

Rolf Pfeiffer

*Technologisch orientierte Montageplanung  
am Beispiel der Schraubtechnik*



Rolf Pfeiffer

*Technologisch orientierte  
Montageplanung am Beispiel  
der Schraubtechnik*

Herausgegeben von  
Professor Dr.-Ing. Klaus Feldmann,  
Lehrstuhl für  
Fertigungsautomatisierung und Produktionssystematik

**FAPS**



Carl Hanser Verlag München Wien

Als Dissertation genehmigt von der Technischen Fakultät  
der Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg

Tag der Einreichung:	11. 01. 1990
Tag der Promotion:	04. 04. 1990
Dekan:	Prof. Dr.-Ing. habil. G. Kuhn
Berichterstatter:	Prof. Dr.-Ing. K. Feldmann Prof. Dr.-Ing. H. Meerkamm

CIP-Titelaufnahme der Deutschen Bibliothek

**Pfeiffer, Rolf:**

Technologisch orientierte Montageplanung am Beispiel der  
Schraubtechnik / Rolf Pfeiffer. Hrsg. von Klaus Feldmann. –  
München; Wien: Hanser, 1990

(Fertigungstechnik – Erlangen; 10)

Zugl.: Erlangen, Nürnberg, Univ., Diss., 1990

ISBN 3-446-16161-9

NE: GT

Dieses Werk ist urheberrechtlich geschützt.

Alle Rechte, auch die der Übersetzung, des Nachdrucks  
und der Vervielfältigung des Buches oder Teilen daraus,  
vorbehalten.

Kein Teil des Werkes darf ohne schriftliche Genehmigung des  
Verlages in irgendeiner Form (Fotokopie, Mikrofilm oder ein  
anderes Verfahren), auch nicht für Zwecke der Unterrichts-  
gestaltung - mit Ausnahme der in den §§ 53, 54 URG ausdrücklich  
genannten Sonderfälle -, reproduziert oder unter Verwendung  
elektronischer Systeme verarbeitet, vervielfältigt oder  
verbreitet werden.

© Carl Hanser Verlag München, Wien 1990

Herstellung: Copy Center 2000, Erlangen-Eltersdorf

Printed in Germany

## V O R W O R T

Die vorliegende Dissertation entstand während meiner Tätigkeit als wissenschaftlicher Assistent am Lehrstuhl für Fertigungsautomatisierung und Produktionssystematik der Universität Erlangen - Nürnberg.

Herrn Prof. Dr.-Ing. K. Feldmann, Leiter des Lehrstuhls für Fertigungsautomatisierung und Produktionssystematik am Institut für Fertigungstechnik, danke ich für die großzügige Förderung bei der Durchführung dieser Arbeit.

Herrn Prof. Dr.-Ing. H. Meerkamm, Leiter der selbständigen Abteilung für Maschinenelemente und fertigungsgerechtes Konstruieren am Institut für Fertigungstechnik, danke ich für seine Bereitschaft, das Koreferat zu übernehmen.

Ferner gilt mein Dank allen Kollegen und Studenten für Ihre Unterstützung und Diskussionsbereitschaft. Dies gilt insbesondere für Herrn Stefan Krug, der durch seine Mitarbeit wesentlich zum Gelingen der Arbeit beigetragen hat.

Rolf Pfeiffer



# **Technologisch orientierte Montageplanung am Beispiel der Schraubtechnik**

- Inhaltsverzeichnis -

<b>1. Einleitung</b>	1
<b>2. Methoden der Montageplanung</b>	4
2.1 Konventionelle Planungsarbeit	4
2.2 Rechnergestützte Planungsweise	6
2.3 Technologisch orientierte Planungsweise	9
<b>3. Technologisch orientierte Strukturanalyse der Planungsaufgaben</b>	12
3.1 Aufgaben der Planung	15
3.1.1 Vorplanung	15
3.1.2 Grobplanung	19
3.1.3 Feinplanung	21
3.2. Informationen in der Montageplanung	28
3.2.1 Darstellung der Datenstruktur	28
3.2.2 Technologische Relevanz	31
3.2.3 Bewertung des Planungsprozesses	48
3.3 Ableitung der Planungsschwerpunkte	52
3.3.1 Analyse eingesetzter Montagetechniken	52
3.3.2 Analyse der Planungsaufwands	53
3.3.3 Planungsschwerpunkte der Schraubtechnik	54
3.4 Modell technologisch orientierter Montageplanung	55

<b>4. Automatische Montage von Schraubverbindungen</b>	<b>57</b>
4.1 Verschrauben als Montagetechnik	57
4.1.1 Einsatzmöglichkeiten	57
4.1.2 Montagegerechte Produktgestaltung	59
4.2 Verschrauben als Verbindungstechnik	62
4.2.1 Einflußgrößen der Werkstücke	62
4.2.2 Einflußgrößen der Beilageteile	63
4.2.3 Einflußgrößen der Schrauben	64
4.3 Schraubwerkzeuge	69
4.3.1 Bauformen	70
4.3.2 Steuerungsprinzipien	73
4.3.3 Antriebskonzepte	76
4.4 Schraubstationen	80
4.4.1 Handhabung	81
4.4.2 Schraubenzuführung	83
4.4.3 Steuerung	85
4.5 Der Verschraubungsprozeß	87
4.5.1 Prozeßbeschreibung	87
4.5.2 Anzugsverfahren	88
4.5.3 Sonderfälle	91
4.6 Prozeßdatenerfassung	93
4.6.1 Meßgrößen	95
4.6.2 Meßverfahren	96
4.6.3 Auswertung	97
4.7 Entwicklungstendenzen	99

