

# Sensible Hände für den Roboter : universelle Robotergreifer und ihre Anwendungsmöglichkeiten

Autor(en): **Scherrer, Hans-Kaspar**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins, des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen = Bulletin de l'Association Suisse des Electriciens, de l'Association des Entreprises électriques suisses**

Band (Jahr): **83 (1992)**

Heft 21

PDF erstellt am: **22.07.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-902890>

## **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

## **Haftungsausschluss**

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

# Sensible Hände für den Roboter

## Universelle Robotergreifer und ihre Anwendungsmöglichkeiten

Hans-Kaspar Scherrer

**Universell einsetzbare Robotergreifer erschliessen der Robotik neue Aufgabenbereiche wie z.B. die Bereiche Handling, Reinigung und Recycling. Dieser Beitrag beschreibt einen universellen Greifer, den die Arbeitsgruppe Mechatronik der ETH Zürich entwickelt und zusammen mit einem echtzeitfähigen dreidimensionalen Visionsystem in eine Anlage zum Vereinzeln von Geschirrtellen auf Mensatablets eingebaut hat.**

**Des préhenseurs universels ouvrent de nouveaux champs d'application à la robotique, par exemple les champs de l'industrial handling, du nettoyage et du recyclage. Cet article décrit un préhenseur universel, réalisé par le groupe de mécatronique de l'ETH Zurich. Le préhenseur et un système de vision en trois dimensions fonctionnant en temps réel ont été intégré dans une installation débarrassant les plateaux de la cantine des ustensiles culinaires.**

### Adresse des Autors

Hans-Kaspar Scherrer, Dipl. Masch.-Ing. ETH, Institut für Robotik, ETH Zentrum, 8092 Zürich.

Roboter werden heute meist für monotone und repetitive, d.h. relativ leicht zu automatisierende Aufgaben in einer klar strukturierten Umgebung eingesetzt. Will man einem Roboter Aufgaben in einer unstrukturierten Umgebung übertragen, so werden wesentlich höhere Anforderungen an seine Intelligenz gestellt. Er erhält dann einen Auftrag, den er abhängig von den jeweiligen Umgebungseinflüssen auf verschiedene Art (und auf nicht vordefinierter Bahn) erfüllen kann. Die Umwelt wird dabei vom Roboter über universelle wie auch aufgabenspezifische Sensoren wahrgenommen.

Den heute im praktischen Einsatz stehenden Robotern fehlt meist nicht nur der Sehsinn, die Computer Vision, sondern auch noch das nötige Feingefühl, der Tastsinn. Vor allem im Umgang mit empfindlichen und zerbrechlichen Gegenständen oder auch mit plötzlich in der Roboterbahn auftretenden Hindernissen ist taktile Information für den Roboter eine unabdingbare Forderung. Der vorliegen-

### Projekt COR: Cooperating Robot with Visual and Tactile Skills

Das interdisziplinäre ETH-Polyprojekt COR wurde 1988 von der Arbeitsgruppe Mechatronik gestartet und 1992 mit der Präsentation der Anlagen und Resultate an der Industrial Handling in Zürich-Oerlikon sowie zahlreichen wissenschaftlichen Publikationen erfolgreich abgeschlossen. Das Projekt hatte zum Ziel, mittels 3D-Vision und sensorgestütztem Greifen eine komplexe Sortieraufgabe maschinell zu lösen und neue Verfahren und Methoden für den zukünftigen Einsatz von Robotern in unstrukturierter oder nur teilweise strukturierter Umgebung zu suchen und zu testen. Ein Operator soll die gesamte Anlage überwachen und in Ausnahmesituationen gefahrlos eingreifen können.

de Artikel informiert über den an der ETH Zürich gebauten Sensorgreifer sowie seine Anwendung für das Projekt «Kooperierender Roboter mit visuellen und taktilen Fähigkeiten» und stellt weitere intelligente, universell einsetzbare Robotergreifer vor.

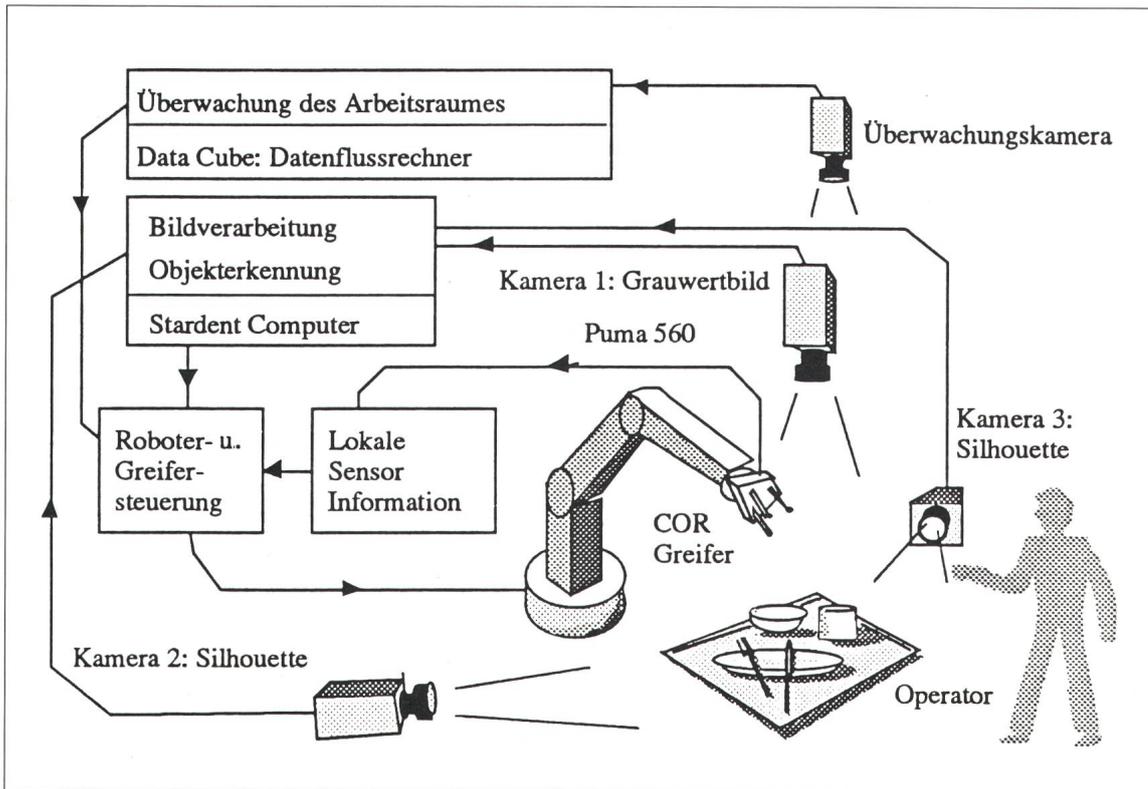
### Benchmark «Geschirr sortieren»

1988 wurde von der Arbeitsgruppe Mechatronik ein interdisziplinäres ETH-Polyprojekt COR (Kasten) gestartet. Um zielgerichtet arbeiten zu können und um die Resultate der Forschungs- und Entwicklungsarbeit einem grossen Publikum verständlich zu machen, wurde für dieses Projekt eine konkrete Benchmark-Aufgabe gewählt: Das Abräumen schmutzigen Geschirrs von den Mensa-Tablets. In dieser Problemstellung sind die folgenden Teilaufgaben enthalten:

- Der Roboter soll aus einer beliebigen Zusammenstellung von Geschirr und Besteck eine einzelne Komponente lokalisieren und erkennen (Vision).
- Anschliessend muss der Roboter in der Lage sein, diese in Form und Grösse stark unterschiedlichen Komponenten zu greifen und an einem geeigneten Ort zu deponieren (Sensor-Greifer).
- In besonders schwierigen Fällen, wie zum Beispiel im Falle von nicht greifbaren Gegenständen oder stark ineinander verkeiltten Besteckteilen, muss der Roboter die Hilfe des Operators anfordern (Zusammenarbeit Mensch-Roboter).

