

## De besturing van een 3-D-coördinatenmeetmachine

***Citation for published version (APA):***

Brouns, D. S. G. (1995). *De besturing van een 3-D-coördinatenmeetmachine*. (TU Eindhoven. Fac. Werktuigbouwkunde, Vakgroep WPA : rapporten). Technische Universiteit Eindhoven.

***Document status and date:***

Gepubliceerd: 01/01/1995

***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](http://www.tue.nl/taverne)

***Take down policy***

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

[openaccess@tue.nl](mailto:openaccess@tue.nl)

providing details and we will investigate your claim.

BB 478157

**Stageverslag:**

**De besturing van een  
3D-coördinatenmeetmachine**

D.S.G. Brouns

WPA-rapport nr. 310035

December 1995

Begeleiding Botech: Ir. R.A.A. van Mil  
Begeleiding TUE: Prof. dr. ir. P.H.J. Schellekens  
Technische Universiteit Eindhoven  
Faculteit Werktuigbouwkunde  
Vakgroep WPA  
Sectie Precision Engineering

## Samenvatting

Ik heb mijn stage vervuld bij de firma Botech te Helmond. Dit bedrijf fabriceert hoofdzakelijk granieten vlakplaten, welke onder andere worden toegepast als grondplaat van produktie- en meetmachines. Botech heeft de middelen in huis om deze vlakplaten te fabriceren met een onnauwkeurigheid van enkele  $\mu\text{m}$ 's. Belangrijke afnemers zijn onder andere Zeiss en ASM-Lithography. Tevens worden bij Botech precisie halffabrikaten zoals luchtlagers gemaakt. In 1995 is een nieuwe divisie opgericht: Botech Engineering; deze afdeling heeft het ontwerpen en realiseren van meetmachines tot doel.

Onderwerp van mijn stage was de PHM-650 driedimensionale-coördinatenmeetmachine, in 1989 gebouwd door ir. J.F.C. de Nijs. Van deze machine zijn door een bedrijfsovername enkele cruciale onderdelen verloren gegaan. Het was mijn taak om deze machine te analyseren om vervolgens ontbrekende of slecht functionerende onderdelen te vervangen. In deze analyse is de machine in vier onderdelen opgesplitst: de meetmachine (bed+sleden), de besturing, het tastsysteem en de software.

De meetmachine zelf bevond zich nog in goede staat. Omdat de aanschaf van zowel een softwarepakket om metingen te verrichten als een tastsysteem een aanzienlijke investering met zich meebrengen, is bij deze onderdelen slechts volstaan met een analyse welke systemen het beste kunnen worden aangeschaft en hoe deze in het systeem kunnen worden geïmplementeerd. Uiteindelijk is het mogelijk gebleken om de meetmachine van een geheel nieuwe besturing te voorzien. Deze besturing maakt het mogelijk om volledig voorgeprogrammeerde bewegingscycli uit te voeren. Ook is het mogelijk om de machine met behulp van een joystick-besturingssysteem rechtstreeks aan te sturen.

# Inhoudsopgave

## Samenvatting 2

### Voorwoord 5

#### 1 Inleiding 6

#### 2 Opbouw van de meetmachine 7

#### 3 Het besturingssysteem 11

##### 3.1 *Het nieuwe besturingssysteem* 12

###### 3.1.1 De uitvoeringsvorm 13

###### 3.1.2 De mogelijkheden van de besturingskaart 13

##### 3.2 *Positie-terugkoppeling* 14

##### 3.3 *Programmering van de PMAC* 14

##### 3.4 *Configuratie van de PMAC* 15

##### 3.5 *Handmatige aansturing* 16

###### 3.5.1 Schakelend aangesloten joysticks. 17

###### 3.5.2 Rechtstreekse aansluiting op de versterker. 18

###### 3.5.3 Analoge aansluiting 19

#### 4 Vervolgonderzoek 20

##### 4.1 *Het tastersysteem* 20

###### 4.1.1 De koppeling tussen het tastersysteem en de rest van de machine 20

##### 4.2 *Het meet-softwarepakket* 21

#### 5 Conclusies en aanbevelingen 23

### Literatuuroverzicht 24

#### A Specificaties 25

##### A.1 *Informatie PMAC besturingskaart* 26

##### A.2 *Informatie Galil besturingskaart* 27

##### A.3 *Informatie Perk-joysticks* 28

##### A.4 *Informatie wiper input PMAC* 30

##### A.5 *Informatie softwarepakket 'Leitz Quindos'* 31

#### B Meetstaat temperatuur en luchtvochtigheid 33

#### C Belangrijke variabelen hun waarden 34

##### C.1 *De I-variabelen.* 34

###### C.1.1 Algemene variabelen (0..99) 34

###### C.1.2 Motorvariabelen (100..999) 34

##### C.2 *De M-variabelen* 35

##### C.3 *De P-variabelen* 36

#### D Schema's besturing 37

#### E aansluitingen 41

##### E.1 *De vermogensversterkers* 41

##### E.2 *Aansluitingen PMAC ACC-8* 43

F	<b>Programma's</b>	<b>45</b>
F.1	<i>PLC programma voor de aansturing van schakelende joysticks</i>	<i>46</i>
F.2	<i>PLC programma ter ondersteuning van rechtstreeks aangesloten joysticks</i>	<i>47</i>
F.3	<i>PLC programma voor analoge joysticks</i>	<i>48</i>
F.4	<i>Motionprogramma ter bepaling van de variabelen van de analoge joysticks</i>	<i>52</i>
F.5	<i>Programma voor de communicatie tussen PMAC en software</i>	<i>55</i>

## **Voorwoord**

Dit verslag heb ik geschreven ter afsluiting van mijn onderzoeksopdracht aan de Technische Universiteit Eindhoven. De opdracht werd geleverd door de firma Botech B.V. (Boogers Engineering) te Helmond. Deze opdracht heb ik uiteraard niet alleen vervuld, voor steun en advies dank ik de volgende personen: ing. A. Boogers voor het gebruik van de faciliteiten binnen zijn bedrijf, ir R.A.A. van Mil, voor de goede begeleiding en Alex van Lankvelt voor een goede en produktieve samenwerking.

# Hoofdstuk 1

## Inleiding

De drie-dimensionale meetmachine is ontstaan uit de ontwikkeling van de numeriek bestuurde produktiemachines. Deze meetmachine heeft vele raakvlakken met een drie-assige freesmachine: evenals bij een freesmachine kan een meetkop/freeskop in een bepaald meetvolume naar elke gewenste positie worden gebracht. De besturing die deze verplaatsing verzorgt, kan bij beide typen machines ook op afstand worden bediend. 3-D meetmachines bezitten een grote flexibiliteit: één meetmachine moet in staat zijn een grote diversiteit aan metingen uit te kunnen voeren (rondheids-, vlakke-, lengtemeting). Wanneer een rondheidsmeting op een 3-D meetmachine wordt uitgevoerd, is de nauwkeurigheid uiteraard niet zo hoog dan wanneer de meting met een specifieke rondheidsmeter zou zijn uitgevoerd. Het is echter wel mogelijk om deze rondheidsmeting te doen met objecten die op een conventionele rondheidsmeter niet zijn in te spannen. Zo kunnen bijvoorbeeld cilinderboringen in motorblokken op rondheid worden gecontroleerd.

Eind jaren tachtig is bij Pelt en Hooykaas, een bedrijf dat later is overgenomen door Botech, een 3-D meetmachine gebouwd door een assistent in opleiding. Als gevolg van onder andere de bedrijfsovername zijn verschillende onderdelen van deze meetmachine niet meer aanwezig.

Het doel van deze onderzoeksopdracht is het uiteenzetten welke aanpassingen noodzakelijk zijn om deze meetmachine weer operationeel te maken. Waar mogelijk (zonder al te grote uitgaven) dienen deze aanpassingen ook uit te worden gevoerd. Omdat bij Botech in de toekomst meerdere meetmachines met een *PMAC-besturing*<sup>1</sup> zullen worden ontworpen en gebouwd, dient hier extra aandacht aan geschonken te worden.

In hoofdstuk twee zal een overzicht worden gegeven van de opbouw van de machine. Hoofdstuk drie gaat in op de besturing van de meetmachine, waaraan deze moet voldoen en hoe de besturing is gerealiseerd.

Hoofdstuk vier gaat over de (nog) niet gerealiseerde onderdelen: het softwarepakket dat de metingen uitvoert en de resultaten verwerkt is net als het tastersysteem nog niet aangeschaft, in hoofdstuk vier is beschreven hoe deze twee onderdelen met de besturing kunnen worden geïntegreerd.

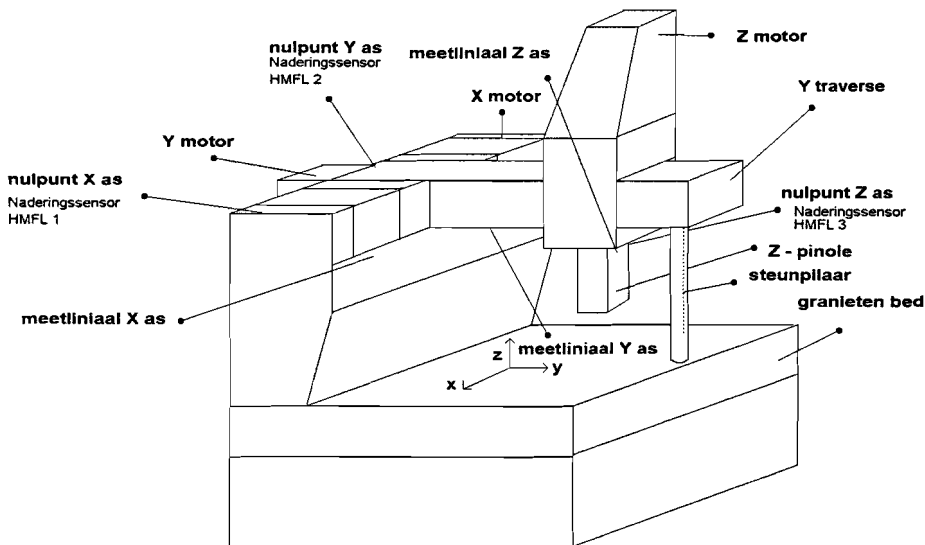
Tenslotte volgen in hoofdstuk vijf enkele conclusies en aanbevelingen.

---

1. zie hoofdstuk 3

## Hoofdstuk 2

### Opbouw van de meetmachine



Figuur 2.1: PHM-650 coördinaten meetmachine

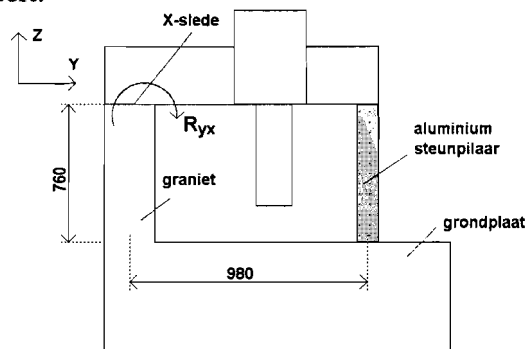
De PHM-650 coördinatenmeetmachine is in 1990 door een assistent in opleiding gebouwd<sup>1</sup>. Met deze meetmachine zijn echter nooit volwaardige metingen uitgevoerd. De meetmachine is globaal uit de volgende onderdelen opgebouwd (zie ook figuur 2.1):

- **De grondplaat:** de gehele constructie is opgebouwd op een granieten vlakplaat. Op deze vlakplaat wordt het meetobject aan de inserts verankerd. Inserts zijn in de vlakplaat gelijmde cilinders waarin een gat met getapte draad is aangebracht.
- **Passieve isolatie:** om trillingen van de buitenwereld te dempen, is de grondplaat geplaatst op vier trillingsdempers. Omdat de massaverdeling op de grondplaat door het hoge gewicht van de sleden sterk varieert, zijn deze trillingsdempers voorzien van een pneumatisch regelsysteem dat de grondplaat ten allen tijden horizontaal houdt.
- **Tastersysteem:** het tastersysteem bestaat uit een tasterkop, een taster, een taststift en ondersteunende hardware. De tasterkop wordt aan de onderzijde van de Z-pinole bevestigd. Aan deze tasterkop wordt een taststift bevestigd waarmee het meetobject kan worden getoucheerd. Het in de tasterkop aangebrachte schakelsysteem geeft dan een signaal. Er zijn drie hoofdsorten tasterkoppen :

1. zie: De Nijs, 1990



- **Schakelend:** dit is de meest toegepaste soort. Dit type tasterkop geeft een signaal wanneer de taststift een bepaalde hoek maakt ten opzichte van de ruststand.
- **Metend:** dit type taster bevat een geavanceerd meetsysteem dat de uitwijking van de taster meet. Deze meetgegevens kunnen worden gecombineerd met de positiegegevens van de meetmachine zelf. Dit is een nauwkeuriger systeem omdat er minder afhankelijkheid is van meetkracht en meetrichting dan bij een schakelende taster.
- **Optisch:** aan de pinole (Z-as) wordt een camera bevestigd, waarna met behulp van beeldverwerkingstechnieken bijvoorbeeld lijndiktes op printplaten gemeten kunnen worden. Dit type 'taster' is alleen geschikt voor tweedimensionale metingen.
- **Steunpilaar:** aan het eind van de Y-traverse is een aluminium steunpilaar gemonteerd. Het blijkt, dat deze steunpilaar een aanzienlijke temperatuurgevoeligheid introduceert:



Figuur 2.2: de steunpilaar

De uitzettingscoëfficiënt van aluminium is  $24 \cdot 10^{-6} 1/^\circ C$ ; de uitzettingscoëfficiënt van graniet is  $6 \cdot 10^{-6} 1/^\circ C$ .

Uit de meetstaat uit bijlage B blijkt, dat een temperatuurvariatie van  $2^\circ C$  kan voorkomen. Deze temperatuurvariatie resulteert in een rotatieafwijking  $R_{yx}$  van:

Lengteverandering:

$$\Delta l = l_0 * \Delta T * \alpha$$

Met:

$\Delta T$  : temperatuurverandering.

$\alpha$  : uitzettingscoëfficiënt.

$l_0$  : oorspronkelijke lengte.

Lengteverandering steunpilaar bij  $2^\circ C$  temperatuurverandering:

$$\Delta l_1 = 0.760 * 2 * 24 = 36.48 \mu m$$

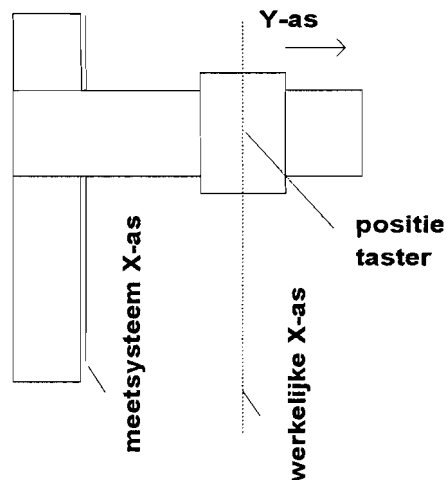
Linker ondersteuning X-slede (graniet):

$$\Delta l_2 = 0.760 * 2 * 6 = 9.12 \mu m$$

De rotatieafwijking is dus gelijk aan:

$$R_{yx} = \arctan \left( \frac{\Delta l_1 - \Delta l_2}{0.980 * 10^{-6}} \right) = 27.9 \mu rad$$

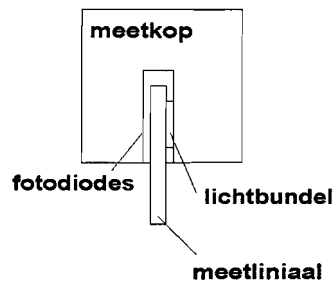
- **Sleden en lagering:** Om de sleden te verplaatsen is een kogelomloop spindel-aandrijving gemonteerd <sup>2</sup>. De lagering vindt plaats door middel van lucht-lagers. De massa van de sleden is hoog: de geleidingen zijn van graniet. Hoewel de soortelijke massa van graniet lager is dan die van staal, zijn granieten constructies in het algemeen toch zwaarder vanwege de volumineuze bouwwijze die graniet met zich meebrengt. Om de hoge versnellingskrachten het hoofd te bieden is het aantal (lucht)lagers vergroot en is afgezien van voorspanelementen. De lagering is overbepaald, wat tot onvoorspelbare lagerkrachten leidt. De te verplaatsen massa is zeer groot (ongeveer 200 kg.) en een geringe rotatieafwijking in Z-richting leidt tot een Abbe afwijking bij hogere Y-waarden.



