

## Direct-drive robots

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

Roij, van, J. C. J. (1991). *Direct-drive robots*. (TH Eindhoven. Afd. Werktuigbouwkunde, Vakgroep Produktietechnologie : WPB; Vol. WPA1061). Technische Universiteit Eindhoven.

***Document status and date:***

Gepubliceerd: 01/01/1991

***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.

Direct-Drive Robots

Door: J.C.J. Van Roij  
Idnr: 234228

Literatuuronderzoek  
WPA-nr: 1061

Coach: Ing. H.A. Bulten

Technische Universiteit Eindhoven  
Fakulteit Werktuigbouwkunde  
Vakgroep WPA

## INHOUD

	Pag.
HOOFDSTUK 1 INLEIDING	1
HOOFDSTUK 2 HYDRAULISCHE DIRECT-DRIVE ROBOTS	2
HOOFDSTUK 3 PNEUMATISCHE DIRECT-DRIVE ROBOTS	3
HOOFDSTUK 4 ELECTRISCHE DIRECT-DRIVE ROBOTS	4
HOOFDSTUK 5 INFORMATIEBRONNEN	5
5.1 Computers in bibliotheken	5
5.2 Referaattijdschriften:	
5.2.1 Applied Mechanics Review	6
5.2.2 Metals, Mira and Tribology Abstracts	6
5.2.3 The Engineering Index	6
5.3 VDI-Zeitschrift	9
5.4 Tijdschriften aanwezig in bibliotheken	10

## HOOFDSTUK 1 INLEIDING.

Een onderdeel van de onderzoeksoopdracht is het literatuuronderzoek. Een goed literatuuronderzoek is voor een onderzoeker van groot belang. Hierdoor weet een onderzoeker wat voor vorderingen er al zijn gemaakt op het te onderzoeken gebied. De waarde van het eigen onderzoek kan beter worden afgeschat en dubbel werk kan voorkomen worden.

Op de TUE zijn er verschillende mogelijkheden om een literatuuronderzoek te verrichten:

- 1) Mbv. computers in de bibliotheken kunnen boeken en rapporten geselecteerd worden op naam, titel, trefwoord, etc.
- 2) Mbv. referaattijdschriften zoals: Applied Mechanics Review, Metals Abstracts Index, Mira Automobil Abstracts, Tribo en The Engineering Index kunnen publicaties en artikelen van de laatste jaren gevonden worden.
- 3) Mbv. tijdschriften die jaaroverzichten geven, zoals VDI-Zeitschrift.
- 4) Mbv. bibliotheekbestanden elders in de wereld.
- 5) Onderzoek via de aanwezige tijdschriften in de bibliotheek.
- 6) Via overdrukken van publicaties die in het bezit zijn van de medewerkers.

Gedurende 100 uren is het gebied van de direct-drive robots onderzocht. Hierbij is gekeken naar de verschillende soorten van direct-drive robots met de daarbij behorende eigenschappen. Tevens is onderzocht waar zoveel mogelijk informatie over direct-drive robots te krijgen is.

Een direct-drive robot is een robot waarvan de armen direct door de motoren aangedreven worden. Er zit dus geen extra overbrenging tussen de motoren en de armen, dwz. er is een overbrengingsverhouding van 1. Voordelen van direct-drive zijn oa: spelingsvrije overbrenging ( wat leidt tot een hogere positionauwkeurigheid ), weinig onderhoud nodig, redelijk goedkoop, geen wrijving, laag traagheidsmoment en hoge stijfheid. Nadelen zijn er echter ook zoals: relatief hoog gewicht en veel benodigde inbouwruimte en andere benodigde aandrijfmotoren die een hoog koppel kunnen leveren bij een laag toeren-tal.

Industriële robots aangedreven door hydraulische, pneumatische of elektrische drive systemen kunnen zowel in directe alsook in indirecte vorm voorkomen. Het hangt helemaal af van de toepassing wat voor type robot het beste is. Voor zware lasten is het meestal beter om een hydraulische direct-drive robot te gebruiken, terwijl voor lichte lasten een elektrische indirect-drive robot de voorkeur geniet.

