

Bild 2. Auszugsweise Darstellung der rechnergestützten Konstruktion einer Rachenlehre

- Fertigungszeitkalkulation für die Arbeitstechniken Brennschneiden, Tafelschere, Bügelsäge, Bandsäge, Messerkopffräsen, Kurzhobeln und Langhobeln  
Hierbei werden auch die spezifischen Vorbereitungs- und Abschlußzeiten mit einbezogen.
- Materialnahmescheine für Bestandsmaterial und Kaufteile

- Quellenprogramme bzw. NC-Steuerstreifen für die Drahterodierertechnik und NC-Fräsmaschinen sind prinzipiell möglich, werden jedoch in der jetzigen Ausbaustufe noch nicht bearbeitet.

Allen rechnergestützten Konstruktionen (Bild 2) folgt – wie bei den üblichen Konstruktionen auch – eine manuelle Konstruktionskontrolle.

#### 4. Ergebnisse und Erfahrungen

Nach der praktischen Nutzung dieses Programmsystems über einen Zeitraum von rd. 3 Jahren kann eingeschätzt werden, daß entsprechend dem jeweiligen Anwendungsfall Arbeitsproduktivitätssteigerungen auf 400 % möglich sind. Die Liefertermine einer solchen Konstruktion liegen bei rd. 5 Arbeitstagen (einschließlich der Konstruktionskontrolle), so daß neben der Arbeitszeiteinsparung auch eine wesentliche Reduzierung der Durchlaufzeit erreicht wird.

Um die Anwendungsfälle der CAD-Systeme in Größenordnungen von 25 bis 30 % aller Schneidwerkzeugkonstruktionen zu entwickeln, ist es erforderlich, außer für standardisierte Werkstückgeometrien auch für die üblichen prismatischen Geometrien CAD-Lösungen zu erarbeiten. Das setzt jedoch voraus, daß neben einer leistungsfähigen Gerätetechnik auch eine ausgereifte Software zur Verfügung stehen muß.

Mit der vorgestellten Methode der rechnergestützten Konstruktion von Fertigungsmitteln wurde ein erster progressiver Schritt in Richtung eines funktionsfähigen CAD/CAM-Arbeitsplatzes getan. Für weitere Ausbaustufen wurden wichtige Erkenntnisse gesammelt und nicht zuletzt Bedenken von Konstrukteuren und Technologen durch praktische Taten entkräftet.

A 4374

## Montagegerechtes Konstruieren für das Montieren mit Industrierobotern im Maschinenbau

Dozent Dr.-Ing. G. Hoenow, KDT, Technische Universität Dresden, Sektion Grundlagen des Maschinenwesens

Das automatische Montieren war bisher auf Erzeugnisse der Großserien- und Massenfertigung beschränkt. In jüngster Zeit wurden jedoch erste Pilotlösungen für das automatische Montieren mit Industrierobotern im Maschinenbau entwickelt. Montiert werden z. B. Kühlwasserpumpen für Dieselmotoren, kleinere Zahngetriebe und Achse-Nabe-Baugruppen für landwirtschaftliche Fahrzeuge. Vor allem eignen sich Baugruppen von Landmaschinen für das Montieren mit Industrierobotertechnik, da die jährlichen Fertigungsmengen höher als in vielen anderen Maschinenbauzweigen sind. Dadurch ergeben sich günstigere Voraussetzungen für die Amortisation der notwendigen Investitionen. Besondere Schwierigkeiten beim Einführen des Montierens mit Industrierobotern bereiten u. a. die heute vorhandenen Konstruktionen, da sie den Bedingungen der automatischen Montage nur unvollständig entsprechen.