Figuur 2.3: Abbe-afwijking X-as.

- **Aandrijfsystemen:** om de sleden te verplaatsen, worden de spindels aangedreven door gelijkstroommotoren. Het is niet toegestaan dat deze motoren tijdens een meting de sleden een ongewenste versnelling geven. Daarom zijn op de motorassen encoders aangebracht. Encoders leveren aan bepaald aantal pulssignalen per asomwenteling, met deze pulssignalen kan positieterugkoppeling van de motoren plaatsvinden. Tevens bevinden zich op de motorassen tachogeneratoren, hiermee vindt snelheidsterugkoppeling van de vermogensversterker plaats.
- **De meetsystemen:** Wanneer de taster een meetobject raakt en een signaal geeft aan de besturing, dient de positie van de taster op dat ogenblik bekend te zijn. Om deze positie te bepalen zijn meetlinialen gemonteerd. Meetlinialen zijn glas-staven waarin in breedterichting een raster is aangebracht. De sledeposities worden uitgelezen met behulp van meetkoppen, deze creëren als volgt een signaal:

2. zie:Slot, 1989



Figuur 2.4: positie meetsysteem (loodrecht op bewegingsrichting)

Aan een zijde van de meetkop bevindt zich een lichtbron die een evenwijdige bundel uitstraalt in de richting van op de meetliniaal aangebrachte raster. Aan de andere zijde van dit raster zijn twee fotodiodes opgesteld. Wanneer de liniaal met een constante snelheid langs de meetkop wordt verschoven, ontstaat door het raster in de liniaal een sinusvormig fotodiodesignaal. Deze twee fotodiodes zijn dusdanig georiënteerd, dat er een faseverschuiving van  $90^\circ$  tussen de beide signalen aanwezig is. Hieruit is de bewegingsrichting bekend: de bewegingsrichting blijkt uit de faseachterstand of -voorsprong van de signalen ten opzichte van elkaar.

Deze sinusvormige signalen doorlopen op 0.2 mm één golflengte (dit is de steek van het raster van de meetliniaal) Om een hogere resolutie te verkrijgen, worden de sinusvormige signalen met behulp van interpolatoren opgedeeld in pulssignalen; per mm sledeverplaatsing worden er meer dan 1000 pulsen gegenereerd (de resolutie is kleiner dan  $1 \mu\text{m}$ ). Het positie-meetsysteem van de besturing bestaat nu uit een pulsenteller; voor elke getelde puls wordt een increment aan de actuele positie toegevoegd of afgetrokken.

Omdat het meetsysteem incrementeel is, zijn de sledeposities bij inschakelen van de besturing onbekend. Om de nulpunten van de assen te kunnen bepalen, zijn aan het eind van iedere as 'homeflags' geplaatst. Deze homeflags zijn naderingssensoren die de positie-tellers op nul zetten wanneer de slede ze passeert.

- **Vermogensversterker:** Om de motoren aan te sturen is een vermogensversterker aanwezig, die met behulp van tachogeneratoren een snelheidsterugkoppeling bezit. Het systeem dat een stuurspanning voor deze versterker genereert is niet meer aanwezig; hier zal in het volgende hoofdstuk verder op worden ingegaan.

## Hoofdstuk 3

### Het besturingssysteem

Een belangrijk onderdeel van de machine is de besturing. Deze zorgt niet alleen voor een stabiele aansturing van de motoren, maar ook voor de verwerking van de positie-informatie van de meetlinialen en verschillende andere machinegegevens, zoals bijvoorbeeld de aanwezigheid van perslucht.

Het is noodzakelijk gebleken de machine van een geheel nieuwe besturing te voorzien. Aan de besturing worden de volgende eisen gesteld:

1. **Algemeen:** het dient mogelijk te zijn om de besturing een voorgeprogrammeerde trajectorie over alle drie de assen simultaan te laten volgen. Hierbij dient de positie continu bekend te zijn. Wanneer de taster het meetobject raakt, dient de beweging te worden gestopt binnen een bepaalde afstand. Deze afstand wordt bepaald door de maximale 'overtravel' van de taster. De taster mag slechts een bepaald aantal graden draaien ten opzichte van de tastkop. Voor een langere taster is dus een kleinere marge en daarmee een lagere meetsnelheid mogelijk. De snelheid waarmee een beweging kan worden gestopt hangt echter niet in eerste plaats af van de besturing. De bewegende massa bepaalt de grootte van de vertragskrachten die door motorvermogen overwonnen dienen te worden. De positie-informatie moet een resolutie hebben die ongeveer een factor tien hoger is dan de meetnauwkeurigheid. Dit komt in ons geval neer op ongeveer  $0.6 \mu\text{m}$ .  
Wanneer de sleden met maximale snelheid voortbewegen, heeft het pulssignaal van de interpolatoren een maximale frequentie (counts per seconde); het besturingssysteem moet deze frequentie kunnen volgen.
2. **interpolatie:** Voor 3-D meetmachines met een schakelend tastersysteem is gewoonlijk een punt-naar-punt besturing voldoende: het is niet noodzakelijk om de sleden hogere orde contouren te laten volgen (eerste orde interpolatie is voldoende).
3. **Bediening:** De operator moet de machine op drie manieren kunnen aansturen:
  - **CNC-gestuurd:** de machine voert bewegingspatronen uit die vooraf in CNC-code zijn geprogrammeerd.
  - **Handbediend:** eenvoudige, eenmalige metingen kunnen vaak het snelst plaatsvinden wanneer de taster handmatig wordt bedient, daarom moet het mogelijk zijn om met behulp van joysticks alle assen aan te sturen. De besturing dient bij handbediening de gemeten positie op elk gewenst ogenblik op te kunnen slaan.

- **Low-level:** onder low-level bediening wordt een aansturing door een signaal van buitenaf bedoeld. Signalen van buitenaf zijn bijvoorbeeld afkomstig van luchtdruksensoren of de taster. Deze bedieningsmode moet voorrang hebben op elk ander besturingsproces: zo moeten CNC programma's onherroepelijk worden onderbroken wanneer de persluchttoevoer wegvalt.
4. **Compatibiliteit:** het besturingssysteem dient te worden aangestuurd door een meet-softwarepakket. Om communicatie tussen dit softwarepakket en de meet-machine mogelijk te maken, dient het besturingssysteem de commando's van dit softwarepakket uit te kunnen voeren. Communicatieprogramma's die dit mogelijk maken kunnen pas worden geschreven wanneer het softwarepakket is aangekocht. In dit rapport vindt u in het volgende hoofdstuk een beknopte omschrijving van de opzet van dergelijke programma's.

### 3.1 Het nieuwe besturingssysteem

Om aan de bovenstaande eisen te voldoen, is een computergestuurde besturingskaart de optimale oplossing. Door de sterke prijsdaling, die zowel computers als randapparatuur de laatste tien jaar hebben ondergaan, zijn er tegenwoordig zeer universele en betaalbare besturingskaarten op de markt.

Deze besturingskaarten, waarvan van twee typen de specificaties zijn weergegeven in bijlage A, zijn in staat om alle besturingstaken op zich te nemen, dus ook de verwerking van de meetgegevens van de positie-meetsystemen. Omdat de meetlinialen rechtstreeks door deze besturingskaarten uitgelezen kunnen worden, is de positie te allen tijde bekend. Inwendige differentiatoren in de besturing kunnen nu de actuele snelheids- en versnellingsinformatie berekenen. Het is met deze besturingskaarten mogelijk om hogere orde contouren te volgen.

Er zijn twee verschillende besturingskaarten onderzocht: een van de fabrikant van de eerder op de machine aanwezige besturing (de DMC 1000 van de fabrikant Galil en de kaarten uit de PMAC-serie van de fabrikant Delta Tau. Deze twee kaarten bleken vrijwel identiek. In de bijlage A is een samenvatting van de mogelijkheden weergegeven. Om de volgende redenen is een kaart uit de PMAC serie gekozen:

- De PMAC-kaarten hebben de mogelijkheid om een positie bij een bepaald signaal van buitenaf onmiddellijk vast te leggen, aansluiting van het signaal van de taster op deze ingang maakt het mogelijk om zeer nauwkeurig de posities van de meetpunten te verwerken.
- Bij de firma Botech is reeds de nodige expertise op het gebied van de PMAC hard- en software eigenschappen aanwezig; met deze kennis verder werken bespaart tijd.
- De trilas cilindermeetmachine E-503, die in de periode van dit onderzoek werd voltooid, is ook met een PMAC besturingskaart uitgerust. De PHM-650 meet-machine kon worden gebruikt als testmachine.

Vooraf het laatste punt woog in de keuze van de besturingskaart zwaar mee. Wanneer dit niet het geval zou zijn geweest, was het waarschijnlijk beter geweest om een besturingskaart aan te schaffen bij een fabrikant die ook meetsoftware levert. De integratie van software met besturing is in dat geval door de fabrikant gegarandeerd.

### 3.1.1 De uitvoeringsvorm

De firma Delta Tau levert de PMAC besturingskaarten in twee uitvoeringsvormen:

1. De PMAC-VME en de PMAC-STD32: deze besturingskaarten functioneren als losstaande eenheden in een rack; de communicatie met de host-computer vindt plaats via een RS232- of RS422-verbinding.
2. De PMAC-PC en de PMAC-Lite zijn als insteekkaart in de host-computer geplaatst; de PMAC-Lite voor AT computers en de PMAC-PC voor XT computers.

De kaarten van het eerste type worden voornamelijk gebruikt in grote industriële processen waarbij de programmering op afstand plaats vindt. Het tweede type kaarten is vooral geschikt wanneer een computer zich in de buurt van de machine bevindt. Het grote verschil tussen deze twee uitvoeringsvormen is de manier waarop de PMAC kaart communiceert met de host-computer: in het eerste geval via een RS232- of RS422-verbinding, in het tweede geval via de veel snellere PC-bus. Gekozen is voor de PMAC-Lite omdat de computer bij de machine staat opgesteld. De snellere communicatie tussen besturing en computer van deze kaart maakt het werken ook gemakkelijker, maar wanneer een PMAC-besturing eenmaal geïnstalleerd is en optimaal geconfigureerd, is de datacommunicatie dusdanig gering, dat ook met een RS232-systeem prima kan worden gewerkt. Dit voordeel was dus van ondergeschikt belang.

### 3.1.2 De mogelijkheden van de besturingskaart

De PMAC-Lite besturing (vanaf nu:PMAC) is een systeem dat een bepaalde trajectorie, gedefinieerd door een motion programma, door de motoren die erop aangesloten zijn zo nauwkeurig mogelijk laat volgen (servo systeem). Deze beweging wordt geregeld door middel van een PID-regelaar. Terugkoppeling van de positie vindt plaats door het tellen van de pulsen van de interpolatoren. Snelheidsinformatie wordt verkregen door de positie te differentiëren naar de tijd. Om de versterkingsfactoren van de proportionele-, differentiële- en integrale- regellussen te bepalen is een tuningprogramma bijgeleverd. Met dit programma is het onder andere mogelijk om een bepaalde stap te nemen als gewenste trajectorie; deze beweging uit te laten voeren en daarna de volgfout als functie van de tijd te plotten. Tevens worden settling time, damping ratio en overshoot bepaald. Het is bij de toepassing van de PMAC in de meetmachine vooral van belang dat de sleden in korte tijd op een bepaalde snelheid kunnen worden gebracht en deze snelheid daarna zeer constant kunnen handhaven. In korte tijd op snelheid levert een sneller meetproces en een niet constante snelheid introduceert parasitaire versnellingskrachten die de nauwkeurigheid beïnvloeden. De parameters zijn als volgt ingesteld: net geen doorschot (kritisch gedempt) en een minimize settling time.

De PMAC is in staat om de gehele machine te besturen. De kaart is niet alleen in staat de motoren aan te sturen, maar kan ook verschillende andere processen in en om de machine besturen. De kaart bevat een groot aantal machine in- en outputs. Machine inputs zijn ingangen van de PMAC die door een extern proces 'hoog' of 'laag' kunnen worden gezet. In programma's kan nu worden uitgelezen in welke toestand elke ingang zich bevindt. De PMAC-programma's kunnen ook signalen naar de machine sturen: dit kan met behulp van de machine-outputs. Deze mogelijkheid maakt de omvangrijke schakellogica waarmee de eerder aanwezige besturing was uitgerust overbodig.

### 3.2 Positie-terugkoppeling

Om de besturing een bepaalde trajectorie met een optimale nauwkeurigheid en stabiliteit te laten volgen, dient de besturing continu op de hoogte te zijn van de slede-posities. De machine was in de oude situatie uitgerust met twee positie-meetsystemen: allereerst met de encoders op de motorassen, daarnaast met het positiemeetsysteem waarmee de eigenlijke metingen werden uitgevoerd. Omdat de PMAC beide taken op zich kan nemen, was het niet meer noodzakelijk gebruik te maken van het encoder-meetsysteem. Het gebruik van de meetlinialen biedt de volgende voordelen ten opzichte van de encoders:

- Een hogere resolutie: de meetlinialen hebben ondanks de lage spoed van de spindels een hogere resolutie. Bij zeer nauwkeurige positionering (niet echt noodzakelijk bij 3D-meetmachines) levert dit een hogere nauwkeurigheid op omdat er minder afrondingsfouten plaatsvinden. Deze resolutie is echter belangrijker voor het vastleggen van de meetdata: de resolutie van het encoder-meetsysteem is enkele  $\mu\text{m}$ 's, dit is te veel voor het vastleggen van de tasterpositie.
- Een positiemeting direct langs de slede: hierdoor wordt direct langs de betreffende as gemeten waardoor spelingen in de spindels niet meer van belang zijn. Wederom levert dit het meeste voordeel bij de meting van de tastkoppositie. Toch is de positiemeting niet optimaal voor de X-as: de meetliniaal die de X-positie meet, valt niet samen met de Y-positie van de taster. Hierdoor wordt bij rotatieafwijkingen in Z-richting van de X-as een Abbe-fout geïntroduceerd.
- Het meetsysteem dat de meetsignalen van de linialen en taster verwerkte is in deze configuratie niet meer noodzakelijk.

Toch heeft positie-terugkoppeling van de meetliniaal-signalen een nadeel: omdat de motoras niet direct aan de meetwaarde van de liniaal is gekoppeld (er is tussenkomst van een spindel, die een geringe speling introduceert) kunnen instabiliteiten optreden (overcorrectie). In de praktijk bleek dit probleem door het aanpassen van de parameters van de PID regelaar geheel te verhelpen.

