden zich nog in een experimenteel stadium. Per interruptlijn is er een service routine in de vorm van een interne module die monitor wordt genoemd. Deze interne modules bevinden zich in de programma module. Voor verdere bijzonderheden zie bijlage 11. Diverse aspecten verdienen nog aandacht zoals de manier waarop de interactie met de gebruiker plaatsvindt en verwijderen van variabelen waarmee achteraf diverse controles worden uitgevoerd.

5. ANALYSE EN TESTEN VAN HET SYSTEEM

In dit hoofdstuk worden de analyses en de testen van het mechanische gedrag van het verplaatsingssysteem van de x-richting beschreven. Redenen waarom dit voor de twee andere richtingen niet is gedaan zijn:

- Voor beide richtingen geldt dat deze niet verplaatsen tijdens het meten.
- Het verplaatsingssysteem van de z-richting heeft een zeer kleine invloed op de nauwkeurigheid in deze richting. Deze invloed is kleiner dan 10 nm.
- Het verplaatsingssysteem van de y-richting vereist geen nader onderzoek omdat deze is gedocumenteerd in het Oriel Handboek.

5.1. Statisch gedrag

Twee aspecten die de positiebepaling van de tafel beïnvloeden zijn onderzocht. Namelijk de invloed van de onnauwkeurigheid van de wrijvingswielen op de verplaatsing van de tafel en de eventuele verplaatsing van de tafel indien de motor stilstaat.

Op de invloed van de wrijvingswielen zal allereerst worden ingegaan. De positie van de tafel wordt bepaald door een rotatieopnemer die op een as van de overbrenging tussen de motor en de tafel is geplaatst. Een model van de overbrenging van motor tot tafel staat in figuur 28. De fabricagenauwkeurigheid van de wrijvingswielen tussen de rotatieopnemer en de staalband-wiel overbrenging is van invloed op de verplaatsingsnauwkeurigheid van de tafel. De translatie van de tafel is het product van de straal van de wrijvingswielen en rotatie van de wrijvingswielen volgens de formule $x = r\varphi$. Omdat er geen slip optreedt tussen de wrijvingswielen geldt $\varphi_1 r_1 = \varphi_2 r_2$. Per wrijvingswiel is de invloed op de translatie berekent volgens de formule $dL_{\text{wiel}} = \left[\frac{\partial L}{\partial r_{\text{wiel}}} \right] dr_{\text{wiel}}$. De maximale, theoretisch bepaalde, relatieve fout in de verplaatsing, als gevolg van alle wrijvingswielen, blijkt 1.1 % te zijn (Zie bijlage 14 voor de volledige uitwerking). Hierdoor zou bij verplaatsingen groter dan ongeveer 23 μm niet meer worden voldaan aan de nauwkeurigheidseis. Om na te gaan of de fout werkelijk in deze orde van grootte ligt, is de verplaatsing van de tafel gemeten met een lasermeetsysteem vergeleken met de verplaatsing gemeten met de rotatieopnemer. De conclusie van dit experiment is dat de werkelijke onnauwkeurigheid kleiner is. Nadere toelichting bevindt zich in bijlage 15.

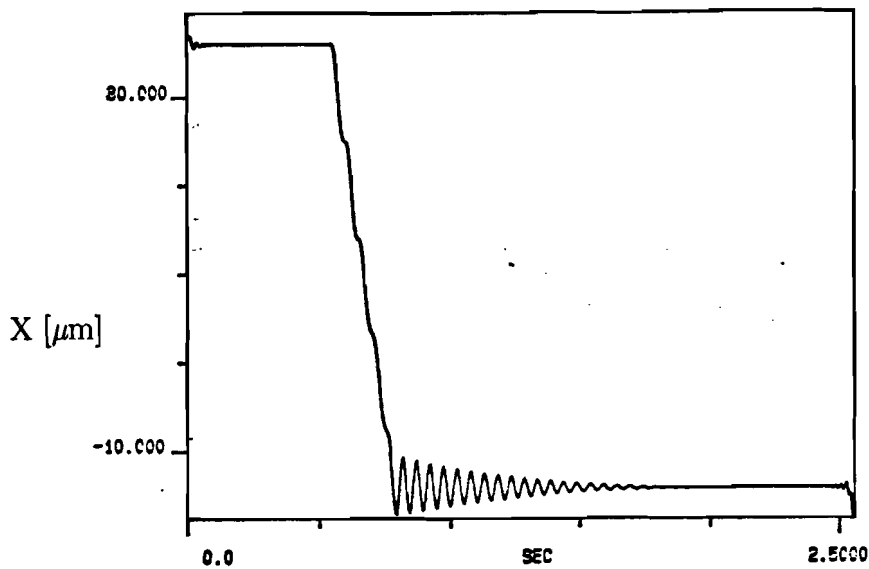
De staalband kan door lengteverandering ook bijdragen aan de onnauwkeurigheid van de positiebepaling van de tafel in de x-richting. Dit effect is onderzocht door bij stilstaande motor de verplaatsing van de tafel te meten. De verplaatsing werd gemeten met een lasermeetsysteem. Met behulp van de rotatieopnemer werd gecontroleerd of de wrijvingswielen dan stil staan. De tafel bleek binnen een tiental seconden tot maximaal $0.8 \mu\text{m}$ te verplaatsen, terwijl de wrijvingswielen stil stonden. De gemeten effecten konden worden verklaard door thermische invloeden op de staalband. Door het plaatsen van een perspex kap over de meetmachine kon deze invloed worden beperkt tot minder dan $0.1 \mu\text{m}$ in 25 minuten. Voor verdere bijzonderheden zie bijlage 18.

5.2. Dynamisch gedrag

De verschillende aspecten van het dynamisch gedrag die hier werden onderzocht zullen nu worden beschreven.

Het vermijden van extreem snelle slijtage van de wrijvingswielen vereist dat er geen slip optreedt in de gehele overbrenging. Daarom is het maximale aanloopkoppel van de motor waarbij geen slip optreedt en de, voor het overbrengen van de radiale krachten, benodigde aandrukkrachten tussen de wrijvingswielen, waarbij geen slip optreedt, berekend. De maximale spanning, volgens Herz, van de wrijvingswielen, bepaalt de maximale normaalkracht en de daaruit voortvloeiende maximale radiale kracht, die tussen twee wrijvingswielen kan worden overgebracht. Uit bijlage 13 blijkt dat het maximale aanloopkoppel van de motor niet hoeft te worden gereduceerd.

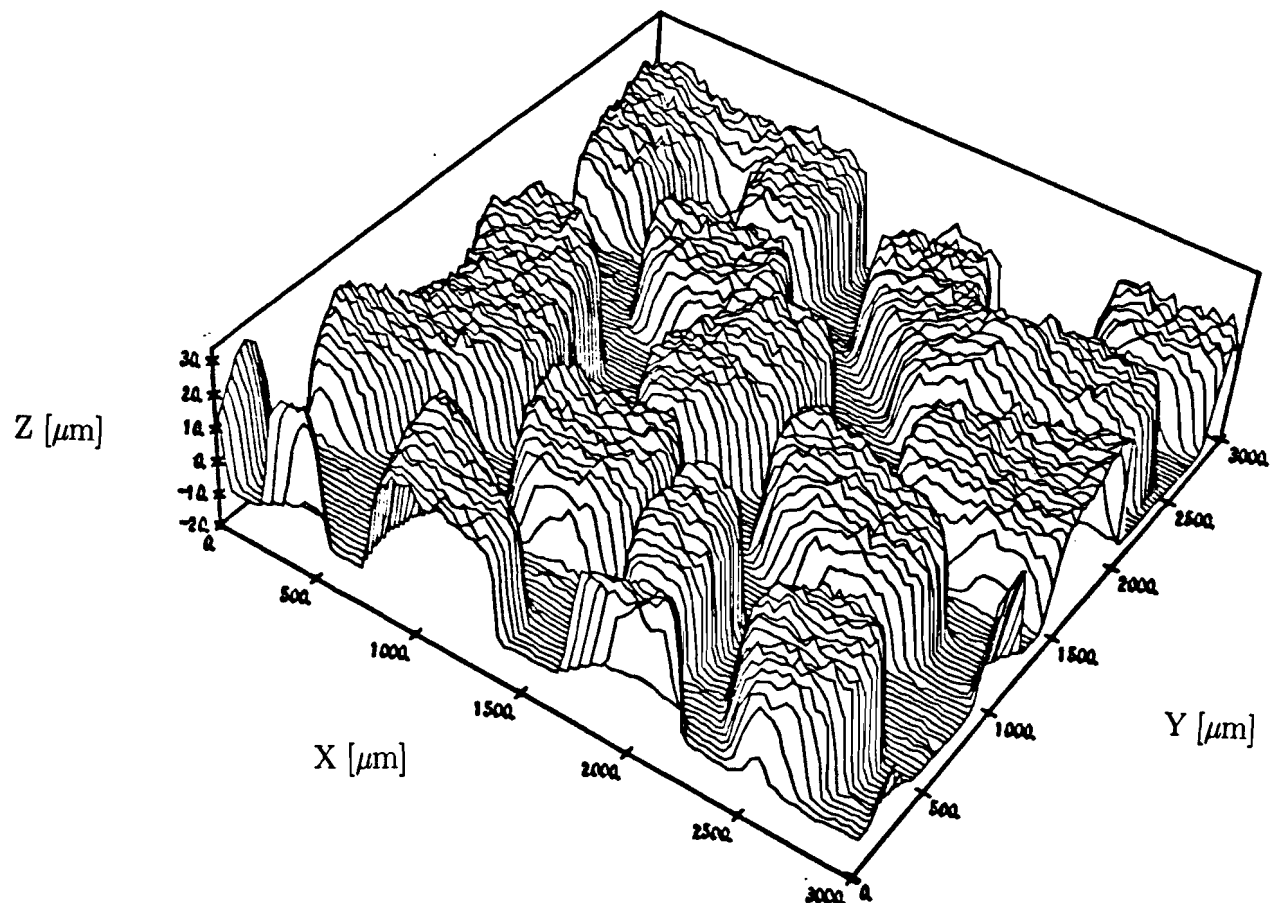
Tijdens de bepaling van de nauwkeurigheid van het positiemeetsysteem is gebleken dat de rotatieopnemer nog pulsen genereert nadat de motor met snelheidsregeling met 0 Volt werd bekrachtigd. De maximale afstand die bij deze rotatie hoorde is $0.5 \mu\text{m}$. Uit bijlage 13 blijkt dat er geen slip optreedt tussen de wrijvingswielen. Het gedrag van het verplaatsingssysteem is onderzocht met behulp van een HP dynamic analyser. Met een verplaatsingsopnemer werd de uitwijking van de tafel in de x-richting gemeten. Op gezette tijden werd de verplaatsingsopnemer door de dynamic analyser uitgelezen. Figuur 10 geeft een indruk van het oscillatorisch gedrag van de tafel.



Figuur 10: Plaats-tijd diagram van de tafel

Uit deze metingen bleek dat na iedere sprong in het voltage, dat aan de motor met snelheidsregeling wordt geleverd, er trillingen ontstaan met een amplitude in de orde van grootte van enkele micrometers. Dit gebeurde reeds bij motorsnelheden in de orde van enkele tientallen micrometers per seconde. Het feit dat tijdens de trilling de verplaatsing van de tafel niet geheel door de rotatieopnemer wordt geregistreerd wijst erop dat de staalband vervormt. Uit bijlage 16 blijkt dat de eigenfrequentie van de staalband vrij goed overeenkomt met de gemeten trillingsfrequentie van de tafel. Het oscillatorisch gedrag van het verplaatsingssysteem komt door een slechte afregeling van de PID regelaar in de snelheidsregeling. Indien het gewenst is dat de motor stopt na een beweging is, door het bovenbeschreven oscillatorisch gedrag, het onmogelijk de positie van de tafel in de x-richting nauwkeurig te bepalen. Dit komt doordat de timer de pulsen in absolute zin optelt. De rotatieopnemer geeft geen richtingsinformatie en de timer heeft geen mogelijkheid om hier hardwarematig op te reageren. Experimenteel is aangetoond dat het oscillatorische gedrag ook verantwoordelijk is voor een extra onnauwkeurigheid in de z-richting. Tijdens de trilling van de tafel in de x-richting ontstaan er trillingen in de z-richting.

Om nu een indruk te geven van de grafische presentatie van het ruwheidssignaal is in figuur 11 opgenomen. Met behulp van een reeds ontwikkeld 3D representatie programma zijn de meetgegevens geplot.



Figuur 11: Een 3D presentatie van een oppervlak

6. CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN

In het voorgaande is de ontwikkeling beschreven van een besturingsprogramma voor een 3D–ruwheidsmeetmachine. Ten aanzien van het hier gepresenteerde werk kan het volgende geconcludeerd worden.

Het bestaande besturingsprogramma voor de 2D–ruwheidsmeter bleek, gezien de gestelde eisen, voor verdere ontwikkeling onbruikbaar.

Met behulp van de Proces Interactie benadering is het nieuwe besturingsprogramma gemodelleerd. Hierdoor kwamen de signalen van de hardware goed tot uiting. Uit dit model is een programma voortgekomen dat de tafel van de meetmachine in twee richtingen beweegt. Met behulp van de meetgegevens is het mogelijk een 3–D plaatje van het oppervlak te maken.

Door het testen van de hardware zijn er enkele nadelen aan het licht gekomen. Enkele aanbevelingen tot verbetering zullen hier worden weergegeven.

De PID regelaar in de snelheidsregelkring van de x–richting moet op een dusdanige manier op het mechanische systeem worden afgeregeld zodat de tafel geen trillingen in de x–richting vertoont.

Het indirecte meetsysteem voor de bepaling van de positie van de tafel in de x–richting kan op de volgende manier worden verbeterd. Het toepassen van een rotatieopnemer voor de x–richting welke tevens richtingsinformatie kan doorgeven en een teller die hier direkt op kan reageren maakt de positiebepaling van de tafel op een nauwkeurigere manier mogelijk. Door toepassing van een direkt meetsysteem zouden problemen met de overbrenging tussen rotatieopnemer en tafel worden vermeden.

De z–as controller genereert alleen een puls indien de z–as begint te bewegen. De hardware zou dusdanig moeten worden aangepast dat het gereed zijn van de z–as verplaatsing ook zou worden weergegeven.

Ten aanzien van de gebruikersvriendelijkheid kan het volgende worden vermeld.

De toepassing van een window presentatie methode zou de communicatie op een gebruikersvriendelijkere manier doen plaatsvinden.

Een gebruiker zou tevens baat hebben bij een testprogramma voor de hardware. Hierdoor zouden mogelijke foutenbronnen kunnen worden opgespoord indien er zich tijdens het meetproces problemen voordoen.

De grafische presentatie van de meetgegevens vereist nog nader onderzoek.

LITERATUUR

The Am9513A/Am9513 System Timing Controller,
Advanced Micro Devices, Sunnyvale 1984,

Christian K.,
"A Guide to Modula-2",
Springer Verlag, New York 1986.

Ford G.A., Wiener R.S., Modula-2,
"A Software Development Approach",
John Wiley & Sons, New York 1985.

Labmaster Installation Manual, User's Guide,
Scientific Solutions, Solon 1985.

Messer P.A., Marshall I., Modula-2,
"Constructive program development",
Blackwell Scientific Publications, Oxford 1986.

Neerijnen v. M.L.J.,
"De ontwikkeling van een real-time kernel in
Modula-2 volgens de Proces-Interactie Benadering",
Rapportnr: WPA 0697,
Technische Universiteit Eindhoven, Eindhoven 1989.

Oriel handleiding,
"Tables & Benches, Micropositioners, Optical Mounts",
Oriel, Stratford 1987.

Overwater R.,
"Processes and Interactions,
An Approach to the Modelling of Industrial Systems",
Proefschrift,
Technische Universiteit Eindhoven, Eindhoven 1987.

Rooda J.E., Joosten S.M.M., Rossingh T.J., Smedinga R.,
"Simulation in S84",
Rapportnr: WPA 0242,
Technische Universiteit Eindhoven, Eindhoven 1984.

Rooda J.E., Boot W.C.,
"Procescomputers, Basisbegrippen",
Academic Service, 's Gravenhage 1984.