In dit onderzoek zullen nu de verschillende typen van direct-drive robots besproken worden. Hiervan komen de elektrische in de praktijk het meeste voor.

## HOOFDSTUK 2 HYDRAULISCHE DIRECT-DRIVE ROBOTS.

Een manier om de armen van de robot te laten bewegen, is door gebruik te maken van een hydraulisch systeem. Meestal wordt als vloeistof olie, met de verschillende viscositeiten, daarvoor gebruikt. De oliedruk is daarbij altijd lager dan 100 bar. Dit is enerzijds voor de veiligheid en anderzijds omdat dan nog flexibele slangen gebruikt kunnen worden. Flexibele slangen zijn erg gemakkelijk bij de beweging van de robot die de raarste standen in kan nemen. Hoewel hydraulisch aangedreven systemen een betere vermogens/gewichts-verhouding hebben dan pneumatische of elektrische systemen, hebben ze toch een aantal praktische problemen:

- \* het transport van de olie, onder druk, naar de bewegende delen,
- \* eliminatie van lucht,
- \* behoefte aan een extra hydraulische besturingseenheid wat extra kosten tot gevolg heeft,
- \* extra onderhoud.

Door deze problemen worden deze robots alleen toegepast daar waar de andere systemen niet voldoen. Hydraulische direct-drive robots worden gebruikt, daar waar de andere systemen niet voldoen. Ze worden dan ook gebruikt voor het spuiten van bepaalde objecten, zoals bijv. autocarrosseriedelen.

De hydraulische direct-drive robots worden meestal aangedreven door hydraulische cilinders voor een translaterende beweging of door roterende, hydraulisch aangedreven motoren voor een roterende beweging. Deze kleine cilinders werken met een hoge oliedruk en kunnen hoge lasten verwerken bij hoge snelheden. De voordelen van de hydraulische direct-drive robot zijn:

- \* eenvoudige uitvoering,
- \* weinig onderhoud nodig,
- \* lange levensduur,
- \* gemakkelijk te beschermen tegen overbelasting,
- \* spelingsvrij.

Nadelen zijn:

- \* de cilinders leiden tot extra gewicht bij de scharnierpunten van de robotarmen wat tot kan leiden tot 'overshoot' bij het bewegen naar een gewenste positie tijdens een korte, snelle beweging. Door de 'overshoot' is de positienauwkeurigheid niet zo hoog als van de elektrische direct-drive systemen.
- \* indien onderhoud niet goed uitgevoerd wordt, kunnen lekkages optreden,
- \* extra besturingseenheid is nodig voor het hydraulische systeem wat natuurlijk ook extra kosten met zich mee brengt.

### HOOFDSTUK 3 PNEUMATISCHE DIRECT-DRIVE ROBOTS.

Pneumatische energie wordt meestal gebruikt in de vorm van gecomprimeerde lucht onder een druk van minder dan 10 bar. Lucht is erg gemakkelijk in het gebruik en kan getransporteerd worden mbv. flexibele slangen die handig zijn bij de bewegingen van de robot. Echter lucht is niet in staat om te zorgen voor smering bij langzaam draaiende delen wat kan leiden tot wrijving tussen de delen. Verder kan gecomprimeerde lucht waterdamp bevatten wat kan leiden tot oxidatie in de leidingen en/of aandrijving. Gecomprimeerde lucht maakt tijdens gebruik veel herrie. Verder zijn servo-bestuurde pneumatische systemen moeilijk te besturen. Bij de besturing zijn alleen de standen "aan" en "uit" mogelijk. Daarom worden de pneumatische direct-drive robots alleen toegepast bij robots met een vaste beweging.

Pneumatische systemen bestaan uit de motor zelf, die bestaat uit een zuiger in het geval van robots, en verder uit een verdeler om de motor te besturen. Het systeem wordt bestuurd door het "aan" of "uit" te schakelen, waarna een beweging volgt van de zuiger met constante snelheid. Het pneumatisch systeem kan zorgen voor een roterende of een translerende beweging van de zuiger. Deze zuiger is direkt gekoppeld aan de last. Pneumatische direct-drive robots hebben als voordelen:

- \* eenvoudige uitvoering,
- \* spelingsvrij,
- \* weinig onderhoud.