De PMAC is in staat een pulsrequentie van 15 MHz te volgen; dit komt bij een resolutie van  $0.3 \mu\text{m}$  overeen met een snelheid van:  $v_{max} = 15 * 10^6 * 0.3 * 10^{-6} = 4.5 \text{ m/s}$ . De maximale pulsrequentie legt dus geen beperkingen aan de maximale snelheid op (de maximale snelheid is ten allen tijden lager dan 1 m/s).

### 3.3 Programmering van de PMAC

Om de machine aan te sturen, dient de PMAC van de nodige programmatuur te worden voorzien.

De PMAC kan worden geprogrammeerd worden met behulp van twee soorten programma's:

- **Motion programma's:** met deze programma's kan een bepaalde bewegingscyclus worden vastgelegd. Wanneer het programma wordt gerund voert de machine de bewegingscyclus uit. Er kan slechts één motionprogramma actief zijn. Dit type programma wordt een keer van begin tot eind doorlopen en stopt daarna (CNC-aansturing). Deze programma's zijn onder andere toegepast om de sleden naar hun nulpuntsensoren te laten bewegen en zullen later noodzakelijk worden als koppeling tussen meet-softwarepakket en besturing.

- **PLC programma's:** dit zijn programma's die continu op de achtergrond actief zijn en actie ondernemen wanneer aan bepaalde voorwaarden wordt voldaan. Deze programma's kunnen de vereiste 'low level' besturingstaken op zich nemen, zo is de handbesturing is met behulp van PLC-programma's aan de PMAC gekoppeld en wordt de aanwezigheid van perslucht door een PLC-programma gecontroleerd.

### 3.4 Configuratie van de PMAC

Omdat de PMAC een zeer universele besturingskaart is, is het noodzakelijk om verschillende gegevens in te stellen. Deze gegevens worden vastgelegd in variabelen: hun waarden leggen de machinegegevens vast.

De PMAC wordt met de volgende twee soorten variabelen geconfigureerd:

- **I-variabelen:** deze leggen de configuratie van de PMAC vast: met deze variabelen kunnen onder andere regelparameters, het type computer, encoder en motor dat is aangesloten etc. Elke I-variabele heeft een functie die door de fabrikant is vastgelegd en niet door de gebruiker kan worden gewijzigd.
- **M-variabelen:** hiermee kan aan een geheugen-adres een waarde worden toegekend of worden uitgelezen. Deze variabelen dienen eerst te worden gedefinieerd: hiermee worden ze elk aan hun specifieke geheugenadres gekoppeld. Deze variabelen worden in het algemeen gebruikt als koppeling tussen software en hardware, men kan met M-variabelen slechts machinegegevens uitlezen, echter niet veranderen.

In bijlage C is een lijst weergegeven van de waarden van de belangrijkste variabelen.



### 3.5 Handmatige aansturing

Wanneer met een 3D-meetmachine een bepaald object voor het eerst gemeten dient te worden, dienen alle nominale maten vast te liggen. Het vastleggen van deze nominale maten kan op twee manieren plaatsvinden: on-line en off-line.

Bij off-line programmering worden de nominale afmetingen van het te meten object ingevoerd zonder tussenkomst van de meetmachine zelf. Na vastleggen van de coördinaten worden deze doorgestuurd naar de besturingssoftware van de meetmachine; meestal volgens de DMIS-standaard (DMIS=Dimensional Measuring Interface Standard). Via deze DMIS standaard is het ook mogelijk om de vorm van een object direct van een CAD-programma naar de meetmachine te sturen.

Bij on-line programmering (ook wel 'teach mode' genoemd) worden de nominale maten vastgelegd door het meetobject eerst door middel van handbesturing te meten. De meetdata worden daarna gecombineerd met toegevoegde informatie van de operator (zoals vlak, cilinder, conus etc.).

Om on-line programmering mogelijk te maken, dienen de assen dus handmatig bestuurd te kunnen worden. Deze handmatige besturing vindt bij grotere meetmachines als de PHM-650 plaats door middel van joysticks. In de volgende drie paragrafen staan drie manieren beschreven hoe deze joysticks kunnen worden aangesloten.

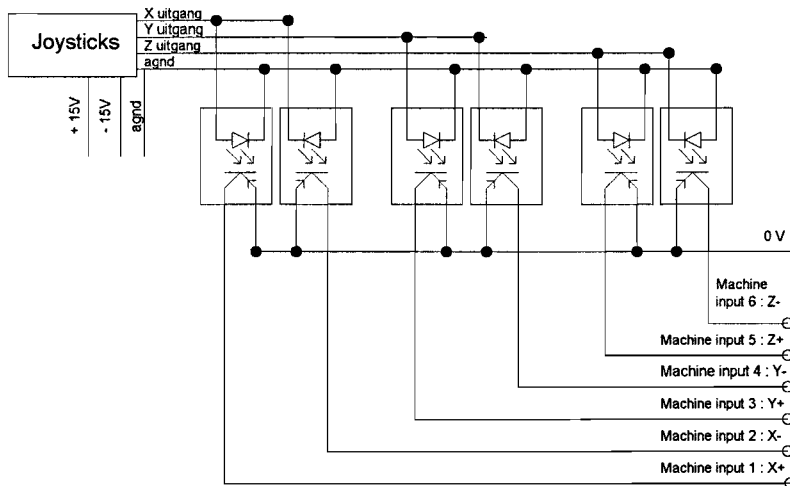
### 3.5.1 Schakelend aangesloten joysticks.

De eenvoudigste manier om een handmatige besturing te realiseren is door aansluiting van de joysticks op de machine-inputs van de PMAC. Deze ingangen varanderen de waarde van een variabele van '0' in '1' wanneer het ingangsvoltage een bepaalde waarde overschrijdt.

De joysticks leveren voor elke as een uitgangssignaal waarvan de polariteit de richting en het voltage de uitwijking van de joystick bepaalt.

Om drie assen aan te sturen zijn zes machine-inputs noodzakelijk: een voor een positieve en een voor een negatieve beweging van elke as.

De volgende schakeling vormt de uitgangssignalen van de joysticks om zodat aansluiting op de machine-inputs mogelijk is:

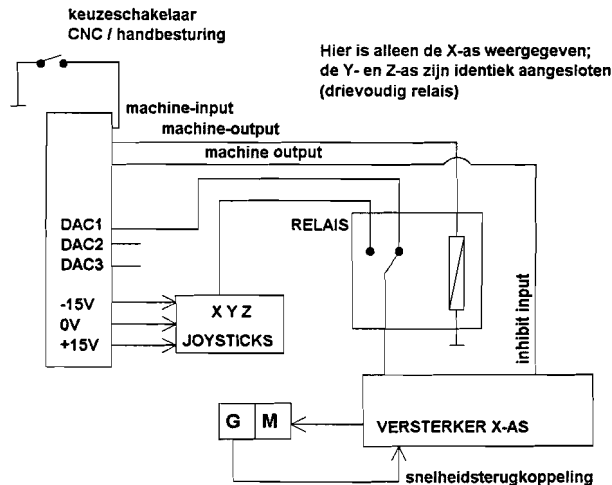


Figuur 3.1: schakelende joysticks

De schakeling wordt gevormd door zes opto-couplers: dit zijn elektronische bouwstenen die signalen kunnen overdragen zonder dat er een elektrische verbinding tussen in- en uitgang bestaat. Hetingangssignaal wordt door een fotodiode omgezet in (infrarood) licht, waarna een signaal wordt gecreëerd door middel van een lichtgevoelige transistor. Door voor elke as twee optocouplers tegengekoppeld te schakelen is het mogelijk de bewegingsrichting te onderscheiden. Een andere functie van de optocouplers is het begrenzen van de uitgangsspanning van de joysticks: deze is maximaal 10 Volt terwijl de PMAC maximaal 1 V toestaat.

Om de bewegingen van de handbesturing in gang te zetten is voor elk van de zes bewegingsrichtingen een PLC-programma op de achtergrond actief (zie bijlage F.1). Zodra de joystick in een bepaalde richting wordt bewogen detecteert een van deze programma's de veranderde variabele die bij deze richting hoort en laat de bijbehorende as in de goede richting bewegen.

### 3.5.2 Rechtstreekse aansluiting op de versterker.



Figuur 3.2: rechtstreekse aansluiting

Hierboven is een aansluitschema te zien dat de joysticks onafhankelijk van de besturing laat functioneren. Er zijn geen aanpassingen nodig, omdat de joysticks direct op de analoge voeding aangesloten een uitgangsvoltage leveren dat binnen de door de versterker toegestane grenzen van -10 en +10V ligt.

Door middel een drietal relais worden de joysticks direct naar de versterker ingangen geschakeld. Het doorschakelen van de joysticks naar de versterker heeft geen invloed op het functioneren van het meetsysteem van de PMAC, zodat er ook in joystickstand gemeten kan worden. Bij een beweging van de sleden met de joysticks ontstaat bij een gesloten regelkring een volgfout. Deze volgfout ontstaat door een positieverandering van de sleden zonder dat de PMAC hier opdracht toe geeft. Om deze volgfout te corrigeren wordt er een spanning op de uitgang gezet. Het terugschakelen naar CNC besturing kan nu onverwachte bewegingen tot gevolg hebben. Dit probleem is op te lossen door de regellus van de PMAC softwarematig te openen alvorens het relais om te zetten. Na openen van de regellus wordt het relais door een machine output van de PMAC omgeschakeld. Een listing van het PLC programma staat in bijlage F.2.

Deze configuratie is slechts mogelijk dank zij de mogelijkheden van de versterker: de versterker bezit een gesloten regellus door terugkoppeling van de signalen van de tachogeneratoren waardoor ondanks het ontbreken van de regellus via de PMAC toch controle is op de maximale versnelling.

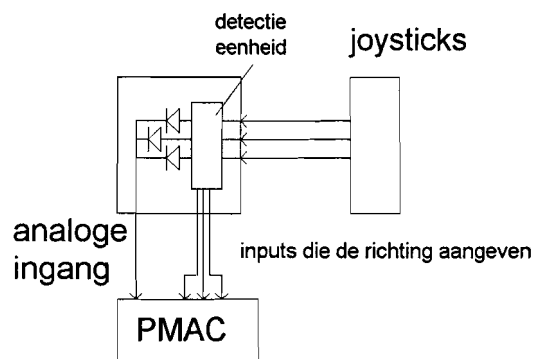
De beveiligingstaken die de PLC programma's uitvoeren, bijvoorbeeld de controle op de aanwezigheid van perslucht, komen niet in gevaar. De PMAC kan de bewegingen van de assen toch stilzetten door een signaal aan te bieden op de 'inhibit input' van de versterker.

Deze aansluitwijze bleek in de praktijk te functioneren, het was echter noodzakelijk om ook de E-503 trilas meetmachine voor OCE van een analoge handbesturing te voorzien. Het rechtstreeks aansluiten van de joysticks was bij deze machine niet mogelijk: de versterker van deze machine was niet voorzien van een regelsysteem. Het in de volgende paragraaf beschreven systeem is op de PHM-650 uitgevoerd als testsysteem voor de E-503.

### 3.5.3 Analoge aansluiting

Om handmatige aansturing mogelijk te maken met een gesloten regelkring van de PMAC is het noodzakelijk gebleken een schakeling te ontwerpen die de joysticks aan de PMAC koppelt. Om de gegevens die deze schakeling levert uit te lezen en te verwerken zijn ook enkele programma's geschreven.

Het idee achter de joystickschakeling (schema: zie bijlage D.4) is om door middel van een detectiesysteem drie bewegingsrichtingen aan te sturen met slechts één AD-converter. Hiervoor zijn alle joystickuitgangen met behulp van diodes van het detectiesysteem gescheiden en naar de analoge ingang geschakeld. De uitgangen van het detectiesysteem, die 'hoog' worden wanneer de joystick in de desbetreffende richting wordt bewogen, zijn op machine-inputs van de PMAC aangesloten.



Figuur 3.3: analoge aansluiting

De analoge ingang van de PMAC wordt op de volgende manier gecreëerd:

De PMAC-besturingskaart is standaard voorzien van een V/F-converter (voltage naar frequentie-omzetter). Deze converter genereert een pulssignaal waarvan de frequentie evenredig is met het ingangsvoltage.

Het is mogelijk om met deze converter een analoge ingang te creëren: door het plaatsen van twee jumpers op de PMAC wordt de frequentie uitgang van de converter doorgeschakeld naar encoder-ingang vier (deze was niet in gebruik). Nu kan de frequentie, en dus indirect het ingangsvoltage van de converter, worden uitgelezen als zijnde de snelheid van de vierde as.

De programma's die de joysticksignalen verwerken (zie bijlage F.3) scannen continu of aan de voorwaarde van beweging van de desbetreffende as wordt voldaan. Wanneer dit zo is wordt het voltage op de analoge ingang uitgelezen en de waarde van de 'jogsnelheid' hierop aangepast.

Deze aansluitwijze bleek zowel voor de PHM-650 als voor de E-503 machine acceptabel.

## Hoofdstuk 4

### Vervolgonderzoek

In dit hoofdstuk wordt nagegaan welke stappen er nog moeten worden ondernomen om de PHM-650 machine geheel operationeel te maken.

#### 4.1 Het tastersysteem

De taster is een mechanisch onderdeel dat een signaal geeft wanneer de kop van de taster het meetobject raakt. De PHM-650 was voorzien van een schakelend tastersysteem van de firma Renishaw. Dit bestaat uit de volgende onderdelen:

- **De schakelunit:** hierin bevindt zich het schakelmechanisme dat het elektrische signaal geeft.
- **De taststift:** deze wordt op de tasterkop geschroefd. Aan het andere eind bevindt zich een kogel waarmee het meetobject wordt gemeten.
- **De tasterkop:** de schakelunit wordt hierop gemonteerd; de tasterkop is voorzien van twee rotatie-assen waardoor de taststift onder meer hoeken kan meten.
- **De interface en controle-unit:** dit deel is in het machineframe gemonteerd en verzorgt de communicatie met computer en besturingskaart.

Van dit tastersysteem zijn slechts interface en controle-unit nog aanwezig. Omdat het koppelsysteem van de tastkop geheel op deze taster is aangepast, ligt het voor de hand dat wanneer er een nieuwe taster wordt aangekocht, deze van de firma Renishaw is.

Het is van groot belang dat de positie op het moment van aanraken van het meetobject kan worden vastgelegd. Daarom kan het schakelsignaal dat de schakelunit levert het beste door de besturing worden verwerkt: dit deel verwerkt de positie-informatie en kan dus het snelst op een signaal reageren.

##### 4.1.1 De koppeling tussen het tastersysteem en de rest van de machine

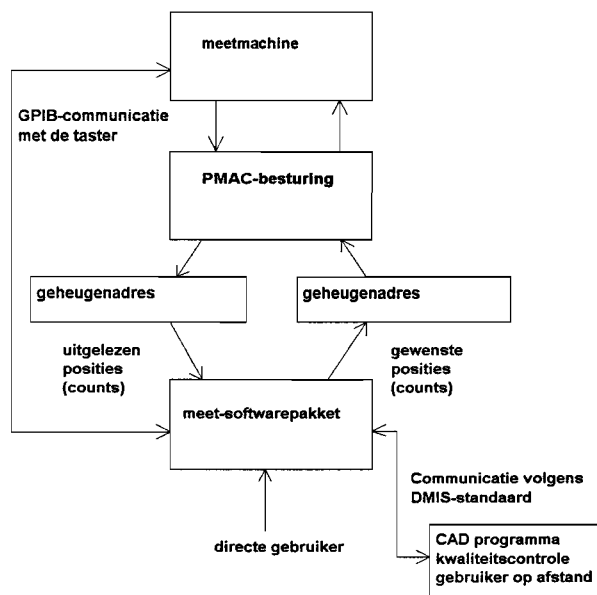
Het tastsysteem communiceert zowel met de besturing als met de meetsoftware:

- Het schakelsignaal van de schakelunit wordt via de probe-interface doorgegeven aan de PMAC-besturingskaart. De taster kan het beste op de nog niet in gebruik zijnde HMFL4 (homeflag 4) ingang worden aangesloten. Deze ingang maakt het mogelijk om de positie hardwarematig, dus zonder tussenkomst van software, vast te leggen zodra er een signaal ontvangen wordt. Dit is voordeliger, omdat bij een softwarematige verwerking er enkele klokcycli tijdsverschil tussen het tijdstip van uitlezen en schakelpuls kan zitten. Dit resulteert dan in een meetfout.