### 1. Was ist mit Industrierobotertechnik montierbar?

Die Montageobjekte der ersten Pilotmontagesysteme der TU Dresden und der TH Karl-Marx-Stadt sind Maschinenbaugruppen im Massebereich bis etwa 15 kg und mit maximalen Abmessungen von rd. 300 mm × 300 mm × 300 mm. An der Einführung von Montagesystemen für Objekte im Massebereich um 50 kg und

mit Abmessungen bis 600 mm Ø × 400 mm Länge wird gearbeitet (z. B. Variatoren für Mähdrescher). Besondere Vorteile sind zu erreichen, wenn Baugruppen montiert werden, die den manuell handhabbaren Massebereich überschreiten und daher bei der Handmontage die Anwendung von Hebezeugen erfordern würden. Während z. B. die kleinen Baugruppen bei der Handmontage in sehr kurzer Zeit in die jeweils erforderliche Montageposition gebracht werden können, kann die Aufgabe bei schweren Baugruppen vom Industrieroboter etwa bei gleichem Zeitaufwand erledigt werden. Liegt die Masse der Montageeinheiten an der oberen manuell zulässigen Grenze, kann mit dem Industrieroboter schwere körperliche Arbeit beiseitigt werden.

Bezüglich der Mengenbereiche kann heute noch keine sichere Aussage getroffen werden. Die flexiblen Robotermontagesysteme werden so ausgelegt, daß ein Grunderzeugnis und dessen Modifikationen oder Baugruppen ähnlichen Grundaufbaus (z. B. Wellenbaugruppen) montiert sind. Dabei sollen Losgrößen unter 1 000 Stück wirtschaftlich montierbar sein.

Für eine Automatisierung der Endmontage im Maschinenbau sind z. Z. keine ökonomisch vertretbaren Lösungsansätze erkennbar.

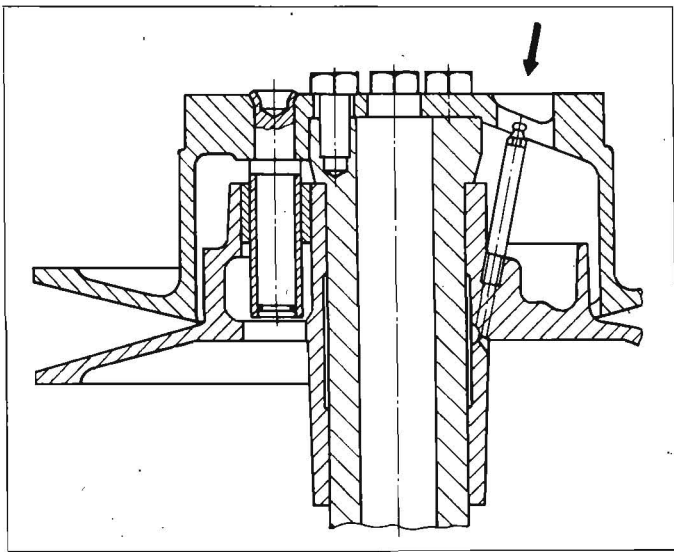
### 2. Welche Fügeoperationen lassen sich automatisch ausführen?

In den Pilotmontagesystemen werden bereits folgende Operationen automatisch ausgeführt:

- Einlegen
  - Fügen von Längspreßverbindungen (z. B. Einpressen und Aufpressen von Wälzlagern, Wellendichtringen, Gleitlagerbuchsen usw.)
  - Fügen von Querspreßverbindungen (Schrumpfen mit Wärmedifferenz)
  - Fügen von Schraubenverbindungen
  - Auftragen von pastösen Kleb- und Dichtstoffen (dosiertes Auftragen und Auftragskontrolle)
  - Auftragen/Einfüllen von dosierten Schmierstoffmengen (Öle und Fette)
  - Fügen von Keil- und Kerbzahnverbindungen
  - Einsetzen von Zahnradpaaren (Zahn auf Zahnluke)
  - Montieren von Sicherungsringen
  - Justieren durch Einstellen mit Hilfe entsprechend gesteuert Schraubvorgänge.
- Für alle automatisierten Fügevorgänge bestehen jedoch einschränkende Bedingungen gegenüber dem manuellen Montieren.

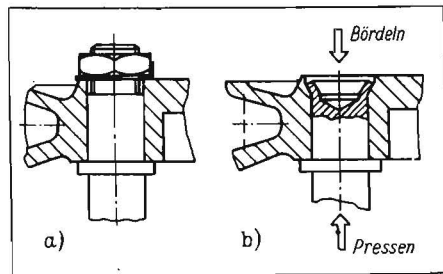
### 3. Welche technischen Mittel sind erforderlich?