<b>5. Definition standardisierter Schraubstationen</b>	100
5.1 Auswahl von Lösungsstandards als Planungsmethode	100
5.2 Analyse industrieller Lösungsstandards	101
5.3 Handarbeitsplätze	105
5.4 Starre Automaten	109
5.5 Flexible Automaten	113
5.6 Steuerungsstandards	117
<b>6. Prozeßdatenerfassung an Schraubstationen (REPROSS)</b>	120
6.1 Entwicklungsumgebung	120
6.1.1 Hardware	120
6.1.2 Software	121
6.2 Programmbeschreibung	122
6.2.1 Konfiguration	122
6.2.2 Aufzeichnung	124
6.2.3 Einzelfallbeobachtung	125
6.2.4 Auswertung	127
6.3 Systemleistung	129
6.3.1 Meßtechnik	129
6.3.2 Datentechnik	132

<b>7. Konfiguration von Schraubstationen (REKOSS)</b>	133
7.1 Ziele	133
7.2 Entwicklungsumgebung	133
7.2.1 Hardware	133
7.2.2 Software	134
7.2.3 Planungsschnittstellen	136
7.3 Gesamtkonzept	138
7.3.1 Produktmodell	138
7.3.2 Programmstruktur	141
7.3.3 Benutzeroberfläche	142
7.4 Schraubwerkzeugauswahl	147
7.4.1 Datenbankentwurf	148
7.4.2 Datenbasis	149
7.4.3 Werkzeugvorauswahl	156
7.5 Taktzeitberechnung	159
7.5.1 Analyse und Definitionen	159
7.5.2 Berechnungsverfahren	163
7.5.3 Optimale Montagereihenfolge	167
7.5.4 Programmschnittstellen	171
7.6 Konfiguration der Schraubstation	172
7.6.1 Konzeptvorauswahl	172
7.6.2 Werkzeugauswahl	174
7.6.3 Ergebnisse	176
7.7 Anwendungsbeispiel	178
<b>8. Zusammenfassung</b>	182
<b>9. Literaturverzeichnis</b>	184

## 1. Einleitung

Der hohe Stellenwert der Montageplanung als Entwicklungsfeld wissenschaftlicher und industrieller Einrichtungen läßt sich auf eine Reihe von Einflußfaktoren zurückführen. An erster Stelle steht dabei die Bedeutung der Montage als dem Zielobjekt jeder Montageplanung selbst. Deren hoher Anteil an den gesamten Herstellkosten sowie das noch wenig ausgeschöpfte Rationalisierungspotential führen zu steigenden Ansprüchen an künftige Montageanlagen. Dabei gilt es dann, nach zum Teil divergierenden Zielgrößen wie Flexibilität, Produktivität und Kosten zu optimieren.

Dies gilt besonders für Unternehmen der feinmechanischen, elektrofeinmechanischen und elektronischen Industrie, die auch die Zielgruppe der vorgestellten Planungsmethode darstellt [8]. Hier führt der starke internationale Wettbewerbsdruck zu besonderen Anstrengungen im Bereich der Montage [19]. Dazu kommen generelle Strukturveränderungen der Produktmontage durch steigende Varianzanzahlen, kürzere Produktlebensdauer sowie die zunehmend direkt auftragsbezogene Fertigung bei geforderten kurzen Lieferzeiten.

Weiterhin ist das sozio-politische Umfeld der Unternehmen einem starken Wandel unterworfen. So wirken gesetzgeberische Maßnahmen, wie zum Beispiel zur verschärften Produkthaftung oder zur europäischen Integration in die Montage als Teilbereich der gesamten Fertigung zurück [1,40]. Auch neue Arbeitszeitmodelle verändern durch verlängerte Maschinenlaufzeiten und höhere Lohnkosten die Anforderungen an Montagesysteme.

Schließlich führt die Weiterentwicklung wesentlicher Komponenten von Montageanlagen zu steigenden Planungsanforderungen [17,64]. Vollständige mechanische und informationstechnische Integration komplexer Montagesysteme erfordern erweiterte Planungsvorgänge [79], insbesondere für Steuerungs- und Sensorfunktionen. Neben dem steigenden Planungsbedarf wachsen auch die Anforderungen an Quantität, Qualität, Laufzeit, Flexibilität und Transparenz der Planung. Die zunehmende Menge zu verarbeitender statischer und dynamischer Informationen erschwert die Erfüllung der genannten Ansprüche zusätzlich.