- De probe-interface heeft twee functies: ten eerste kan deze unit het taster-sig-naal omzetten in de gewenste vorm (zoals bijvoorbeeld open collector en relais geschakeld) en ten tweede zorgt deze unit ervoor dat de maximale stroom door de schakelunit niet wordt overschreden. Een te hoge stroom door de schakelunit kan tot hogere warmteontwikkeling en daardoor tot uitzetting leiden. Een te hoge spanning kan door vonkvorming de contactoppervlakken beschadigen.
- De controle-unit beheert de twee rotatieassen van de tastkop: commando's worden via GPIB communicatie doorgegeven aan de computer. Er zijn maar enkele fabrikanten van tastersystemen, daarom bieden de meeste softwarepakketten die de meetresultaten verwerken ondersteuning voor de tastkop.

## 4.2 Het meet-softwarepakket

Omdat 3D meetmachines zeer flexibele meetmachines zijn, kan bij het gebruik van deze machines niet worden volstaan met specifieke motion-programma's. Om tot een goed meetresultaat te kunnen komen dient er een databank te bestaan waarin de vele geometrische vormen die gemeten kunnen worden zijn opgeslagen. Met deze databank dient de meetsoftware daarna zelf de goede meetmethode te kunnen kiezen. Tevens moet het meetpakket over verschillende statistische functies beschikken, waarmee de meetresultaten in bijvoorbeeld betrouwbaarheidsintervallen kunnen worden omgezet. Het softwarepakket dient tevens als user-interface: de operator dient de gehele machine te kunnen besturen door slechts met het softwarepakket te werken.



Figuur 4.1: blokschema softwarepakket

Deze software wordt in industriële meetprocedures veelvuldig toegepast. Er zijn verschillende standaard meetpakketten in de handel, bijvoorbeeld 'Visual CMES' van de firma LK en 'UMESS' van Zeiss. Het pakket van de Leitz / Brown & Sharpe; 'Leitz

Quindos' trok echter in het bijzonder de aandacht, omdat dit pakket reeds aan verschillende meetmachines is aangepast.

In bijlage A.5 staan enkele eigenschappen van Leitz Quindos afgebeeld. In figuur 4.1 staat afgebeeld hoe de communicatie tussen besturing en softwarepakket plaatsvindt: de software beheert de metingen en stuurt een gewenste positie naar een geheugenadres van de computer. Zodra de besturing deze coördinaten heeft ingelezen, wordt de taster naar deze positie gebracht. Wanneer de taster het meetobject raakt, worden de slede-posities in het computergeheugen opgeslagen, vervolgens stopt de besturing de beweging. Het softwarepakket kan vervolgens de meetwaarden uitlezen.

In bijlage F.5 is het principe weergegeven van een motion-programma dat deze communicatie met meetsoftware mogelijk maakt.

## Hoofdstuk 5

### Conclusies en aanbevelingen

In deze stageperiode is de PHM-coördinatenmeetmachine van een geheel nieuwe besturing voorzien. Met deze besturing is het mogelijk de drie assen onafhankelijk aan te sturen door zowel CNC-code programma's alsmede met behulp van joysticks. Deze nieuwe besturing maakt in tegenstelling tot de eerder aanwezige direct gebruik van de positieinformatie van de meetlinialen, waardoor de resolutie van de positieinformatie is vergroot. De besturing bleek aan alle gestelde eisen te voldoen behalve (eventueel) de eis met betrekking tot de compatibiliteit. Omdat het meet-softwarepakket nog niet is aangeschaft is het niet mogelijk compatibiliteit tussen PMAC en software te garanderen.

De schakellogica die noodzakelijk was voor verschillende secundaire besturingstaken (zoals bijvoorbeeld de controle op de aanwezigheid van de perslucht en de aansturing van de tasterhouder) is geheel vervangen door PLC-programmatuur, dit geeft de machine extra flexibiliteit.

Bij deze onderzoeksopdracht was de keuze van de PMAC-besturingskaart vooral voordelig om de reeds aanwezige ervaring met deze systemen uit te breiden. Wanneer dit niet zo geweest zou zijn, was het waarschijnlijk voordeliger geweest om besturing én software bij dezelfde fabrikant aan te schaffen: de integratie van software met besturing zou in dit geval geen problemen veroorzaken.

De joystickbesturing is ook ingevoerd in de E-503 trilas meetmachine die voor OCE door Botech Engineering B.V. werd gebouwd. Het zou aan te bevelen zijn de schakeling die de joysticksignalen verwerkt te laten toetsen door iemand die deskundig is op het gebied van de elektrotechniek.

De aluminium steunpilaar aan positieve Y-zijde introduceert een aanzienlijke temperatuurgevoeligheid. Vervanging van deze pilaar door een granieten of vezelversterkt kunststof exemplaar zal de machinenauwkeurigheid zeker ten goede komen.

Uit een literatuuronderzoek is gebleken, dat met de meetmachine nooit volwaardige metingen zijn uitgevoerd, ook bij deze onderzoeksopdracht is het niet mogelijk gebleken de meetmachine kwalitatief te toetsen.

Bij het afsluiten van deze onderzoeksopdracht is de machine wel in een stadium dat een controle van de machineon nauwkeurigheid mogelijk is: het positiemeetsysteem en de besturing zijn geheel operationeel. De controle kan het eenvoudigst plaatsvinden met behulp van de bij Botech aanwezige laserinterferometer.



## **Literatuuroverzicht**

**Bossche, P van den** : 3D-meten is meer dan het kopen van een coördinatenmeetmachine; artikel blad Metaal en kunststof, jaargang 33, 4 september 1995.

**Delta Tau inc.** : PMAC User's Manual & Software Reference, december 1992; version 1.13.

**Delta Tau inc.** : PMAC Hardware Reference, december 1992

**Koster, M.P.** : Constructieprincipes; Diktaat TU Eindhoven, nr. 4007

**Nijs, J. F.C. de** : Modelling van een 3D-meetmachine. TU Eindhoven; WPA-rapport 0428; 1987

**Nijs, J.F.C de** : Constructie en bouw van een 3D-meetmachine. TU Eindhoven; WPA rapport 0796; 1990

**Schellekens, P.H.J** : Werktuigkundige meettechniek; Diktaat TU Eindhoven, nr. 4629

**Slot, S.Th** : De aandrijving van een 3-D meetmachine; TU Eindhoven; afstudeerverslag januari 1989

## **Bijlage A**

### **Specificaties**

Op de volgende pagina's staan de specificaties van de twee overwogen besturingskaarten afgebeeld. Uiteindelijk is de keuze gevallen op de PMAC-besturingskaart.

Vervolgens staan de specificaties van de Perk-joysticks voor handbesturing afgebeeld in bijlage A.3.

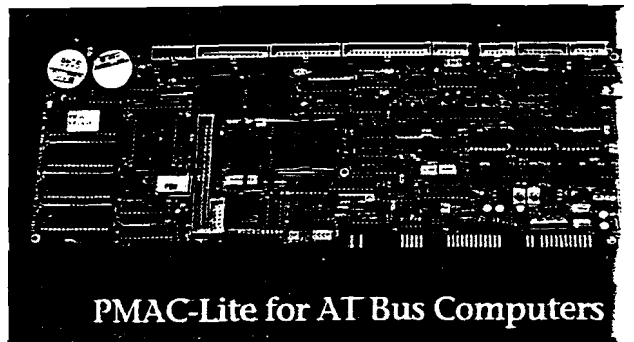
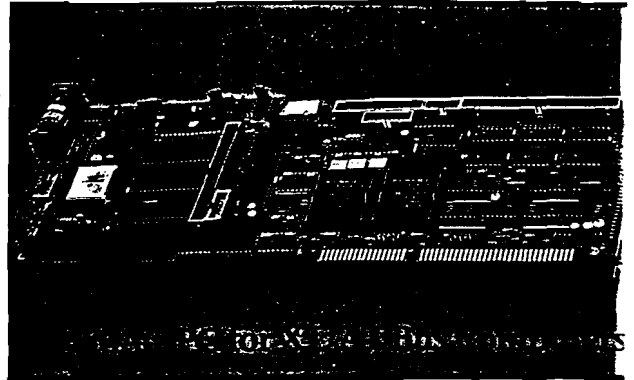
Om deze Perk joysticks analoog over drie assen de machine te laten aansturen, is gebruik gemaakt van de 'wiper input' van de PMAC, informatie over deze ingang in bijlage A.4.

Het softwarepakket dat dient als user-interface en dat de meetresultaten verwerkt is nog niet aangekocht; in bijlage A.5 staan enkele specificaties van het softwarepakket 'Leitz Quindos'.

## A.1 Informatie PMAC besturingskaart

### PMAC Motion Controller

- Motorola® DSP 56001 Digital Signal Processor
- Up to 8 Servo Axes per Board
- 20/30 MHz Digital Signal Processor
- 60/40 microsecond/axis Servo Update Rate
- PC, VME, or STD32 Bus Versions (all can be run entirely stand-alone)
- 36-bit Position Range ( $\pm 64$  billion counts)
- 16-bit DAC Output Resolution
- 10/15 MHz Encoder Count Rate
- Controls any Type of Motor
- Up to 16 Boards Together (128 axes)
- > 500 Block-per-second Execution Rate
- Linear and Circular Interpolation
- "S-Curve" Acceleration and Deceleration
- Cubic Trajectory Calculations, Splines
- Bus and/or RS-232/422 Control
- G-Code Command Processing for CNC
- Motion Control from AutoCAD® Files
- PID plus Notch and Feedforward Filter
- Autotuning



### Application Strengths

#### Machine Tools

- 60 microsecond per axis Servo Update Rate
- 0.1 microinch Resolution (2.5 nanometers)
- 15 MHz Encoder Input Data Rate
- Block Execution to 2 KHz
- Notch Filter for Resonance Elimination
- Tool Radius and Leadscrew Compensation
- G-Code Programming
- AutoCAD® Input
- "S-Curve" Acceleration

#### Robotics

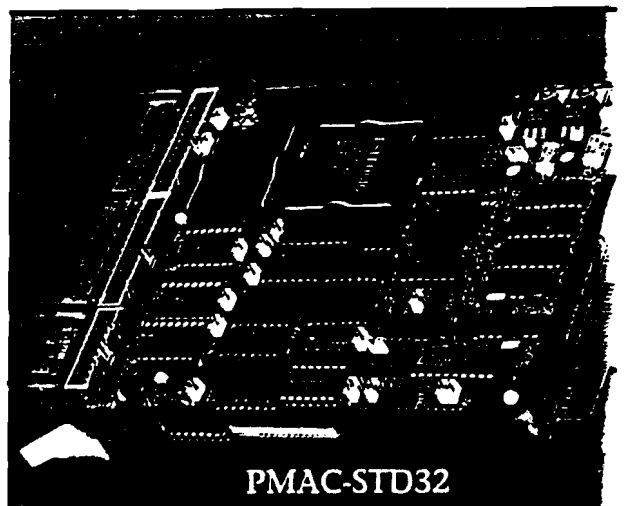
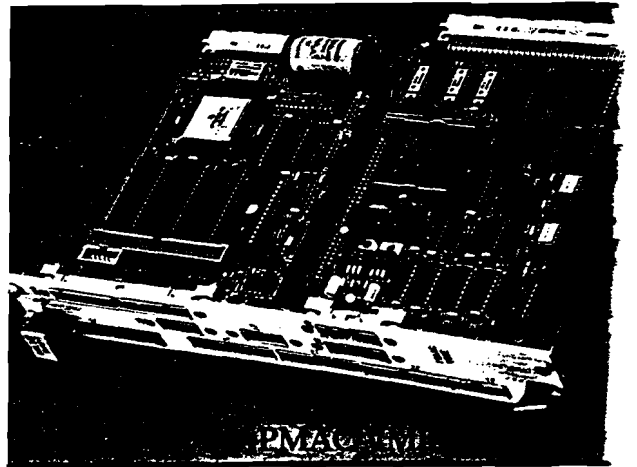
- Inverse Kinematic Computations
- Segmented Trajectory Generation
- Multiple Axis Control with Simultaneous Linear and Circular Interpolation on 8 Axes

#### General Automation

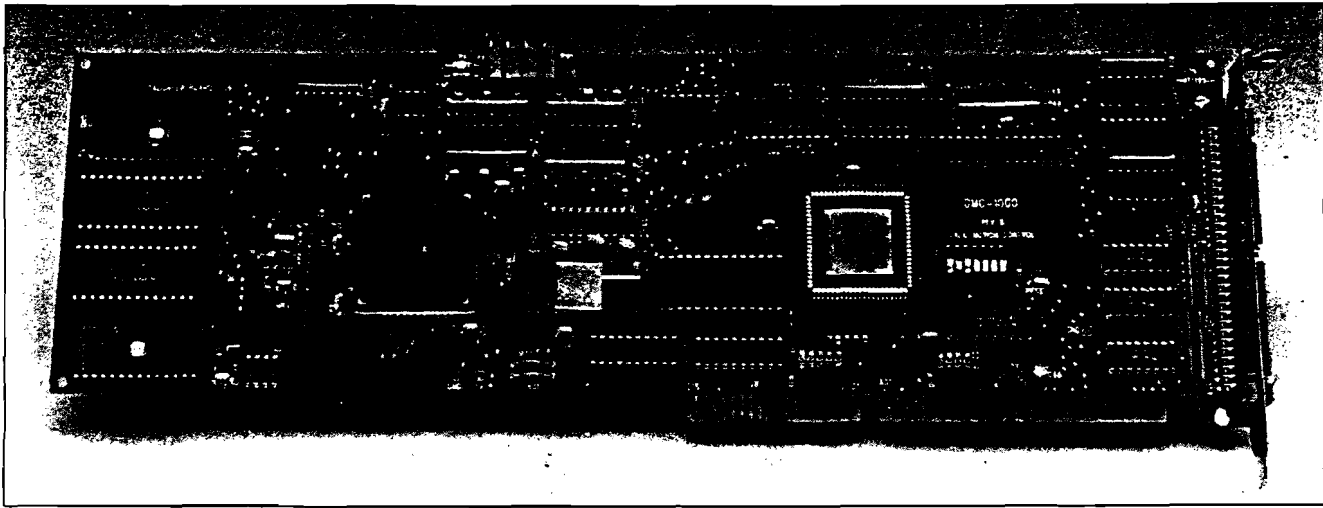
- Ease of Programming
- Background PLC
- Stand-alone Operation
- Open Architecture

#### Inspection and Metrology Stations

- Laser Interferometer Feedback
- Sub-micron Positioning
- Hardware Compared "In Position" Pulse Output
- Zero Error Hardware Position Capture
- Effective Encoder Data Rates to 320 MHz