### Komponenten des Kooperierenden Roboters

Das Visionsystem setzt zum Erkennen der Objekte drei Kameras ein



**Bild 1**  
Komponenten des  
Kooperierenden  
Roboters

(Bild 1). Von zwei Seiten werden zwei rechtwinklig aufeinanderstehende Silhouettenbilder und von oben ein Grauwertbild des abzuräumenden Tablett aufgenommen. Verschiedene Routinen suchen nach einer Kanten-detektion bestimmte Muster in den drei Bildern. Spezielle Algorithmen, wie zum Beispiel die Hough-Transformation, detektieren Kreise und Geradenpaare. Diese Merkmale werden in einer Wahrscheinlichkeitstabelle weiter verarbeitet und führen zu einer Annahme über die Objektidentität. Aus Position, Orientierung und Identität des Objekts berechnet die Roboter- und Greifersteuerung den Roboterpfad und die Greifstrategie.

Unterstützt durch zahlreiche Sensoren im Greifer und in den Fingern, fährt der Roboter zum Objekt, greift es und stellt es an seiner Zielposition wieder ab. In der Annäherungsphase werden die Faseroptik-Distanzsensoren je nach Entfernung zum Objekt zur Kollisionsvermeidung oder zum Anpassen der Fingerpositionen verwendet. Die taktile Fingersensoren werden ebenfalls aufgabenspezifisch eingesetzt. Bei unerwartetem oder zu frühem Kontakt der Finger wird ein Hindernis auf der Bahn oder ein Fehler in der Objektposition vermutet und der Anfahrvorgang einmal wiederholt. Bei nochmaligem Fingerkontakt vor dem Erreichen der Greifposi-

tion wird eine neue Bildanalyse angefordert. Nach dem Erreichen der Greifposition fahren die Finger geschwindigkeitsgeregelt bis zum Kontakt mit dem Objekt und schalten dann gleichzeitig auf Kraftregelung um.

Bei der Zusammenarbeit mit dem Menschen gilt die Aufmerksamkeit vor allem den beiden Aspekten Sicherheit und Bedienungsfreundlichkeit. Weil Roboter und Operator sich zeitweise im gleichen Arbeitsraum aufhalten, muss der möglichen Verletzung des Menschen durch unkontrollierte Bewegungen des Roboters oder des Greifers infolge Hardware- oder Softwarefehler besondere Beachtung geschenkt werden. Der Roboterarm wird deshalb durch drei senkrecht zueinander stehende Beschleunigungssensoren sowie durch eine zusätzliche Kamera überwacht. Die Kommunikation mit dem Roboter erfolgt entweder über die Tastatur des Terminals, wo häufig vorkommende Befehle (Stop, Continue, Move Ready Position, Open Gripper, Close Gripper ...) per Tastendruck direkt abgerufen werden können, oder über ein Sprachinterface, mit welchem einige Befehle direkt per Zuruf eingegeben werden können. Zur Veranschaulichung des entwickelten Verfahrens wurde eine Demonstrationsanlage aufgebaut und im Februar 1992 an der Industrial

Handling in Zürich ausgestellt (Bild 2). Die Zuschauer konnten dabei die einzelnen Geschirrkomponenten auf den Tablett in nahezu beliebiger Reihenfolge stapeln und schichten und dann dem Roboter beim Abräumen ihrer individuellen Geschirrszene zusehen. Die Objektidentität wurde dem Publikum durch das Sprachsystem über Lautsprecher mitgeteilt, was einerseits für besondere Attraktivität sorgte und andererseits eine sehr einfache, ergonomische Überwachung der Objekterkennung noch vor dem Greifen des Objekts ermöglichte.

### Vision System

Für die Bilddatengewinnung werden drei rechtwinklig zueinander angeordnete Kameras eingesetzt. Von der Seite werden die Silhouetten des vor beleuchtetem Hintergrund stehenden Tablett von zwei um 90 Grad versetzten Kameras aufgenommen. Die Kamera von oben nimmt ein Grauwertbild der Geschirrszene auf. Die Bilddaten werden mit einem Vektor-Parallelrechner mit vier Prozessoren (Stardent) verarbeitet. Aufgrund zahlreicher aus den Bildern extrahierter Objektmerkmale, wie z.B. Höhe, Durchmesser oder Transparenz, wird eine Objektidentifizierung durchgeführt. Über eine serielle Schnittstelle werden die genaue Position und

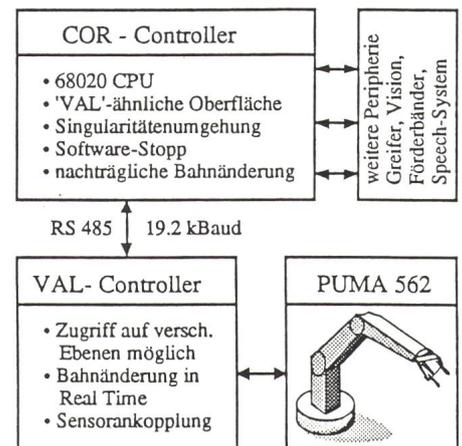
Orientierung sowie bei identifizierten Objekten der Objektcode an die Robotersteuerung übergeben.

## Roboter

Wegen der zahlreichen Anlagenkomponenten (Greifer, Vision, Förderbänder) und der Zusammenarbeit Mensch-Roboter (Sprachsystem, Sicherheitssystem) wird zur Steuerung der Anlage neben der konventionellen Robotersteuerung eine übergeordnete Anlagensteuerung eingesetzt. Während heute zahlreiche Roboter mit 6 Freiheitsgraden existieren, die sich für die Aufgabe des Geschirrsortierens

eignen und einen der Aufgabe entsprechenden Nutzlastbereich von einigen Kilogrammen aufweisen, ist das Angebot an Robotersteuerungen mit schnellen Zugriffsmöglichkeiten für externe Steuerungssysteme sehr beschränkt. Entsprechend den Bedürfnissen des COR-Projektes wurde 1989 eine Evaluation der auf dem Markt erhältlichen Robotersysteme durchgeführt, wobei der Puma 560 mit der VAL II-Steuerung als am geeignetsten beurteilt worden ist.