Nadelen zijn:

- \* geen zelfsmearing wat leidt tot extra wrijving tussen de draaiende delen,
- \* veroorzaakt veel geluid tijdens bedrijf,
- \* moeilijke besturing dmv. de standen ( aan/uit ). Dit kan leiden tot 'overshoot' van de gewenste positie, wat net als bij de hydraulische systemen een mindere positioneringsnauwkeurigheid tot gevolg heeft dan bij elektrische direct-drive systemen.
- \* in tegenstelling tot de hydraulische en de elektrische direct-drive systemen kan de besturing niet over een bepaald gebied geregeld worden,
- \* de beweging naar een andere positie gaat gepaard met schokken waardoor dempers nodig zijn om dit zoveel mogelijk op te vangen.

## HOOFDSTUK 4 ELECTRISCHE DIRECT-DRIVE ROBOTS.

Electrische energie is ideaal om te gebruiken voor de besturing en aandrijving van robots. Electrische energie is namelijk gemakkelijk verkrijgbaar, niet vervuilend zoals hydraulische systemen in geval van lekkage en kan gemakkelijk getransporteerd worden mbv. kabels. De vermogens/gewichts-verhouding is echter lager dan de twee andere systemen. Ongeveer 90% van de huidige industriële robots wordt gevormd door electrisch aangedreven robots. Deze electrisch aangedreven robots, die steeds beter belast zijn tegen zware lasten, zullen in de toekomst een nog groter gedeelte van het totaal gaan uitmaken. Dit komt onder andere door de ontwikkeling van lichte electromotoren die een hoog koppel kunnen leveren. Motoren met een hoog toerental zullen dan nog een extra overbrenging nodig hebben om het toerental te verlagen en het leverbare koppel te verhogen, dit zijn de indirect-drive robots. Indien het toerental laag is en het leverbare koppel hoog dan is er geen extra overbrenging meer nodig, dit zijn de electrische direct-drive robots.

Ook bij dit direct-drive systeem geldt dat er een spelingsvrije overbrenging is ontstaan en dat de wrijving tussen de draaiende delen is geminimaliseerd.

De voordelen van een electrisch direct-drive robot zijn:

- \* stille aandrijving,
- \* hoge reactiesnelheid op stuursignalen,
- \* hoog rendement,
- \* hoge positienauwkeurigheid,
- \* weinig onderhoud nodig,
- \* gemakkelijke besturing.

Nadelen zijn:

- \* relatief hoge prijs voor een motor, maar dat is inclusief een extra besturingseenheid, nl. een versterker. Terwijl bij hydraulische en pneumatische ook extra besturingssystemen nodig zijn.
- \* nu nog bij sommige motoren oververhitting.

## HOOFDSTUK 5 INFORMATIEBRONNEN.

### 5.1 Computers in bibliotheken.

De computers in de bibliotheken werken met het zgn. VUBIS-bestand. Door het invoeren van trefwoorden, titels, auteurs, etc. kan het boek met het gewenste onderwerp gevonden worden. Echter in dit bestand staat 'direct-drive robot' als zodanig niet vermeld. Ook bij aandrijvingen was niets te vinden. Daarom is in alle boeken over robots en robottoepassingen gekeken naar direct-drive robots. Echter veel was er in de boeken, aanwezig in de bibliotheek, niet te vinden. Boeken waarin het onderwerp wel werd vermeld waren:

\* Model-based control of a robot-manipulator.

Geschreven door: Chae H. An, Cristopher G Atkeson en John M Hollerbach. Het boek is uitgegeven door de MIT Press, Cambridge, Massachussets, USA of in London, England. Het boek bevat informatie over direct-drive armen die uitvoerig beschreven worden in hoofdstuk 2 van het boek.

\* Developments in robotics 1983.

Geschreven door: Brian Rooks.

Het boek omvat verschillende artikelen over de ontwikkelingen van industriële robots. Daaronder een artikel met als titel: a direct-drive manipulator ( development of a high-speed manipulator ). Dit artikel is geschreven door Haruhiko Asada, Takeo Kanada en Ichiro Takeyama en is te vinden op pagina 217 t/m 226.