## A.2 Informatie Galil besturingskaart

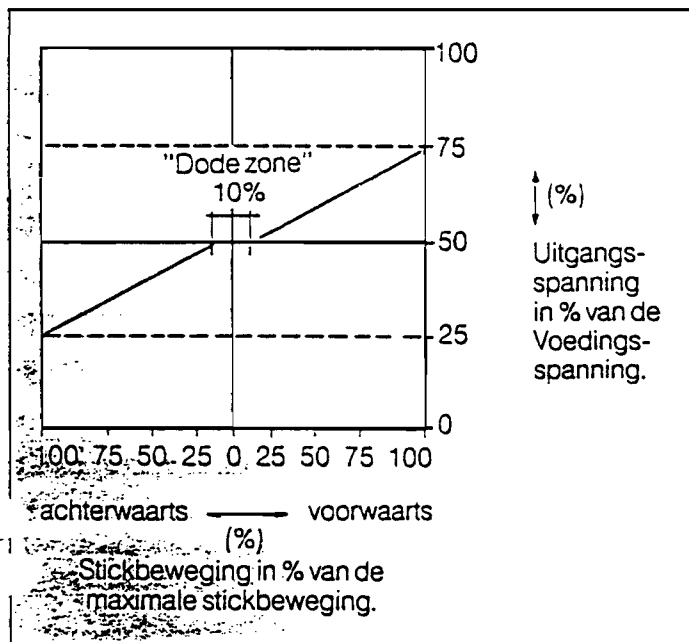
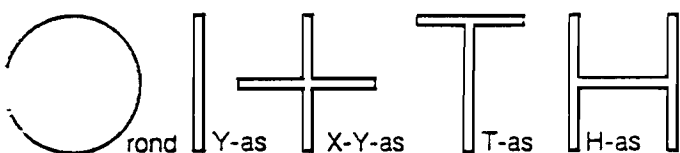
**DMC-1000 Series***DMC-1000 Motion Controller***Features**

- Uses 32-bit specialized microcomputer and custom, submicron gate array for highest performance
- Easy programming language plus software tools for quick start-up and tuning
- Up to 8 axes of motion control—purchase only what you need
- 125  $\mu$ sec per axis servo update rate for high bandwidth
- Controls servo motors, step motors, and hydraulics—"mix and match" for your application
- Sophisticated PID filter with velocity and acceleration feedforward for optimum precision
- 14-bit DAC for fine resolution control
- 8,000,000 counts/sec encoder feedback allows high-speed operation
- 500-line memory for executing custom applications programs (2000 lines with -MX option)—frees host PC
- Multitasking feature permits simultaneous execution of four independent applications programs
- High-speed command processing with bus interrupts
- Programmable acceleration and deceleration with S-curve profiling to eliminate jerk
- Solves any motion task including jogging, point-to-point positioning, linear and circular interpolation, electronic gearing and cam, and contouring
- Continuous vector feed of infinite number of linear and arc segments for smooth motion
- Contour mode for profiling along computer generated paths such as parabolic or spherical profiles
- Relative and absolute positioning with more than  $\pm 2,000,000,000$  counts per move
- Dedicated optoisolated inputs for home, abort, limits, and hardware interrupts—noise immune
- 8 uncommitted, optoisolated inputs (5-28 VDC) and 8 programmable outputs—expandable to 96 I/O
- 7 analog inputs with 12-bit ADC for interface to joysticks, sensors, pressure transducers, potentiometers
- High-speed position latches for precise registration
- Error handling including programmable software limits, automatic error shut-off, amplifier enable, user-defined error subroutines, and watchdog timer
- Programmable event triggers for monitoring elapsed time, position, speed, and motion complete
- I/O functions, timers, and logic functions for executing PLC tasks
- Comprehensive status reporting for position, speed, torque, error, and inputs
- 126 symbolic variables and 1600 element array space (expandable to 510 variables and 8000 elements with -MX option) for data storage
- EEPROM for storing parameters on power down

### A.3 Informatie Perk-joysticks

#### Naar wens...

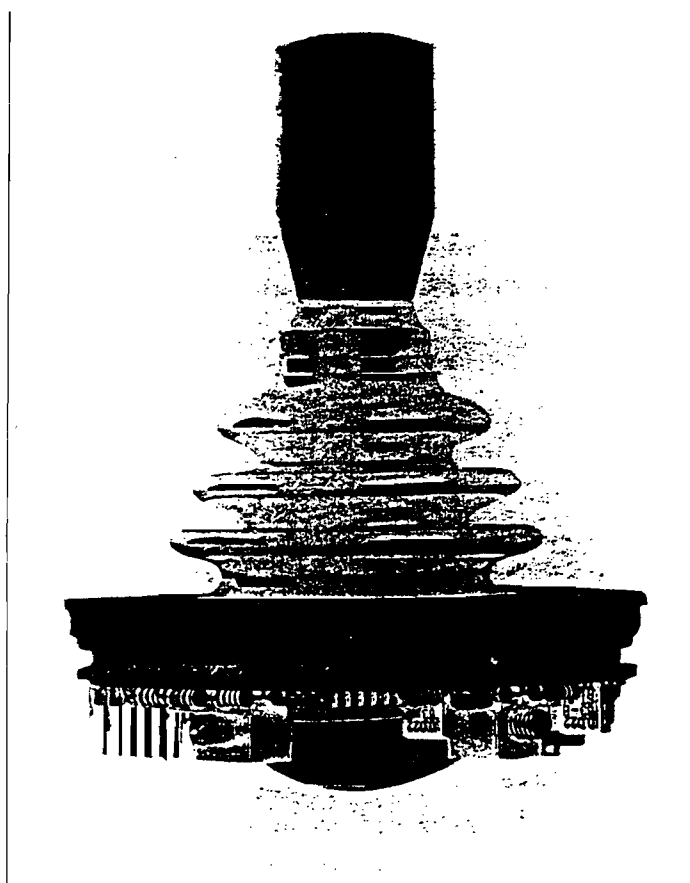
Albert van der Perk BV levert de inductieve joystick in selfcentering uitvoeringen met instelbare veerkracht. Als opties zijn er een mechanische vergrendeling van het nulpunt, een dodemansknop, een push button en een friction held, compleet met mechanische vergrendeling van het nulpunt. Voorts zijn er kunststof-versies en behoren vaste besturingspatronen tot de mogelijkheden, zoals



Alle assen hebben een spanningsuitgang. De centrale uitgangsspanning is de helft van de voedingsspanning. De uitgangsspanning is standaard +/-25% van de voedingsspanning.

#### Bijvoorbeeld

Met een voedingsspanning van 10 Volt bedraagt de uitgangsspanning in het nulpunt 5 Volt.  
 De uitgangsspanning bedraagt + 7,5 Volt bij een maximale uitslag voorwaarts van de hefboom.  
 Achterwaarts bedraagt de uitgangsspanning + 2,5 Volt.  
 De inwendige weerstand van de joystick is 1000 Ohm.  
 Dit betekent: De uitgangsspanning is maximaal.



- $U(\text{uit}) = U(\text{centraal}) \pm (0,25 \times U(\text{voeding}) - I(\text{uit}) \times R(i))$
- $U(\text{uit}) = \text{uitgangsspanning}$
- $U(\text{centraal}) = \text{spanning 0-punt} (= 0,5 \times \text{voedingsspanning})$
- $U(\text{voeding}) = \text{voedingsspanning}$
- $I(\text{uit}) = \text{stroomsterkte}$
- $R(i) = \text{inwendige weerstand van de joystick}$

Wilt u uitgebreide technische informatie of een bezoek van een vertegenwoordiger, neem dan contact op met:



Albert van der Perk BV

postbus 3041, 3003 AA Rotterdam  
 Kleiweg 339-347, 3045 PK Rotterdam  
 Telefoon 010-4226577, Telex 23588 perk nl.

**Informatie Perk-joysticks**

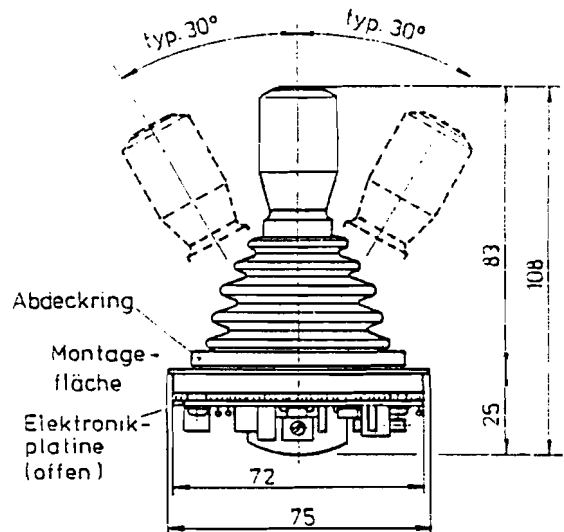
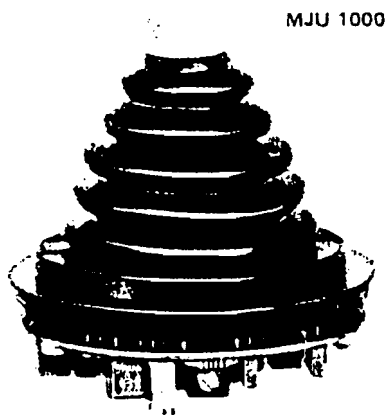
X-Y-Steuerknüppel ("Joystick") mit kontaktlosem Sensor  
 Exakte Positionierung bei hoher Lebensdauer  
 Sehr flache Bauform – ohne externe Zusatzelektronik

Typ MJU 1000 – mit Analog-Spannungsausgang (kurzschlußsicher)  
 (X-Y-Z-Ausführung gleicher Ausführung in Vorbereitung)

Das neue Grundprinzip ist die Verwendung von 4 empfindlichen induktiven Sensoren in Verbindung mit der Auswerte-Elektronik in einem kompletten Gerät. Es ist außer dem Knüppel selbst keine weitere Mechanik notwendig, was die Anwendung sehr einfach macht, eine hohe Lebensdauer gibt und ihn für universelle Anwendungen auszeichnet. Die Einsatzfälle ergeben sich vom Hydraulik-Kran und sonstigen X-Y-Steuerungen bis hin zu Meßtisch- und Fahrzeuglenkung.

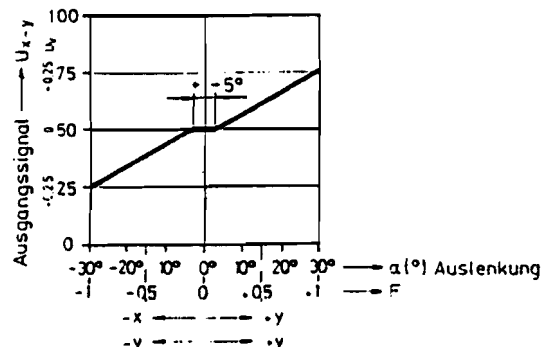
**Achtung!** Starke Einstreuung von externen Induktivitäten und Magnetfeldern muß verhindert werden! (Abschirmungen).

- Spannungsversorgung: 0 bis 15 V DC oder -4V 0+4V bis -16V 0+16 V DC
- Induktive, verschleißfreie Sensoren
- Hohe Lebensdauer (typ. 2 · 10<sup>6</sup> Bewegungen)
- Flachste Bauweise: nur 25 mm Tiefe
- Analoger Spannungsausgang
- Option: Taster im Griff
- Standardmäßige Bewegungsfreiheiten:
- Dichtigkeit: IP 64
- Federrückführung zur Mitte
- Ergonomischer Griff
- Lagertypen



Elektrische Werte	
Sensoren:	4 x induktiv
Versorgungsspannung (U <sub>V</sub> ):	8 bis 32 V DC
Ausgangssignal:	± 0,25 % · U <sub>V</sub> siehe Diagramm
Ausgangssignal-Schwankung in Mittelstellung:	< 1 %
Überlagerter "Ripple" des Ausgangssignals:	< 1 %
Arbeitsfrequenz des Systems:	1200 Hz
Innenwiderstand der Elektronik:	ca. 1 kΩ
Ausgang:	kurzschlußsicher
Stromverbrauch:	ca. 100 mA
Temperaturabhängigkeit der Elektronik:	typ. ± 200 ppm/K

Ausgangssignale (kurzschlußsicher)	
Spannungsversorgung:	-4 0+4 (V DC) bis -16 0+16 (V DC)

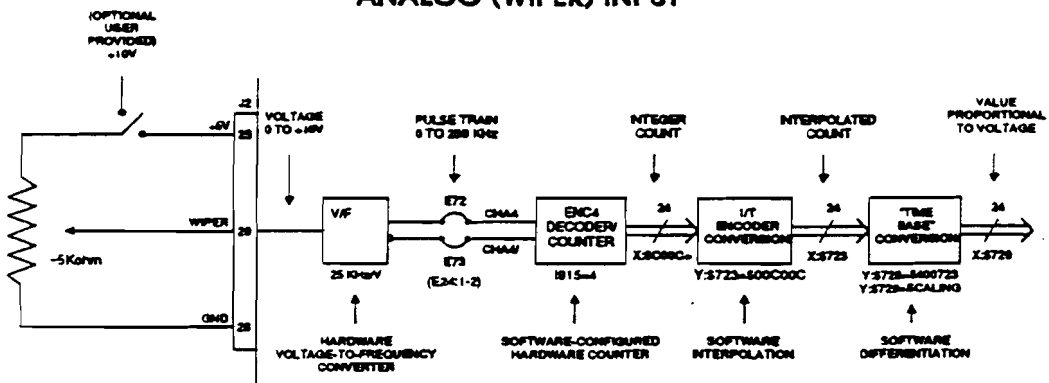


Materialien und Umgebungsbedingungen	
Gehäuse:	Polycetat
Knopf:	ABS (grau) – drehbar
Balg:	flex. Thermoplast
Schrauben:	Schneidschrauben DIN 7981
Betriebstemperatur:	-25 °C bis +80 °C
Beeinflussung von außen:	Für Abschirmung muß gesorgt werden

Berechnung Ausgangssignal:	
U <sub>X(Y)</sub>	= 0,25 · U <sub>V</sub> · F
U <sub>X(Y)</sub>	= Ausgangsspannung (V DC)
U <sub>V</sub>	= Versorgungsspannung
F	= Auslenkungsfaktor

A.4 Informatie wiper input PMAC

USING PMAC'S CONTROL PANEL  
ANALOG (WIPER) INPUT



TO USE THIS VALUE FOR FEEDRATE OVERRIDE FOR A COORDINATE SYSTEM, SIMPLY SET THE TIME BASE SOURCE ADDRESS I-VARIABLE (hex FOR C.S.x) TO 1833 (3728)

TO USE THIS VALUE FOR SOME OTHER PURPOSE, SIMPLY ASSIGN AN M-VARIABLE TO THIS REGISTER (e.g. M80 → X:3728, 0,24, U)

SCALING IS SET BY THE VALUE IN Y:3728 (FOR THE DEFAULT CONVERSION TABLE). THIS VALUE CAN BE DETERMINED INTERACTIVELY BY VARYING THE INPUT VOLTAGE AND NOTING THE EFFECT

## A.5 Informatie softwarepakket 'Leitz Quindos'

Die Firmen Leitz Meßtechnik, Brown&Sharpe und TESA sind Hersteller von Meßgeräten und gehören zur Brown&Sharpe-Gruppe, einem multinationalen Unternehmen, das sich ganz auf Geräte und Anlagen für die Qualitätssicherung spezialisiert hat.