Auf der anderen Seite hat die stürmische Entwicklung der Halbleitertechnik (Mikroprozessoren und Speicherchips) die Einsatzmöglichkeiten elektronischer Rechenanlagen wesentlich erweitert [35]. Waren 1980 noch 8 Bit-Prozessoren mit verfügbaren Hauptspeichern von 64 Kbyte Stand der Rechner-technik, so hat sich die Rechenleistung auf gleichem Preisniveau mehr als verzehnfacht (32 Bit, 2 - 16 Mbyte RAM). Nicht ganz schritthalten mit dieser stürmischen Entwicklung konnte die zugehörige Software. Dies gilt für Standardsoftware wie Betriebssysteme, Compiler, Datenbanken, aber vor allem für spezielle Planungssoftware.

Die Weiterentwicklung spezieller Planungshilfsprogramme steht daher im Vordergrund der Entwicklungsarbeit seit etwa Mitte der 80er Jahre [95,96,105,108]. Trotz einiger vielversprechender Ansätze hat sich der Einsatz dieser Hilfsmittel im praktischen Betrieb bis heute nur sehr zögernd entwickelt. Der Grund für die fehlende Verbreitung dürfte in der Komplexität von Montageplanungsarbeiten und der noch zu geringen Bedienerfreundlichkeit der Hilfsprogramme zu finden sein. Hauptursache allerdings ist das Fehlen der notwendigen Planungsdaten und -regeln in einer zur Verarbeitung mit EDV-Hilfsmitteln geeigneten Form.

Dies gilt um so mehr, als sich Montage nicht wie die spanende Fertigung auf einige wenige Technologien (Drehen, Fräsen) reduzieren läßt, die sich gut parametrisieren lassen. Menge und Inhalt notwendiger Informationen sind neben den vielen Integrationsaspekten stark technologieabhängig.

Ziel der aktuellen Forschungsarbeit ist daher, neben der Weiterentwicklung und Integration vorhandener Planungshilfsmittel vor allem das Erarbeiten der notwendigen technologischen Planungsdaten und -regeln, in einer strukturierten, für den EDV-Einsatz geeigneten Form. Die vorliegende Arbeit führt die Festlegung dieser Informationen am Beispiel der Schraubtechnik durch und bindet die gewonnenen Daten und Regeln in eine technologisch orientierte Planungsmethode zur Konzeption von Schraubstationen ein.

Trotz aller Bemühungen der montagegerechten Produktgestaltung, Schraubverbindungen nach Möglichkeit zu vermeiden finden sich in bestehenden Montageanlagen weiterhin zahlreiche Schraubstationen.

Die ausgewogenen Eigenschaften dieser Verbindungstechnologie, insbesondere die einfache Lösbarkeit der Verbindung sind wesentliche Gründe für deren Einsatzhäufigkeit. Auch hat sich die Verfügbarkeit automatischer Schraubstationen in den letzten Jahren durch eine Reihe neuer Entwicklungen, wie leistungsfähigere Sensoren und Steuerungen deutlich verbessert.

Der Vergleich unterschiedlicher Montagetechnologien zeigt daher die immer noch vorhandene Bedeutung der Schraubtechnik [37]. Eine Reihe verfahrenstechnischer Besonderheiten veranschaulicht zudem die Notwendigkeit technologisch orientierter Hilfsmittel.

Zur Verwirklichung dieser Ziele werden zunächst durch eine detaillierte Strukturanalyse der Montageplanung Daten, Informationen und Montageaufgaben, sowie deren zeitliche und inhaltliche Zusammenhänge und Abhängigkeiten untersucht. Zur Darstellung der Strukturen werden geeignete Hilfsmittel entwickelt. Dieser Struktur wird als wichtige Hilfsgröße die technologische Relevanz zur Beurteilung der Bedeutung einzelner Planungsbereiche überlagert. Damit kann eine technologisch orientierte Bewertung der gefundenen Montageplanungsstruktur vorgenommen werden. Die erarbeiteten Schwerpunkte werden auf die Planung von Schraubstationen übertragen und exemplarisch umgesetzt.

Am Beispiel der Schraubtechnik werden alle wesentlichen Komponenten definiert, mit ihren Daten und zugehörigen Planungsregeln erarbeitet und in einer für Rechneranwendungen geeigneten Form aufbereitet. Weiter werden als Zielobjekt und Basis der vorgestellten Planungsmethode parametrisierbare Standardlösungen von Schraubstationen entwickelt.

Aus den Ergebnissen der bewerteten Strukturanalyse und den erarbeiteten Planungsgrundlagen wird die technologisch orientierte Planungsmethode zur rechnergestützten Konzeption von Schraubstationen entwickelt. Bestandteil der Methode sind Rechnerprogramme, mit deren Einsatz die praktische Anwendung der Methode dokumentiert wird. Abschließend werden Möglichkeiten zur Einbindung der vorgeschlagenen Methode und der beschriebenen Hilfsmittel in eine vorhandene Planungsumgebung aufgezeigt.

## 2. Methoden der Montageplanung

### 2.1 Konventionelle Planungsweise

Ausschlaggebend für die Betrachtung der Planungsweisen ist zunächst die Einordnung in den gesamten Fertigungsbetrieb. Geht man von dem, im Bild 2.1 dargestellten Schema aus, kann die Montageplanung als mehrstufiger eigener Produktionsprozeß betrachtet werden. Ziel und damit Produkt dieses Prozesses ist die geforderte Montagelinie (Station, Einheit, Gerät). Zur Betrachtung des Planungsprozesses läßt sich daher die Analogie auf einen vollständigen Produktionsprozeß anwenden.