Rooda J.E., Boot W.C.,
"Procescomputers 2",
Dictaat 4635,
Technische Universiteit Eindhoven, Eindhoven 1987.

Sargent M., Shoemaker R.L.,
"The IBM Personal Computer from the Inside out",
Addison-Wesley, Amsterdam 1986.

Toscani R.,
"Ontwerpen van een x-aandrijving voor een ruwheidsmeetmachine",
Technische Universiteit Eindhoven, Eindhoven 1984.

Tsukada T., Sasajima K.,
"An optimum sampling interval for digitizing surface asperity profiles",
Tokyo 1982.

Whiddett D.,
"Concurrent Programming for software engineers",
John Wiley & Sons, New York 1987.

Wortmann A.M., Rooda J.E., Boot W.C.,
"Basisbegrippen van de Proces-Interactie Benadering",
Rapportnr: WPA 0658,
Technische Universiteit Eindhoven, Eindhoven 1989.

Bijlage 1. DIDOC's

DIDOC 'MEETSYSTEEM'

*** OBJECT DATA ***

```
xVerplaatsingsBereik      @ cardinal[1]..cardinal[MaxXPositie];
xSnelheidsBereik          @ integer[-MaxXSnelheid]..integer[MaxXSnelheid];
yVerplaatsingsBereik      @ cardinal[1]..cardinal[MaxYPositie];
ySnelheidsBereik          @ integer[-MaxYSnelheid]..integer[MaxYSnelheid];
dataBeginpositie         @ OBJECT
                           XBeginVerplaatsing      @ xVerplaatsingsBereik;
                           XBeginSnelheid          @ xSnelheidsBereik;
                           StartMetten            @ boolean;
                           YBeginVerplaatsing      @ yVerplaatsingsBereik;
                           YBeginSnelheid          @ ySnelheidsBereik;
                           END;

meetOpdracht              @ OBJECT
                           FileNumber              @ cardinal;
                           CutOffLengte           @ cardinal;
                           AantalCutOff           @ cardinal;
                           Meetstap               @ cardinal;
                           VergrotingsFactor      @ real;
                           Meetsnelheid           @ xSnelheidsBereik;
                           ObjectOmschrijving     @ objectNaam;
                           Opdrachtgever         @ opdrachtgeversNaam;
                           MeetSensor             @ [Taster, Optical];
                           Uitvoerder             @ uitvoedersNaam;
                           Beginpositie           @ dataBeginpositie;
                           AantalMeetseries       @ cardinal;
                           Ypositionering         @ yVerplaatsingsBereik;
                           Ysnelheid              @ ySnelheidsBereik;
                           AantalFoutMetingen     @ cardinal;
                           END;
```

***** INTERACTION DATA *****

DataIn @ dis / meetOpdracht;
RuweDataScherm @ dis;
DataScherm @ dis;
KeyboardBediening @ dis / PHYSICAL;
SchermUitlezing @ cont / PHYSICAL;

***** PROCESS DATA *****

User @ PHYSICAL;
Keyboard @ PHYSICAL;
Scherm @ PHYSICAL;
MeetMachine @ EXPANDED;

DIDOC 'MEETMACHINE'

*** OBJECT DATA ***

```
dacInput      @ integer[-2048]..integer[2047];
tellerBereik  @ cardinal[1]..cardinal[65535];
xData         @ OBJECT
               Xsnelheid      @ dacInput;
               Xverplaatsing   @ tellerBereik;
               Meetstap       @ tellerBereik;
               StartMeten     @ boolean;
               END;
yData         @ OBJECT
               Ysnelheid      @ dacInput;
               Yverplaatsing   @ tellerBereik;
               END;
```

*** INTERACTION DATA ***

```
DataIn        @ dis / meetOpdracht;
RuweDataScherM @ dis;
DataScherM    @ dis;
DataXpositionering @ dis / xData
EenMeting     @ dis / integer;
XpositieBereikt @ dis;
DataYpositionering @ dis / yData
YpositieBereikt @ dis;
GaNaarMeetobject @ dis;
MeetobjectBereikt @ dis;
ZasBeweegt    @ dis;
TasterBuitenBereik @ dis;
```


***** PROCESS DATA *****

MeetMachineController	@ EXPANDED;
DataAcquisitie	@ EXPANDED;
YrichtingController	@ EXPANDED;
ZrichtingController	@ PHYSICAL;

DIDOC 'MeetMachineController'

*** OBJECT DATA ***

```
dataArray          @ array [1..aantalGoedeMetingenPerSerie][1..aantalMeetseries] of
                    integer;
(* Geen dubbele Metingen in het dataArray *)
xVerplaatsingsData @ meetOpdracht;
data                @ meetOpdracht;
dataOp              @ dataOpslag;
data3D              @ integer;
schermdata         @ OBJECT
                    XasIndeling      @ array of cardinal;
                    YasPositie       @ array of cardinal;
                    ZasPositie       @ array of cardinal;
                    Benoeming        @ array of char;
                    END;
meetwaarde         @ integer;
1DArray            @ meetserieArray;
2DArray            @ dataArray;
meetserieArray     @ array [aantalMetingenPerSerie] of integer;
(* wel dubbele metingen in het meetserieArray *)
meettijd           @ aConstant;
```

*** INTERACTION DATA ***

```
DataIn             @ dis / meetOpdracht;
DataXpositionering @ dis / xData;
XpositieBereikt    @ dis;
MeetserieVerwerkt @ dis;
EenMeting          @ dis / integer;
DisplayRuweData    @ dis / integer;
DisplayVerwerkteData @ dis / dataArray;
Schermaanmaak      @ dis / schermData
DataScherm         @ dis;
RuweDataScherm     @ dis;
DataYpositionering @ dis / yData;
```

```

YpositieBereikt          @ dis;
GaNaarMeetobject        @ dis;
MeetobjectBereikt       @ dis;
Range                    @ dis / cardinal;
DataOpslag               @ dis / OBJECT
                          AantalMetingenPerSerie @ cardinal;
                          (* I.v.m. MeetserieArray en DataArray *)
                          AantalMeetseries      @ cardinal;
                          (* I.v.m. MeetserieTeller en DataArray *)
                          AantalFoutMetingen   @ cardinal;
                          (* I.v.m. MeetserieArray *)
                          END;

KlaarVoorStartMeetserie @ dis;
3DSchermKlaar           @ dis;
2DSchermKlaar           @ dis;

```

*** PROCESS DATA ***

Controller @

PROCESS

```

PROCEDURE MaakXmeetDataGereed(data): xData;(* M.b.v de CutOffLengte, het *)
(* AantalCutOff,de Meetstap en de Meetsnelheid worden de xData bepaald *)
(* StartMeten = true *)
PROCEDURE MaakYmeetDataGereed(data): yData;(* M.b.v. de Yverplaatsing en *)
(* Ysnelheid worden de yData bepaald *)
PROCEDURE MaakXbeginDataGereed(data): xData;(* M.b.v de Xbegin- *)
(* Verplaatsing en de XbeginSnelheid worden de xData bepaald *)
(* StartMeten = false *)
PROCEDURE MaakYbeginDataGereed(data): yData;(* M.b.v. de Ybegin- *)
(* Verplaatsing en de YbeginSnelheid worden de yData bepaald *)
PROCEDURE Maak2DSchermDataGereed(data): schermdata;(* M.b.v. de Vergro-*)
(* tingsFactor wordt de schermData bepaald *);
PROCEDURE Maak3DSchermDataGereed(data3D): schermdata;(* M.b.v. de range *)
(* van alle metingen wordt de schermData bepaald *)

```

```

PROCEDURE BerekenAantalMetingenPerSerie(data): cardinal>(* M.b.v. de *)
(* CutOffLengte, het AantalCutOff,de Meetstap worden het aantal GEWENSTE *)
(* metingen bepaald *)

BEGIN
TAKE DataIn;
  WITH dataOpslag DO
    aantalMetingenPerSerie:= BerekenAantalMetingenPerSerie(dataIn);
    aantalMeetseries:= dataIn.AantalMeetseries;
    aantalFoutMetingen:=dataIn.AantalFoutMetingen;
  END;
GIVE DataOpslag;
schermdata:=Maak2DSchermDataGereed(dataIn);
dataXpositionering:=MaakXbeginDataGereed(dataIn);
GIVE DataXpositionering;
dataYpositionering:=MaakYbeginDataGereed(dataIn);
GIVE DataYpositionering;
TAKE XpositieBereikt>(* Begin Xpositie Bereikt *)
TAKE YpositieBereikt>(* Begin Ypositie Bereikt *)
GIVE GaNaarMeetobject;
TAKE MeetobjectBereikt; (* taster op oppervlak *)
meetserieTeller:=dataIn.AantalMeetseries;
dataXpositionering:= MaakXmeetDataGereed(dataIn);
dataYpositionering:= MaakYmeetDataGereed(dataIn);
LOOP
  REPEAT
    DEC(meetserieTeller);
    GIVE Schermaanmaak;
    TAKE KlaarVoorStartMeetserie>(* I.v.m. 2DschermAanmaak en *)
      (* bij eerste meetserie om een meetserieArray en een dataArray te maken *)
    GIVE DataXpositionering;
    TAKE XPositieBereikt>(* Eindpositie van een Meetserie *)
    IF meetserieTeller > 0 THEN
      GIVE DataYpositionering;
      TAKE YpositieBereikt;
    END;
  END;

```

```

    TAKE MeetserieVerwerkt>(* Aantal dubbele metingen worden aangepast *)
UNTIL meetserieTeller = 0;
TAKE Range>(* eindverwerking is klaar *)
schermaanmaak:=Maak3DSchermDataGereed(range);
    GIVE Schermaanmaak;
END;
END;

```

DataOpslag/Verwerking @

```
PROCESS
```

```

PROCEDURE ZetMetingInArray (meetwaarde, 1DArray);
PROCEDURE MeetserieVerwerking (1DArray, 2DArray);(* De dubbele metingen *)
(* worden eruit gehaald *)
PROCEDURE BepaalRange(2DArray): cardinal;
PROCEDURE InitieerVoorVolgendeMeetserie;(* MeetserieArray en Dataarray *)
(* leeg maken *)
PROCEDURE MaakArrays(dataOp, 1DArray, 2DArray);(* Er wordt een 1-Dim. *)
(* array en een 2-Dim. array gemaakt m.b.v. de waarden uit DataOpslag *)

```

```
BEGIN
```

```

    TAKE DataOpslag;
    MaakArrays(dataOpslag, meetserieArray, dataArray);
    meetserieTeller:= dataOpslag.AantalMeetseries;
    LOOP
        REPEAT
            DEC(meetserieTeller);
            InitieerVoorVolgendeMeetserie;
            TAKE 2DschermsKlaar;
            GIVE KlaarVoorMeetserie;
        REPEAT

```

```

TAKE EenMeting WITHIN meettijd;
IF eenmeting = timeOut THEN(* timeout treed op bij overrun en *)
    (* bij het einde van de Meetserie *)
    MeetserieVerwerking(meetserieArray, dataArray);(* Het feit dat meetArray
    allemaal nullen bevat wil zeggen dat de meetsnelheid te hoog was *)
    GIVE MeetserieVerwerkt;
ELSE
    ZetMetingInArray(eenMeting, meetserieArray);
    displayRuweData:=eenmeting;
    GIVE DisplayRuweData;
END;
UNTIL eenmeting = timeOut (* Meetserie is verwerkt *)
UNTIL meetserieTeller = 0;
range:=BepaalRange(dataArray);
GIVE Range;
TAKE 3DschermsKlaar;
displayVerwerkteData:=dataArray;
GIVE DisplayVerwerkteData;
END
END

SchermHandler @ PHYSICAL;

```

DIDOC 'DataAcquisitie'

*** OBJECT DATA ***

data @ meetOpdracht;

*** INTERACTION DATA ***

DataXpositionering @ dis / xData;
XpositieBereikt @ dis;
EenMeting @ dis / integer;
ZasBeweegt @ dis;
Overrun @ dis;
TasterBuitenBereik @ dis;
DoeMeting @ dis;

*** PROCESS DATA ***

XrichtingController @ EXPANDED;
Meetproces @ PHYSICAL;

DIDOC 'YrichtingController'

***** OBJECT DATA *****

positieData @ tellerBereik;

***** INTERACTION DATA *****

DataYpositionering	@ dis / yData;
YpositieBereikt	@ dis;
Snelheid	@ dis / dacBereik;
Spanning	@ cont;
RelatievePositieVerandering	@ cont;
Positie	@ dis / tellerBereik;
YtellerInstelling	@ dis / tellerBereik;

***** PROCESS DATA *****

PositieRegelaar @

PROCESS

PROCEDURE InitieerTeller>(* Teller instellingen zoals count up/count down *)
(* count source enz.*)

BEGIN

 InitieerTeller;

LOOP

TAKE DataYpositionering

 ytellerInstelling:=dataYpositionering.Ypositie;

GIVE YtellerInstelling;

 snelheid:=dataYpositionering.YSnelheid;

GIVE Snelheid;

REPEAT

TAKE Positie;

UNTIL positie:=0; (* teller telt van dataYpositionering.Ypositie tot 0 *)

snelheid:= 0;

GIVE Snelheid;

GIVE YpositieBereikt;

END

END

DaConverter @ PHYSICAL;

Ymotor+Controller @ PHYSICAL;

Teller @ PHYSICAL;

DIDOC 'XrichtingController'

*** INTERACTION DATA ***

DataXpositionering	@ dis / xData;		
XpositieBereikt	@ dis;		
Snelheid	@ dis / dacBereik;		
Spanning	@ cont;		
RelatievePositieVerandering	@ cont;		
XtellerInstelling	@ dis /	OBJECT	
		tellerInstelling	@ tellerBereik;
		StartMeten	@ boolean;
		END;	
Positie	@ dis / tellerBereik;		
ZasBeweegt	@ dis;		
DoeMeting	@ dis;		

*** PROCESS DATA ***

PositieRegelaar @

PROCESS

PROCEDURE InitieerTeller;

PROCEDURE ZetTafelTerug(positieData);

(* De tafel wordt teruggezet op de positie waar de taster buiten bereik kwam *)

BEGIN

InitieerTeller;

LOOP

TAKE DataXpositionering;

WITHxtellerInstelling DO

tellerInstelling:= dataXpositionering.Xpositie;

startMeten:= dataXpositionering.StartMeten;

END;

snelheid:=dataXpositionering.XSnelheid;

GIVE XtellerInstelling;

```

GIVE Snelheid;
REPEAT
    TAKE Positie;
    TAKE ZasBeweegt WITHIN 0;
    IF zasBeweegt < > timeOut THEN
        snelheid:=0;
        GIVE Snelheid;
        ZetTafelTerug(positie);
        snelheid:=dataXpositionering.XSnelheid;
        GIVE Snelheid;
    END;
UNTIL positie:=0; (* teller telt van tellerinstelling tot 0 *)
snelheid:= 0;
GIVE Snelheid;
GIVE XpositieBereikt;
END;
END;

```

```

DaConverter           @ PHYSICAL;
Xmotor+Controller    @ PHYSICAL;
Teller                @ PHYSICAL;

```

Bijlage 2. HARDWAREBEPERKINGEN

In deze bijlage zal nader worden ingegaan op de mogelijkheden tot data opslag tijdens het meten of tijdens de verplaatsing in y-richting. Om dit te bepalen moet men eerst de plaatsen, waar het gebruik van de processor voor de besturing van de drie assen binnen het programma noodzakelijk is, kennen. Het op een efficiënte manier gebruik maken van de mogelijkheden van de interfacekaart is hier van grote invloed, namelijk hoe meer de componenten van de interfacekaart kunnen worden gekoppeld zonder tussenkomst van de processor, hoe minder de processor onnodig wordt gebruikt. De toelichting hierop wordt gegeven in bijlage 5.

Het blijkt dat de plaatsen tijdens het meten waar de processor snel moet ingrijpen zijn:

- Indien er een meetwaarde moet worden ingelezen.
- Indien een bepaalde afstand in de x-richting is voltooid.
- Indien de taster in de z-richting wordt bewogen.