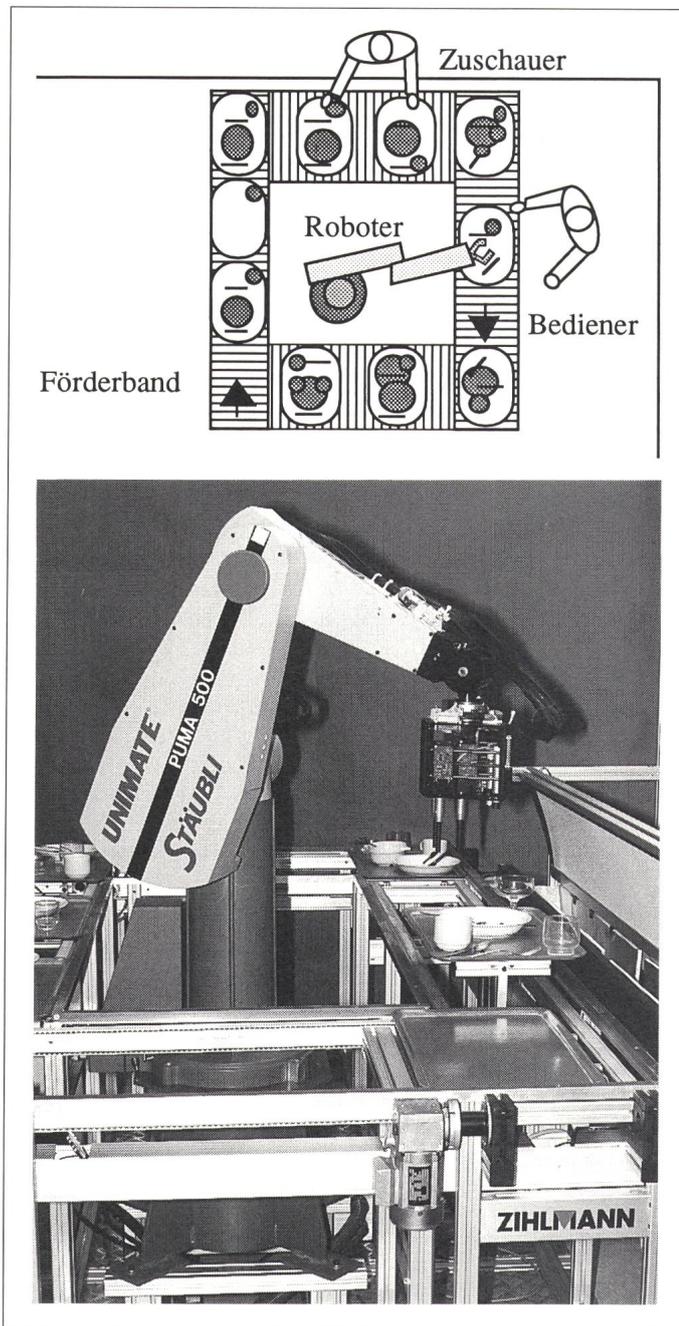
Zur Ansteuerung des Roboters werden die von der Rechnerkarte der übergeordneten COR-Steuerung berechneten Zielpositionen des Robo-



**Bild 3** Überlagerte Steuerung des Puma-Roboters

ters über eine RS 485-Schnittstelle der Robotersteuerung übergeben, wobei auf einen Zugriff auf die tiefere Gelenkwinkel-Kommunikationsebene aus Sicherheits- und Rechenzeitgründen verzichtet wurde. Um jederzeit anhalten, Singularitäten durchfahren und eine bereits eingegebene Bahn nachträglich wieder abändern zu können, wurde eine spezielle Software für die COR-Steuerung entwickelt, welche dem Benutzer praktisch die gleiche Bedieneroberfläche wie die Original-VAL-Steuerung zur Verfügung stellt (Bild 3). Diese überlagerte Steuerung schickt die Zielkoordinaten an den VAL-Controller, der daraus die entsprechenden Gelenkwerte berechnet und die Roboterbewegung auslöst. Um den Roboter jederzeit stoppen zu können, werden jeweils nur kurze Bahnsegmente zwischen Anfangs- und Endpunkt an die VAL-Steuerung weitergegeben. Dabei wird der Abstand der Bahnpunkte in Abhängigkeit von der Robotergeschwindigkeit so gewählt, dass die Roboterbewegung durch die Kommunikation der beiden Steuerungen gegenüber der ursprünglichen Bewegung nicht verzögert wird. Dies bedeutet, dass nur alle zwei bis drei Interpolationstakte der VAL-Steuerung ein neuer Zielpunkt übergeben werden kann. Bei einer Interpolationstaktrate von 28 ms wird also etwa alle 60–80 Millisekunden eine neue Roboterdestination berechnet und an den VAL-Controller übergeben.

Wird die aktuelle Bahn durch den Benutzer oder durch eine Sensorinformation während der Bewegung abgeändert, so berechnet der COR-Controller sofort Punkte auf der neuen



**Bild 2** Ausstellungsanlage Kooperierender Roboter

Bahn und gibt nun diese an den VAL-Controller weiter. Beim Stoppen wird die Übermittlung weiterer Punkte so lange unterbrochen, bis der Roboter weiterfahren darf oder ein neuer Zielpunkt eingegeben wird.

In den singulären Positionen, wo zwischen zwei nahen benachbarten Bahnpunkten die Roboter gelenkwinkel vier und sechs stark ändern können, treten bei der VAL-II-Steuerung häufig Unterbrüche infolge Überschreitens der zulässigen Motorenströme auf. Dieser Nachteil der VAL-II-Steuerung wurde vom COR-Controller durch Feststellen der bevorstehenden Singularität, Reduktion der Geschwindigkeit beim Durchfahren derselben und Umschalten von kartesischen Koordinaten in Gelenkkordinaten für die betroffenen Bahnsegmente behoben. Somit können nun singuläre Stellungen ohne Fehlermeldung des VAL-Controllers und ohne überflüssige Drehbewegungen der Roboter gelenke 4 und 6 durchfahren werden.

## Greifer

Der Greifer hat die Aufgabe, die von der Vision erkannten Gegen-

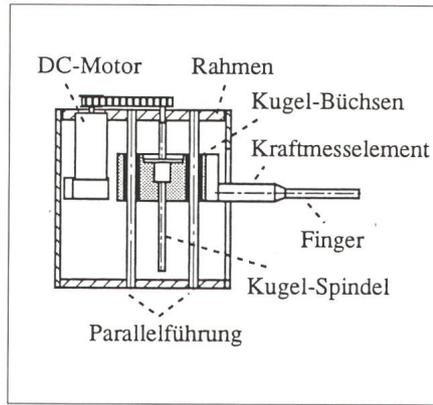


Bild 4 Linearmodul des Fingers

stände zu greifen und während des Transports sicher zu halten. Bei den stark unterschiedlich geformten und dimensionierten Objekten der Mensa stellt diese Aufgabe hohe Anforderungen an das Greifwerkzeug, da ein formschlüssiges Greifen kaum mehr möglich ist. Auf ein Greifer- oder ein Backenwechselsystem wurde verzichtet, da das Greifwerkzeug über universelle Greiffähigkeiten verfügen sollte und die Kosten und der mechanische, insbesondere durch die Sensorik in den Backen bedingte Aufwand

eines Wechselsystems zu hoch gewesen wären.

Weitere Projekt-Anforderungen betrafen die kurze Realisierungszeit von knapp drei Jahren sowie die Bedingung, hohe Greiffertigkeit nicht durch komplexe Greifer- und Finger-Mechanik, sondern durch eine einfache Mechanik und einen geschickten Einsatz von Sensorik und Software zu erzielen.

## Kinematik

Aufgrund von Stabilitätsüberlegungen für kraftschlüssiges Greifen von runden und beliebig geformten Objekten wurde eine Anordnung mit drei Fingern gewählt. Um den mechanischen Aufbau möglichst einfach zu gestalten, verfügen die Finger lediglich über je einen unabhängigen Schub-Freiheitsgrad. Der Greifer ist aus drei identischen Modulen aufgebaut, die aus einem verwindungssteifen Rahmen, einem parallelgeführten Finger und einem Antrieb mit DC-Motor, Zahnriemen und Kugelspindel bestehen (Bild 4). Die Finger wurden so ausgelegt, dass sie eine permanente Kraft von 50 N ausüben können. Dank einer Kugelspindel zur Umwandlung der Rotations- in die Translationsbewegung konnte auf ein spezielles Getriebe verzichtet werden. Die Reibungsverluste werden durch die Verwendung von Kugelspindeln und Kugelbüchsenführungen klein gehalten.

Die modulare Bauweise erlaubt, ohne grossen Aufwand weitere Finger zuzufügen oder die Kinematik durch Auswechseln der Front- und Rückplatten zu ändern. Die spezielle Dreizack-Anordnung der drei Fingermodule resultiert aus der Optimierung von Platzbedarf und Arbeitsraum der Finger. Im weiteren erlaubt die gewählte Anordnung eine Vielzahl von Griffmustern, so zum Beispiel das Greifen von Gläsern oder Tassen von innen, von aussen oder am Rand (Bild 5).