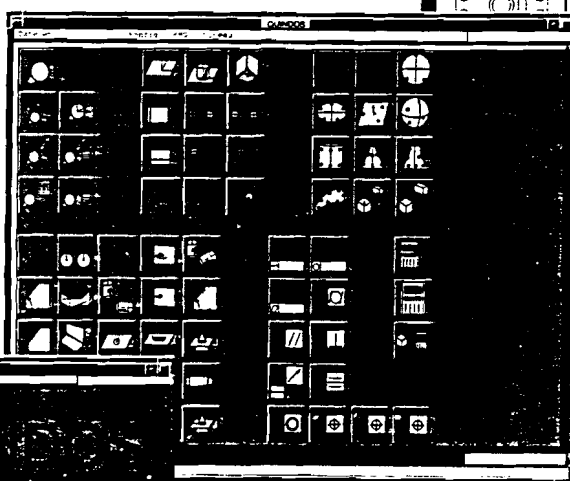
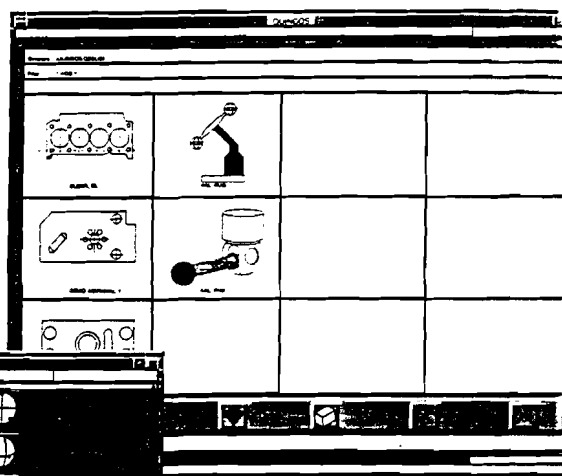
Nicht weniger als 16 Firmen in Europa, Nord-Amerika und Asien fertigen Meßinstrumente vom Endmaß über Meßschieber bis hin zu Koordinatenmeßgeräten höchster Genauigkeit und Geschwindigkeit und garantieren einen erstklassigen weltweiten Support.

Was können Sie von dieser Firmengruppe anderes erwarten, als ein Software-System, mit dem Sie alle diese Meßgeräte auch optimal steuern können ?

QUINDOS ist genau dieses verbundfähige System. Und selbst eine Reihe weiterer Meßgerätehersteller bieten ihre Geräte heute mit QUINDOS an. Für praktisch alle Koordinatenmeßgeräte auf dem Markt gibt es inzwischen Nachrüstmöglichkeiten.

Damit werden Sie unabhängig von den einzelnen Anbietern : Sie können das geeignetste Meßgerät mit der besten Software ausrüsten.

QUINDOS ist die erste Standardsoftware, mit der Sie alle Meßmittel in Ihrem Meßraum und in Ihrer Fertigung gleichermaßen betreiben können. Unterschiedliche Protokolle, ganze Mannjahre an Personalausfall durch Schulungen, Datenverlust durch umständliche Datensicherung, usw. sind passé.



Bereits seit 10 Jahren verfügt QUINDOS über alle modernen Programmier-techniken, wie Multi-User, Multi-Instrument, Multi-Tasking, Netzwerk-Unterstützung, Modem-Kommunikation, parallele Prozesse, gemeinsam genutzte Ressourcen, usw. Das System läuft auf leistungsfähigen Workstations mit 32-Bit- und 64-Bit-Betriebssystemen, die ein Höchstmaß an Datensicherheit gewährleisten. Die langjährige Erfahrung kommt dabei jedem QUINDOS-Anwender zugute.

Zu allen früheren Versionen ist QUINDOS kompatibel, d.h. selbst 10 Jahre alte Programme laufen zu 100% ohne Datenverlust unter der graphischen Benutzeroberfläche und können mit Graphiksymbolen bearbeitet und erweitert werden !



**Informatie softwarepakket 'Leitz Quindos'**

**Unterstützte Meßgeräteeigenschaften**

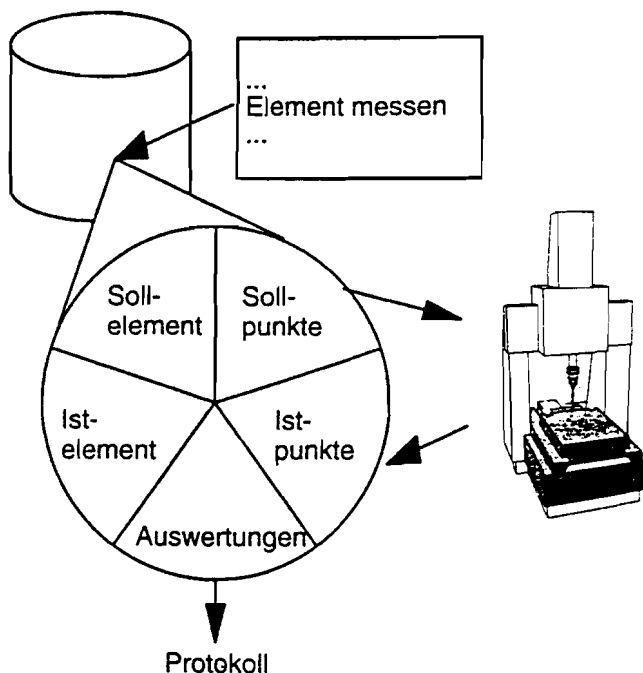
Folgende Meßgeräteeigenschaften werden von Quindos unterstützt :

- Selbstzentrierende Antastung bei Meßgeräten mit messenden mechanischen Tastköpfen.
- Messen mit Drehtisch und Rundtaktisch
- Kontinuierliches Scannen bei messenden mechanischen Tastsystemen.
- Punkt-zu-Punkt-Scannen bei schaltenden Tastsystemen.

**Betriebsarten**

Mehrere Meßgeräte und maschinenferne Arbeitsplätze erlauben gleichzeitiges unabhängiges Arbeiten mit QUINDOS auf einem einzigen Rechner

QUINDOS befindet sich immer im automatischen oder im Lembetrieb. Alle Eingaben und Meßpunkte werden in der Datenbank gespeichert. Dadurch gehen weder Aufgabenstellungen noch Meßpunkte verloren, sondern stehen für zusätzliche Auswertungen und Erweiterung eines Teilemeßprogramms direkt zur Verfügung. Das System erkennt selbständig, ob ein Meßgerät angeschlossen ist, oder ob an einem gerätefernen Bildschirm-Arbeitsplatz gearbeitet wird. Ein Teilemeßprogramm läßt sich an jeder Stelle unterbrechen. Einzelne Anweisungen, bestimmte Abschnitte oder das gesamte Teilemeßprogramm können daraufhin unmittelbar ausgeführt werden. So ist jedes Programm zu Testzwecken schrittweise ausführbar.



**Optimieren von Teilemeßprogrammen**

Das System erzielt eine hohe Wirtschaftlichkeit durch eine Reihe organisatorischer Hilfsmittel zur Verkürzung der Meßabläufe zugunsten geringer Gerätebelegzeit. So können Berechnungen und Auswertungen von der Meßpunktaufnahme getrennt (an einem anderen Arbeitsplatz, auf einem anderen Rechner oder einfach zu späterer Zeit) durchgeführt werden.

Das gezielte Setzen von Abbruchkriterien vermeidet unnötige Messungen an einem Ausschußteil, indem bei Überschreiten der Toleranzgrenze des Merkmals das Programm beendet wird. Zulässige Überschreitungen, die durch Nacharbeit zu beseitigen sind, bleiben davon unberührt.

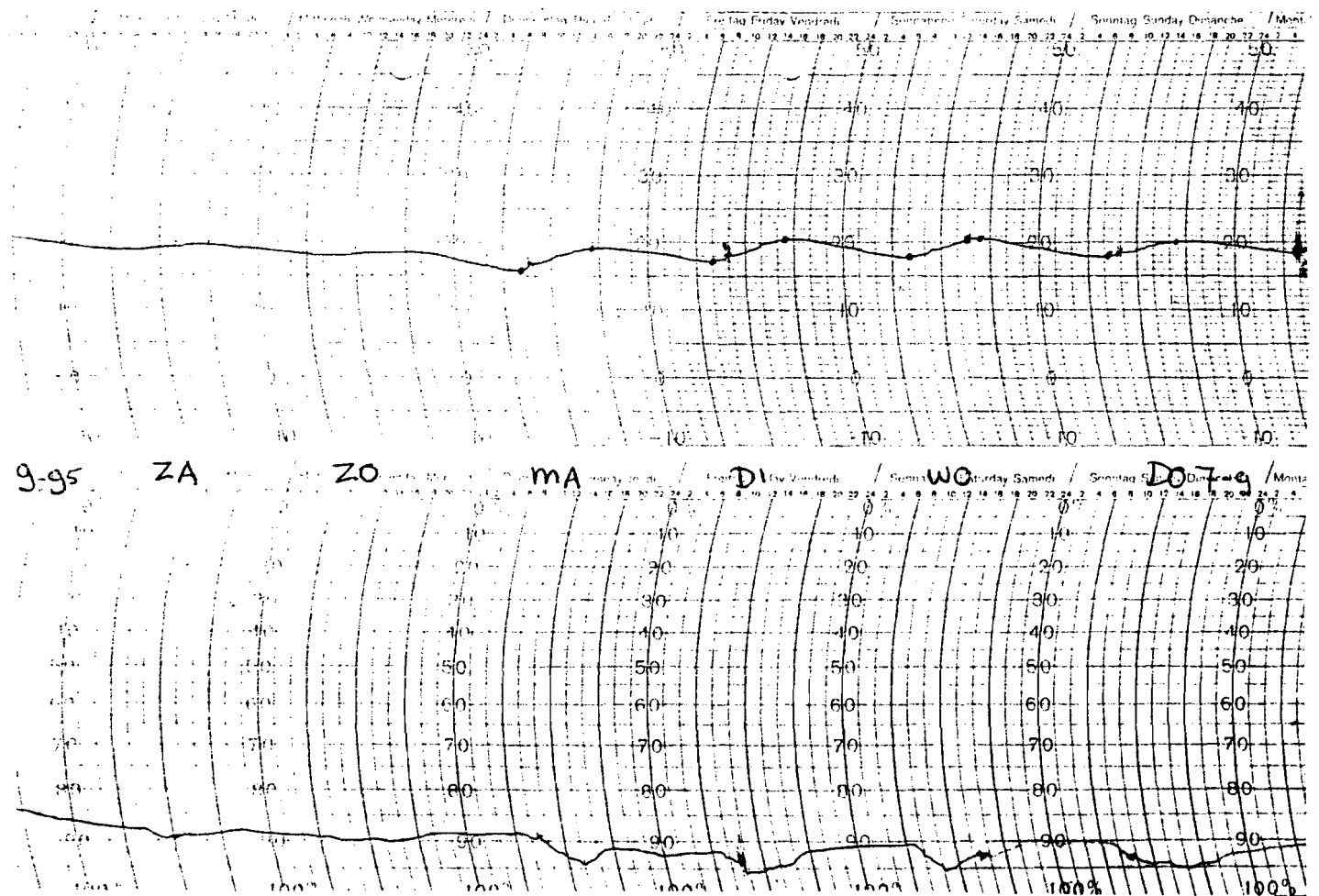
**Geräteferne Meßplanung**

Die Vorbereitung und Erstellung von Teilemeßprogrammen im Editier-Betrieb ist vollständig an einem gesonderten Bildschirm-Arbeitsplatz ausführbar, da die geräteferne Meßplanung ein fester Bestandteil von QUINDOS ist. Die Bedienung entspricht exakt der Bedienung im gerätenahen Betrieb. Die konsequente Systemkonfiguration nach Kundenwunsch erschließt dem Anwender die für seine Prüfaufgaben idealen Bedienmöglichkeiten.

## Bijlage B

### Meetstaat temperatuur en luchtvochtigheid

3D-meetmachines zijn gevoelig voor fluctuaties in de omgevingstemperatuur. In deze bijlage staan temperatuur en luchtvochtigheidsverloop over een periode van een week in de meetkamer waar de meetmachine staat opgesteld.



## Bijlage C

### Belangrijke variabelen en hun waarden

#### C.1 De I-variabelen.

Hier volgt een lijst van enkele ingestelde I-variabelen met waarde en betekenis. Hier zijn slechts de I variabelen genoemd die essentieel zijn voor het goed functioneren van de besturing; voor de complete lijst: zie de file 'PHM650.DAT'.

##### C.1.1 Algemene variabelen (0..99)

I-var	Functie	Commentaar
I2=1	control panel disable	Door deze variabele 1 te kiezen is de (niet aanwezige) display uitgeschakeld zodat de displaypoort als I/O poort kan worden gebruikt.
I5=3	PLC programs on/off	I5=3: de PLC's kunnen actief worden gemaakt.
I12=10	Jog-to-position calc.time	Dit is de maximale rekentijd die mag worden gebruikt bij het geven van een jog-commando.

##### C.1.2 Motorvariabelen (100..999)

###### Motor 1 t/m 3

I-var	Functie	Commentaar
Ix00=1	motor x activate	motor 1 t/m 3 zijn geactiveerd.
Ix22	Jogsnelheid	Deze variabele wordt in de joystick-PLC's on-line aangepast.
Ix11=100000	fatal following error limit	De maximale volgfout die een motor mag hebben; wanneer deze waarde wordt overschreden, wordt de desbetreffende as 'gekilld' (0V op DACx). Door deze waarde niet te hoog te nemen kan schade bij fouten worden voorkomen.

De volgende negen variabelen bepalen de parameters van de PID regelaar, deze zijn bepaald met behulp van het tuning programma van 'PMACNEW'

<b>I-var</b>	<b>Functie</b>	<b>Commentaar</b>
I130	motor 1 proportional gain	Proportionele term PID regelaar X-as.
I131	motor 1 derivative gain	Differentiële term PID regelaar X-as.
I133	motor 1 integral gain	Integratie-term PID regelaar X-as.
I230	motor 2 proportional gain	Proportionele term PID regelaar Y-as.
I231	motor 2 derivative gain	Differentiële term PID regelaar Y-as.
I233	motor 2 integral gain	Integratie-term PID regelaar Y-as.
I330	motor 3 proportional gain	Proportionele term PID regelaar Z-as.
I331	motor 3 derivative gain	Differentiële term PID regelaar Z-as.
I333	motor 3 integral gain	Integratie-term PID regelaar Z-as.
I400=0 I900/ I905/	motor 4 disable	Motor 4 wordt niet aangestuurd.
I910=7	quadratuur signaal	Type signaal dat de interpolatoren leveren (assen 1,2 en 3).
I915=4	pulse and direction	Type signaal dat wordt geleverd door de V/F-converter (as 4).

## C.2 De M-variabelen

Met behulp van een M-variabelen kunnen geheugenadressen van de PMAC-besturingskaart gedefinieerd en uitgelezen worden. De volgende lijst bevat een selectie van de belangrijkste M-variabelen.

<b>Definitie</b>	<b>Functie</b>
M21->Y:\$FFC0,9	Verbonden met de opto-coupler die een beweging van de Y-joystickuitgang registreert (M21=0: de Y-joystickuitgang levert een signaal). (boolean)
M22->Y:\$FFC0,10	Verbonden met de opto-coupler die een beweging van de X-joystickuitgang registreert (M22=0: de X-joystickuitgang levert een signaal). (boolean)
M25->Y:\$FFC0,13	Verbonden met de keuzeschakelaar CNC- / handbesturing (M25=1: handbesturing; M25=0:CNC-besturing). (boolean)
M27->Y:\$FFC0,15	Verbonden met het relais dat omschakelt tussen Z- en XY- joystick (M27=0: De knop is ingedrukt). (boolean)
M60->X:\$729,24,0,U	Uitlezing analoge ingang. (real)

### C.3 De P-variabelen

P-variabelen kunnen in motion- en PLC programma's vrij worden toegepast. Deze variabelen leggen geen configuratiegegevens vast: de programmeur van de PMAC kan deze variabelen vrij gebruiken. Deze variabelen worden automatisch gedefinieerd door het joystick-calibratieprogramma PROG 10 (zie bijlage F) dat eenmalig moet worden gerund.