De plaats waar de processor moet ingrijpen indien de tafel beweegt in y-richting:

- Indien de y-verplaatsing is voltooid

De noodzaak van een snel ingrijpen wordt beschreven in bijlage 3

Eerst zal de mogelijkheid van data opslag tijdens het meten of tijdens een verplaatsing in de y-richting worden beschreven. Het opslaan van de data gebeurt op een hard disk die in de computer aanwezig is. Enkele relevante gegevens van deze hard disk zijn de disk access time = 114 msec en de data transfer rate = 150 Kb/sec. Het schrijven van een meting naar de hard disc vergt tevens het gebruik van de processor. Men kan dus per seconde minder dan tien metingen wegschrijven. Omdat men sneller wil kunnen meten zou het opslaan van data tijdens het meten, het besturingsprogramma teveel vertragen. Opslaan van data tijdens de verplaatsing in y-richting is mogelijk indien dit volledig is gebeurd voordat de gewenste verplaatsing is voltooid omdat men anders met het zelfde probleem te maken krijgt als bij het opslaan tijdens de verplaatsing in x-richting.

Bijlage 3. INGRIJPEN OP SIGNALLEN VAN EXTERNE PROCESSEN

Snel ingrijpen(door de processor) op signalen van externe processen is van belang voor de nauwkeurigheid en de snelheid van het meetproces. Per signaal zal dit worden beschreven.

- Meetwaarde: Het inlezen van een meetwaarde is absoluut noodzakelijk voordat er een volgende waarde wordt geconverteerd. Indien dit niet gebeurt dan is deze waarde verloren. Het snel inlezen maakt het mogelijk om de tijd tussen twee sampelfstanden te verkleinen. Deze tijd dient overigens nog te worden gebruikt om de waarde op het scherm te zetten.

- Einde meetserie: Hoe sneller er op het einde van een meetserie of bepaalde afstand kan worden ingegrepen des te korter duurt de totale meting.

- Z-verplaatsing: Het optreden van het signaal dat de taster in z-richting wordt verschoven gebeurt op onbekende posities. De inhoud van de timer, waarmee de relatieve positie verandering in de x-richting wordt bepaald, is op dat moment dus onbekend. Het zo snel mogelijk opslaan van deze waarde is daarom noodzakelijk voor de bepaling van de laatste juiste meting.

- Y-verplaatsing: Het snel ingrijpen verkort de totale meettijd.

De twee mogelijkheden waarop kan worden ingegrepen op de signalen van het meetproces zijn:

Door middel van polling.

Door middel van interrupts.

Polling is het periodiek inspecteren van registers. De toepassing van polling is dus alleen mogelijk indien er sprake is van ondergeschikte timing. Een interrupt kan een programma onderbreken en doorgaan met het uitvoeren van een serviceroutine. Iedere interrupt wordt door interruptvector aan een bepaalde interrupt-serviceroutine gekoppeld. De toepassing van interrupts blijkt hier de beste

keuze(Het uitlezen van een teller waarbij er bij een bepaalde waarde dient te worden ingegrepen, bijvoorbeeld via een "repeat until <conditie>", is, bij een snelle verandering van deze waarde, zelfs onmogelijk). De processor wordt nu alleen gebruikt indien het strikt noodzakelijk is. De signalen worden aangesloten op de lijnen van de Intel 8259A Programmable Interrupt Controller. Deze heeft acht interruptlijnen, genummerd van nul tot en met zeven. Iedere lijn heeft een eigen prioriteit. Lijn nul heeft de hoogste prioriteit, lijn zeven de laagste. Het verlenen van verschillende prioriteiten aan de binnenkomende signalen levert de volgende mogelijkheden. Indien er twee signalen met verschillende prioriteit binnenkomen krijgt het signaal met de hoogste prioriteit voorrang. Tevens kan de interrupt routine van een signaal met een hoge prioriteit niet worden onderbroken door een signaal met een lagere prioriteit. Andersom kan dit wel. De redenen waarom een bepaalde prioriteit wordt gekoppeld aan een signaal zal nu worden besproken.

Het signaal dat aangeeft dat er een meetwaarde is geconverteerd krijgt de laagste prioriteit omdat indien tijdens het uitvoeren van deze interruptroutine blijkt dat de tafel moet worden gestopt, dan moeten dit altijd voorrang krijgen. Men moet wel aan het einde van iedere meetserie controlleren of alle metingen zijn ingelezen voordat de metingen naar de harde schijf worden geschreven. Een situatie die zich voor kan doen is dat er een interrupt van de z-as optreedt tegelijk met de interrupt die aangeeft dat er een meetwaarde gereed is, dan moet onderzoek uitwijzen of tijdens het opnemen van de meetwaarde, een a/d conversietijd geleden, de taster nog niet buiten bereik was. De interrupt van de z-as heeft de hoogste prioriteit omdat wanneer deze tegelijk optreedt met de interrupt die aangeeft dat de meetserie is beëindigt de laatste meting nog moet worden gedaan. Indien de laatste meetwaarde is, opgenomen is de z-as interrupt niet meer van belang. Er is geen mogelijkheid om de z-as controller zo in te stellen dat deze geen interrupt veroorzaakt. Een interrupt van de z-as geeft aan dat de taster wordt bewogen, echter het moment waarop de taster is gepositioneerd wordt er door de hardware geen signaal gegenereerd dat als interrupt kan dienen. De hardware dient dusdanig te worden aangepast dat dit wel gebeurt. De juiste oplossing vereist nog nader onderzoek.

Bijlage 4. BIJZONDERHEDEN VAN HET MEETPROCES

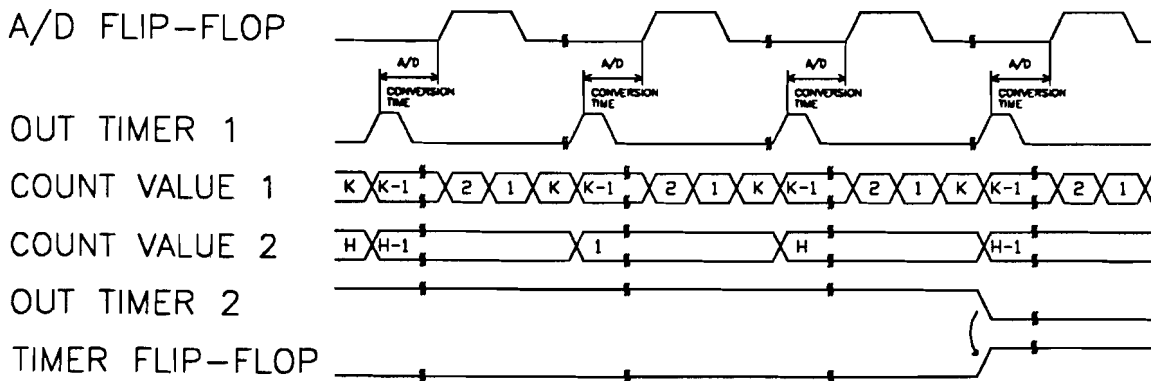
Het opnemen van de hoogteinformatie op discrete posities gebeurt terwijl de tafel in x -richting continue beweegt, hierdoor worden tevens eventuele positioneerproblemen omzeilt. Een voorwaarde hierbij is wel dat het analoge signaal dat de hoogteinformatie representeert tijdens de ad -conversie niet verandert. De analoge spanning moet door middel van een sample en hold schakeling worden vastgehouden. Indien tijdens het meten de taster bijna uit zijn bereik loopt wordt deze verplaatst. De tafel moet hierna in x -richting worden verplaatst. Om eventuele hysteresis van de aandrijving te voorkomen moet de tafel tot voorbij het punt waar deze was gestopt worden terugbewogen alvorens het meten weer kan beginnen.

Bijlage 5. GEBRUIK VAN DE ELEMENTEN VAN DE LABMASTERKAART

Om de motoren voor de X- en Y-richting aan te sturen wordt de D/A converter gebruikt. De Oriël controller voor de Y-richting vereist tevens een +5 Volt signaal dat door de parallelle poort wordt geleverd. Het signaal dat de hoogteinformatie bevat wordt middels een A/D converter omgezet in een binaire waarde. De signalen die door de meetmachine aan de interfacekaart worden aangeboden tijdens het verplaatsen van de respectievelijke richtingen zijn:

- X-richting : Om de positie te bepalen wordt er door een rotatieopnemer om de $0.25 \mu\text{m}$ een puls gegenereerd.
- Y-richting : Om de positie te bepalen wordt er door de Oriël controller om de $0.1 \mu\text{m}$ een puls gegenereerd.
- Z-richting : Indien de taster wordt bewogen dan wordt er een signaal hoog.

Tijdens de verplaatsing in de X-richting moet er om een bepaalde afstand een analoge meetwaarde worden geconverteerd. Hiervoor is timer 1 gebruikt die direct is gekoppeld aan de A/D converter. De totale meetafstand wordt bepaald door het koppelen van een timer 2 die het aantal metingen telt. Dit geheel wordt verduidelijkt in figuur 12.

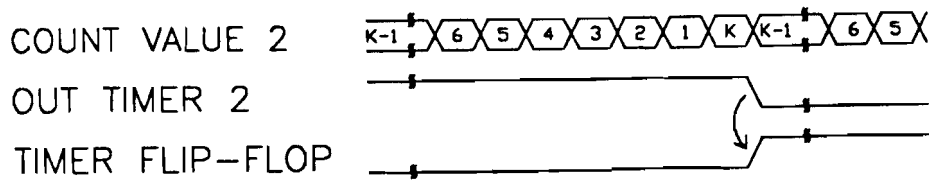


Figuur 12: Timing diagram

Indien de A/D flip-flop hoog wordt dan moet er door de processor worden ingegrepen. De meetwaarde moet worden uitgelezen alvorens er een volgende waarde is geconverteerd. De manier waarop dit gebeurt staat in bijlage 3. De A/D flip-flop wordt weer laag indien de waarde wordt uitgelezen. De timer flip-flop

wordt hoog indien de meetserie is voltooid en de beweging in de x-richting dus moet stoppen.

Tijdens de verplaatsing in de Y-richting worden de pulsen geteld door timer 2. Zie figuur 13.



Figuur 13 : Timing diagram.

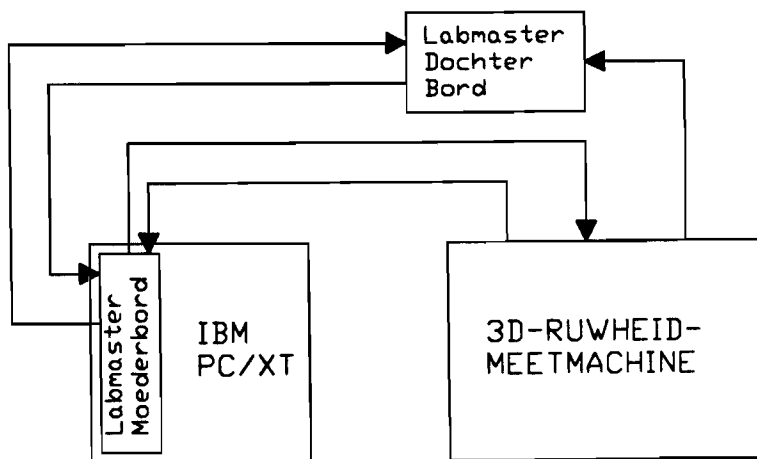
Bijlage 6. SPECIFIEKE 9513-TIMER INFORMATIE

De minimale sample afstand is 0.5 μm . De minimale waarde waarmee de timer moet worden geladen is dus twee. Dit komt doordat de periode voordat de timer bij Terminal Count komt er een intern signaal wordt gegenereerd waardoor de Terminal Count optreedt. Dit staat beschreven in The Am9513A/Am9513 System Timing Controller blz 1-24.

Bijlage 7. BESCHRIJVING VAN COMPUTER EN LABMASTER KAART

De opstelling waarmee de ruwheid kan worden gemeten bestaat uit een experimentele 2D-ruwheidsmeter die via een Labmaster kaart aan een computer is gekoppeld. Deze computer en de interfacekaart zullen nu worden besproken.

Als centrale sturings- en verwerkingsstation is een IBM PC/XT gebruikt. Het computersysteem is gebaseerd op Intel's 5MHz 8088 microprocessor met 8-bits databus en 16-bits registers en operaties. De RAM-geheugencapaciteit is 640Kb. Het achtergrondgeheugen bestaat uit een 5.25 inch floppy disk met een capaciteit van 360Kb en een 20Mb Winchester-drive. De visuele communicatie gebeurt via een kleurenscherm die door een CGA kaart wordt aangestuurd. De Labmaster kaart bestaat uit een moederbord en een dochterbord. De layout van de computer en de Labmaster kaart is in figuur 14 weergegeven.



Figuur 14 : De hardware.

Het labmaster moederbord is aangesloten via een van de vrije slots in de PC. Het dochterbord wordt aan het moederbord gekoppeld via een flatcable waardoor de stuursignalen en de voeding komen.

De belangrijkste componenten op het moederbord zijn twee digitaal-analoog converters, drie parallelle poorten met ieder acht ingangen en vijf timers.

De belangrijkste component op het dochterbord is een analoog-digitaal converter, met zestien analoge ingangen.

Bijlage 8. HET ADRESSEREN VAN REGISTERS

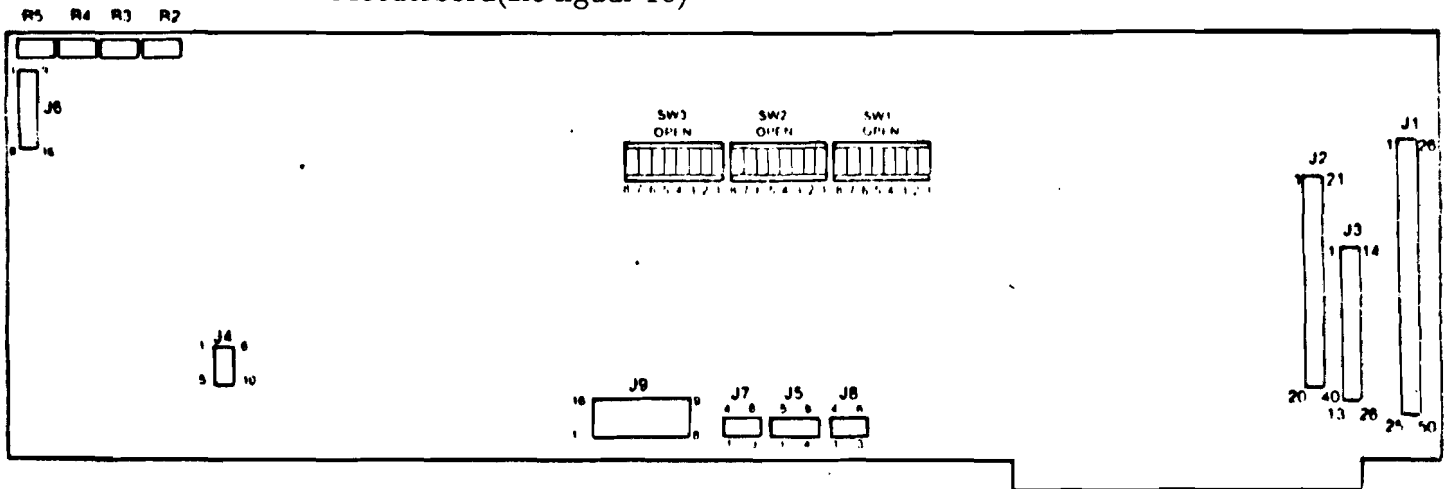
De 8088 microprocessor kan direkt 1 Mb aan geheugenplaatsen adresseren, alhoewel de registers slechts 16 bit groot zijn. Het instruction pointer register, wat steeds de volgende instructie aanwijst die uit het memory moet worden gehaald, zou dus maar $2^{16} = 64$ Kb kunnen adresseren. Door nu het code segment register en het instruction pointer register op de volgende manier te combineren ontstaat toch een 20 bits adres. Het code segment register wordt 4 bits naar rechts verschoven waarna de instruction pointer erbij wordt opgeteld. Deze optelling levert een 20-bits adres. Figuur 15 geeft hetgeen hierboven is beschreven weer.

$$\begin{array}{r} 0000 \boxed{16\text{-bits adres}} \\ \boxed{\text{segment register}} 0000 \\ \hline \boxed{20\text{-bits adres}} \end{array} +$$

Figuur 15: Adressering van registers

Bijlage 9. JUMPERINSTELLING VAN DE LABMASTERKAART

1. Labmaster Moederbord(zie figuur 16)

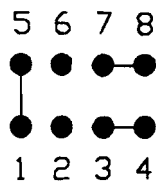


Figuur 16: Het labmaster moederbord

1.1. Adressering van de Labmaster kaart

Instelling mode

Met behulp van jumper J5 is de memory mapped mode ingesteld(zie figuur 17).