## Sensorik

Im Gegensatz zu den heute in der Industrie weit verbreiteten Parallel- und Backengreifern ohne Sensorik, wird der COR-Greifer bei seinen Aufgaben durch zahlreiche Sensoren unterstützt. Das Sensorkonzept (Bilder 6 und 7) für den Greifer beinhaltet Fingersensoren für die Greifkraftmessung und für taktile Information, Sensoren

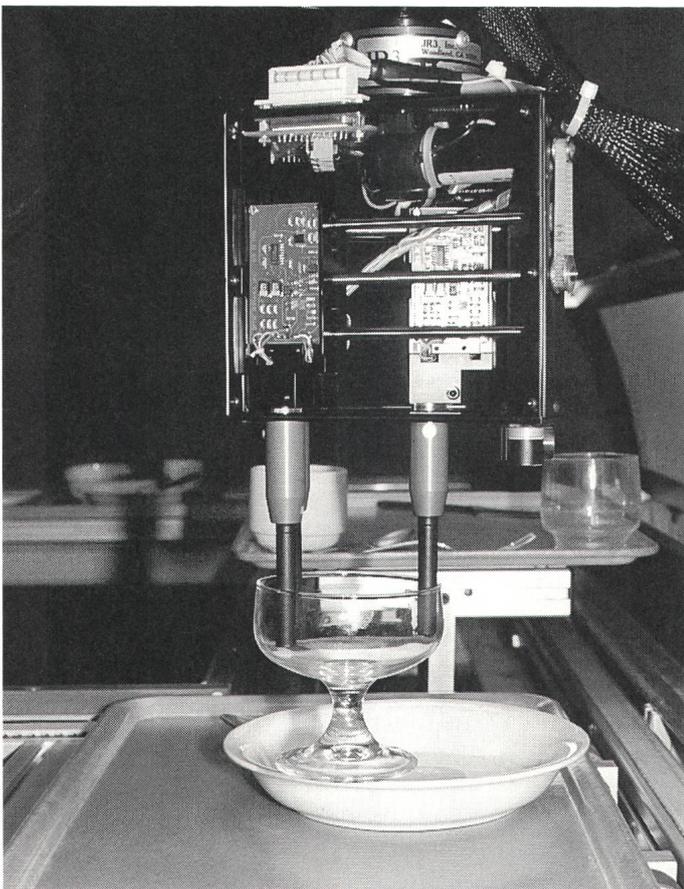


Bild 5 COR-Greifer der ETH-Zürich

für die berührungsfreie Abstandsmessung im Nah- und Fernbereich sowie einen Sensor zur Messung von äusseren Kräften und Momenten.

Nebst der Verwendung für die unmittelbaren Greiffunktionen werden die Sensoren zusätzlich für Überwachungsaufgaben sowie für die Anpassung der Greifstrategie im Nahbereich des Objekts verwendet. Das Kernstück der Sensorik bilden die drei Kraftmesselemente. Jedes Kraftmesselement ist mit vier Dehnmessstreifen ausgestattet, die jeweils pro Richtung  $x$  und  $y$  eine dem Biegemoment proportionale Spannung erzeugen (Bild 8). Durch die geometrische Symmetrie des Biegebalkens konnte eine sehr geringe Übersprechnung erreicht werden. Die genauen Übertragungsfaktoren werden mittels Kalibriermessungen und Ausgleichsrechnung bestimmt.

### Greifstrategie

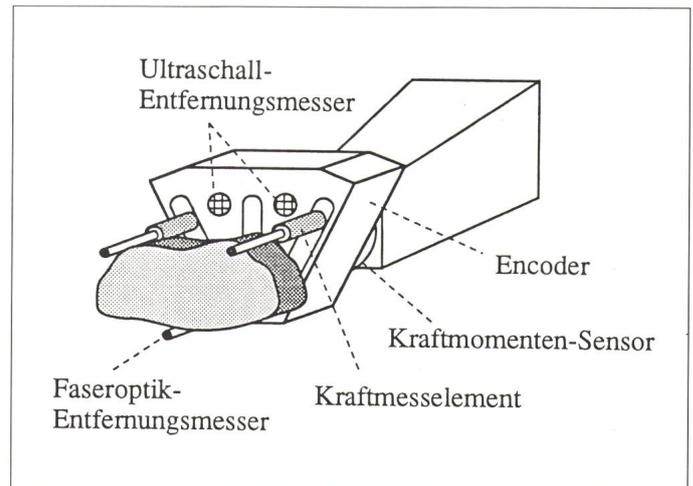
Die Strategie zur Berechnung von kraftschlüssigen Griffen beruht auf

Sensor	Funktion	Anzahl	Bereich
Kraft-Momenten-Sensor	- Detektion von Kontakt und Kollisionen des Greifers mit der Umgebung - Objektgewicht - Teach-In, Führen des Roboters	1 Sens. $F_x, F_y, F_z$ $M_x, M_y,$ $M_z$	-66...+66 N -5...+5 Nm
Kraftmesselement	- Detektion des Fingerkontakts - Greifkraftmessung - Kontaktpunktmessung - Rutschüberwachung	3 Sens. $F_1, F_2$ $S_1, S_2$	-50...+50 N 0...60 mm
Ultraschallsensor	- Distanz Greifer-Objekt - Hindernisdetektion	2 Sens.	80-500 mm
Faseroptik-sensor	- Distanz Fingerspitze-Objekt - Anpassen der Greiferöffnung im Nahbereich	3 Sens.	0...30 mm
Encoder	- Positionsmessung des Fingers	3 Sens.	0...94 mm

zwei verschiedenen Verfahren (Bild 9). Sind die Objekte im voraus bekannt, können die geeigneten Greifpunkte des Objekts durch Berechnung ermittelt und in einer Tabelle abgespeichert werden. Kommt nun ein solches Objekt auf dem Tablett vor, werden die entsprechenden Greifpunkte aus der Tabelle der Lage und der Orientierung des Objekts entsprechend in die aktuellen Greifpunkte umtransformiert.

Das Greifen von unbekanntem Objekten oder bekannten Objekten, die jedoch von den Bildverarbeitungs-

**Bild 6**  
Sensorik des COR-Greifers



algorithmen nicht identifiziert werden konnten, basiert auf neuronalen Netzen (Bilder 9 und 10). Diese neue Methode nutzt die Eigenschaft der neuronalen Netze, aufgrund der Erfahrung von bestehenden Lösungen auf neue Lösungen zu schliessen. Die neuronalen Netze werden in einer Lernphase mit Beispielen trainiert und extrahie-

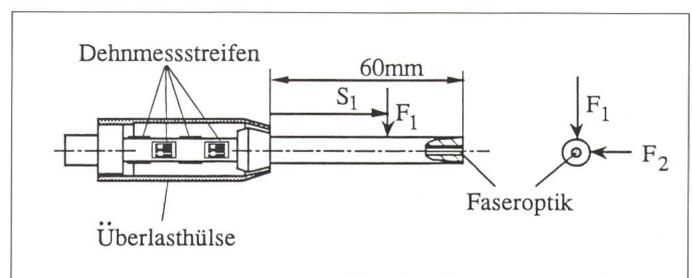
arbeitsphase werden dann diese Muster auf die neuen, unbekannt Formen angewendet.