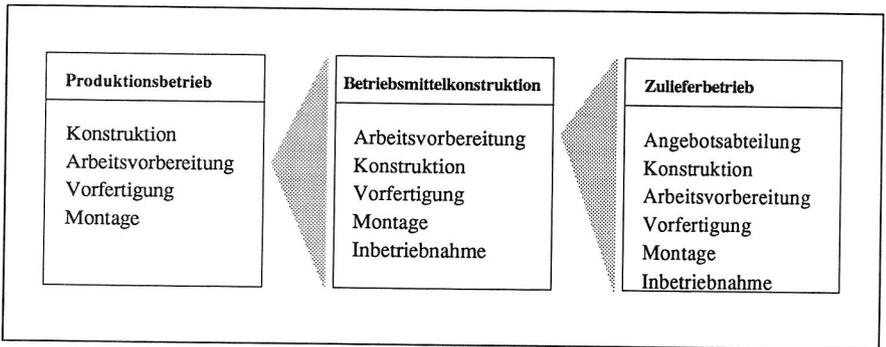


Bild 2.1: Industrielle Montageplanung

#### Planung im Produktionsbetrieb

Montageplanung im Produktionsbetrieb durchdringt als äußerst komplexer und vielfältiger Prozeß weite Bereiche des Betriebsablaufes. Je nach Organisation und Auslastung entstehen dabei unterschiedliche Strukturen. Häufig jedoch wird die Montageplanung nach folgendem Szenario ablaufen: Für mehrere Projekte wird eine laufende Vorplanung betrieben. Dabei spielen vor allem die Beziehung zur Produktkonstruktion (montagegerechte Produktgestaltung) und zur Marketingabteilung (Produktionsplanzahlen) eine wesentliche Rolle. Wird der Planungsauftrag fortgeführt, gibt es in der Regel einen eindeutigen Projektbezug (Produkt, Produktgruppe).

Nach Durchführung der Grobplanung werden dann die Beziehungen zu internen oder externen Zulieferern zum Hauptinhalt der Planungstätigkeit.

Der Ablauf herkömmlicher Planungstätigkeit läßt sich mit der Arbeit einer Konstruktionsabteilung für spezielle komplexe Produkte vergleichen. Der Planer konzipiert aus der Kombination vorhandener Planungsdaten (Kataloge, Zeichnungen, Prototypen, etc.) und Planungsregeln (Gesetze, Normen, Formeln, vor allem aber die eigene Erfahrung) ein Produkt (Montagelinie).

### **Planung im Zulieferbetrieb**

Betrachtet man die Planungsarbeit aus Sicht des Zulieferbetriebes, ergeben sich neben dem grundsätzlich ähnlichen Schema doch einige Besonderheiten. Insbesondere die Komplexität der vergebenen Komponenten ist immer geringer als die Planung der Gesamtanlage. Daher liegen beim Zulieferbetrieb die Schwerpunkte weniger auf der Struktur, Organisation oder Personalplanung. Auch stehen wesentliche Eckdaten der zu erarbeitenden Komponente durch Pflichtenhefte oder Anfragen des Auftraggebers bereits fest.

Dennoch sind auf der Ebene einzelner Stationen vergleichbare Planungstätigkeiten durchzuführen. Auch hier werden als Bestandteil der Angebotsphase Vor- und Grobplanungsarbeiten durchgeführt. Dieser Bereich bildet einen ersten Schwerpunkt der Planungsarbeit von Zulieferbetrieben, während ein Rückwirken auf die montagegerechte Produktgestaltung oft kaum noch möglich ist. Weitere Schwerpunkte bilden dann Arbeiten aus dem Feinplanungsbereich, vor allem Konzeptions- und Konstruktions-, Programmier- und Inbetriebnahmearbeiten.

Häufig ist Planungsarbeit bei Zulieferern technologiebezogen. Sie eignet sich daher besonders zur Anwendung technologisch orientierter Planungsweisen. Faßt man die gesamte Angebotsphase der Zulieferbetriebe als Bestandteil der Planungsarbeit auf [30], überwiegen die zeitlichen Anteile der bei Zulieferern durchgeführten Arbeiten in vielen Fällen den zeitlichen Anteil des Produktionsbetriebes.

## 2.2 Rechnergestützte Planungsweisen

### CAD - Systeme

Zur Unterstützung der Planungsarbeit in Unternehmen werden bereits Rechnerhilfsmittel für einzelne Aufgaben eingesetzt [25,56,62,73,80]. Auch aus den laufenden wissenschaftlichen Arbeiten entwickeln sich weitere Planungswerkzeuge. Ausgehend von bekannten Softwaresystemen werden Lösungen auf die speziellen Aufgaben der Montageplanung adaptiert. Grundlage verschiedener Anwendungen und Hauptplanungswerkzeug sind Systeme zur rechnergestützten Konstruktion. Dies folgt unmittelbar aus der Analogie zur Produktkonstruktion (siehe 2.1).