\* Decade of robotics 1983, special tenth anniversary issue of The Industrial Robot magazine.

Dit boek omvat een gedeelte van de artikelen die gedurende 10 jaar zijn verschenen in het tijdschrift. Een artikel heeft als titel: Let the application choose the drive, geschreven door Joseph Rey en is te vinden op pagina 21.

\* An introduction to robot technology.

Geschreven door: Philippe Coifet en Michel Chirouze.

Dit boek omschrijft alle zaken van de robot waaronder de aandrijvingen. In hoofdstuk 9 worden de aandrijvingen van de robot beschreven, waaronder elektrische, hydraulische en pneumatische aandrijfsystemen.

\* Industrial robots.

Geschreven door: Gordon M. Mair.

In hoofdstuk 8 van dit boek worden overbrengingsverhoudingen besproken met daaronder ook de direct-drive. Dit is te vinden op pagina 127 t/m 129.

\* Ook staan er boeken met daarin artikelen van conferenties die zijn gehouden over de robot. Gek genoeg is er maar 1 conferentie geweest waarbij het onderwerp van de direct-drive



robot ter sprake is gekomen en vermeld is bij de rest van de artikelen van die conferentie. Het boek heeft als titel: 15th international symposium on industrial robots, 1985, Tokyo, Japan. In dit boek is vanaf pagina 447 een hoofdstuk: 'direct-drive manipulators' te vinden met daarin 5 artikelen:

- 1) Development of direct-drive human-like manipulator. Geschreven door: Tatsuo Arai, Eiji Nakano, Tomoaki Yano, Ryoichi Hashimoto en Ichiro Takeyama.
- 2) Direct-drive arms, progress in arm design. Geschreven door: H. Asada en I.H. Ro.
- 3) Development of direct-drive robot. Geschreven door: M. Takeshita, H. Sekiguchi, T. Iwasaki en T. Harima.
- 4) Development of CMU direct-drive arm II. Geschreven door: Donald Schmitz, Pradeep Khosia en Takeo Kanade.
- 5) Development of a direct-drive manipulator: ETA-3 and enhancement of servo-stiffness by a second order digital filter. Geschreven door: Takashi Suehiro en Kunikatsu Takase.

## 5.2 Referaattijdschriften.

### 5.2.1 Applied Mechanics Review.

Hierin zijn geen artikelen te vinden over de direct-drive robot. Wel staan er artikelen in waarin toepassingen van de robot staan.

### 5.2.2 Metals Abstracts, Mira Abstracts en Tribology Abstracts.

Ook voordat referaattijdschrift geldt dat er geen artikelen zijn over direct-drive robots maar wel over de toepassingen van de robots.

### 5.2.3 The Engineering Index.

In deze index staan verschillende artikelen over direct-drive robots. De index, in de bibliotheek W, begint in 1985 met jaarlijkse overzichten, waarna het in 1989 overgaat in maandelijkse overzichten van de verschenen artikelen.

1985 Annual.

\* Nr: 096312 Manipulability of robotic mechanisms.

Geschreven door: Tsuneo Yoshikawa.

Verschenen in: International Journal of Robotic Research, jaargang 4, nr. 2, zomer 1985, pagina 3 t/m 9.

Dit artikel omschrijft aandrijfmogelijkheden van robotmechanismen voor positionering. Ook omschrijft dit artikel de passende aandrijving voor een bepaalde toepassing.

1986 Annual.

\* Nr: 100566 Direct-drives for precision robots.

Geschreven door: Bruce Powell.

Verschenen in: Machine Design,

jaargang 58, nr. 6, maart 1986, pagina 49 t/m 52.

Dit artikel omschrijft de servomotor in de direct-drive robot. De servomotoren die worden gebruikt in robots zijn in het algemeen motoren die een laag koppel leveren bij hoge snelheden. Snelheidsvertragers zorgen voor een koppel dat hoog genoeg is voor de aandrijving van de robot. Dit is vaak van voordeel omdat servomotoren klein en goedkoop zijn. Maar de snelheidsvertragers veroorzaken speling en extra wrijving wat de nauwkeurigheid van de robot niet ten goede komt. Robots die aangedreven worden met direct-drive motoren verbeteren de prestaties, mits problemen mbt. stabiliteit en massatraagheid overwonnen kunnen worden.