Neben dem freiprogrammierbaren Industrie-



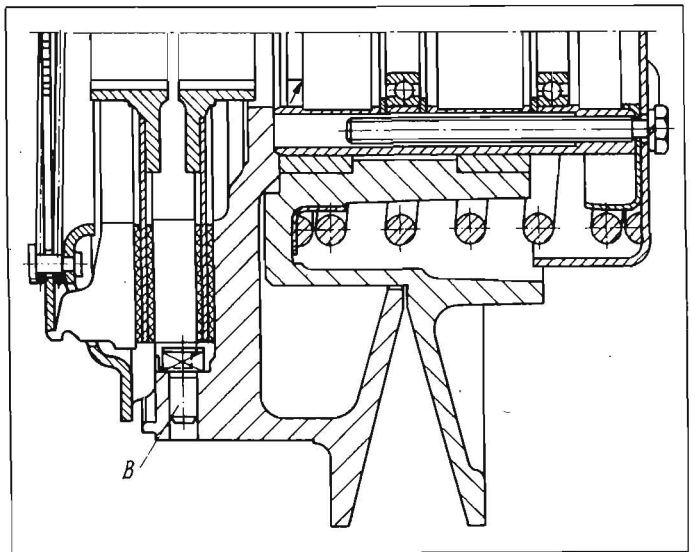
**Bild 1.** Variator mit Drehmomentübertragung durch 3 Mitnehmerbolzen; Das Einschrauben des schrägen Fettzuführröhrchens erfordert eine besondere Schraubeinrichtung neben der Schraubstation. für die Sechskantschrauben

**Bild 2.** Befestigung der Mitnehmerbolzen für den Variator nach Bild 1;  
 ▼ a) ursprüngliche Befestigung erfordert Einpressen und Schrauben sowie Sichern durch Biegen  
 b) geänderte Befestigung; Montage ist allein auf einer flexiblen Montagepresse möglich



roboter und zweckentsprechenden Montagegreifern sind beträchtliche Aufwendungen für periphere Einrichtungen und Fügestationen erforderlich. Da dem Industrieroboter jedes Bauelement vereinzelt und lagerichtig angeboten werden muß, sind entsprechende Bauelementespeicher und Vereinzlungseinrichtungen erforderlich. Der „Griff in die Kiste“ gilt z. Z. als nicht wirtschaftlich automatisierbar. Größere Bauelemente werden meist von Paletten abgenommen, mittlere werden dagegen in Magazinen und kleinere in Bunkern bevorratet und über Vereinzlungsmechanismen ausgegeben.

Der Industrieroboter kann von den eigentlichen Fügeoperationen nur das Einlegen ausführen. Zum Pressen, Schrauben, Auftragen, Einspreizen usw. sind besondere Einrichtungen, die vom Industrieroboter gehandhabt werden oder als Fügestationen im Greifbereich des Roboters aufgestellt werden, notwendig. An der Entwicklung flexibler Fügestationen wird intensiv gearbeitet. Das Ziel der Entwicklungsarbeiten besteht darin, Bausteine für automatische Montagesysteme zu schaffen. Diese Bausteine sollen zusammen mit zweckentsprechenden Industrierobotern ein offenes Baukastensystem bilden, aus dem, ergänzt durch Spezialbausteine für die jeweilige Montageaufgabe, flexible Industrieroboter montagesysteme oder auch Montageautomaten zusammengestellt werden können. Eine als Baukastensystem konzipierte flexible Montagepresse zum Fügen von



**Bild 3.** Variator mit Kupplung; Das automatische Montieren des Bolzens B bereitet Schwierigkeiten: Die Montagerichtung weicht von der aller übrigen Bauteile ab. Der Übergangssitz erfordert bei großem Übermaß Einpreßkräfte, die sich innerhalb der schüsselförmigen Kupplungsseite nur durch Sondereinrichtungen aufbringen lassen. Nach dem Einpressen ist ein Ausrichten der ebenen Flächen erforderlich (Sondereinrichtung)

Längspreßverbindungen vielfältigster Art wird in [1] beschrieben. Die Flexibilität derartiger Einrichtungen ist aber in jedem Fall geringer als an einem Handmontageplatz, der mit einem entsprechenden Satz von Montagewerkzeugen versehen ist.

Ein dritter Komplex von peripheren Einrichtungen sind gesteuerte und ungesteuerte Füge-mechanismen, die die Positionsungenauigkeit der Industrieroboter kompensieren und das Fügen von Präzisionspassungen ermöglichen [2].