Hierbei hat die Entwicklung der Mikroelektronik und besonders von Speicherbausteinen die Einsatzmöglichkeiten erheblich erweitert. So steht heute eine breite Palette von Systemen zur Auswahl, die auf die jeweilige Aufgabenstellung zugeschnitten werden können. Dabei sind drei grundsätzliche Konfigurationsmöglichkeiten zu unterscheiden. Insbesondere die fortschreitende Standardisierung im Bereich der UNIX-Workstationrechner und die gestiegene Leistungsfähigkeit von PC-Systemen hat, neben etablierten HOST-Systemen, eine kostengünstige Lösung für kleinere Anwendungen, wie den Einsatz in der Montageplanung ermöglicht.

Anwendung finden CAD-Systeme in Standardfunktionen wie der Konstruktion von Montageautomaten, Verkettungseinrichtungen und Vorrichtungen, aber auch beim Erstellen von Hallen-, Versorgungs- oder Schaltplänen. Darüberhinaus sind CAD-Systeme Basis einer Reihe von Planungsprogrammen zur Bewegungssimulation von Handhabungsgeräten, zur Erstellung und Optimierung von Layouts, zur Ermittlung von Montagereihenfolgen, zur Materialflußplanung und weiteren graphisch orientierten Aufgaben [59,87]. Die im CAD-System vorhandene Produktdatenstruktur ist Ausgangsbasis weiterer Planungswerkzeuge, deren Einsatz sich jedoch noch häufig in der Erprobungsphase befindet.

Das Planungssystem FMS [6] ist ein derartiges Hilfsmittel zur Konstruktion flexibler Montagesysteme mit einigen zusätzlichen Funktionen (Taktzeitabschätzung, Roboterprogrammierung). Basis

ist ein industrieüblicher Personalcomputer mit Standard CAD-Software. Abgestimmt auf eine spezielle Gerätestruktur können interaktiv, in einer Art Variantenprogrammierung, Montagesysteme und Transportanlagen flexibel geplant und konstruiert werden. Trotz der weitgehend standardisierten Komponenten werden mit diesem System noch 270.000 Varianten mit mehr als 1.500.000 Werten bearbeitet. Als möglicher Rationalisierungseffekt werden projektbezogene Einsparungen bis zu 60% genannt.

Das Programmpaket CADLAS [83] ermöglicht auf Basis eines dreidimensionalen CAD-Systems die Erstellung der Groblayouts von Montagesystemen. Durch die rein interaktive Bedienungsweise wird der konventionelle Planungsvorgang durch die Darstellungsmöglichkeiten des CAD-Systems unterstützt. Anwendungserfahrungen liegen bislang nicht vor.

Weiterhin beschreibt FRIEDMANN [109] die Möglichkeit mit dreidimensionalen CAD-Systemen die Montagereihenfolge durch rechnergestütztes, interaktives Demontieren zu definieren. Zusätzlich werden aus den CAD-Daten eine Reihe weiterer Montageinformationen wie Fügeflächen, Freiflächen etc. entnommen. Das beschriebene System befindet sich in der Pilotphase.

### **Simulationssysteme**

Simulationssysteme ermöglichen die rechnergestützte Optimierung komplexer Anlagenkonzepte, aber auch die Beantwortung von Detailfragen, beispielsweise nach bestimmten Puffergrößen bereits in der Planungsphase [23]. Zur Simulation komplexer Anlagen sind eine Vielzahl von Daten in die Programmsysteme einzubringen. Die Integration in bestehende Planungshilfen (CAD, Datenbank) mit einer automatischen Datenübernahme ist noch nicht ausreichend verwirklicht. Trotz des relativ hohen Bedienungsaufwandes werden Simulationssysteme nutzbringend in der Planung von Montageanlagen eingesetzt.

So ermöglicht das Simulationssystem SIMU eine Grobsimulation verketteter Montagestrukturen. Fragen nach der Pufferdimensionierung, Gesamtnutzungsgraden oder einzelnen Stillstandszeiten kön-

nen beantwortet werden. SIMU basiert auf industrieüblichen Personalcomputern mit relativ bedienerfreundlicher Benutzeroberfläche und befindet sich im industriellen Einsatz [85]. Es muß insgesamt aber als isoliertes Hilfsmittel betrachtet werden, da eine Anbindung an CAD-Systeme oder Datenbanken nicht vorgesehen ist.

Wie im System SIMU sind Algorithmen zur Simulation komplexer Systeme Bestandteil weiterer umfassenderer Planungswerkzeuge [38,87]. Häufig fehlen jedoch zum effektiven Einsatz noch die notwendigen Eingangsdaten.

### **Expertensysteme**

Als aktuelles Planungshilfsmittel werden zunehmend Expertensysteme entwickelt [110]. Sie ermöglichen die erfolgversprechende Abbildung des realen, hoch komplexen und flexiblen Planungsprozesses. Basis dieser Systeme ist das in Regeln und Daten hinterlegte Planungswissen, das mit den Mechanismen der künstlichen Intelligenz zur Konfiguration von Montagesystemen verarbeitet wird.