\* Nr: 100909 M.I.T. Direct-drive arm project.

Geschreven door: Haruhiko Asada.

Verschenen in: Technical Paper of the Society of Manufacturing Engineering, MS 84-406, 1984, 12 pagina's.

Een direct-drive arm is een innovatieve robotarm waar de rotors, van de electromotoren die een hoog koppel leveren, direct aan de te bewegen lasten zijn gekoppeld. Het ontwerpen van een dergelijke arm wordt beschreven in dit artikel.

\* Nr: 101032 Ultra high-torque motor system for direct-drive robots.

Geschreven door: Ross Wetburn.

Verschenen in: Technical Paper of the Society of Manufacturing Engineering, MS 84-453, 1984, 9 pagina's.

In dit artikel wordt een nieuwe motor besproken die een extreem hoog koppel kan leveren. Deze motor is speciaal ontworpen voor direct-drive robots.

1987 Annual.

Niets gevonden over direct-drive robots.

1988 Annual.

\* Nr: 091004 Direct-drive and weld sensors emerge in Tokyo.

Geschreven door: John Hartley.

Verschenen in: Industrial Robot,

jaargang 14, nr. 4, december 1987, pagina's 231 t/m 238.

Direct-drive robots waren een belangrijk thema op de Internationale Robot Show in Tokyo. De direct-drive robots gaan nu eindelijk in productie. Verschillende fabrikanten tonen hun ontwerpen met de daarbij behorende eigenschappen.

\* Nr: 091142 Force detection and active power assistance of a direct-drive manipulator.

Geschreven door: Hirohiko Arai.

Verschenen in: Advanced Robotics,  
jaargang 2, nr. 3, 1987, pagina's 241 t/m 257.  
Dit artikel beschrijft een actief vermogen-assistentie systeem  
voor de direct-drive robot.

\* Nr: 091262 Prospects for the development of modular industrial robot pneumatic drives.

Geschreven door: G.V. Kreinin.

Verschenen in: Soviet Machinery Science,  
nr. 3, 1987, pagina's 65-69.

Het huidige gebruik van pneumatische aandrijvingen in 0a. direct-drive robots wordt kort toegelicht. Mogelijkheden worden gegeven voor belangrijke verbeteringen van de eigenschappen van de aandrijvingen, met het doel om ze meer concurrerend te maken tov. de elektrische aandrijvingen, om meer verschillende robotproblemen te kunnen oplossen.

1989 Monthly.

\* Januari, Nr: 006029 Direct-drive robot motors find some new uses.

Geschreven door: John Hartley.

Verschenen in: Industrial Robot,

jaargang 15, nr. 3, september 1988, pagina's 156 t/m 160.

In dit artikel wordt beschreven dat NSK-motoren eigenlijk zeer goedkoop zijn wanneer ze gebruikt worden voor aanwijzers, omdat een simpele besturing is ingebouwd.

\* April, Nr: 037511 Trajectory generation and control of a five-bar-link parallel direct-drive robot.

Geschreven door: Y. Konishi.

Verschenen in: Robots and Computer-Integrated Manufacturing,  
jaargang 4, nr. 3-4, 1988.

\* Juli, Nr: 065536 Learning control of a parallel-link direct-drive robot manipulator.

Geschreven door: Y. Konishi.

Verschenen in: Nippon Kikai Gakkai Konbushu C hen,

jaargang 55, nr. 10, februari 1989, pagina's 382 t/m 388.

Dit artikel beschrijft het leren van een besturingsmethode van een parallel-stangen direct-drive robot. De versnellingsafwijking wordt gebruikt om de beweging van de direct-drive motoren te corrigeren.

\* September, Nr: 093566 Quick operation of a manipulator by direct-drive.

Geschreven door: K. Otsuka.