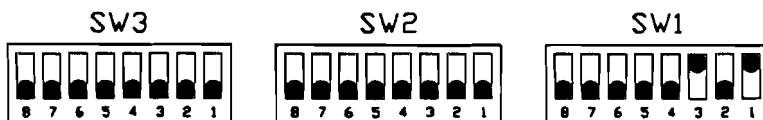
Figuur 17: Jumper J5

Instelling adres

De keuze van het beginadres van de Labmaster kaart gebeurt door instelling van SW1, SW2 en SW3 (Ieder omvat acht schakelaars). Om aan te geven dat een schakelaar open is wordt het nummer van die schakelaar achter SW1, SW2 of SW3 gezet. Iedere schakelaar komt overeen met een bit in het beginadres van de Labmaster kaart. Als een schakelaar open staat is dat bit hoog, indien deze gesloten is dan is het bit laag. De bepaling van het beginadres is als volgt :

schakelaar	hexadecimale waarde
SW1-1	80000
SW1-3	20000
	<hr/>
	A0000

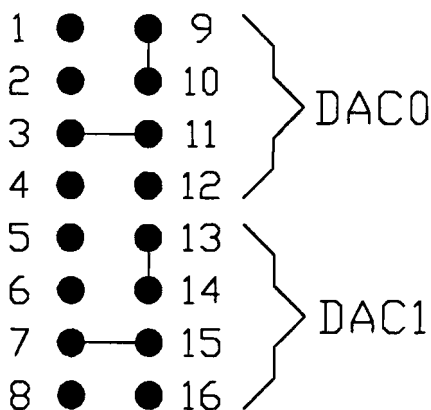
figuur 18 geeft weer hoe het er op het moederbord komt uit te zien.



Figuur 18: Jumper SW1

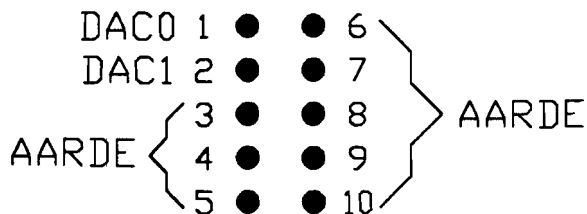
1.2. Digitaal-Analoog Converter

De Output Range van de digitaal-analoog converters wordt met behulp van jumper J6 ingesteld. De Output Range van beide DAC0 en DAC1 zijn $\pm 10V$. De instelling is gebeurt volgens figuur 19.



Figuur 19: Jumper J6

Connector J4 bevat de output van de twee DA converters en aarde(zie figuur 20).



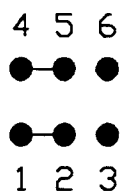
Figuur 20: Connector J4

1.3. Verbinding Dochterbord

De verbinding van het Labmaster moederbord en het dochterbord gaat via connector J1.

1.4. Parallele poort

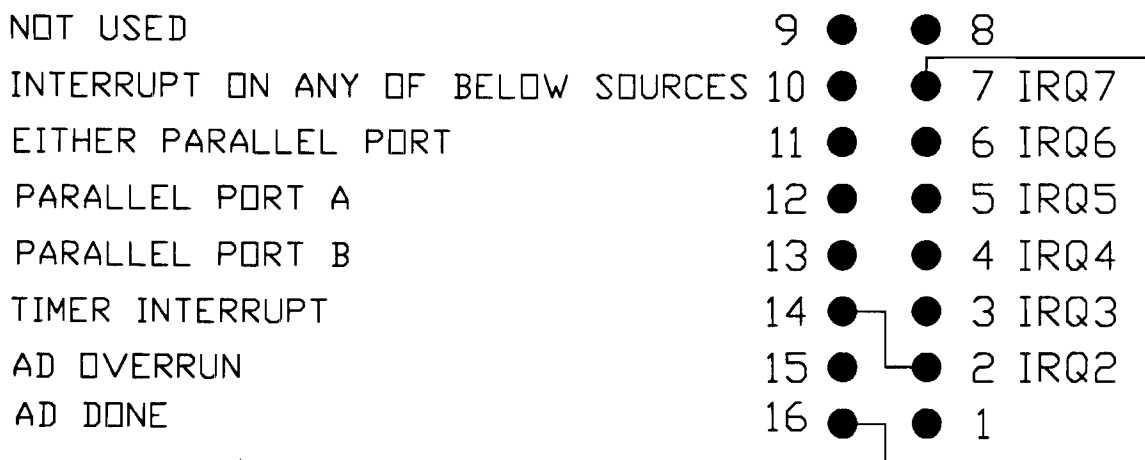
De parallele poort is met behulp van jumper J8 ingesteld(zie figuur 21). Voor verdere informatie over deze jumper wordt verwezen naar de Labmaster Installation Manual(1985).



Figuur 21: Jumper J8

1.5. Interrupts

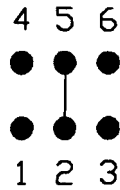
Het doorleiden van verschillende interruptbronnen, op de labmasterkaart of van buiten de computer, via verschillende interruptrequestlijnen naar de computer gaat met behulp van jumper J9(zie figuur 22).



Figuur 22: Jumper J9

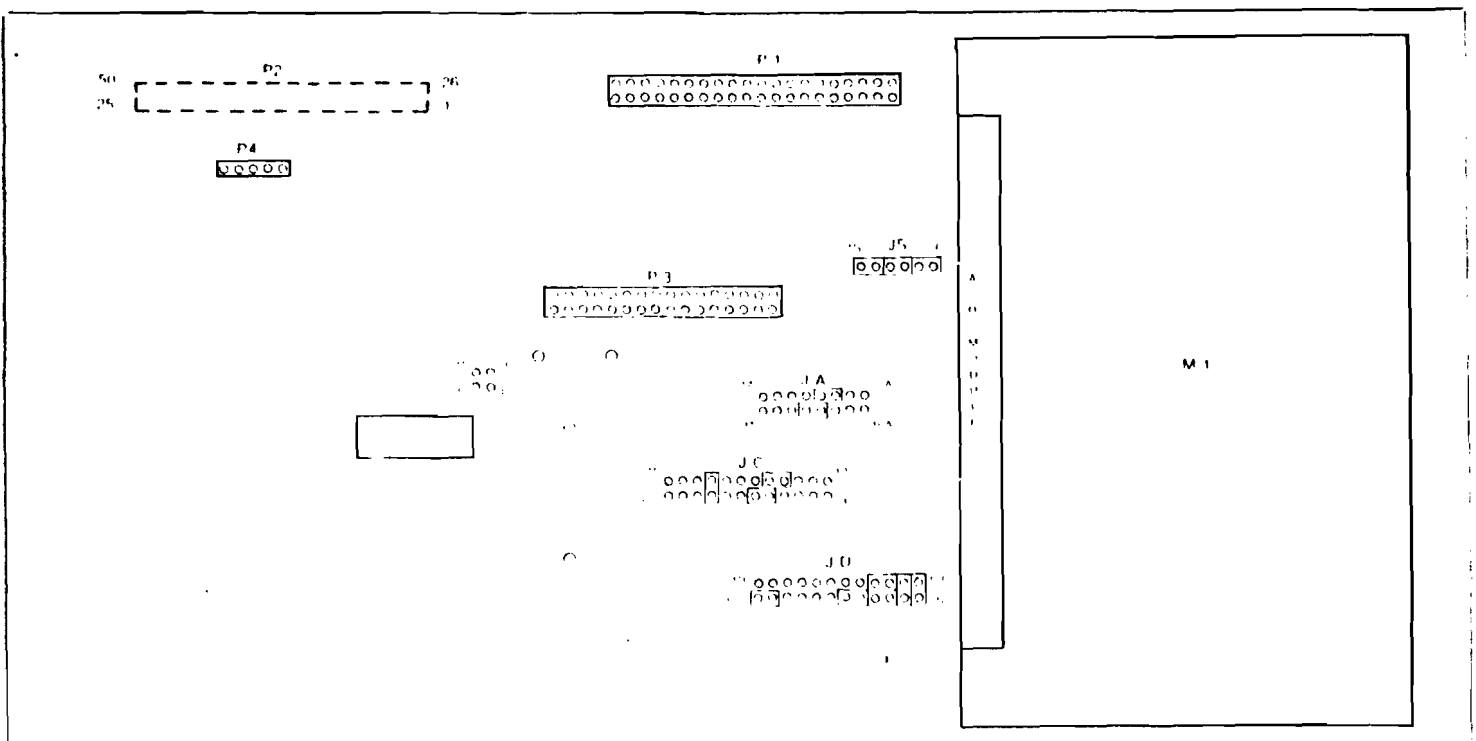
Met behulp van een flatcable is jumper J9 buiten de computer gebracht. Dit vereenvoudigt het meten van de signalen met een logic analyzer die aan de interrupt controller worden geleverd.

Met behulp van jumper J7 kan men bepalen van welke timer de interrupt moet worden doorgeleid(zie figuur 23). Hier is gekozen voor timer 2.



Figuur 23: Jumper J7

2. Labmaster dochterbord(zie figuur 24)

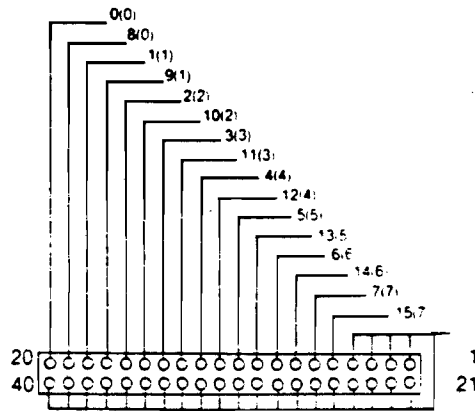


Figuur 24: Het dochterbord

2.1. De Analoog–Digitaal Converter

De Analoog–Digitaal converter is ingesteld voor single ended input met een range van $\pm 10V$. De representatie van de meetwaarden uit de converter zijn, na de conversie, aan de output beschikbaar is volgens de two's complement methode. Voor de jumper instelling zie figuur 24.

De connector P1 bevat de 15 Input kanalen van de AD converter en aarde (zie figuur 25)



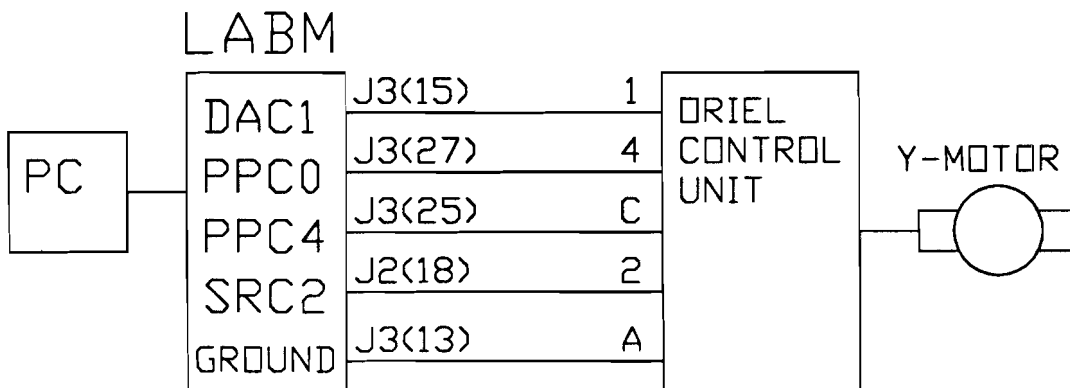
Figuur 25: De Connector P1

2.2. Verbinding Moederbord

De verbinding van het Labmaster dochterbord en het moederbord gaat via connector P2

Bijlage 10. DE Y RICHTING CONTROLLER

De verplaatsing van het te meten produkt in de y-richting gebeurt door een linear bewegende slede. Voor aandrijving van deze slede wordt een motor met een controller gebruikt. De controller is van het type Oriel 18009. De translatie slede met motor is van het type Oriel 16068. Met deze controller kunnen twee motoren worden aangestuurd. De controller bevat een hardwarematige snelheidsregeling. Om een verplaatsing te bepalen is een slitterschijf gemonteerd die via de nodige electronica pulsjes levert die overeenkomen met een afstandsverschil van $0.1 \mu\text{m}$. Voor de verdere beschrijving van de controller en de motor zie Oriel handboek(1987).



Figuur 26: Het aansluitschema van de controller.

De electronica behorend bij de linker zijde van de controller heeft zijn in- en uitgangen op de connector volgens het schema (* 1) left. De electronica behorend bij de rechter zijde van de controller heeft zijn in- en uitgangen op de connector volgens het schema (* 2) center. Met bovenvermeldt schema wordt het schema van het I/O bord bedoeld, dat zich in de handleiding van de Controller[Oriël Encoder Mike,1987] bevindt.

DAC1 : De uitgang van de digitaal-analoog converter 1 levert de spanning op de Speed Input van de controller.

PPC0 : De uitgang van de parallelle poort C kanaal 0 levert het +5V signaal om de motor in de positieve richting (RUN+) te laten draaien.

PPC4 : De uitgang van de parallelle poort C kanaal 4 levert het +5V signaal om er voor te zorgen dat de spanning die op de Speed Input wordt gezet ook werkelijk naar de motor wordt doorgeleid (SPEED ENABLE).

SRC2 : De source ingang van timer 2 telt de pulsjes die door de motor worden gegenereerd (COUNT).

GROUND : De ground van de labmaster is doorverbonden met de controller.

Opmerking: Indien RUN+ (of RUN-) wordt bekrachtigd dan is de snelheid van de motor regelbaar door de bijbehorende draaiknop op de controller en niet door de invoer van een spanning vanaf de labmaster kaart. PPC0 wordt dus niet gebruikt.

BIJLAGE 11. LIBRARY MODULES

In deze bijlage zullen de drie library modules worden beschreven.

1: Library Module LABMM1

Constanten:

De volgende constanten zijn bitsets. De interne representatie van een bitset, in LOGITECH Modula-2 is twee bytes. De bits zijn genummerd van 0 tot 15. Een nummer binnen de accoladen geeft aan dat het desbetreffende bit hoog is.

modeTC	= { };	De timerwaarde van timer N verandert nadat de timer N-1 bij Terminal Count komt
modsrc1	= {0};	De timerwaarde verandert door source1
modsrc2	= {1};	De timerwaarde verandert door source2
modsrc3	= {1,0}	De timerwaarde verandert door source3
modsrc4	= {2}	De timerwaarde verandert door source4
modsrc5	= {2,0}	De timerwaarde verandert door source5
modelu	= {3,1,0}	De timerwaarde verandert iedere μ sec
model0u	= {3,2}	De timerwaarde verandert iedere 10μ sec
model00u	= {3,2,0}	De timerwaarde verandert iedere 100μ sec
modelm	= {3,2,1}	De timerwaarde verandert iedere msec
model0m	= {3,2,1,0}	De timerwaarde verandert iedere 10msec
inactieveLow	= { }	De timeroutput is low
activehighTCPulse	= {0}	De timeroutput levert een puls bij TC
TCtoggle	= {1}	De timeroutput gaat van hoog naar laag of laag naar hoog

Datatypen :

Interrupt = (NoInt, ParInt, TimerInt, AdInt, TimerAdInt);

Zie procedure Init

Timersselect = (timer1, timer2, timer3, timer4, timer5);

Dacselect = (dac0, dac1);

Adcselect = [0..15];

De Ad converter heeft 16 ingangen.

Byteselect = (high, low);

Dient om high byte en low byte aan te duiden.

Modeselect = (mode0, mode1, mode2);

Dient om verschillende moden van de parallele poort aan te duiden.