<b>P-var</b>	<b>Functie</b>
P51	Controlevariabele vanwege de extra tijd die nodig is voor het verwerken van een command"...-opdracht. Gebruikt in PLC21.
P52	Controlevariabele vanwege de extra tijd die nodig is voor het verwerken van een command"...-opdracht. Gebruikt in PLC22.
P53	Controlevariabele vanwege de extra tijd die nodig is voor het verwerken van een command"...-opdracht. Gebruikt in PLC23.
P63	Verstreken tijd na het toekennen van P64.
P64	Wordt gelijk gesteld aan de interne klok van de PMAC.
P81	M60 bij negatieve Y-beweging: bij het schakelen van de bijbehorende machine- input.
P82	M60 bij negatieve Y-beweging: uiterste stand.
P83	M60 bij positieve Y-beweging: bij het schakelen van de bijbehorende machine- input.
P84	M60 bij positieve Y-beweging: uiterste stand.
P85	M60 bij negatieve X-beweging: bij het schakelen van de bijbehorende machine- input.
P86	M60 bij negatieve X-beweging: uiterste stand.
P87	M60 bij positieve X-beweging: bij het schakelen van de bijbehorende machine- input.
P88	M60 bij positieve X-beweging: uiterste stand.
P90	M60 bij positieve Z-beweging: bij het schakelen van de bijbehorende machine- input.
P91	M60 bij positieve Z-beweging: uiterste stand.
P92	M60 bij negatieve Z-beweging: bij het schakelen van de bijbehorende machine- input.
P93	M60 bij negatieve Z-beweging: uiterste stand.
P94	M60 met linkerjoystick in nulstand.

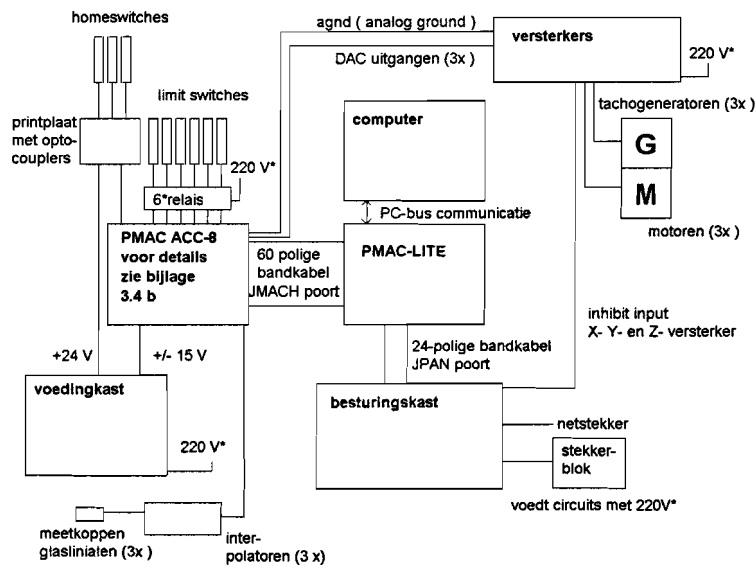
## Bijlage D

### Schema's besturing

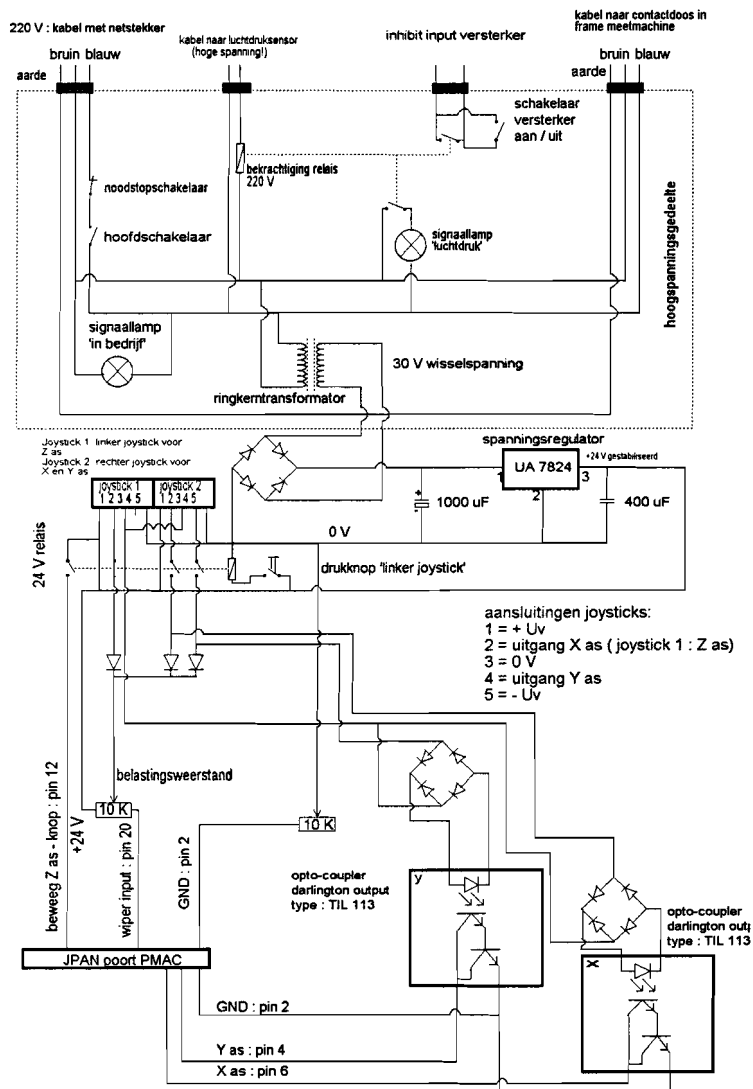
In deze bijlage staan de elektrische schema's van het gebouwde besturingssysteem weergegeven, figuur D.1 toont allereerst een globaal schema van het gehele systeem. Het schema van de besturingskast is weergegeven in figuur D.2.

Omdat de 'homeflags' (nulpuntsensoren) PNP-uitgangen bezitten, en de PMAC NPN signalen vereist, zijn deze signalen met behulp van een NPN-optocoupler omgezet zoals weergegeven in figuur D.3.

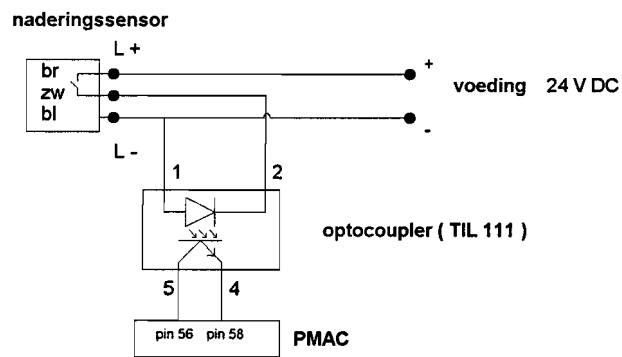
Tot slot staat het aansluitschema van de analoge joystickaansturing afgebeeld in figuur D.4.



Figuur D.1: globaal schema van de besturing



Figuur D.2: schema besturingskast

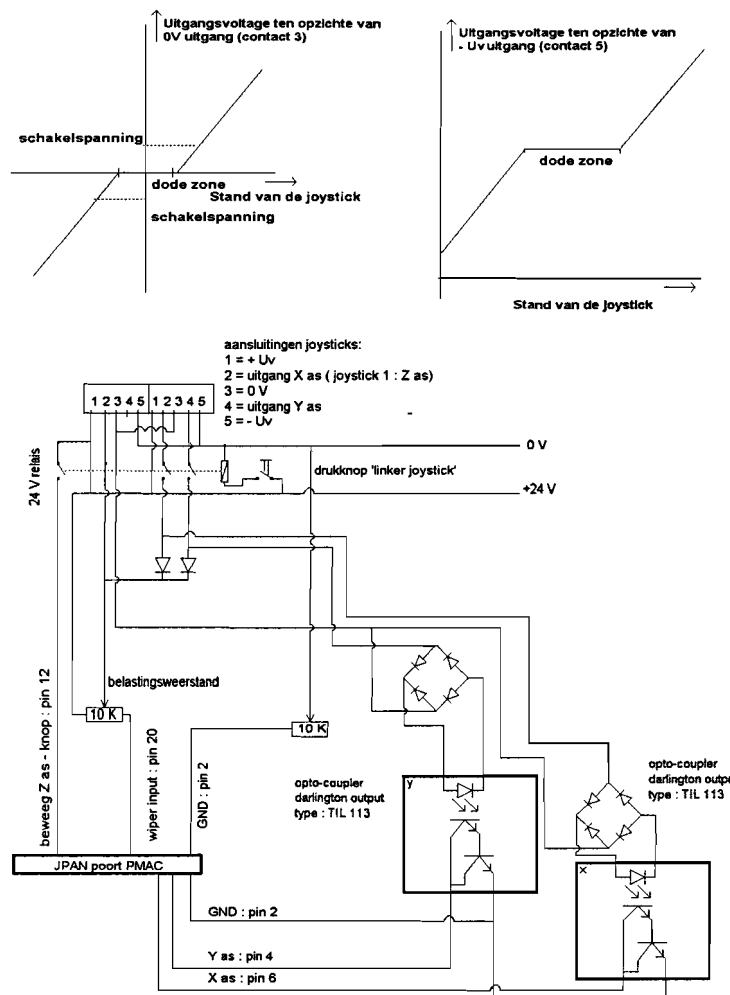


**kleuren verbindingskabel tussenkaart - PMAC :**

groen : HMFL 1 (55)  
 grijs : HMFL 2 (56)  
 bruin : HMFL 3 (41)  
 wit : agnd (58)  
 geel : 0V  
 rose : +24V

Figuur D.3: homeflag-aansluitingen





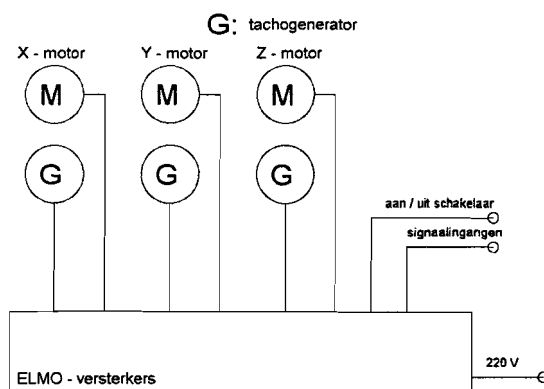
Figuur D.4: aansluitingen analoge joysticks

## Bijlage E

### aansluitingen

In deze bijlage staan de aansluitschema's van de besturingsonderdelen.

#### E.1 De vermogensversterkers



Figuur E.1: aansluitingen vermogensversterkers

**motoren:** verbonden door middel van een tweeadelige afgeschermd kabel.

**transparant:** positieve motoruitgang ; via smoorspoel naar contact 1 van elke versterker.

**zwart:** negatieve motoruitgang ; verbonden met contact 4 van elke versterker.

**tachogeneratoren:** verbonden door middel van een tweeadelige afgeschermd kabel.

**rood:** verbonden met contact 7 van elke versterker (input 3-low gain).

**zwart:** verbonden met contact 9 van elke versterker (circuit common).

**netspanning:** de voedingseenheid van de versterkers heeft een ingangsspanning van ca. 30 V. Deze spanning wordt door een ringkerntransformator geleverd. De roze kabels zijn verbonden met de primaire spoel en aangesloten op het lichtnet met behulp van een kabel vanuit de voedingskast.

**ingangssignaal:** verbinding met de PMAC door middel van een tweeadelige afgeschermd kabel.

**rood:** hetingangssignaal, verboden met contact 6 van elke versterker (input 2 - mid gain).

**zwart:** verbonden met contact 10 (circuit common) van de X - versterker. Om aardlussen te voorkomen zijn de Y en Z versterker zonder aarde verbinding op de PMAC aangesloten. De verbinding tussen de 'circuit common' van elke versterker wordt immers al in het rek gerealiseerd.

**aan / uit schakelaar:** Op de joystickkast is een schakelaar gemonteerd voor het snel uitschakelen van alle bewegingen. De schakelaar is door middel van een tweaderige kabel met de contacten 14 en 15 van alle versterkers verbonden.

**E.2 Aansluitingen PMAC ACC-8**

pin	kleur	functie	aangesloten op
1	wit	+V	voedingsspanning interpolatoren (+5V)
2	bruin	gnd	aarde interpolatoren
3	bruin	gnd	aarde interpolatoren
4	wit	+V	voedingsspanning interpolatoren (+5V)
5	blauw	CHC3	index-sigitaal: Z-as
6	-	CHC4	niet in gebruik
7	rose	CHC3/	geïnverteerd indexsignaal: Z-as
8	-	CHC4/	niet in gebruik
9	rood	CHB3	encodersignaal B: Z-as (90° fasedraaiing t.o.v A)
10	rood	CHB4	niet in gebruik
11	grijs	CHB3/	geïnverteerd encodersignaal B: Z-as
12	grijs	CHB4/	niet in gebruik
13	geel	CHA3	encodersignaal A: Z-as
14	geel	CHA4	niet in gebruik
15	groen	CHA3/	geïnverteerd encodersignaal A: Z-as
16	groen	CHA4/	niet in gebruik
17	blauw	CHC1	index-sigitaal: X-as
18	blauw	CHC2	index-sigitaal: Y-as
19	rose	CHC1/	geïnverteerd indexsignaal: X-as
20	rose	CHC2/	geïnverteerd indexsignaal: Y-as
21	rood	CHB1	encodersignaal B: X-as (90° fasedraaiing t.o.v A)
22	rood	CHB2	encodersignaal B: Y-as (90° fasedraaiing t.o.v A)
23	grijs	CHB1/	geïnverteerd encodersignaal B: X-as
24	grijs	CHB2/	geïnverteerd encodersignaal B: Y-as
25	geel	CHA1	encodersignaal A: X-as
26	geel	CHA2	encodersignaal A: Y-as
27	groen	CHA1/	geïnverteerd encodersignaal A: X-as
28	groen	CHA2/	geïnverteerd encodersignaal A: Y-as
29	rood	DAC3	versterker: ingang Z-as
30	-	DAC4	niet in gebruik
31	-	DAC3/	niet in gebruik
32	-	DAC4/	niet in gebruik
33	-	AENA3	niet in gebruik
34	-	AENA4	niet in gebruik
35	-	FAULT3	niet in gebruik
36	-	FAULT4	niet in gebruik
37	groen	+LIM3	pos. limiet Z-as
38	-	+LIM4	niet in gebruik
39	rose	-LIM3	neg. limiet Z-as
40	-	-LIM4	niet in gebruik
41	bruin	HMFL3	naderingssensor nulpunt Z-as
42	-	HMFL4	(nog) niet in gebruik

pin	kleur	functie	aangesloten op
43	-	DAC1	niet in gebruik
44	rood	DAC2	versterker: ingang Y-as
45	rood	DAC1/	versterker: ingang X-as (nulpunt verlegd)
46	-	DAC2/	niet in gebruik
47	-	AENA1	niet in gebruik
48	-	AENA2	niet in gebruik
49	-	FAULT1	niet in gebruik
50	-	FAULT2	niet in gebruik
51	wit	+LIM1	pos. limiet X-as
52	geel	+LIM2	pos. limiet Y-as
53	grijs	-LIM1	neg. limiet X-as
54	bruin	-LIM2	neg. limiet Y-as
55	HMFL1	groen	naderingssensor nulpunt X-as
56	HMFL2	grijs	naderingssensor nulpunt Y-as
57	-	FE/WDO	niet in gebruik
58	wit	agnd	aarde naderingssensoren; circuit common versterkers; gemeenschappelijke pool van de limietschakelaars; 0V-pool analoge voeding
59		+15V	positieve pool analoge voeding
60		-15V	negatieve pool analoge voeding

## **Bijlage F**

### **Programma's**

Om de gebouwde besturing goed te laten functioneren, zijn ondersteunende software-programma's geschreven. De eerste vier programma's hebben betrekking op de handmatige besturingsmode (zie hoofdstuk 3), de laatste op de integratie van een tastersysteem en de meetsoftware (zie hoofdstuk 4).