#### 4. Welche Probleme bereitet die automatische Montage bestehender Konstruktionen?

Die heute bestehenden Baugruppen sind im Durchschnitt nur zu 60 bis 80 % mit vertretbarem Aufwand automatisch montierbar. Dieser Zustand ist daraus erklärbar, daß bisher im Maschinenbau – bewußt oder unbewußt – stets für das Montieren von Hand konstruiert wurde. Die Handmontage ist z. B. gekennzeichnet durch die Auge-Hand-Koordination und durch die universelle Kinematik der menschlichen Hände. Dadurch sind komplizierte Fügevorgänge (z. B. Justieren) und gleichzeitiges Festhalten von Bauelementen möglich. Kleinere Baugruppen werden zum Zweck guter Zugänglichkeit gedreht, gekippt oder gewendet. Viele dieser Möglichkeiten bestehen beim automatischen Montieren nicht bzw. nur eingeschränkt oder erfordern einen größeren Zeitaufwand. Die Bilder 1 bis 4 enthalten Beispiele schwierig oder nicht wirtschaftlich zu automatisierender Fügeoperationen. Weitere Beispiele problembehafteter Fügeaufgaben sind das Fügen biegeschlaffer Bauelemente (Kartondichtungen, Gummiflächdichtungen und dgl.) und das Handhaben von Klein- und Kleinstteilen, das häufig nur mit Sondergreifern möglich ist.

#### 5. Konstruktionsregeln

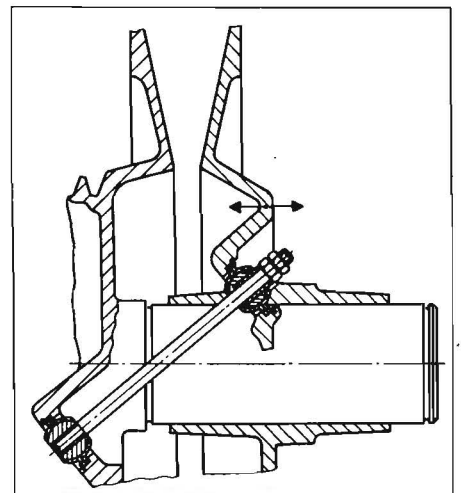
Die grundlegende Regel (Hauptregel) des montagegerechten Konstruierens lautet:

„Wenig Bauelemente anstreben!“ Sie gilt für die Handmontage genauso wie für das automatische Montieren und wurde bereits im Jahr 1971 im Standard TGL 13394 festgeschrieben, wird aber immer noch zu wenig beachtet. Der Regel gerecht werden kann der Konstrukteur durch die konsequente Ausschöpfung aller Möglichkeiten der

- Funktionsintegration
- Integralbauweise (Einstückbauweise)
- integrierten Verbindungselemente (Bild 5)
- integrierten Dichtelemente (Bild 6)
- Verlagerung von Fügeoperationen in die Teilefertigung (z. B. werden die Kugeln der Kugelschreiberminen als letzte Operation auf dem Drehautomaten montiert).

Die Bedeutung der Hauptregel des montagegerechten Konstruierens ist besonders daran

**Bild 4.** Zugankervariator; Das Montieren der drei schräg im Raum stehenden Zuganker mit anschließendem Justieren auf gleiche Länge durch Schraubvorgang (Gegenhalten am Schraubenschlitz des Zugankers) muß z. Z. aus dem automatisierten Montagebereich ausgespart werden.



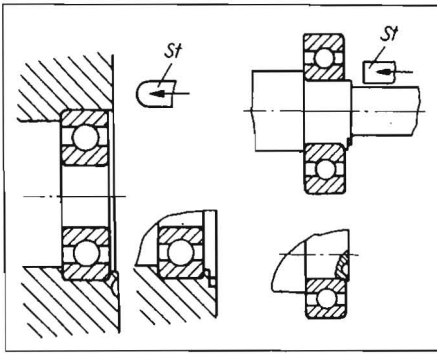


Bild 5. Integrierte Axialsicherung durch Verformung; Mehrere punktartige Verformungen werden mit Hilfe des Stößels St angebracht.