Ausgehend von der auf den zweidimensionalen Umriss vereinfachten Objektform wird eine Aufteilung der Konturlinie in 48 Segmente durchgeführt. Die Länge der Segmente hängt dabei von der Krümmung und Konvexität der Konturlinie ab. Anschliessend werden zu den Segmenten senkrechte, die Segmentlänge repräsentierende Normalkraftvektoren berechnet und einem Feed-Forward-Netz übergeben, welches die drei für einen kraftschlüssigen, stabilen Griff geeigneten Kräfte und Segmente ermitteln soll (Bild 10). Die absolute Grösse der Kräfte hängt dabei von der Objektgrösse ab. Die Gewichtungen der Werte der einzelnen Knoten des Feed-Forward-Netzes werden offline aufgrund von Lernbeispielen adaptiert. Damit die «Erinnerung» an die Formen des Lernsets nicht allmählich verloren geht, wird auf ein Online-Lernen während den normalen Arbeitsphasen anhand der unbekannt Formen verzichtet.

Die Musterlösungen der Formen des Lernsets werden von einem Hopfield-Tank-Netz iterativ berechnet und nach Stabilitäts- und von der Greifergeometrie abhängigen Aus-

**Bild 7**  
Sensordaten

ren auf diese Weise selbständig die für die Lösungen wesentlichen Muster und Objektkennzeichen. In der Ver-



**Bild 8**  
Kraftmesselement am Finger des COR-Greifers

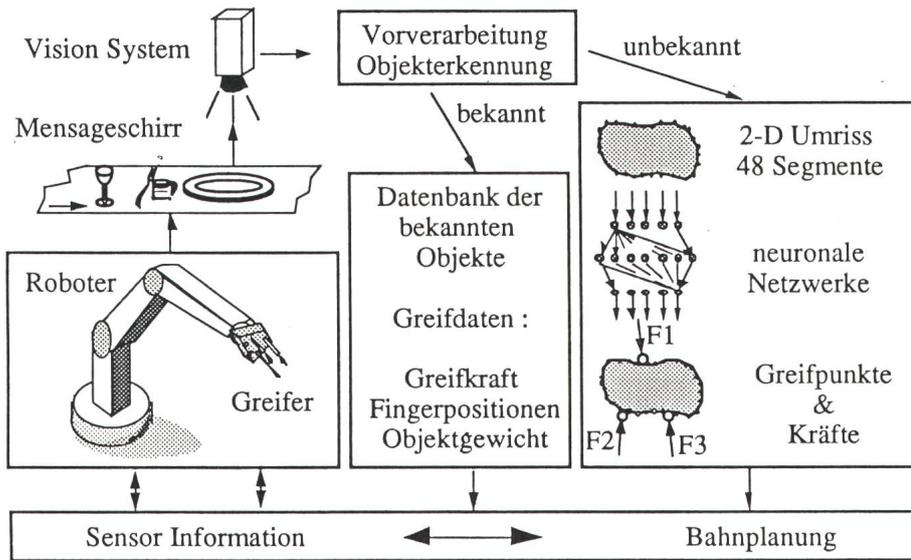


Bild 9 Greifstrategie für bekannte und unbekannte Objekte

führbarkeitskriterien optimiert. Damit kann die Konsistenz der unter gleichen Voraussetzungen und Randbedingungen hergeleiteten Lösungen sichergestellt werden. Die Konsistenz der Musterlösungen trägt in grossem Ausmass zur Lern- und Verallgemeinerungsfähigkeit des Feed-Forward-Netzes bei. Treten zwischen der aktuell präsentierten und der am nächsten verwandten Form des Lernsets bedeutende Unterschiede auf, so erzeugt das Feed-Forward-Netz neben den drei Hauptkräften auch noch einige kleinere Kräfte an benachbarten Segmenten. Diese Kräfte werden in einer Nachbearbeitungsphase durch Filterung eliminiert.

In Bild 11 sind einige Beispiele bekannter und unbekannter Objekte aufgezeichnet. Die bekannten Objekte des Lernsets (z.B. Tasse, Löffel) werden vom Feed-Forward-Netz sehr gut gespeichert. Die Lösungen für diese Objekte (Feed-Forward Output) stimmen recht genau mit der optimalen Lösung des Lernsets überein. Auftretende Divergenzen sind hauptsächlich in einer leicht unterschiedlichen Segmentierung der gleichen Form bei verschiedenen Aufnahmen des Visionssystems zu suchen. Für unbekannte Objekte (z.B. Kartoffel, Viereck) resultiert ein guter, jedoch noch verrauschter Ansatz. Mit einer Nachverarbeitung der Lösung des Feed-Forward-Netzes ist auch für diese Objekte ein stabiles kraftschlüssiges Greifen möglich.

Die hauptsächlichsten Vorteile der beschriebenen Methode der Greifpunktebestimmung liegen in der Echt-

zeitfähigkeit sowie der Robustheit. Das Kriterium der optimalen Griffstabilität kann hingegen noch nicht immer erfüllt werden. Im Vergleich zur modellbasierten Erkennung mit einer Zykluszeit von 6 bis 10 Sekunden zur Berechnung der Punkte für einen stabilen Griff, benötigt der Ansatz mit neuronalen Netzen nur etwa die Hälfte der Rechenzeit.

### Weitere universelle Robotergreifer

#### Die Bologna-Hand

Ziel einer Forschergruppe an der Universität Bologna ist die Entwick-

lung eines geschickten, integrierten, menschenähnlichen Hand-Arm-Systems. Bei der Entwicklung wurden von Anfang an sowohl strukturelle wie auch funktionelle Integration der Komponenten Mechanik, Sensorik, Elektronik, Antrieb und Steuerung angestrebt. Die UB-II-Hand ist lediglich als Zwischenresultat des gewählten Integrationsansatzes zu sehen. Die UB-II-Hand (Bild 12) verfügt über drei Finger mit total neun Freiheitsgraden. Die insgesamt 18 Antriebsmotoren und Linearumsetzer für die Kabelzüge sind im speziell umgebauten Vorderarm des Puma 562 untergebracht. Bis auf einen Handfreiheitsgrad – er fiel den Kabelzügen zum Opfer – weist der Arm die gleichen Freiheitsgrade wie der ursprüngliche Roboterarm auf. Neben Kraftmessung in den einzelnen Fingergliedern und in den Kabelzügen besitzt der Greifer neun taktile Module in den Fingerspitzen, in den Fingergliedern (Phalangen) und in der Handfläche. Die Elektronik der Sensoren und der Motorenansteuerung ist im Unterarm des Puma-Manipulators plaziert. Die Verarbeitung der Sensorsignale und die schnelle Datenübertragung und Kommunikation mit dem externen Rechner übernehmen spezielle Signalprozessorkarten, die ebenfalls im Unterarm des Roboters untergebracht sind.