### E.1 PLC programma voor de aansturing van schakelende joysticks

Met behulp van dit programma kan de schakeling zoals beschreven in paragraaf 3.5.1 goed functioneren. Dit programma is alleen voor een positieve beweging van de x-as. De andere bewegingsrichtingen worden door soortgelijke PLC programma's aangestuurd.

```

CLOSE ; Zorg ervoor dat geen programmabuffers open zijn.
OPEN PLC1 ; Open de buffer van PLC-programma 1.
CLEAR ; Maak de buffer leeg.
IF(M17=0 AND M11=1) ; Voorwaarden voor beweging: M17=0: keuzeknop in de
; goede stand; M11=1: de joystick is in positieve x-richting
; bewogen.

IF(M18=1) ; Keuzeschakelaar op snel.
I122=60 ; I122: jogsnelheid.
ELSE ; Keuzeschakelaar op langzaam.
I122=30 ; lagere jogsnelheid.
IF(P1=0) ; P1 is een schakelvariabele; deze variabele is nodig omdat
; het enige tijd duurt voordat een 'COMMAND'-opdracht
; door de PMAC is verwerkt.

COMMAND"#1J+" ; Commando om x-as in positieve richting te laten bewegen
; met de jogsnelheid.

P1=1 ; Zet schakelvariabele om (dit gebeurt pas als het commando
; op de vorige regel is verwerkt).

ENDIF ; Einde tweede IF-statement.
ELSE ; Er wordt niet meer aan de bewegingsvoorwaarden voldaan.
IF(P1=1) ; Zijn er geen commando's die nog verwerkt moeten
; worden?

COMMAND"#1J/" ; Stop de beweging van de X-as.
P1=0 ; Het commando is uitgevoerd.
ENDIF ENDIF ; Einde IF-statements
CLOSE ; Sluit de programmabuffer.

```

## F.2 PLC programma ter ondersteuning van rechtstreeks aangesloten joysticks

```

CLOSE ; Zorg dat alle buffers zijn gesloten.
M11->Y:$FFC2,0 ; Declaratie van machine-input 1.
M1->Y:$FFC2,8 ; Declaratie van machine-output 1.
OPEN PLC 1 ; Open de buffer van PLC-programma 1.
CLEAR ; Maak de buffer van PLC programma 1 leeg.
IF(M11=1) ; De schakelaar staat in CNC stand.
COMMAND"#1J/#2J/#3J" ; Sluit de regellus voor alle assen.
M1=1 ; Zet het relais in CNC stand.
WHILE(M11=1) ; Stop het programma zolang de schakelaar in dezelfde stand
blijft staan.

WAIT
ENDWHILE
ELSE ; De schakelaar staat in joystickstand.
COMMAND"K" ; Open de regellus van alle assen.
M1=0 ; Zet het relais in joystickstand.
ENDIF ; Einde van het IF-statement.
CLOSE ; Sluit de buffer.

```



**F.3 PLC programma voor analoge joysticks**

De schakeling, beschreven in paragraaf 3.5.3 (schema: D.4) wordt door de volgende PLC-programma's aangestuurd. Omdat voor elke as een vergelijkbaar stuurprogramma noodzakelijk is, is alleen het PLC programma voor de aansturing van de X-as voorzien van commentaar.

**PLC 21: analoge aansturing van de X as.**

```

CLOSE
DELETE GATHER
DELETE TRACE
OPEN PLC 21           ; PLC21: aansturing motor X-as.
CLEAR                 ; Maak de buffer leeg.
IF(M25=1ANDM21=0)    ; M25: keuzeschakelaar CNC / handbesturing; M21: indica-
                    ; tie beweging joystick in X-richting.

P122=I122             ; Sla de oude waarde van I122 op.
WHILE(P62<3000+M0
ANDM21=0)             ; Doe dit een bepaalde tijd.
P51=ABS(P51-1)        ; Zet controlevariabele om.
IF(P51=1)             ; Zijn alle oude commando's uitgevoerd?
IF(M60;P89)           ; Richting beweging joystick: positief.
I122=((M60-P87)/(P88-
P87))*70*(1-0.5*M29)
                    ; Pas I122 aan (I122=jogsnelheid)
ELSE                  ; Richting beweging joystick: negatief.
I122=-((M60-P85)/(P86-
P85))*70*(1-0.5*M29)
                    ; Pas I122 aan (I122=jogsnelheid)

END IF
COMMAND"#1J+"        ; Bewegingscommando.
;COMMAND"I122"        ; Simulatiecommando, alleen om te testen.
ENDIF
P51=0                 ; Het commando is uitgevoerd: zet de controlevariabele om.
P64=M0                ; M0: interne klok PMAC
P63=M0-P64            ; P63: verstreken tijd na toekennen P64.
WHILE(P63<300)        ; Doe dit gedurende 300 klokeenheden.
P63=M0-P64            ; P63: verstreken tijd na toekennen P64.
END WHILE
END WHILE P62=M0      ; P62: teller gebonden aan de PMAC-klok: zorgt ervoor, dat
                    ; elke 3000 klokeenheden de hoofdlus wordt doorlopen.

P51=1                 ; Alle commando's uit de hoofdlus zijn verwerkt.
ELSE                  ; Er wordt niet meer aan de bewegingsvoorwaarden voldaan.
IF(P51=1)             ; Ga verder als alle commando's zijn verwerkt.
COMMAND"#1J/"         ; Stop de beweging.
P51=0                 ; Het stop commando is verwerkt.
I122=P122             ; Geef I122 de oude waarde terug.
END IF
END IF
CLOSE

```

**PLC22: analoge aansturing van de Y-as**

```
CLOSE
DELETE GATHER
DELETE TRACE
OPEN PLC 22
CLEAR
IF (M25=1ANDM20=0ANDM27=1)
P222=I222
WHILE (P62<3000+M0ANDM20=0)
P1=ABS(P1-1)
IF (P1=1)
IF (M60<P89)
I222=((M60-P87)/(P88-P87))*80*(1-0.5*M29)
ELSE
I222=-((M60-P81)/(P82-P81))*80*(1-0.5*M29)
END IF
COMMAND"\#2J+"
END IF
P1=0
P64=M0
P63=M0-P64
WHILE (P63<300)
P63=M0-P64
END WHILE
END WHILE
P62=M0
P1=1
ELSE
IF (P1=1)
COMMAND"\#2J/"
P1=0
I222=P222
END IF
END IF
CLOSE
```

**PLC23: analoge aansturing van de Z-as**

```
CLOSE
DELETE GATHER
DELETE TRACE
OPEN PLC 23
CLEAR
IF (M27=0 AND M23=0 AND M25=1)
P322=I322
WHILE (P62<3000+M0 AND M23=0)
P2=ABS (P2-1)
IF (P2=1)
IF (M60<P89)
I322=((M60-P87)/(P88-P87))*50*(1-0.5*M29)
ELSE
I322=-((M60-P81)/(P82-P81))*50*(1-0.5*M29)
END IF
COMMAND"\#3J+"
END IF
P2=0
P64=M0
P63=M0-P64
WHILE (P63<300)
P63=M0-P64
END WHILE
END WHILE
P62=M0
P2=1
ELSE
IF (P2=1)
COMMAND"\#3J/"
P2=0
I322=P322
END IF
END IF
CLOSE
```

#### F.4 Motionprogramma ter bepaling van de variabelen van de analoge joysticks

Dit is een motion programma dat de benodigde variabelen P81 t/m P94 bepaald. Het programma laat de gebruiker een aantal bewegingen met de joysticks uitvoeren en slaat dan de juiste variabele op wanneer het schakelsignaal wordt gedetecteerd. Omdat ook een signaal wordt gewenst wanneer de uiterste stand is bereikt, wordt gevraagd om in deze stand een met een machineinput verbonden keuzeschakelaar om te schakelen.

```

CLOSE
OPEN PROG 10 CLEAR
DISABLE PLC21..23
P89=M60
SEND"JOYST.AFST"
SEND"DIT PROGRAMMA IS GEMAAKT OM DE JOYSTICKS AF TE STELLEN"
SEND" "
IF (M25=1)
SEND"SCHAKEL JOYSTICKS UIT OM VERDER TE GAAN"
WHILE (M25=1)
WAIT
END WHILE
SEND"OK"
END IF
SEND"BEWEEG DE RECHTER JOYSTICK LANGZAAM NAAR LINKS (Y-
)"
SEND"EN SCHAKEL DAARNA DE JOYSTICKS IN (DERDE KNOP)"
WHILE (M20=1)
WAIT
END WHILE
P81=M60
SEND"HELEMAAL TOT DE UITERSTE STAND SVP"
WHILE (M25=0)
WAIT
END WHILE
P82=M60
SEND"OK"
DWELL1000
SEND"STOP MAAR"
WHILE (M20=0)
WAIT
END WHILE
SEND"BEWEEG DE JOYSTICK NU NAAR BENEDEN (X-)"
SEND"EN SCHAKEL DAARNA DE JOYSTICKS UIT"
WHILE (M21=1)
WAIT
END WHILE
P85=M60

```

```
SEND"HELEMAAL TOT DE UITERSTE STAND SVP"  
WHILE(M25=1)  
WAIT  
END WHILE  
P86=M60  
SEND"OK"  
DWELL1000  
SEND"STOP MAAR"  
WHILE(M21=0)  
WAIT  
END WHILE  
SEND"BEWEEG DE JOYSTICK NU NAAR RECHTS (Y+)"  
SEND"EN SCHAKEL IN"  
WHILE(M20=1)  
WAIT  
END WHILE  
P83=M60  
WHILE(M25=0)  
WAIT  
END WHILE  
P84=M60  
SEND"OK"  
DWELL1000  
SEND"STOP MAAR"  
WHILE(M20=0)  
WAIT  
END WHILE  
SEND"BEWEEG DE JOYSTICK NU NAAR BOVEN (X+)"  
SEND"EN SCHAKEL UIT"  
WHILE(M21=1)  
WAIT  
END WHILE  
P87=M60  
WHILE(M25=1)  
WAIT  
END WHILE  
P88=M60  
SEND"OK"  
DWELL1000  
SEND"STOP MAAR"  
WHILE(M21=0)  
WAIT  
END WHILE  
SEND"BEWEEG NU DE LINKER JOYSTICK HELEMAAL NAAR ACHTER"  
SEND"EN SCHAKEL IN"  
WHILE(M27=1)  
WAIT
```

```
END WHILE
P94=M60
SEND"OMGEZET"
DWELL100
WHILE(M23=1)
WAIT
END WHILE
P90=M60
SEND"SCHAKELPUNT ACHTER"
WHILE(M25=0)
WAIT
END WHILE
P91=M60
SEND"OK"
DWELL600
SEND"STOP MAAR"
WHILE(M23=0)
WAIT
END WHILE
SEND"NU VOORUIT SVP"
SEND"DAARNA UITSCHAKELEN"
WHILE(M23=1)
WAIT
END WHILE
P92=M60
SEND"SCHAKELPUNT"
WHILE(M25=1)
WAIT
END WHILE
P93=M60
SEND"OK"
DWELL600
SEND"STOP MAAR"
WHILE(M23=0)
WAIT
END WHILE
SEND"KLAAR"
SEND"DE VARIABELEN P81..92 ZIJN NU OPNIEUW BENOEMD"
SEND" "
SEND" "
SEND" "
CLOSE
#1J/
#2J/
#3J/
ENA PLC21..23
```

## F.5 Programma voor de communicatie tussen PMAC en software

Wanneer het softwarepakket in een bepaald punt een meting wil doen, zorgt dit pakket allereerst dat de gewenste meetpunten worden vastgelegd in geheugenadressen 1 t/m 3. Vervolgens stuurt het pakket het commando "B2R" naar de PMAC, waarna deze het volgende motion program runt:

CLOSE	:	Sluit alle geopende buffers.
M61->geheugenadres1	:	Buffer voor X-positie (integer, input).
M62->geheugenadres2	:	Buffer voor Y-positie (integer, input).
M63->geheugenadres3	:	Buffer voor Z-positie (integer, input).
M64->geheugenadres4	:	Buffer voor X-positie (integer, output).
M65->geheugenadres5	:	Buffer voor Y-positie (integer, output).
M66->geheugenadres6	:	Buffer voor Z-positie (integer, output).
M67->geheugenadres7	:	Softwarepakket is actief (boolean, input).
P1=M101	:	X-positie voor het starten van het programma.
P2=M102	:	Y-positie voor het starten van het programma.
P3=M103	:	Z-positie voor het starten van het programma.
#1->X	:	Coördinatenstelsel.
#2->Y	:	
#3->Z	:	
OPEN PROG2	:	Open de buffer voor programma 2.
CLEAR	:	Maak de buffer leeg.
IF(M67=1)	:	Voorwaarde om dit programma te draaien.
WHILE(M420=0)	:	Zolang de taster geen signaal geeft.
X(M61+100*SIGN(M61-P1)	:	Ga naar de X-positie die door de software wordt opgegeven (+100 extra counts).
Y(M62+100*SIGN(M62-P2)	:	Ga naar de Y-positie die door de software wordt opgegeven (+100 extra counts).
Z(M63+100*SIGN(M63-P3)	:	Ga naar de Z-positie die door de software wordt opgegeven (+100 extra counts).
ENDWHILE	:	Homeflag 4 signaal (moet met behulp van I425 zijn ingeschakeld).



M101=M64 : Geef M64 de waarde van de positie op dit moment (X-as).

M201=M65 : Geef M64 de waarde van de positie op dit moment (Y-as).

M301=M66 : Geef M64 de waarde van de positie op dit moment (Z-as).

COMMAND"#1J/ #2J/ #3J" : Zet alle bewegingen stop (Het is belangrijk dat de maximale versnelling bij dit soort bewegingen, bepaald door Ix19, dusdanig hoog is, dat de beweging stopt alvorens de maximale overtravelwaarde van de taster wordt bereikt).

SEND"CHR" : Karakter dat de software laat weten dat de meting is voltooid en dat de posities kunnen worden uitgelezen (eventueel kunnen de uitgelezen posities ook worden uitgezonden naar de hostcomputer van het softwarepakket).

ENDIF

CLOSE : Sluit de buffer.

Let wel: de software werkt met  $\mu\text{m}$  of mm's, de PMAC in counts. Daarom dienen de in- en uitgevoerde posities nog met een factor te worden vermenigvuldigd.

De waarden van geheugenadressen 1 t/m 7 zijn onder andere afhankelijk van de meetsoftware. Vanwege onvoldoende informatie in de brochure is het niet mogelijk hier verder over in detail te treden.