Portio = (Ainput, Aoutput, Binput, Boutput, Cinput, Coutput);

Dient om de poorten A, B en C als in of outputpoort in te stellen.

Procedures:

Init (int : Interrupt);

Initialiseert de Labmaster kaart. Het is mogelijk om interrupts door te laten van ad-done, de timer, de timer en ad-done, de parallele poort of niet door te laten.

EnableExtStartConversion (int : Interrupt);

Maakt het mogelijk om via de timer de AD-converter te starten. De interruptbron moet dezelfde zijn als degene die bij Init is opgegeven.

DisableExtStartConversion (int : Interrupt);

Maakt het onmogelijk om via de timer de AD-converter te starten. De interruptbron moet dezelfde zijn als degene die bij Init is opgegeven.

ReadStatusRegister (): CARDINAL;

Leest de waarde van het status register van de timer. Het status register levert informatie over het al of niet klaar zijn van een ad conversie, het feit dat er een overrun is opgetreden, de hoedanigheid van de timer interrupt flip-flop, en over het multiplexer adres.

ReadStatusByte (): CARDINAL;

Leest de waarde van het status byte van de Labmaster kaart. Het status byte levert informatie over de ouput van de vijf timers.

SetTimer (counter : Timersselect;
 source, output : BITSET;
 load : CARDINAL);

Laat de gekozen timer, afhankelijk van de gekozen source, vanaf de ingegeven waarde (load) aftellen tot Terminal Count. De output van de timer is instelbaar. De timer wordt weer geladen met de ingegeven waarde en zo blijft het telproces zich herhalen.

ReadTimer (counter : Timersselect): CARDINAL;

Zet de waarde van het loadregister in het hold register en leest dan de waarde uit het holdregister van de gekozen timer.

ReadHoldRegister (counter : Timersselect): CARDINAL;

Leest de waarde van het holdregister van de gekozen timer.

SaveAllTimers;

Slaat de waarde van alle vijf timers op, zonder dat dit het telproces beïnvloed.

StopTimer (counter : Timersselect);

Laat de gekozen timer stoppen met het telproces. De waarde die de timer had wordt niet bewaard.

Step (counter : Timersselect);

Verandert de waarde van de gekozen timer met 1.

SetOutTimerHigh (counter : Timersselect);

Maakt de output van de gekozen timer hoog.

SetOutTimerLow (counter : Timersselect);

Maakt de output van de gekozen timer laag.

ResetFlipFlop;

Maakt de output van de flip-flop, die gekoppeld is aan de timer output, laag.

WriteDa (dac : Dacselect;
value : INTEGER);

Laat de gekozen DA-converter een analoge spanning leveren, afhankelijk van de ingegeven waarde.

AdKanaalkeuze (kanaal : Adcselect);

Stelt het kanaal in dat door de AD-converter moet worden geconverteerd.

ResetAD;

Reset de done en de overrun flip-flop van de AD-converter.

StartAD (kanaal : Adcselect);

Start de AD-converter. De analoge spanning van het gekozen kanaal wordt omgezet

ReadAD (): INTEGER;

Leest de waarde van de AD-converter.

ADDone (): BOOLEAN;

Geeft aan of dat de conversie gereed is.

DefinePort (mode : Modeselect;
portA, portB, portC : Portio);

Initialiseert de parallelle poort. De parameters geven de mode aan waarin de parallelle poort functioneert en welke lijnen worden gebruikt als ingang of, als uitgang.

ReadPortA (): CARDINAL;

Leest de waarde van poort A.

WritePortC (value : CARDINAL);

Maakt het aantal bits, die één zijn in de voorstelling van het cardinal als binair getal, van poort C hoog.

ReadPortC (): CARDINAL;

Leest de waarde van poort C.

SetBitPortC (bit : CARDINAL);

Maakt naar keuze een bit van poort C hoog.

ClearBitPortC (bit : CARDINAL);

Maakt naar keuze een bit van poort C laag.

EnableInterruptPortA (mode : Modeselect);

Maakt interrupts van poort A mogelijk.

DisableInterruptPortA;

Maakt interrupt van poort A onmogelijk.

**counbit (counter : Timerselect;
VAR counterbit : BITSET);**

Verandert de interne representatie van de timeraanduiding.

**ByteToMem(value : ARRAY OF BYTE;
byte : Byteselect);**

Geeft, afhankelijk van de waarde van byte, het hoogste of laagste byte van een datatype dat twee bytes groot is

2: Library Module LABMMLow

Variabelen:

De volgende variabelen worden gebruikt voor de communicatie met de Labmaster kaart. De eerste waarde binnen de haken staat voor het segment adres. De tweede waarde staat voor de offset. Het eerste gebruikte toonbank register, dat de waarde van de variabele da0low bevat, heeft dus het adres 0A0000 Hex (= 64K Dec). Voor verdere informatie omtrend de functie van de toonbank registers van de labmaster kaart zie labmaster Handleiding blz 51 t/m 56. Soms worden voor dezelfde toonbank registers verschillende variabelen gebruikt. Dit komt omdat het lezen van en het schrijven naar deze registers soms betrekking heeft op verschillende functies van de labmaster kaart.

da0low	[0A000H:0H]	:BYTE;	Low byte D/A 0 en start conversie.
da0high	[0A000H:1H]	:BYTE;	High byte D/A 0.
dallow	[0A000H:2H]	:BYTE;	Low byte D/A 1 en start conversie.
dahigh	[0A000H:3H]	:BYTE;	High byte D/A 1.
adcontrol	[0A000H:4H]	:BYTE;	A/D Control byte.
status	[0A000H:4H]	:BYTE;	Status byte.
adkanaalnr	[0A000H:5H]	:BYTE;	A/D kanaal nummer.
adlow	[0A000H:5H]	:BYTE;	Low byte A/D.
adstart	[0A000H:6H]	:BYTE;	Start A/D conversie.
adhigh	[0A000H:6H]	:BYTE;	High byte A/D.
ffreset	[0A000H:7H]	:BYTE;	Timer interrupt.
data9513	[0A000H:8H]	:BYTE;	Timer data poort.
control9513	[0A000H:9H]	:BYTE;	Timer control poort.
ppoortA	[0A000H:0CH]	:BYTE;	Parallele poort A.
ppoortB	[0A000H:0DH]	:BYTE;	Parallele poort B.
ppoortC	[0A000H:0EH]	:BYTE;	Parallele poort C.
control8255	[0A000H:0FH]	:BYTE;	Controle poort van de parallele poort.

3: Library Module EASYPROC.

Deze module bevat een aantal procedures die handig zijn in het gebruik.

Signwaarde = (Pos, Neg);

Procedures:

ConvToBitset (value : ARRAY OF BYTE): BITSET;

Wordt gebruikt om van verschillende datatypen een bitset te maken.

Sign (inputwaarde : INTEGER): Signwaarde;

Geeft aan of integer positief of negatief is.

ReadRealFromTextFile (VAR f : File): REAL;

Leest een real getal van een text file.

WriteCardToTextFile (VAR f : File ;
 x : CARDINAL);

Schrijft een cardinal getal naar een text file.

WriteRealToTextFile (VAR f : File ;
 x : REAL);

Schrijft een real getal naar een text file.

WriteStringToTextFile (VAR f : File ;
 String : ARRAY OF CHAR);

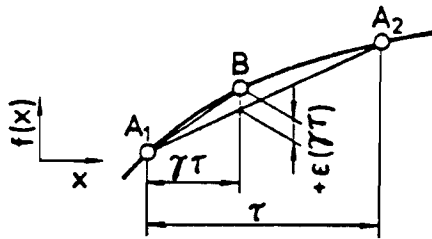
Schrijft een rij karakters naar een text file.

StartNewLine (VAR f : File);

Verplaatst de positie waar men verder schrijft of leest in een file naar het begin van een volgende regel.

Bijlage 12. EEN OPTIMAAL SAMPLE INTERVAL VOOR HET
DIGITALISEREN VAN HET OPPERVLAKTEPROFIEL

Het vinden van een optimaal sample interval bij het digitaliseren van een analogoog signaal is zeer belangrijk. De keuze van een te lang of een te kort sample interval leidt tot een onjuiste weergave van het oppervlak. Bij een te lang interval kan het analoge signaal binnen een sample afstand sterk afwijken van het gedigitaliseerde signaal. Een te kort sample interval leidt niet alleen tot het verkrijgen van een grote hoeveelheid data die onbetrouwbaar is omdat het verschil tussen twee opeenvolgende data punten kleiner is dan het ruisniveau van het signaal. Het signaal tussen twee meetpunten wordt benaderd door een rechte lijn. Het verschil tussen de rechte lijn en het originele profiel wordt weergegeven door ϵ (zie figuur 27).



Figuur 27: Data punten op een ruwheidsoppervlak

$$\epsilon(\gamma\tau) = f(x_1 + \gamma\tau) - f(x_1) - \gamma\{f(x_1 + \gamma) - f(x_1)\}.$$

ϵ is een stochastische variabele met een waarde die afhankelijk is van de sample afstand.

De variantie van ϵ tussen twee meetwaarden is :

$$V_1(\tau) = \int_0^1 (\epsilon(\gamma\tau))^2 d\tau$$

Voor het totale signaal geldt :

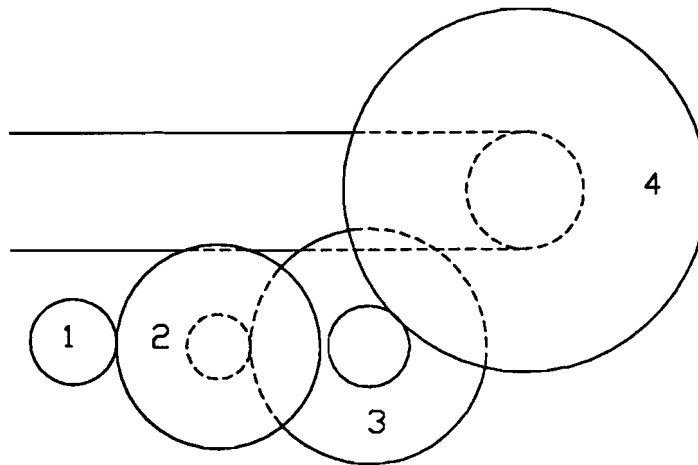
$$V(\tau) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N V_i(\tau)$$

De variantie van de meetwaarden is : $\sigma^2 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \{f(x_i)\}^2$

De waarde k, die gedefinieerd is als : $\frac{V(\tau)}{\sigma^2}$, is afhankelijk van de sample afstand en moet binnen aanvaardbare grenzen vallen. Tsukada(1982) heeft dit onderzocht voor gelepte en geslepen oppervlakken. Voor een k van 0.01 is de bijbehorende optimale sample afstanden voor deze oppervlakken met een $R_q (= \sigma^2)$ waarde tussen 0.5 en 1.5 μm ligt tussen 1 en 2 μm . Voor andere ruwheidswaarden en ruwheidsprofielen is nog nader onderzoek vereist.

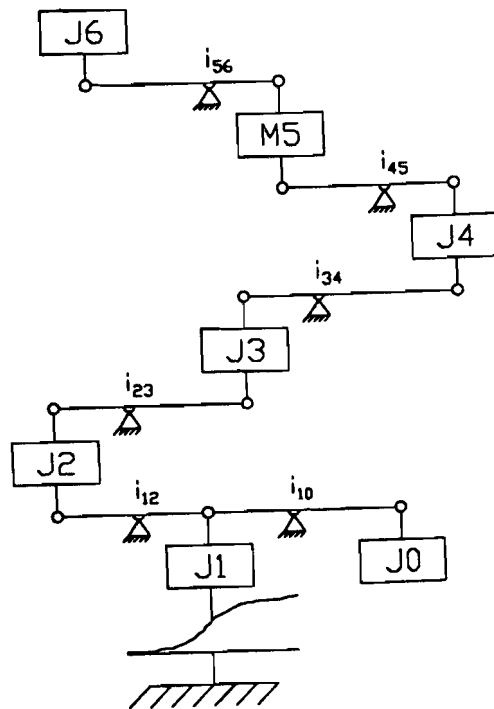
Bijlage 13. DE OVERBRENGING TUSSEN DE MOTOR EN DE TAFEL

De overbrenging die zich tussen de motor en de tafel bevindt bestaat uit een wrijvingswieloverbrenging en een bandwiel overbrenging(zie figuur 28).



Figuur 28: De overbrenging

De nu volgende berekeningen zijn uitgevoerd om te bepalen of er slip optreedt in de overbrenging tijdens het aanlopen (of stoppen) van de motor(ieder onderdeel in de overbrenging wordt volkomen stijf verondersteld, wrijvingverlies en demping tussen de onderdelen wordt verwaarloosd). Het dynamische model ziet er als volgt uit(zie figuur 29).



Figuur 29: Het dynamisch model

$$J_1 = J_{\text{motor}} + J_{\text{tacho}} + J_{\text{wiel1}}$$

$$J_2 = J_{\text{wiel2}}$$

$$J_3 = J_{\text{wiel3}} + J_{\text{rotatieopnemer}}$$

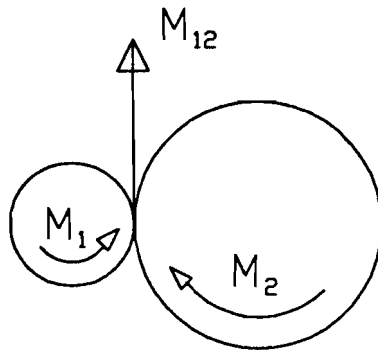
$$J_4 = J_{\text{wiel4}}$$

$$m_5 = m_{\text{slede}} + m_{\text{last}}$$

$$J_6 = J_{\text{geleidingswiel}}$$

$$J_7 = 2 * J_{\text{spanrol}}$$

Berekening momenten in de wrijvingswiel overbrenging(zie figuur 30).



Figuur 30: Koppeloeverdracht tussen twee wrijvingswielen

M_1 = Het koppel dat nodig is om alles te versnellen wat direct is verbonden met as 1, inclusief een eventueel wrijvingskoppel.

M_{21} = Het koppel dat nodig is om alles te versnellen wat direct is verbonden met as 2, inclusief een eventueel wrijvingskoppel.

M_{12} = Het gedeelte van M_1 dat naar wiel 2 gaat.

De hoeksnelheid = ω

De hoekversnelling = α

$$\text{Overbrengingsverhouding : } i_{12} = \frac{\omega_2}{\omega_1} = \frac{\alpha_2}{\alpha_1} = \frac{d_1}{d_2} = \frac{M_{12}}{M_{21}}$$

De overbrengingsverhouding i_{10} , i_{23} en i_{34} kunnen analoog aan het bovenstaande worden berekend. i_{45} en i_{56} zijn niet dimensieloos en worden als volgt berekend.

$$i_{45} = \frac{\varphi R_4}{\varphi} = R_4 \text{ [m]} \qquad i_{56} = \frac{\varphi}{\varphi R_6} = \frac{1}{R_6} \left[\frac{1}{\text{m}} \right]$$

$$J_{\text{totaal aan motoras}} = J_1 + J_0(i_{10})^2 + J_2(i_{12})^2 + J_3(i_{12}i_{23})^2 + J_4(i_{12}i_{23}i_{34})^2 + m_5(i_{12}i_{23}i_{34}i_{45})^2 + J_6(i_{12}i_{23}i_{34}i_{45}i_{56})^2$$

$$M_{\text{nuttig}} = M_{\text{motor}} - M_{\text{motorwrijving}} - M_{\text{tacho}} - M_{\text{opnemer}}(i_{12}i_{23}) - M_{\text{Lagers}}$$

$$M_{\text{lagers } i} = M_{Li}$$

$$M_{\text{Lagers}} = M_{L2}i_{12} + M_{L0}i_{10} + M_{L3}(i_{12}i_{23}) + M_{L4}(i_{12}i_{23}i_{34}) + M_{L6}(i_{12}i_{23}i_{34}i_{45}i_{56})$$

$$\text{Hoekversnelling motoras : } \alpha_1 = \frac{M_{\text{nuttig}}}{J_{\text{totaal aan motoras}}}$$

Nu α_1 bekend is kan men de overige (hoek)versnellingen berekenen met behulp van de overbrengingsverhoudingen.