So beschreibt HEMBERGER [38] das System MOPLAN zur Grobplanung von Montagesystemen. MOPLAN ist gekoppelt an eine CAD-Basis und integriert wesentliche Planungsaufgaben der Grobplanung, wie Festlegen der Struktur, Abtaktung, Gerätevorauswahl, Simulation und die Erstellung von Groblayouts mit zugehörigen Kenndaten. Die Einsatzgrenzen liegen hier wie bei vielen anderen Systemen im noch immer unzureichend zugänglichen und schlecht strukturierten Planungswissen (Daten und Regeln).

### **Datenbanken**

Für nahezu alle angesprochenen Hilfsmittel sind die zu verarbeitenden Daten oder Regeln wesentliche Ausgangsbasis. Der Einsatz von Datenbanken als Verwaltungshilfsmittel für diese Wissensbestände ist die unmittelbare Konsequenz. Datenbanken werden dabei zur integrierenden Funktion unterschiedlichster Planungshilfsmittel. Die noch geringe Verbreitung von Datenbanken in technischen Anwendungen liegt nach SCHOLZ [88] vor allem am aufwendigen Da-

tenbankentwurf, unkomfortablen Managementsystem und nicht zuletzt wieder an unsystematisch und unvollständig vorliegenden Datenbeständen.

Trotz der zahlreichen Einsatzhemmnisse stellen Datenbanken ein wesentliches Hilfsmittel bei der Planung von Montagesystemen dar. Dies gilt auch für die vorzustellende technologisch orientierte Planungsmethode, bei der der Datenaustausch sämtlicher Rechnerprogramme über Datenbankmechanismen erfolgt.

### **2.3 Technologisch orientierte Planungsweisen**

Gemeinsames Problem der bisher beschriebenen Hilfsmittel ist die große Komplexität des gesamten Montageplanungsprozesses. Dies drückt sich besonders in der Vielfalt der Daten und Regeln aber auch in daraus resultierenden Strukturen aus. Diese oft technologieabhängigen Strukturen erfordern einen erheblich höheren Beschreibungsaufwand als beispielsweise bei spanenden Bearbeitungsverfahren [12].

Diese Ausgangssituation macht deutlich, daß die Rationalisierungsbemühungen in der Montageplanung sich nicht allein auf die Weiterentwicklung von Rechnerhardware und allgemeinen Planungshilfsmitteln stützen dürfen. Parallel zu den erweiterten Möglichkeiten der rechnergestützten Montageplanung muß das Wissen über Montagetechnologien und -prozesse weiterentwickelt und in einer für die genannten Hilfsmittel zugänglichen Form aufbereitet werden. Dieser Forderung wird nun in aktuellen wissenschaftlichen Arbeiten verstärkt Rechnung getragen und ist auch Zielvorstellung der vorliegenden Arbeit.

### **Montage von Klips- und Steckverbindungen**

So schlägt RIESE [82] eine spezielle, technologisch ausgeprägte Methodik zur Planung von automatischen Montageanlagen mit Industrierobotern für Schnellbefestigungselemente vor. Dabei wird im wesentlichen die eingesetzte Konstruktionsmethodik als Planungsinstrument auf Montagezellen übertragen. Die möglichen Varianten

werden dann mit einer Nutzwertanalyse auf eine sinnvoll testbare Anzahl reduziert. Diese verbleibenden Strukturen werden mit umfassenden Untersuchungen optimiert.

Schwerpunkt der Methode liegt im Bereich der Betriebsmittelkonstruktion. Vorgeschlagen und exemplarisch ausgeführt wird eine vierstufige Vorgehensweise mit **Abgrenzen, Konzipieren, Entwerfen** und **Ausarbeiten**. Für die Technologie des **Federnden Einspreizens** aus dem Bereich der Fügetechnik "Zusammensetzen" werden alle notwendigen Planungsdaten ermittelt und bereitgestellt. Die nachfolgende Nutzwertanalyse bewertet vor allem auch die Erfüllung einiger zentraler Planungsregeln. Mit den Ergebnissen der Nutzwertanalyse wird auf eine konkrete Lösung reduziert.

Die direkte Weiterverarbeitung der Planungsdaten auf rechnergestützten Planungssystemen ist nicht vorgesehen. Weiterhin ist die Konfiguration der gesamten Montagestation durch die Festlegung auf Roboterontage in der vorgestellten Methodik nicht berücksichtigt.

### **Kabelbaummontage**

Weiter gefaßt ist der Planungsansatz von REINHART [81], der für die Herstellung von Kabelbäumen eine durchgängige Methode beginnend bei der Konstruktion über die Fertigung zur Montage vorstellt. Schwerpunkte sind dabei die Analyse des Istzustandes mit der montagegerechten Produktgestaltung, Entwicklung einer Standardlösung, die Generierung zugehöriger Steuerprogramme, Kostenrechnungsverfahren sowie der Bezug aller Teilfunktionen auf eine gemeinsame Datenbasis.