Beim Ansatz, den die Universität Bologna gewählt hat, sind Greifer und Roboter zu einer Einheit verschmolzen und weisen bezüglich Design und Bewegungsmöglichkeiten recht grosse

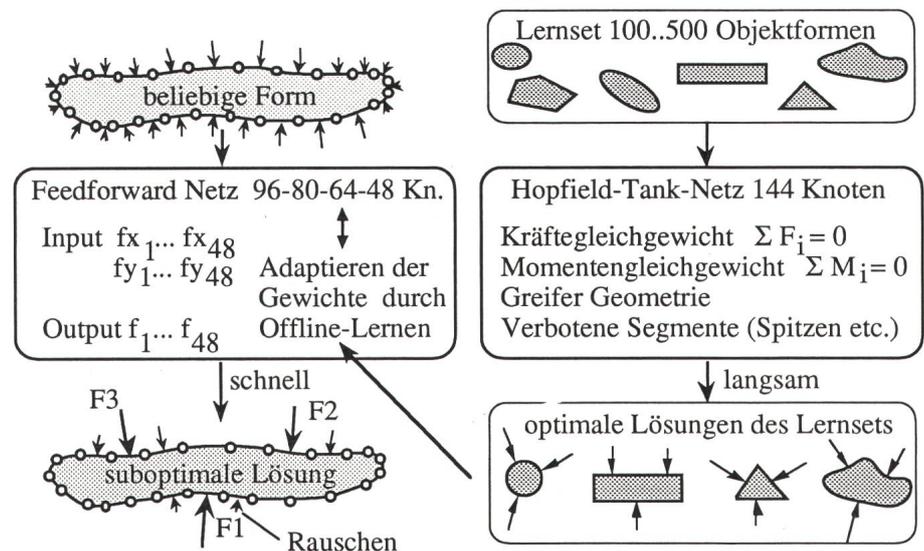


Bild 10 Architektur der neuronalen Netze zur Greifpunkteberechnung

	Tasse Lernset	Löffel Lernset	Kartoffel unbekannt	Viereck unbekannt
Feed-Forward Input				
Feed-Forward Output				
Lösung des Lernsets				

**Bild 11 Greifpunkte für bekannte und unbekannte Formen**

*Feed-Formward Input:* Beliebige Objektformen mit zugehörigen Segmentkräften

*Feed-Formward Output:* Beliebige Objektformen mit geeigneten Kraftvektoren für stabilen Griff

*Lösung des Lernsets:* Formen des Lernsets, segmentiert und numeriert (Zahlen nicht lesbar), mit offline erzeugten optimalen Greifkräften

und verkauft. Verschiedene Universitäten verwenden die Hand für weitere Forschungsarbeiten. Unter Laborbedingungen wurden schon einige Anwendungen wie Telemanipulation, einfache Montage und Demontage, Handling von gefährlichen Stoffen durchgeführt. Für industrielle Aufgaben wurde jedoch bis heute noch keine der Salisbury-Hände eingesetzt. An den Universitäten werden grosse Anstrengungen unternommen, um der raffinierten Kinematik das richtige Feingefühl und Benehmen beizubringen. Das Halten und Führen eines Bleistifts oder das Drehen eines Schraubenziehers – für den Menschen eine relativ alltägliche Aufgabe – gestaltet sich für die künstliche Hand als aufwendiges, rechenintensives Experiment.

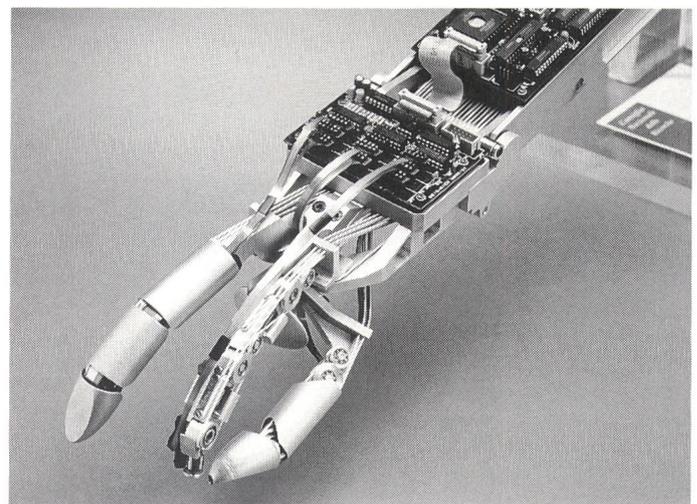
### Der DLR-Greifer

Der von der Deutschen Luft- und Raumfahrt DLR in Oberpfaffenhofen gebaute Greifer soll 1993 beim Rotax-Experiment im Weltall für Telemanipulationsversuche eingesetzt werden (Bild 14). Dabei sollen zeitunkritische Teilfunktionen des Greifers und des

Ähnlichkeiten mit dem menschlichen Arm auf. Ein Greiferwechsel ist wegen der Integrationstiefe des Ansatzes und wegen der Beweglichkeit der Hand und der Finger nicht notwendig und auch nicht mehr möglich. Die Montage des Greifers auf beliebige Manipulatorarme stösst auf zahlreiche Schwierigkeiten, weil Motoren, Kabelführungen und Elektronikbestandteile des Greifers im Unterarm des Roboters eingebaut werden müssen. Die UB-Hand-II stellt einen grossen Schritt in die Richtung des universellen, integrierten Greifers mit fast menschlichen Greiffähigkeiten dar. Auf die Weiterentwicklung der an der Weltausstellung in Sevilla ausgestellten Hand darf man gespannt sein.

der Handfläche ausgerüstet werden. Als einer der wenigen universellen Robotergreifer wird die Salisbury-Hand heute in einer Kleinserie gebaut

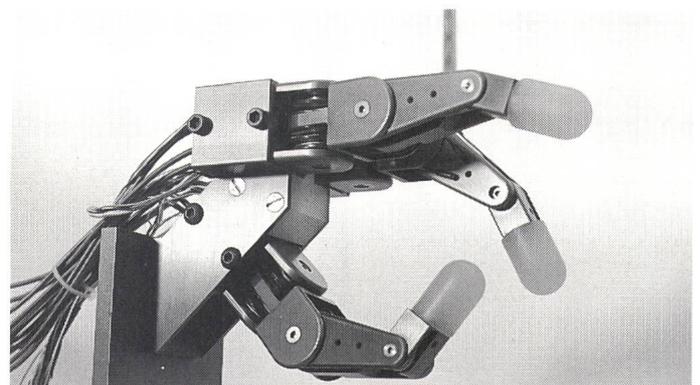
**Bild 12**  
**Università Bologna**  
**Hand UB-II**  
Consiglio Nazionale  
delle Ricerche,  
Progetto Finalizzato  
Robotica



### Die Salisbury-Hand

Die Salisbury-Hand, ehemals Stanford/JPL-Hand genannt, gilt als erste und bekannteste universelle, mehrfingerige Roboterhand. Sie wurde anfangs der achziger Jahre an der Stanford-Universität und am Jet Propulsion Laboratory entwickelt. Sie besteht aus drei identischen Fingern mit jeweils drei rotatorischen Gelenken (Bild 13). Die maximale, statische Anpresskraft der Finger beträgt 27 N. Die Finger werden von 12 auf dem Roboterarm angebrachten Motoren über Kabelzüge bewegt. Die Hand kann mit Kraftsensoren oder taktilen Sensoren in den Fingerspitzen und in

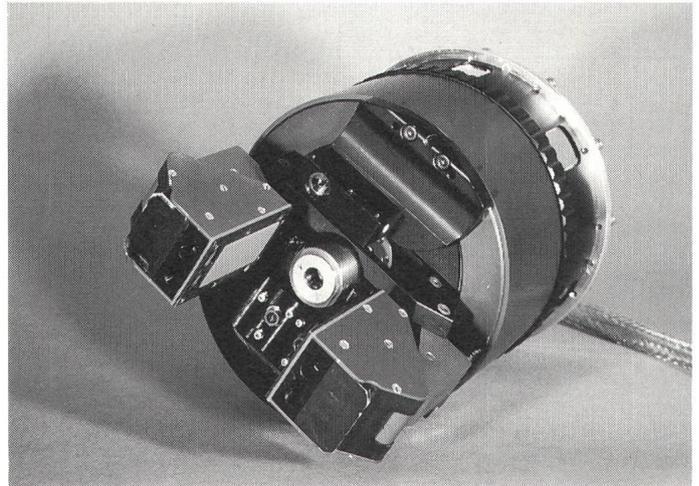
**Bild 13**  
**Salisbury-Hand**  
Photo: Credit,  
David Lampe, MIT



Roboters von der Erde aus oder vom Astronauten fernbedient werden, während andere zeitkritische Funktionen direkt in einem hochfrequenten, geschlossenen Regelkreis der Robotersteuerung an Bord des Raumgleiters ablaufen. Die Hauptanstrengungen gelten geringem Gewicht, einer schnellen Datenübertragung und höchster Zuverlässigkeit. Der Greifer ist sowohl von der Mechanik wie auch von der Sensorik her mit zahlreichen neuartigen Komponenten ausgestattet. Der Antrieb des Greifers basiert auf einem neu entwickelten, reibungsarmen Spindelantrieb, der auf dem Prinzip der Phasenverschiebung beruht und ein Übersetzungsverhältnis von 1:1000 ermöglicht. Dank der grossen Übersetzung kann eine Greifkraft von 300 N aufgebracht werden. Das Gewicht des Greifers ohne Sensorik beträgt nur 10 N.