De bepaling van de over te dragen momenten tussen twee wrijvingswielen kan nu op twee manieren gebeuren

- 1) Berekening vanaf de motor
- 2) Berekening vanaf de last

ad 1)

$$M_{12} = M_{\text{motor}} - M_{\text{tacho}} - M_{\text{motorwrijving}} - M_0 i_{10} - J_1 \alpha_1$$

$$M_0 = J_0 \alpha_0 + M_{L0}$$

$$M_{23} = \frac{M_{12}}{i_{12}} - M_{L2} - J_2 \alpha_2$$

$$M_{34} = \frac{M_{23}}{i_{23}} - M_{L3} - M_{\text{opnemer}} - J_3 \alpha_3$$

$$M_{45} = \frac{M_{34}}{i_{34}} - M_{L4} - J_4 \alpha_4$$

$$F_{56} = \frac{M_{45}}{i_{45}} - m_5 a_5$$

$$M_6 = \frac{F_{56}}{i_{56}}$$

ad 2)

$$M_6 = J_6 \alpha_6 + M_{L6}$$

$$F_{56} = J_6 \alpha_6 i_{56} + M_{L6} i_{56}$$

$$M_{45} = F_{56} i_{45} + m_5 a_5 i_{45}$$

$$\begin{aligned}
M_{34} &= M_{45} i_{34} + J_4 \alpha_4 i_{34} + M_{L4} i_{34} \\
M_{23} &= M_{34} i_{23} + J_3 \alpha_3 i_{23} + M_{L3} i_{23} + M_{\text{opnemer}} i_{23} \\
M_{12} &= M_{23} i_{12} + J_2 \alpha_2 i_{12} + M_{L2} i_{12} \\
M_1 &= M_{12} + J_1 \alpha_1 + M_{\text{tacho}} + M_{\text{motorwrijving}} + M_0 i_{10} \\
M_0 &= J_0 \alpha_0 + M_{L0}
\end{aligned}$$

Omdat bij de berekening van de momenten, die worden overgedragen tussen de wrijvingswielen, volgens de eerste methode te maken heeft met een slecht geconditioneerd probleem. Dit is in te zien doordat $O(\text{Moment dat wordt overgedragen naar die as gedeeld door de betreffende overbrengingsverhouding}) = O(\text{Moment dat in de as wordt 'verbruikt'})$. Hierdoor schuift een fout in de data, waaruit het op deze as overgedragen moment wordt berekend, op naar voren. Doordat de overbrengingsverhouding vaak kleiner dan één is wordt deze fout steeds vergroot. Daarom is deze berekening gedaan volgens de tweede methode.

De normaalkrachten tussen de wrijvingswielen moeten worden opgebouwd door de spanveer en door het voorspannen van de staalband. De maximale normaalkracht wordt bepaald door de maximaal toelaatbare spanning volgens Hertz van het materiaal van de wrijvingswielen.

De normaalkracht wordt als volgt aan de spanning van Herz gekoppeld.

$$\sigma_{\text{hz}} = \frac{3^{(1/3)}}{2\pi} (F^{(1/3)}) \left(\frac{E}{R}\right)^{(2/3)}$$

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_1'} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_2'}$$

$$F_w = \mu * F_n$$

$$M_{12} = F_w * r_1$$

Het gedeelte van het traagheidsmoment als gevolg van een lager :

$$M_L = F_{\text{lager}} * f * R_r$$

De normaalkrachten op de lagers zijn op dit moment nog niet bekend (deze is immers pas bekend indien de voorspankracht van de band en de drukveer is vastgelegd. Deze twee voorspankrachten zijn wederom afhankelijk van het koppel

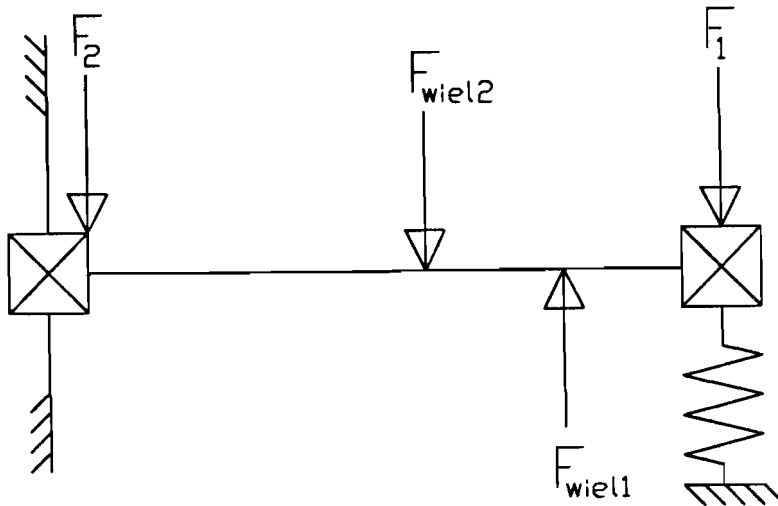
dat moet worden overgedragen tussen de wrijvingswielen). De rolstraal f voor de kogellagers is $1.021 \cdot 10^{-5}$.

$$E_{\text{wrijvingswiel}} = 2.2 \cdot 10^5 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$\sigma_{\text{hz max}} = 2500 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$\mu_{\text{wrijvingswiel}} = 0.1$$

Berekening van de lagerkrachten (zie figuur 31):



Figuur 31: Lagerkrachten

Als voorbeeld wordt as 2 genomen

Lager 1 is verend opgehangen. De veerconstante is klein en het lager verplaatst weinig. Aangenomen wordt dan ook dat $F_1 \cong 0$.

F_2 wordt berekend door de som van de momenten om lager 1 nul te stellen.

$$\Sigma M = 0. \quad F_{\text{wiel1}} \cdot a - F_{\text{wiel2}} \cdot (a+b) - F_2 \cdot (a+b+c) = 0$$

Voor verdere berekening van de lagerkrachten zie Toscani(1984).

Berekening van de over te dragen momenten en krachten:

$$M_6 = 17.3 \cdot 10^{-7} \cdot 59.87 + 200 \cdot 1.021 \cdot 10^{-5} = 2.146 \cdot 10^{-3} \text{Nm}$$

$$F_{56} = 2.146 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{1}{8 \cdot 10^{-3}} = 2.682 \cdot 10^{-1} \text{N}$$

$$M_{45} = \frac{15.915 * 10^{-3}}{2} * (2.682 * 10^{-1} + 15 * 4.790216 * 10^{-1}) = 5.931 * 10^{-2} \text{Nm}$$

$$M_{34} = \frac{1}{10} * (5.931 * 10^{-2} + 9.4 * 10^{-5} * 60.197 + 150 * 1.021 * 10^{-5}) = 6.650 * 10^{-3} \text{Nm}$$

$$M_{23} = \frac{1}{8} * (6.650 * 10^{-3} + 2.205 * 10^{-5} * 601.975 + 2 * 50 * 1.021 * 10^{-5} + 2.5 * 10^{-4}) = 2.649 * 10^{-3} \text{Nm}$$

$$M_{12} = \frac{1}{4} * (2.649 * 10^{-3} + 1 * 10^{-5} * 4815.799 + 50 * 1.021 * 10^{-5}) = 1.283 * 10^{-2}$$

Ter controle :

$$M_1 = M_{\text{motor}} = 1.28 * 10^{-2} + 24.9 * 10^{-7} * 19263.199 + 4 * 10^{-4} + 7.65 * 10^{-4} +$$

$$\frac{1}{2} * (2 * 7.6 * 10^{-7} * 9631.599 + 4 * 50 * 1.021 * 10^{-5}) = 702.714 * 10^{-2} \text{Nm}$$

De motor levert een koppel van $703 * 10^{-2} \text{Nm}$ dus de berekening klopt.

Nu wordt bepaald wat de vereiste normaalkracht is bij iedere wrijvingswiel overbrenging en of dat de maximale spanning van Herz niet wordt overschreden. Indien deze wordt overschreden dan moet het koppel dat de motor levert worden vermindert.

Wiel 1 – Spanrol :

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{5} + \frac{1}{10} + \frac{1}{100} = 0.31$$

De minimale wrijvingskracht die nodig is om het koppel over te dragen :

$$F_w = \frac{0.5 * M_0^i}{5 * 10^{-3}} = \frac{(7.6 * 10^{-7} * 9631.6 + 2 * 50 * 1.021 * 10^{-5}) * 0.5}{5 * 10^{-3}} = 8.34 * 10^{-1} \text{ N}$$

De minimale normaalkracht die nodig is om het koppel over te dragen :

$$F_n = 8.34 \text{ N}$$

$$\sigma_{\text{hz}} = \frac{3^{(1/3)}}{2\pi} * (8.34)^{1/3} * (2.2 * 10^5 * 0.31)^{2/3} = 777 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$\sigma_{\text{hz}} < \sigma_{\text{hz max}}$$

Wiel 1-2 :

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{5} + \frac{1}{100} + \frac{1}{20} = 0.26 \text{ mm}^{-1}$$

De minimale wrijvingskracht die nodig is om het koppel over te dragen :

$$F_w = \frac{1.283 * 10^{-2}}{5 * 10^{-3}} = 2.57 \text{ N}$$

De minimale normaalkracht die nodig is om het koppel over te dragen :

$$F_n = \frac{2.57}{0.1} = 25.7 \text{ N}$$

$$\sigma_{\text{hz}} = \frac{3^{(1/3)}}{2\pi} * (25.7)^{1/3} * (2.2 * 10^5 * 0.26)^{2/3} = 1005 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$\sigma_{\text{hz}} < \sigma_{\text{hz max}}$$

Wiel 2-3 :

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{3} + \frac{1}{24} + \frac{1}{100} = 0.385 \text{ mm}^{-1}$$

De minimale wrijvingskracht die nodig is om het koppel over te dragen :

$$F_w = \frac{2.649 * 10^{-3}}{3 * 10^{-3}} = 0.88 \text{ N}$$

De minimale normaalkracht die nodig is om het koppel over te dragen :

$$F_n = \frac{0.88}{0.1} = 8.8 \text{ N}$$

$$\sigma_{\text{hz}} = \frac{3^{(1/3)}}{2\pi} * (8.8)^{1/3} * (2.2 * 10^5 * 0.385)^{2/3} = 915 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$\sigma_{\text{hz}} < \sigma_{\text{hz max}}$$

Wiel 3-4 :

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{3.5} + \frac{1}{35} + \frac{1}{100} = 0.324 \text{ mm}^{-1}$$

De minimale wrijvingskracht die nodig is om het koppel over te dragen :

$$F_w = \frac{6.650 * 10^{-3}}{3.5 * 10^{-3}} = 1.90 \text{ N}$$

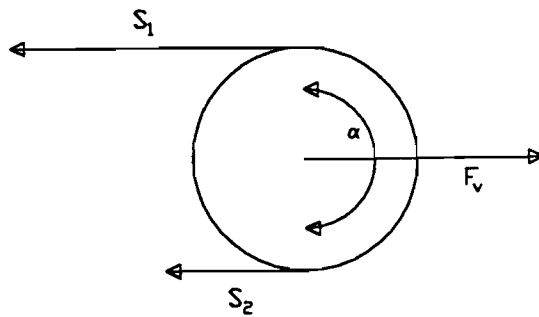
De minimale normaalkracht die nodig is om het koppel over te dragen :

$$F_n = \frac{1.90}{0.1} = 19.0 \text{ N}$$

$$\sigma_{hz} = \frac{3^{(1/3)}}{2\pi} * (19.0)^{1/3} * (2.2 * 10^5 * 0.324)^{2/3} = 1054 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$\sigma_{hz} < \sigma_{hz \text{ max}}$$

Wiel 4-band(zie figuur 32):



Figuur 32: Band-wiel overbrenging

$$F_{\text{nuttig}} = \frac{M_1}{r} = S_1 - S_2$$

$$F_v = S_1 + S_2$$

Indien $\frac{S_1}{S_2} \leq e^{\mu\alpha}$ dan treedt er geen slip op

$$m = \frac{S_1}{S_2} = e^{\mu\alpha}$$

$$S_1 = \frac{m}{m-1} F_{\text{nuttig}} = \frac{F_v}{2} + \frac{F_{\text{nuttig}}}{2}$$

$$S_2 = \frac{1}{m-1} F_{\text{nuttig}} = \frac{F_v}{2} - \frac{F_{\text{nuttig}}}{2}$$

$$F_{\text{nuttig}} = \frac{5.931 \cdot 10^{-2}}{7.9575 \cdot 10^{-3}} = 7.45 \text{ N}$$

$$m = e^{0.1 \cdot \pi} = 1.37$$

$$S_1 = \frac{1.37}{(1.37-1)} \cdot 7.45 = 27.63 \text{ N}$$

$$S_2 = \frac{1}{(1.37-1)} \cdot 7.45 = 20.18 \text{ N}$$

De minimaal benodigde voorspankracht van de band wordt nu :

$$F_v = 27.63 + 20.18 = 47.81 \text{ N}$$

Kies $F_v = 60 \text{ N}$

Dan wordt :

$$S_1 = 33.72 \text{ N en } S_2 = 26.27 \text{ N}$$

$$\frac{S_1}{S_2} = 1.28 \text{ N}$$

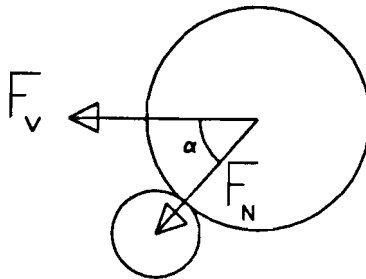
Band-Wiel 6 :

$$F_{\text{nuttig}} = F_{56} = 2.682 \cdot 10^{-1} \text{ N}$$

$$m = 1.37 \text{ N}$$

$$S_1 = 30.13 \text{ N} \quad S_2 = 29.87 \text{ N} \quad \frac{S_1}{S_2} = 1.009 \text{ dus er treedt geen slip op}$$

Nu dat de bandspanning is gekozen kan men ook de werkelijke normaalkracht bepalen tussen wiel 3 en wiel 4(zie figuur 33).



Figuur 33: Krachten tussen wiel 3 en 4

$$F_n = F_v \cdot \cos 45 = 60 \cdot 0.707 = 42.43 \text{ N}$$

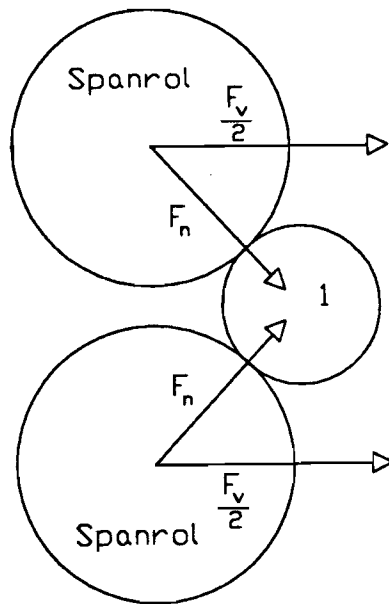
$$\text{De herze spanning wordt nu : } \sigma_{\text{hz}} = \left(\frac{42.43}{19.0} \right)^{1/3} \cdot 1054 = 1378 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Bepaling van de benodigde kracht van de drukveer:

De kracht van de drukveer wordt bepaald door de maximale normaalkracht van de overbrenging Spanrol-Wiel 1, Wiel 1-2, Wiel 2-3

Spanrol-Wiel 1 :

Bepaling van de benodigde spankracht voor beide spanrollen(zie figuur 34).



Figuur 34: Krachtoverbrenging tussen spanrollen en wiel 1

De minimale voorspankracht die nodig is om het koppel over te dragen :

$$F_v = \frac{2 * 8.34}{\cos 45} = 23.59 \text{ N}$$

Wiel 1-2 : $F_v = 25.7$

Wiel 2-3 : $F_v = 8.8$

Kies als voorspanning van de veer : $F_v = 35 \text{ N}$

De voorspanning wordt groter gekozen omdat de wrijvingswielen verend zijn opgehangen en hierdoor de werkelijke normaalkrachten lager zullen liggen dan nu berekend.

Nu zullen de maximale normaalkrachten en de daarbijhorende maximale herze spanningen worden berekend.