Die Integration in vorhandene CIM-Strukturen ist hier Bestandteil der Methode. Basiskomponenten wie CAD-, CAM- und CAP-Systeme sind Bestandteil der eingesetzten Rechnerhilfsmittel. Der Datenaustausch erfolgt über genormte Schnittstellen wie IGES, VDAFS, SET, ESP, PDDI. Die Hardwareumgebung basiert auf leistungsstarken, vernetzten Mini- und Workstationrechnern. Trotz des umfassenden Ansatzes zu einem durchgängigen Datenmodell bei der Herstellung von Kabelbäumen ist der Einsatz von Datenbanksystemen zur Verwal-

tung und Pflege dieser Daten nicht vorgesehen. Das Modell beinhaltet jedoch zahlreiche technologisch relevante Daten und Planungsregeln. Dabei wurde eine umfassende Darstellung der gesamten Technologie, in einer auf die Verarbeitung in Rechneranlagen geeigneten Weise erreicht.

Zielgruppe der Methode ist vor allem die Automobilindustrie. Andere Bereiche wie etwa die Schaltschrankverdrahtung oder die Verkabelung auf Leiterplatten in der Elektroindustrie sind ausdrücklich ausgenommen. Als angestrebte Standardlösung steht auch bei dieser Methode eine flexible Robotermontagezelle im Mittelpunkt.

### **Montage biegeschlaffer Teile**

Die Montage biegeschlaffer Teile, wie beispielsweise Elastomerdichtungsprofile an PKW-Türen, stellt eine weitere technologisch spezifische Aufgabe dar. Schwerpunkt der Entwicklung rechnergestützter Methoden zur Konzeption geeigneter Montagezellen liegt in der konkreten Planung der Fügeprozesse. Methoden der Finiten Elemente in Verbindung mit Prozeßuntersuchungen sind Grundlage dieser Hilfsmittel.

DIESS [13] faßt diese Vorgehensweise in einem Planungsmodell zusammen. Der Prozeß ist darin Ausgangspunkt und zugleich Kern der gesamten Planungsaktivitäten. Aus den ermittelten Prozeßparametern werden Planungshilfsmittel zur Optimierung von Produkt und Produktion abgeleitet. Diese Rechenverfahren erfordern jedoch eine sehr hohe Rechnerleistung und gute Systemkenntnis.

### 3. Technologisch orientierte Strukturanalyse der Planungsaufgaben

Planung besteht aus dem systematischen Suchen und Festlegen von Zielen sowie dem Vorbereiten von Aufgaben, deren Durchführung für das Erreichen der festgelegten Ziele erforderlich ist. Ziel technisch orientierter Planung ist, ausgehend von einer vorgegebenen Aufgabe, durch zunehmende Detaillierung des Planungsobjekts eine Lösung zu erarbeiten [69].

Aus der Definition ergeben sich zwei Hauptbereiche der Planung, die **Zielplanung**, auch als strategische Planung bezeichnet und die **Aufgabenplanung**. Die Zielplanung legt die allgemeinen Ziele der Planungsmaßnahmen, wie wirtschaftliche, personalbezogene oder organisatorische Projekte fest. Die Aufgabenplanung beantwortet die Frage "wie" sich die festgelegten Ziele erreichen lassen.

Die Aufgabenplanung setzt sich aus den Teilbereichen "Mittelplanung" zur Klärung des Bedarfs an Personal-, Betriebs-, Material- und Informationsmitteln sowie der Ablaufplanung zur Bestimmung des organisatorischen Ablaufs zusammen.

Bei der Planung komplexer betrieblicher Zusammenhänge, wie der Neu- oder Umplanung von Montageanlagen, wird das Abarbeiten einzelner Planungsschritte in etwa nach der 6-Stufen-Methode [69] verlaufen. In der **Problempphase** werden die Ziele der vorliegenden Planungsaufgabe definiert. In der **Datenphase** werden die zugehörigen Informationen gesucht. In der **Entwicklungsphase** werden mögliche Lösungen erarbeitet. In der **Bewertungsphase** werden die gefundenen Lösungen bewertet. In der **Auswahlphase** wird die am besten bewertete Lösung ausgewählt und in der **Kontrollphase** wird noch einmal ein Soll-Ist-Vergleich mit den ursprünglich gesetzten Zielen durchgeführt.

Die einzelnen Aufgaben im Bereich der Planung von Montageanlagen sollen nun etwas näher betrachtet werden. Dabei sind die Einzelaufgaben den drei Hauptphasen, Vor-, Grob- und Feinplanung zugeordnet. Als Basis aller Planungstätigkeiten dienen Informationen und Daten, die daher gesondert herausgehoben werden.