Der DLR-Greifer ist mit einem starren und einem nachgiebigen Kraft-Momenten-Sensorring ausgestattet. Die ringförmige Anordnung um den Greiferantrieb herum vermindert die Gesamtlänge des Greifers und optimiert das Verhältnis von Kräften zu Momenten. Der starre Sensor ist mit Dehnmessstreifen ausgerüstet, der nachgiebige Sensor ver-

**Bild 14**  
**DLR-Greifer**  
 Deutsche Luft-  
 und Raumfahrt.  
 Wessling,  
 Deutschland



fügt über eine optische Messung der kraftabhängigen Verformung. Der nachgiebige Sensor kann mechanisch verriegelt werden, so dass genaues Positionieren trotzdem möglich bleibt. In den Greiferbacken sowie im Greifergehäuse sind neun Laser-Distanzmesser (Trigonometrieprinzip) eingebaut. In den Greiferbacken befinden sich je 32 taktile Elemente. Zur Kontrolle des Greiferarbeitsraumes und zur Detailinspektion der Greifumgebung werden zwei Mini-CCD-Kameras im Greifergehäuse eingesetzt. Die Speisung des Motors und der Sensoren wird über ein zweiadriges Kabel mit einer 20-kHz-Wechselspannung geführt. Jeder Sensor greift sich von diesen Kabeln mittels Transformator und Gleichrichter seine Speisespannung ab. Die Daten der Sensoren werden über einen seriellen Bus ebenfalls nur über zwei Leitungen auf ein Dualport-Memory des Greifer-Controllers geschickt.

Der DLR-Greifer steht bezüglich Miniaturisierung der Mechanik und der Sensoren sowie bezüglich Integration von Mechanik und Sensorik weltweit an der Spitze. Trotz der umfangreichen Sensorik können jedoch mit dem einfachen Backengreifer aus geometrischen Gründen nur beschränkt komplexe Greifaufgaben erledigt werden.

## Schlussbemerkungen

Die in diesem Artikel beschriebenen universellen Robotergriffe stellen eine kleine Auswahl einer welt-

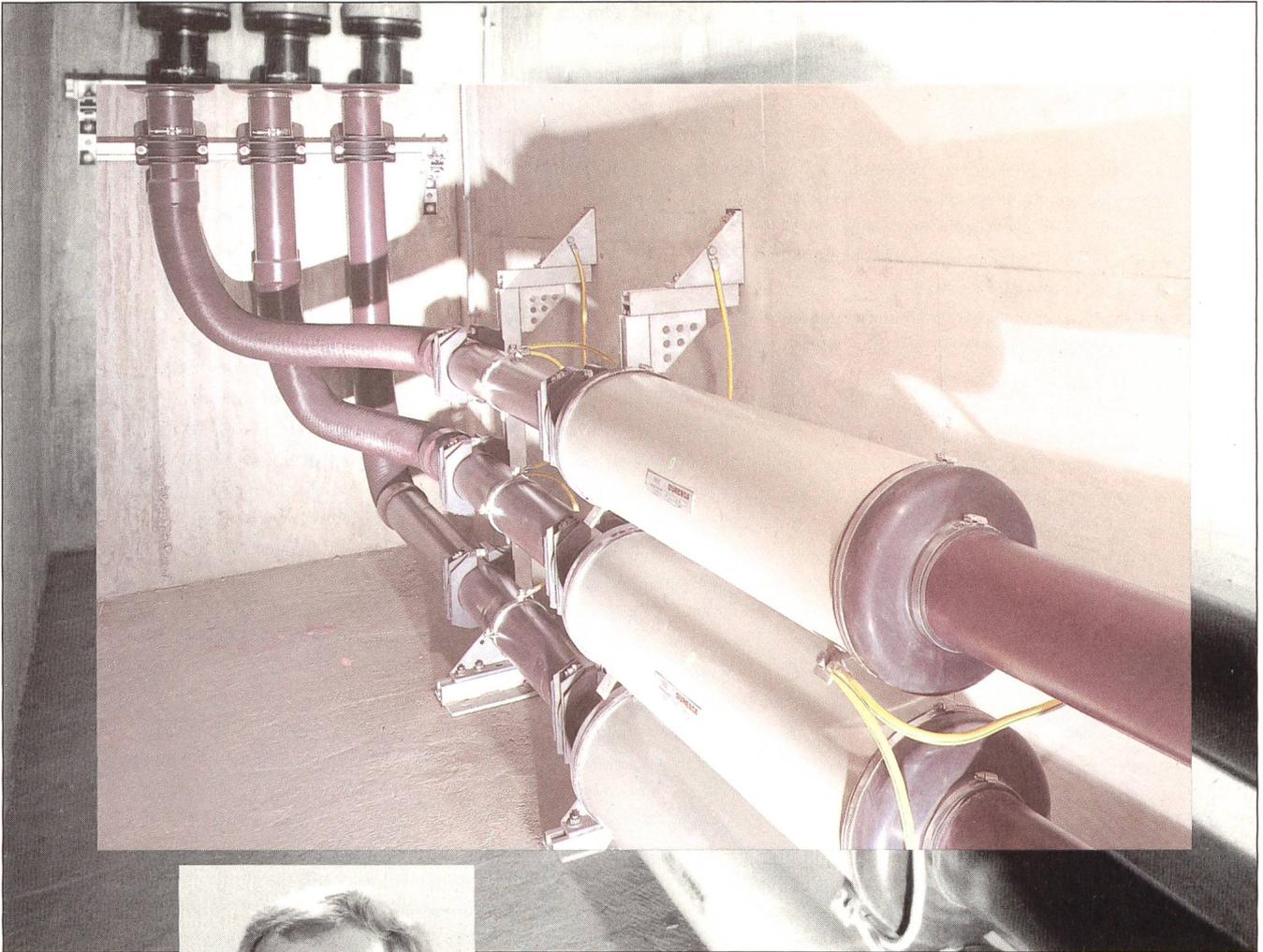
weit ansehnlichen Zahl von ähnlichen Greifern dar. Trotz einzelner Applikationen, Benchmarks usw. ist ein industrieller Einsatz der intelligenten, universellen Robotergriffe vorerst noch Zukunftsmusik. Die Probleme der Steuerung, der Sensorik, der mechanischen und elektrischen Integration sind erst ansatzweise gelöst. Geeignete Methoden, um einem komplexen, mechanischen und elektronischen System das richtige Verhalten zu geben, werden zurzeit noch erforscht und erprobt. Für die Erschließung neuer Anwendungsgebiete in unstrukturierter Umgebung, zum Beispiel das Sortieren von Müllbestandteilen, wird es notwendig sein, Greife mit universellen Greifeigenschaften und Sensorikunterstützung einzusetzen. Es wird sich dann auch zeigen, ob sich der anthropomorphe Ansatz der Bologna- oder Stanford-Hand, der eher technische Ansatz des DLR- oder COR-Greifers oder ein neuer, ganz anderer Ansatz durchsetzen wird.