Spanrol-Wiel 1 :

$$F_n = 0.5 * 35 * \cos 45 = 12.37 \text{ N}$$

$$\sigma_{hz} = \left(\frac{12.37}{8.34}\right)^{1/3} * 777 = 886 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$\sigma_{hz} < \sigma_{hz \text{ max}}$$

Wiel 1-2 :

$$\sigma_{hz} = \left(\frac{35}{25.7}\right)^{1/3} * 1005 = 1114 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$\sigma_{hz} < \sigma_{hz \text{ max}}$$

Wiel 2-3 :

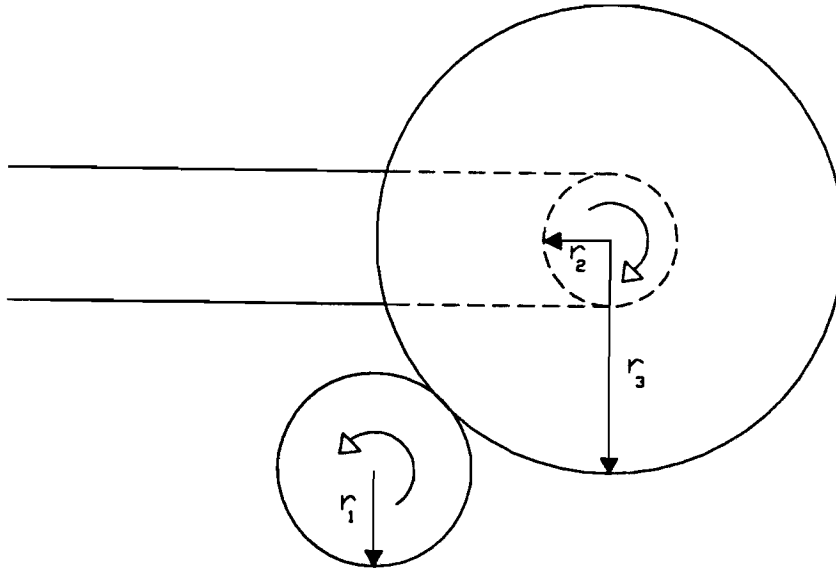
$$\sigma_{hz} = \left(\frac{35}{8.8}\right)^{1/3} * 915 = 1450 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$\sigma_{hz} < \sigma_{hz \text{ max}}$$

Doordat de benodigde voorspankrachten lager zijn dan werd aangenomen zijn de lagerkrachten lager. Binnen de gehele overbrenging treedt geen slip op dus het maximale koppel van de motor hoeft niet te worden verlaagd.

Bijlage 14. INVLOED VAN DE ONNAUWKEURIGHEID IN DE WRIJVINGSWIELEN OP DE VERPLAATSING

Om te bepalen in hoeverre de onnauwkeurigheid van de wrijvingswielen doorwerkt in een onnauwkeurigheid van de bandverplaatsing wordt de volgende berekening uitgevoerd. Figuur 35 geeft de overbrenging weer.



Figuur 35: De overbrenging

Op as 1 zit de rotatieopnemer.

Op as 2 zit de aandrijving van de band.

De rotatieopnemer levert 20000 pulsen bij een volledige omwenteling.

$$r_1 = 3.5 \pm 0.0025 \text{ mm}$$

$$r_2 = 7.9575 \pm 0.0025 \text{ mm}$$

$$r_3 = 35 \pm 0.0025 \text{ mm}$$

$$\varphi_1 r_1 = \varphi_2 r_3 \quad \varphi_2 = \varphi_1 \frac{r_1}{r_3}$$

Berekening van de bandverschuiving per puls :

$$\text{De hoekverdraaiing van wiel 1 per puls : } \varphi_1 = \frac{2\pi}{20000} \text{ rad}$$

De hoekverdraaiing van wiel 2 per puls : $\varphi_2 = \frac{2\pi}{20000} * \frac{3.5}{35} = 3.142 * 10^{-5}$ rad

De verschuiving van de band per puls : $\varphi_2 r_2 = 3.142 * 10^{-5} * 7.9575 = 2.500 * 10^{-4}$ mm = 0.25 μ m

De verschuiving van de bandlengte : $L = r_2 \varphi_2 = \frac{r_2 r_1}{r_3} \varphi_1$

Maximale systematische afwijking in de bandlengteverschuiving ten gevolge van:

$$r_1 : dL_{r_1} = \left[\frac{\partial L}{\partial r_1} \right] dr_1 = \left[\frac{r_2}{r_3} \varphi_1 \right] dr_1$$

$$r_2 : dL_{r_2} = \left[\frac{\partial L}{\partial r_2} \right] dr_2 = \left[\frac{r_1}{r_3} \varphi_1 \right] dr_2$$

$$r_3 : dL_{r_3} = \left[\frac{\partial L}{\partial r_3} \right] dr_3 = \left[\frac{-r_1 r_2}{r_3^2} \varphi_1 \right] dr_3$$

$$dL_{r_1} = \frac{7.9575}{35} * \frac{2\pi}{20000} * 0.025 = 1.786 * 10^{-6} \text{ mm}$$

$$dL_{r_2} = \frac{3.5}{35} * \frac{2\pi}{20000} * 0.025 = 7.854 * 10^{-7} \text{ mm}$$

$$dL_{r_3} = \frac{-3.5 * 7.9575}{35^2} * \frac{2\pi}{20000} * 0.025 = -1.787 * 10^{-7}$$

De totale maximale systematische afwijking wordt nu:

$$dL_{tot} = |dL_{r_1}| + |dL_{r_2}| + |dL_{r_3}| = 2.750 * 10^{-6} \text{ mm} = 2.750 * 10^{-3} \mu\text{m}$$

De maximale relatieve fout in de verplaaatsing is $\frac{dL_{tot}}{L}$

$$\frac{dL_{tot}}{L} = \frac{2.750 * 10^{-3}}{0.25} = 1.1 \%$$

De relatie tussen het aantal pulsen (n) en de bandverschuiving wordt nu:

$$L_{\text{band}} = n * (0.25 \pm 0.00275) \mu\text{m}$$

Bijlage 15. DOORSCHOT EN NAUWKEURIGHEID

Om de nauwkeurigheid van het verplaatsingsmeetsysteem te bepalen is de tafel over verschillende afstanden, met verschillende snelheden verplaatst.

Met een lasermeetsysteem HP 5508A is de afstand van de tafel gemeten.

De motor wordt met 0 Volt bekrachtigd nadat er door de rotatieopnemer 400 pulsen(=100 μm) aan de computer zijn doorgegeven. De aanduiding puls in de tabellen geeft aan het aantal pulsen dat nog doorkomt nadat de motor met 0 Volt wordt bekrachtigd. De afstand is degene die met de laser is gemeten.

Snelheid = 1.1 mm/min

Puls	1	1	1	1	1	0	1	0
Afstand	99.64	100.05	99.88	99.69	99.67	100.13	99.91	100.27
	0	1	1	1				
	100.20	99.99	99.87	100.00				

Snelheid = 2.25 mm/min

Puls	1	0	1	1	0	1	2	0
Afstand	100.03	99.92	100.05	99.85	99.83	99.98	99.31	100.11
	1	0	0	1				
	99.83	99.75	99.98	99.49				

Snelheid = 3.35 mm/min

Puls	0	1	0	0	0	0	0	0
Afstand	99.96	99.68	99.81	99.99	99.73	99.88	99.94	99.80
	0	1	1	0				
	99.87	99.79	99.49	99.79				

Snelheid = 4.5 mm/min

Puls	1	0	0	0	0	0	0	0
Afstand	99.81	99.67	99.81	99.91	99.88	100.00	99.81	99.97
	0							
	100.11							

De motor wordt met 0 Volt bekrachtigd nadat er door de rotatieopnemer 800 pulsen(=200 μm) aan de computer zijn doorgegeven.

Snelheid = 4.5 mm/min

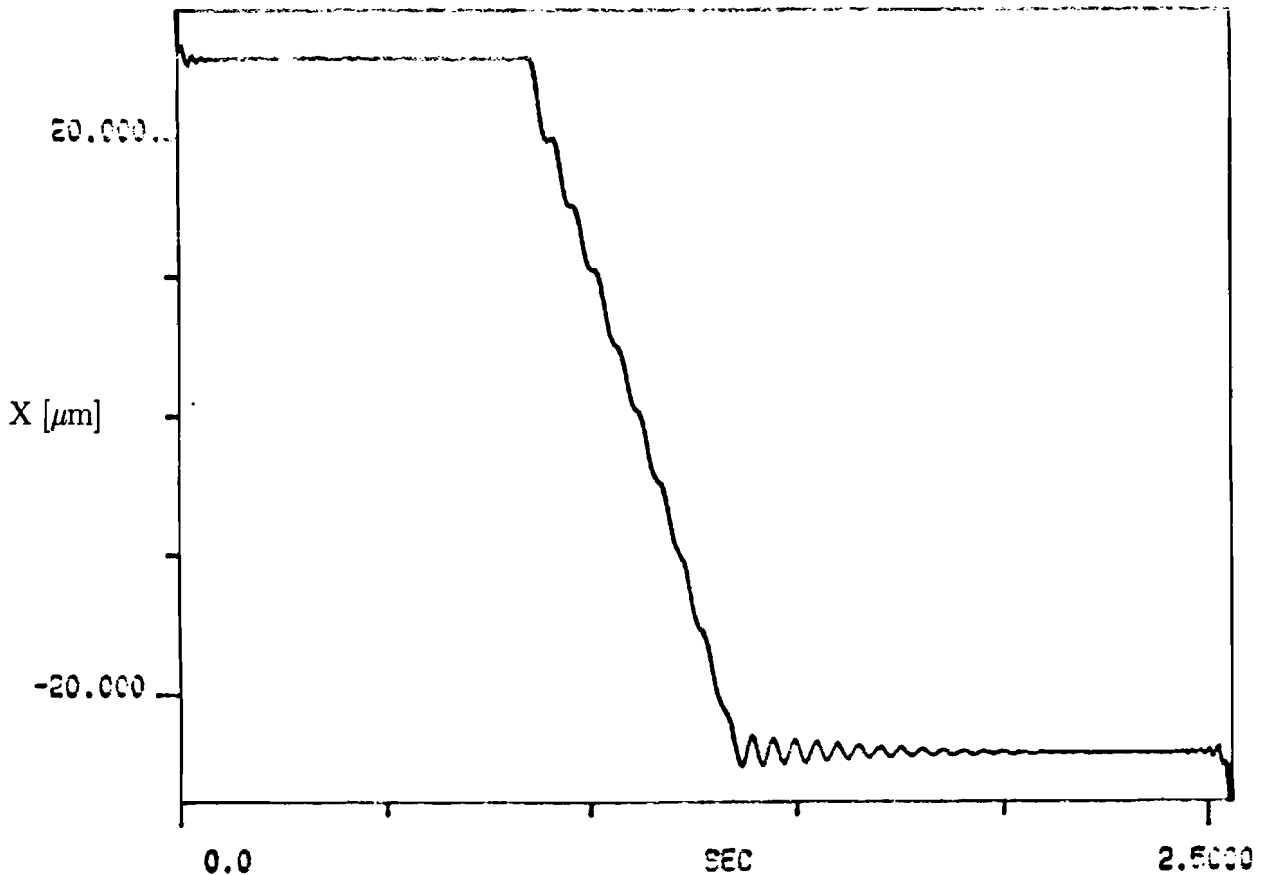
Puls	0	0	1	0	1	1	1
Afstand	200.38	200.21	200.19	200.37	200.03	200.03	199.90
	0	0	0	1	0	0	
	199.90	199.60	199.69	199.80	199.57	199.87	

Uit deze tabellen kan worden geconcludeerd dat :

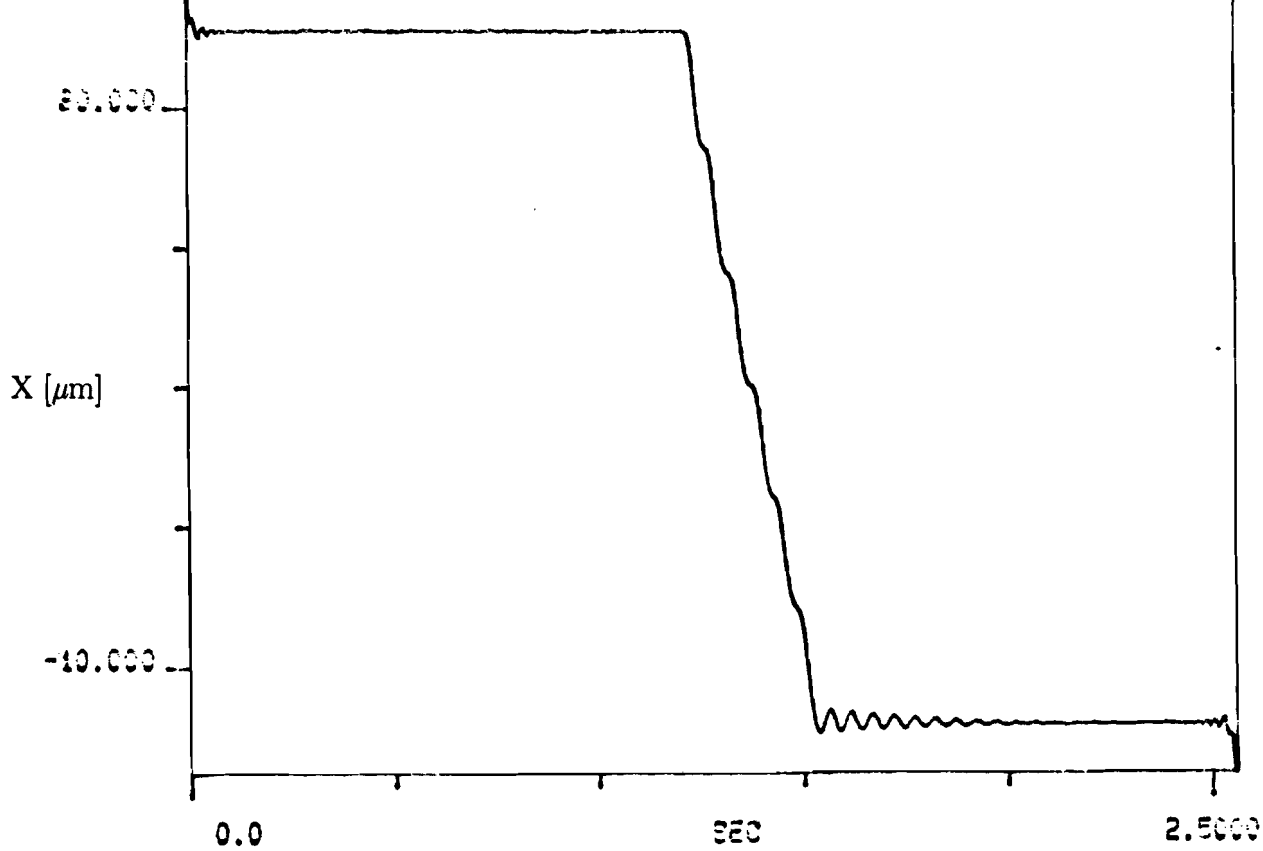
- Bij verplaatsingen tot 100 μm valt de invloed van de onnauwkeurigheden van de wrijvingswielen nog binnen de meetonnauwkeurigheid. Dit zal worden nagegaan aan de hand van afstandsbepalingen waarbij geen pulsen zijn doorgekomen nadat de motor met 0 Volt werd bekrachtigd. De onnauwkeurigheid van het lasermeetsysteem is 10^{-7} m. De onnauwkeurigheid door het digitaliseren van het signaal is 0.25 μm . Een afstand kleiner dan $(100 - 0.25 - 0.1)$ μm of een afstand groter dan $(100 + 0.25 + 0.1)$ μm . komt in de tabellen niet voor. Bij verplaatsingen over 200 μm is de onnauwkeurigheid van de wrijvingswielen wel waarneembaar. De absolute waarde van deze onnauwkeurigheid is namelijk een functie van de afstand.
- Indien er pulsen worden gegenereerd nadat de motor met 0 Volt is bekrachtigd is de verplaatste afstand veelal kleiner. Er is dus sprake van een terugval. Dit is waarschijnlijk te wijten aan de snelheidsterugkoppeling van de motor.