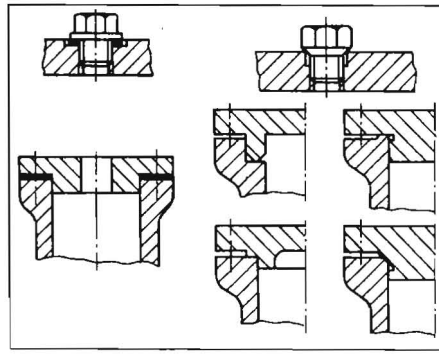


Bild 6. Integrierte Dichtelemente; Durch Dichtkegel bzw. angearbeitete schmale Dichtleisten können die links dargestellten herkömmlichen Dichtungen ersetzt werden.

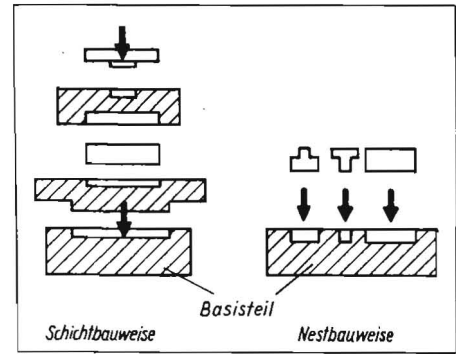


Bild 7. Schichtbauweise oder Nestbauweise sind vorzugsweise anzuwenden

gut erkennbar, daß jedes vom Konstrukteur vermiedene Bauelement weder gespeichert, vereinzelt gehandhabt, lagerichtig abgelegt noch gefügt werden muß. Welche bedeutenden Einsparungen bei konsequenter Anwendung der Hauptregel erreichbar sind; ist u. a. von Rögner in [3, 4] dargelegt worden. Rögner beschreibt, wie bei der konstruktiven Überarbeitung einer Baureihe von Strömungskupplungen die Anzahl der Zeichnungsteile von 379 auf 277 verringert werden konnte, obgleich die Baureihe von 5 auf 9 Baugrößen erweitert wurde. Die Regeln zur Gestaltung einer Montagegruppe sind auszugsweise in [5], vollständig in [6] dargestellt. Die wesentlichen Regeln lauten:

- Ein Basisteil sollte vorhanden sein!
- Die Montagerichtung von oben ist zu bevorzugen!  
Drehen, Kippen oder Wenden des Basisteiles erfordern Sondereinrichtungen und dehnen den unproduktiven Zeitanteil des Montageprozesses.
- Die Schicht- bzw. Nestbauweisen (Bild 7) sind zu bevorzugen!  
Kombinationen beider Bauweisen sind möglich.

- Halteoperationen sind zu vermeiden! Jedes zu fügende Bauelement sollte sich möglichst lagestabil auf dem vorher montierten Element ablegen lassen, sonst sind Hilfsroboter nötig, z. B. ist eine Halteoperation bei Schraube mit Mutter erforderlich.
  - Justiervorgänge vermeiden, ohne die Fertigung insgesamt zu verteuern!  
Justieraufgaben verlangen meist aufwendige Sondereinrichtungen. Für viele Justieraufgaben fehlen geeignete Sensoren, um die Justiervorgänge zu steuern.
  - Anzahl der Schraubenverbindungen minimieren!
  - Schraubenverbindungen erfordern den freien axialen Zugang für Schraube und Schraubenwerkzeug!
  - Kleinteile aller Art vermeiden!
- Die konsequente Anwendung der Konstruktionsregeln ist nicht nach einmaligem Lesen zu erwarten, sondern setzt mindestens eine zweckentsprechende Schulung voraus [6]. Bleiben die Regeln unbeachtet, darf als sicher vorausgesetzt werden, daß die Einführung des automatischen Montierens behindert bzw. verzögert wird.

der bzw. verzögert wird. Außerdem ist gewiß, daß sich jede nach vorstehend genannten Gesichtspunkten konstruierte Baugruppe auch bei Beibehaltung der Handmontage erheblich rationeller montieren läßt.