## Literatur

- [1] Scherrer H.-K., Vischer D.: Intelligent Robot Grippers for General Purposes. 2nd Internat. Symposium on Experimental Robotics, Toulouse, France, June 25-27, 1991.
- [2] Vischer D.: Cooperating Robot with Visual and Tactile Skills. IEEE Internat. Conference on Robotics and Automation, Nice, France, May 10-15, 1992.
- [3] Scherrer H.-K.: Kooperierender Roboter mit visuellen und taktilen Fähigkeiten. Journées de microtechnique, EPF Lausanne, Oct. 1/2.
- [4] Xu G., Scherrer H.-K., Schweitzer G.: Application of Neural Networks on Robot Grippers. IJCNN Internat. Joint Conf. on Neural Networks, San Diego, June 1990.

### Nachdiplomstudium Mechatronik

Die Mechatronik hat sich weltweit zu einem sehr attraktiven Forschungsgebiet entwickelt, das in synergetischer Weise auf den klassischen Ingenieurdisziplinen Maschinenbau, Elektrotechnik und Informatik aufbaut. Ein typisches mechatronisches System nimmt Signale auf, verarbeitet sie und gibt Signale aus, die es zum Beispiel in Kräfte und Bewegungen umsetzt. Entwicklung, Konstruktion und Einsatz von mechatronischen Systemen basieren auf einem hohen Anteil an Systemwissen und Software. Nebst der Betreuung und Durchführung von gemeinsamen Mechatronik-Projekten organisiert die Arbeitsgruppe Mechatronik ein 2- bis 4semestriges Nachdiplomstudium, das vor allem für Ingenieure mit Industrieerfahrung empfohlen wird. Auskunft erteilen das Zentrum für Weiterbildung, HG F 67.5, ETH-Zentrum, 8092 Zürich, Tel. 01 256 56 59 oder die Arb.-Gruppe Mechatronik, LE0 B3, ETH-Zentrum, 8092 Zürich, Tel. 01 256 35 82.



Ulrich N. Kull

Geschäftsleiter  
UB-Energietechnik

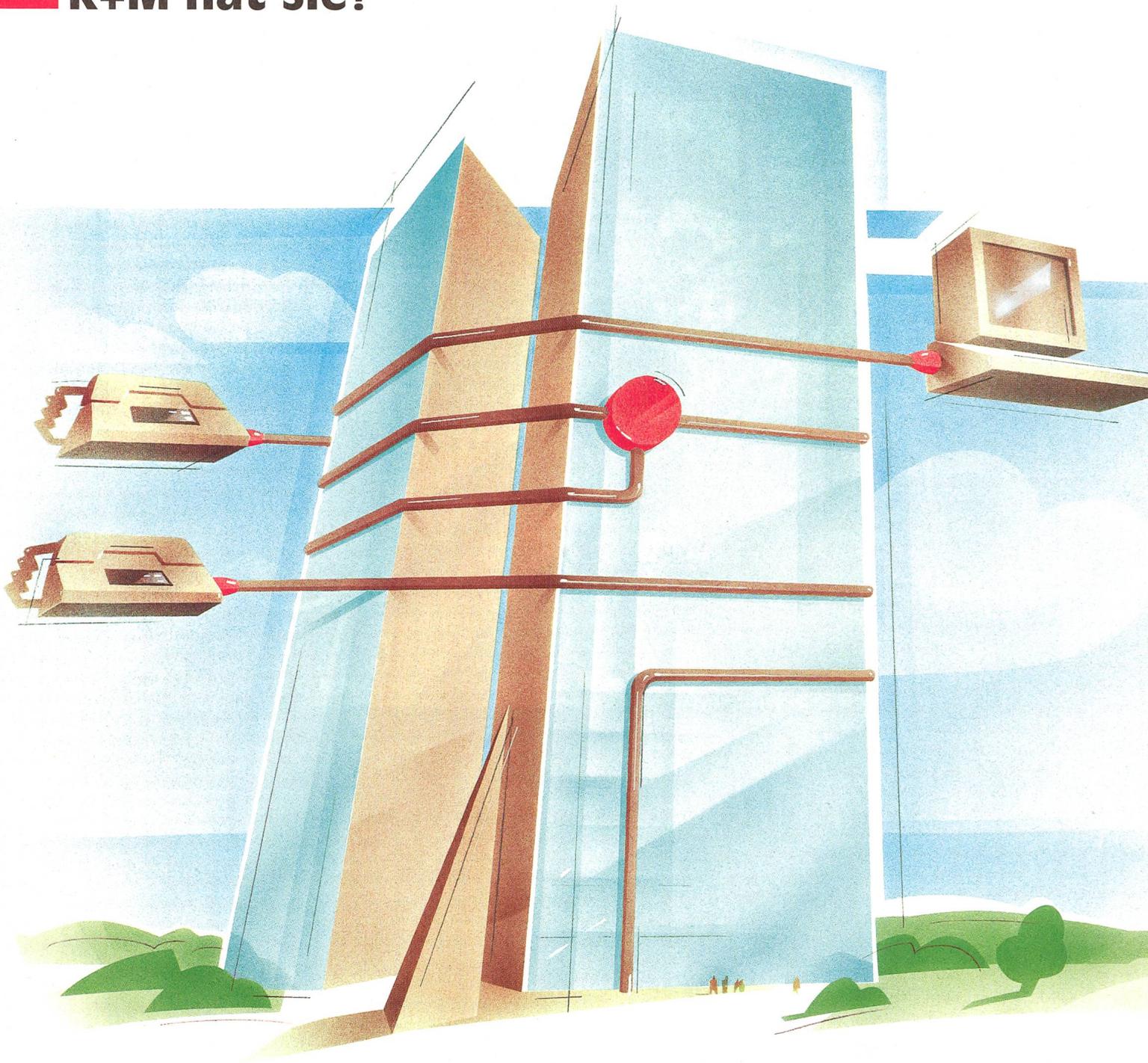
Duresca®-Stromschienen im Wasserkraftwerk Wyhlen; DG 12 kV-3400 A

Heute kann nur eine zuverlässige, angepasste Technik den Anforderungen an eine sichere Energieübertragung genügen. DURESCA®-Schienen sind seit mehr als 30 Jahren im Einsatz und erlauben bei Neu- und Umbauten eine kompakte und kostensparende Anlagenplanung und -ausführung. Die ständige Weiterentwicklung und Innovation findet bei MGC Moser-Glaser & Co. AG, UB-Energietechnik, nicht nur für DURESCA® statt, sondern auch für die Bereiche Öl- und Giessharztransformatoren, Giessharz- und SF<sub>6</sub>-Wandler sowie auch für die neuen SF<sub>6</sub>-isolierten GASLINK®-Stromschienen.

**MGC**  
**MOSER-GLASER**

Moser-Glaser & Co. AG  
Energie- und Plasmatechnik  
Hofackerstrasse 24  
CH-4132 Muttenz / Schweiz

**Neue Technologien  
erfordern neue Ideen.  
R+M hat sie!**



Neue innovative Ideen in die Realität umzusetzen ist seit je die Stärke von Reichle+De-Massari.

Kompetente Köpfe in Entwicklung und Konstruktion arbeiten dauernd daran, Ihnen ausgereifte Lösungen mit einzigartigen Vorteilen zu bieten.

Einzigartige Vorteile für Sie! Von der Kommunikationssteckdose bis zum Grossverteiler.

Stellen Sie uns auf die Probe.

Reichle+De-Massari AG  
Binzstrasse 31  
CH-8622 Wetzikon  
Telefon 01/933 81 11  
Telefax 01/930 49 41

**Reichle**   
**De-Massari**  
Elektro- und  
Kommunikationstechnik