Bijlage 16. BEPALING VAN DE VERPLAATSINGSNAUWKEURIGHEID

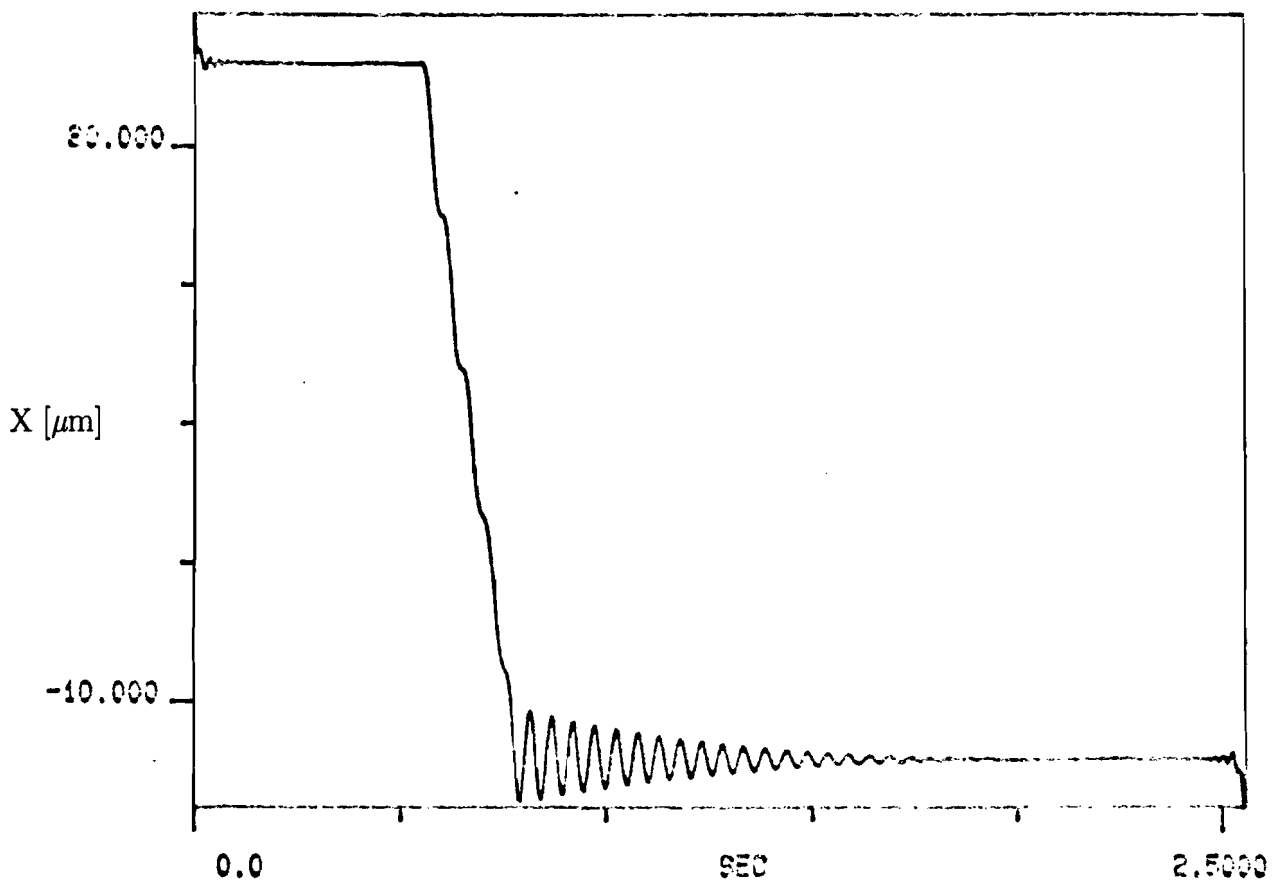
Uit bijlage 15 is gebleken dat indien de ingangsspanning van de motor met snelheidsterugkoppeling plotseling verandert van een bepaalde, positieve of negatieve, spanning naar nul er een trilling in de overbrenging onstaat. Met behulp van een digital analyzer HP 5243A is de responsie van de tafel in x-richting op een stap in de spanning gemeten. De verplaatsing van de tafel werd gemeten met een verplaatsingsopnemer. De volgende figuren bevatten verplaatsing-tijd metingen van de tafel bij verschillende snelheden.



Figuur 36: Verplaatsings-tijd diagram ($V_x = 2.25$ mm/min)



Figuur 37: Verplaatsings-tijd diagram ($V_x = 3.35$ mm/min)



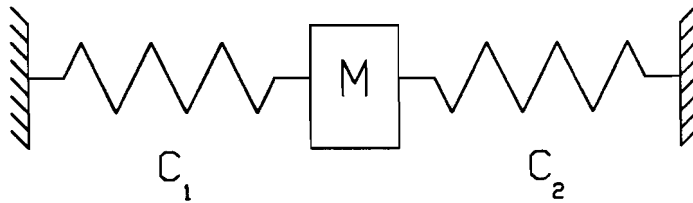
Figuur 38: Verplaatsings-tijd diagram ($V_x = 4.5$ mm/min)

Uit deze figuren blijkt dat de tafel trilt na een stap in de spanning en wel nadat de motor, die steeds met een constante spanning wordt bekrachtigd, de tafel vanuit stilstand aandrijft en wanneer de motor de tafel stopt. Bij de doorschotmetingen, waarbij de tafel overgaat van de beweging naar stilstand, is gebleken dat de rotatieopnemer nog bewoog nadat de motor met de spanning nul werd bekrachtigd. De maximale afstand die bij deze rotatie hoorde is $0.5 \mu\text{m}$. Indien men de trilling van de tafel in absolute zin cumulatief optelt, hetgeen de teller van de pulsen van de rotatieopnemer ook doet, blijkt de afstand veel groter te zijn. Het feit dat de rotatieopnemer slechts een gedeelte van deze trilling registreert duidt erop dat het grootste deel van de trilling na de rotatieopnemer plaatsvindt. Dit gedeelte van de trilling wordt waarschijnlijk veroorzaakt door de staalband die de overbrenging tussen de tafel en de wrijvingswieloverbrenging tot stand brengt (verder zie doorschot metingen in bijlage 14). Het effect van deze trilling is tweeledig.

- 1) Na het starten van de meettrack blijkt de trilling van de tafel in x-richting ook een component in de z-richting op te leveren. Hierdoor wordt er een extra onnauwkeurigheid geïntroduceerd.
- 2) Het stoppen van de beweging van de tafel in x-richting door een stap van de ingangsspanning levert problemen bij de positie bepaling omdat slechts pulsen worden geteld ongeacht de richting waarin de tafel beweegt.

De tijd waarin de trilling uitdempt is bij deze lage verplaatsingssnelheden (in de orde van $10 \mu\text{m/s}$) ongeveer één seconde. Deze trilling levert geen extra onnauwkeurigheid in de verplaatsing indien deze uitgedempt was voordat de volgende meettrack wordt gedaan. Ook trilt de tafel na het begin van een beweging. Hierdoor wordt er op andere posities gemeten dan men verwacht. Hierdoor is plaatsbepaling van de tafel met deze rotatieopnemer alleen mogelijk indien men de motor op een dussdanige manier versnelt en vertraagt zodat men zeker weet dat er geen doorschot optreedt.

De gemeten trilling van de tafel moet het gevolg zijn van de staalband omdat uit de metingen van de doorschot uit bijlage 15 blijkt dat de rotatieopnemer slechts verplaatsingen meet kleiner dan $1 \mu\text{m}$ en de tafel trilt met een amplitude van enkele μm 's. Om deze trillingen te verklaren wordt er aan het model uit figuur 33 gerekend.



Figuur 39: Massaveersysteem

Er wordt aangenomen dat de rotatieopnemer stilstaat en dat er geen demping in de staalband aanwezig is.

De eigenfrequentie van een ongedempt massaveersysteem $\omega_e = \sqrt{\frac{C}{M}}$

$$C = \frac{E * A}{L}$$

$$C_{\text{tot}} = C_1 + C_2 = 220.5 * 10^3 \text{ [Nm]}$$

De massa van de tafel met meetobject ligt tussen de 10 en 15 kg.

$$\omega_e = \sqrt{\left[\frac{220.5 * 10^3}{13} \right]} = 130.27 \text{ [s}^{-1}\text{]}$$

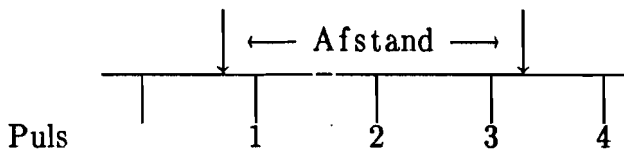
$$\omega_e = 2\pi f$$

$$f = 20.73 \text{ [s}^{-1}\text{]}$$

De eigenfrequentie die werd gemeten is ongeveer 20 Hz.

Bijlage 16. DIGITALISERINGSFOUT

Omdat er sprake is van een digitaal meetsysteem is de fout door het digitaliseren van het signaal dat de verplaatsing van de tafel bepaalt maximaal twee maal de stapgrootte. Een stap komt overeen met een puls. Om het geheel te verduidelijken is de volgende figuur gemaakt.



Figuur 40: Afstandsbeplating

Uit de figuur 40 blijkt dat indien er drie pulsen door de rotatieopnemer zijn gegenereerd, de afstand waarover de tafel is verplaatst, ligt tussen de afstand die overeenkomt met twee tot vier pulsen. In het algemeen ligt de relatie, met betrekking tot het digitaliseren, tussen het aantal pulsen en de afstand die de tafel verplaatst als volgt vast: $(\text{aantal gegenereerde pulsen} - 1) * 0.25 \mu\text{m} \leq \text{afstand waarover de tafel is verplaatst} \leq (\text{aantal gegenereerde pulsen} + 1) * 0.25 \mu\text{m}$.

De hier beschreven fout is overigens niet van invloed op het verschuiven van de meetwaarden ten opzichte van elkaar in verschillende meettracks

Bijlage 18. TEMPERATUURSINVLOED OP DE STAALBAND

Experimenteel is het volgende feit geconstateerd: Bij stilstaande motor is er enige beweging van de tafel waarneembaar. Met een lasermeetsysteem HP 5508A is de afstand waarover de tafel beweegt gemeten. Tijdens deze meting is gecontroleerd of de rotatieopnemer pulses genereerde. Dit bleek niet het geval. Toch werd er een maximale verplaatsing van $0.8 \mu\text{m}$ gemeten. Deze verplaatsing treedt op binnen een vijftal seconden. Door het sluiten van de deuren, die toegang geven tot de meetruimte waarin het experiment werd uitgevoerd, daalde de maximale verplaatsing tot $0.6 \mu\text{m}$. Ook deze beweging gebeurde in een kort tijdsbestek. Het afsluiten van de meetmachine door een perspex kap leidde tot een daling van de verplaatsing tot $0.1 \mu\text{m}$. Deze beweging werd gemeten in dertig minuten. De verplaatsing die waargenomen is bij de meting met kap komt door opwarmeffecten. De snelle verplaatsing van de tafel kan worden verklaard door luchtstromingen die de staalband afkoelen.

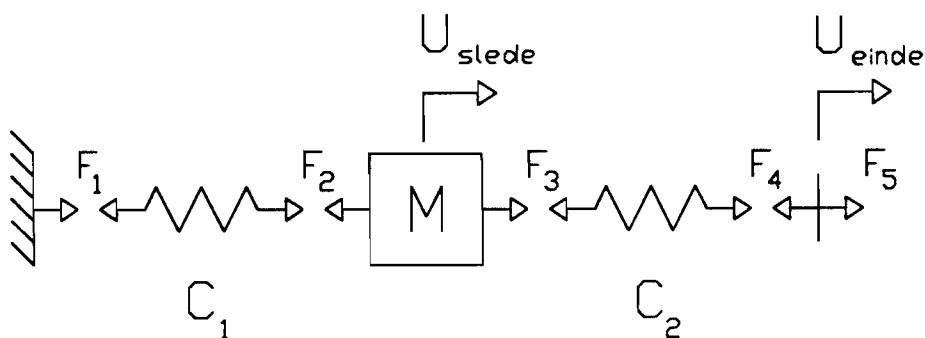
De formule die de uitzetting koppelt aan een lengteverandering is:

$$\Delta L = \lambda * L * \Delta T$$

De uitzettingscoëfficiënt(λ) van de staalband is $1 \cdot 10^{-5} [\text{K}^{-1}]$

Bij deze berekeningen wordt aangenomen dat het korte gedeelte van de staalband niet door temperatuur-effecten wordt beïnvloed en het lange gedeelte wel.

De modellering van deze situatie volgt uit figuur 41.



Figuur 41: Massaveersysteem.

$$F_5 = C_{\text{tot}} * U_{\text{tot}} \qquad \frac{1}{C_{\text{tot}}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} = \frac{C_1 + C_2}{C_1 C_2}$$

$$C = \frac{EA}{L}$$

Gegevens van de staalband:

Elasticiteitsmodulus van staal : $E = 2.1 * 10^5 \text{ [Nmm}^{-2}\text{]}$
 Oppervlakte van de staalband : $A = 0.05 * 6 = 0.3 \text{ [mm}^2\text{]}$
 Lengte van het korte gedeelte : $L_{01}(T = 20^\circ\text{C}) = 400 \text{ [mm]}$
 Lengte van het lange gedeelte : $L_{02}(T = 20^\circ\text{C}) = 1000 \text{ [mm]}$

Stijfheid van het korte gedeelte :

$$C_1 = \frac{2.1 * 10^5 * 0.3}{400} = 157.5 \text{ [Nmm}^{-1}\text{]}$$

Stijfheid van het lange gedeelte :

$$C_2 = \frac{2.1 * 10^5 * 0.3}{1000} = 63 \text{ [Nmm}^{-1}\text{]}$$

De stijfheid van deze twee staalbanden in serie :

$$C_{\text{tot}} = \frac{157.5 * 63}{(157.5 + 63)} = 45 \text{ [Nmm}^{-1}\text{]}$$

De verlenging van beide staalbanden als gevolg van de voorspankracht $F_v (= 35\text{N})$:

$$U_{\text{tot}} = \frac{35}{45} = 0.7777 \text{ [mm]}$$

De sledeverplaatsing als gevolg van de voorspankracht :

$$U_{\text{slede}} = \frac{35}{157.5} = 0.2222 \text{ [mm]}$$

De maximale gemeten slede verplaatsing $0.8\mu\text{m}$. Indien wordt aangenomen dat dit wordt veroorzaakt door een afkoeling van het lange gedeelte van de staalband kan het volgende worden berekend.

$$U_{\text{slede}} = 0.2222 + 0.0008 = 0.2230 \text{ [mm]}$$

De kracht nodig is voor deze verplaatsing :

$$F_2 = 157.5 * 0.2230 = 35.126 \text{ [N]}$$

$$F_2 = F_5 = C_{\text{tot}} * (X_{\text{tot}} - L_{01} - L_{02})$$

X_{tot} en L_{01} blijven gelijk. Alleen L_{02} verandert door de afkoeling.

$$L_{02} (T = 20^\circ\text{C} - \Delta T) = 999.9972 \text{ [mm]}$$

$$\Delta L = 1000 - 999.9972 = 2.8 * 10^{-3} \text{ [mm]}$$

De temperatuursverandering die deze lengteverandering tot gevolg heeft :

$$\Delta T = \frac{2.8 * 10^{-3}}{(1 * 10^{-5} * 1000)} = 0.28 \text{ [K]}$$

De ruimte waarin dit experiment werd uitgevoerd kent een maximale temperatuurschommeling van 0.5 K. De gemeten verschuiving van de tafel bij stilstaande rotatieopnemer is dus verklaarbaar door temperatuursverschillen in beide staalbanden. De snelle lengteverandering bij temperatuurschommelingen is te wijten aan de kleine tijdsconstante van de staalband. Deze kleine tijdsconstante is te verklaren door de grote oppervlakte/inhouds verhouding van de staalband.

De lengte verandering van de staalband neemt af naarmate de luchtstromingen rond de staalband afnemen. Door te meten met de kap erop wordt voldaan aan de nauwkeurigheidseisen.