#### Literatur

- [1] Hoenow, G.; Thonig, H.: Automatische Montage mit Industrieroboter – peripheres Gerät Montagepresse. Maschinenbautechnik, Berlin 33 (1984) 2, S. 82–84.
- [2] Jacobi, P.; Volmer, J.: Fügemechanismen für die automatisierte Montage mit Industrierobotern. Maschinenbautechnik, Berlin 31 (1982) 10, S. 451–453.
- [3] Rögner, W.: Neue Kupplungsbaureihe KSR unter dem Gesichtspunkt der Materialökonomie, der Aufwandsenkung und der Gebrauchswertenerhöhung. Maschinenbautechnik, Berlin 27 (1978) 12, S. 548–549.
- [4] Rögner, W.: Senkung des Fertigungsaufwandes. Maschinenbautechnik, Berlin 30 (1981) 12, S. 569–572.
- [5] Hoenow, G.: Roboter – Montagegerechtes Konstruieren. Maschinenbautechnik, Berlin 33 (1984) 4, S. 150–152.
- [6] Hoenow, G.: Roboter – Montagegerechtes Konstruieren. KDT-Turnuslehrgang des KDT-Bezirksverbands Dresden: A 4364

## Zur Anwendung beschichteter Preßverbindungen

Prof. Dr.-Ing. habil. G. Pursche, Technische Hochschule Karl-Marx-Stadt, Sektion Chemie und Werkstofftechnik  
Dr.-Ing. H. Gropp, KDT, Technische Hochschule Karl-Marx-Stadt, Sektion Maschinen-Bauelemente  
Ing. Brigitte Rost, Kombinat Fortschritt Landmaschinen, VEB Erntemaschinen Neustadt, Stammbetrieb,  
Betriebsstell Automatisierungstechnik Leipzig

### 1. Probleme beim Einsatz von Wellen-Naben-Verbindungen in der Landtechnik

Im Landmaschinenbau kommen wie in anderen Industriezweigen in vielen Erzeugnissen Wellen-Naben-Verbindungen zum Einsatz, die form- oder kraftschlüssig wirken. Die formschlüssigen haben gegenüber kraftschlüssigen Wellen-Naben-Verbindungen, speziell Preßverbindungen, hauptsächlich folgende Nachteile:

- Fertigungsaufwand, besonders der Zerspanungsaufwand, sowie der Materialaufwand sind hoch.
- Während des Betriebs, besonders unter landtechnischen Einsatzbedingungen, tritt an formschlüssigen Wellen-Naben-Verbindungen beträchtlicher Verschleiß auf.
- Mit fortschreitendem Verschleiß nimmt

bei dynamischer Wechselbelastung der zugeordneten Baugruppe die Stoßbelastung dieser und der im Energiefluß nachgeordneten Baugruppen zu, wodurch die Verschleiß- und Ermüdungsprozesse noch beschleunigt werden.

Diese o. g. Nachteile werden bei der Ablösung der formschlüssigen durch kraftschlüssige Wellen-Naben-Verbindungen beseitigt, sofern letztere zuverlässig die auftretenden Belastungen in der Konstruktionsnutzungsdauer und möglichst darüber hinaus bis zur Aussonderungsgrenze der Maschine übertragen. Im Landmaschinenbau der DDR beträgt z. B. die Konstruktionsnutzungsdauer 6 bis 10 Jahre. Die Aussonderung erfolgt hingegen erst nach 12 bis 15 Jahren mit weiter ansteigender Tendenz. Gegenwärtig werden im Landmaschinenbau der DDR für Wellen-

Naben-Verbindungen, die hohe Drehmomente bei wechselnder oder schwelender Belastung zu übertragen haben, folgende Verbindungen bevorzugt eingesetzt:

- Zahnwellen-Zahnablen-Verbindungen
- Keilwellen-Keilnaben-Verbindungen.

In vielen Anwendungsfällen, in denen der Einsatz von Preßverbindungen funktionell möglich ist, war er bisher oft aufgrund der nicht genügend geklärten Übertragungsverhältnisse bei dynamisch belasteten Preßverbindungen und der spezifischen landtechnischen Belastungen sehr beschränkt. Infolge der bei konventionellen Preßverbindungen vorherrschenden Haftbeiwerte (meist nicht größer als  $\nu = 0,1 \dots 0,12$ ), der bei dünnwandigen Teilen nur niedrigen erreichbaren Fugenpressungen und der z. T. auftretenden Tribokorrosionserscheinungen bei dynami-