Verschenen in: Advanced Robotics,

jaargang 3, nr. 2, 1989, pagina's 141 t/m 150.

Dit artikel omschrijft de mogelijkheid van snelle produktie met een robot, uitgerust met een direct-drive.

1990 Monthly.

\* Mei, Nr: 058883 Sliding mode control of a direct-drive robot.

Geschreven door: Armando Bellini en Gemaro Figall.

Conferentieartikel van: the 1989 IEEE Industrial Applications Society Annual Meeting.

Verschenen bij: IEEE Service Center, ( Cat.nr. 89 CH 2792-0 ), Piscataway, NJ, USA, pagina's 1685 t/m 1692.

De twee schrijvers beschrijven een besturingsschema van 2 niveau's voor een industriële robot. De binnenste loop realiseert de linearisatie en de ontkoppeling tussen de dynamica van de scharnierpunten van de robotarmen. De buitenste loop heeft effect op het verkrijgen van de gewenste baan door gebruik te maken van een discrete-tijd algoritme, dat gemakkelijk kan worden ingevoerd in een digitale computer.

\* Augustus, Nr: 096402 Design and analysis of the statically balanced direct-drive robot manipulator.

Geschreven door: H. Kazerooni.

Verschenen in: Robotics and Computer-Integrated Manufacturing, jaargang 6, nr. 4, 1989, pagina's 287 t/m 293.

In dit artikel wordt een direct-drive robot beschreven die ontworpen is door een medewerker van de universiteit van Minnesota. Vooral wordt gekeken naar het ontwerp en de analyse van een statisch gebalanceerde direct-drive robot.

\* September, Nr: 109483 Variable gain control of a hydraulic robot arm.

Geschreven door: Kiyoshi Ioi.

Verschenen in: Nippon Kikai Gakkai Ronbunshu C Hen, jaargang 56, nr. 523, maart 1990, pagina's 738-743.

In dit artikel wordt de methode beschreven waarmee de besturingsparameters kunnen worden verkregen van een robot arm met 3 vrijheidsgraden, uitgerust met een hydraulische direct-drive.

\* September, Nr: 109497 Composite control direct-drive robots.

Geschreven door: David G. Taylor.

Conferentieartikel van: Proceedings of the 28th IEEE Conference on Decision and Control, Tampa, FL, USA, 1989.

Verschenen bij: IEEE Service Center, ( cat.nr. 89 CH 2642-7 ), Piscataway, NJ, USA, pagina's 1670 t/m 1675.

Dit artikel gaat over het feit dat mbv. een terugkoppeling, linearisatie ontwerp van de stangendynamica samen met de dynamica van de elektrische motor, een grotere positienauwkeurigheid kan worden verkregen.

### 5.3 VDI-Zeitschrift.

In de jaaroverzichten van VDI-Zeitschrift stonden artikelen over robottoepassingen maar niets over direct-drive robots.

#### 5.4 Tijdschriften aanwezig in de bibliotheek.

Er zijn tijdschriften in de bibliotheken aanwezig zoals 'Robotics and Computer-Integrated Manufacturing'. In de exemplaren die aanwezig waren tijdens het onderzoek stonden geen artikelen over direct-drive robots maar uit 'The Engineering Index' blijkt dat er toch af en toe artikelen over direct-drive robots in staan.

Verder is er een Duits tijdschrift genaamd 'Robotersysteme' aanwezig dat artikelen over industrierobots bevat. En in een aanwezig exemplaar, nl: band 6, heft 2, juni 1990, pagina's 89 t/m 98 stond een artikel over direct-drive robots met als titel: Elektrische Direktantriebe für Robotergrundachsen.

Geschreven door: G. Pritschow en W. Philipp.

Verschenen in: Robotersysteme uitgegeven door Springer-Verlag. Het artikel geeft weer dat enerzijds elektrische direct-drive systemen een spelingsvrije en mechanisch stijve koppeling aan het robotmechanisme mogelijk maken, maar dat er anderzijds goed op het hoge eigengewicht en bouwvolume van de direct-drive systemen gelet moet worden. Daarnaast worden nog enkele eigenschappen van direct-drive robots bescreven.