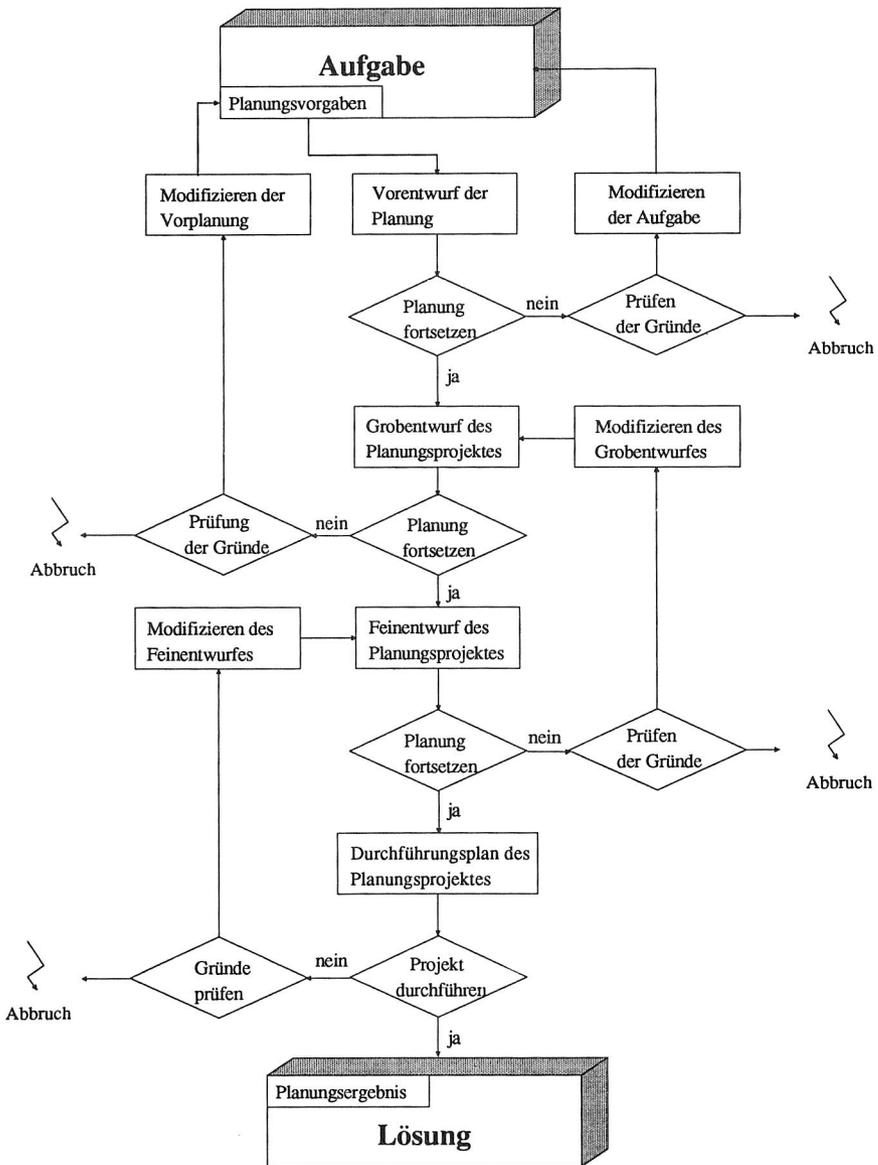


Bild 3.1: Schematisierter Planungsablauf

Das bisher bekannte Planungsmodell wird bei der Darstellung der Informationsflüsse und Einzeldaten um das Kriterium der **technologischen Relevanz: "tR"** erweitert. Die bei der Planung von Montageanlagen auftretenden Daten werden in vier Stufen bewertet:

tR = 0 : Diese Einzelinformation weist keine spezifischen Merkmale bezüglich der Montagetechnologie auf. Die Relevanz der eingesetzten Montagetechnik ist somit gleich 0.

tR = 1 : Diese Informationen weisen keine ausgeprägten technologischen Merkmale auf, können jedoch technologische Spezifikationen enthalten, oder auf spätere technologisch relevante Informationen rückwirken.

tR = 2 : Derart bewertete Einzelinformationen hängen direkt von der zugehörigen Montagetechnologie ab.

tR = 3 : Diese Einzeldaten sind Bestandteil spezieller technologischer Anforderungen und nur in Zusammenhang mit der jeweiligen Montagetechnologie zu verwenden.

Direkt bezogen ist die technologische Relevanz auf die Durchführung der Planungsarbeit. Sie läßt sich aber, ohne zusätzliche Gewichtung auch auf die spätere technische Ausprägung des Montagesystems übertragen. Diese Bewertung wird von dem Einzeldatum, über ganze Informationsblöcke auch auf die betroffenen Planungsaufgaben übernommen. Die Verwendung dieser Einstufung ermöglicht die Erweiterung der allgemeinen Planungssystematik auf ein technologisch orientiertes Planungsmodell einschließlich der zugehörigen Lösungsfindung.

Als Modellrandbedingung ist noch einmal die Einschränkung auf das Produktspektrum der Feinwerktechnik, Elektrofeinmechanik und Elektronikmontage zu nennen. Daraus ergeben sich einige wesentliche Eigenschaften:

- begrenzte geometrische Abmaße
- begrenzte Produktmasse
- hohe Variantenvielfalt
- hoher Montageanteil der Produktion

- kurze Taktzeiten
- hohe Produktivität

Ausgangspunkt aller Tätigkeiten der Montageplanung ist das zu montierende Produkt (Produktspektrum), mit seinen Eigenschaften und Funktionen. Die oben aufgeführten Eigenschaften beeinflussen daher den gesamten Planungsbereich.

### 3.1 Aufgaben der Planung

#### 3.1.1 Aufgaben der Vorplanung

In der Vorplanung werden Zielsetzung, Randbedingungen und Istpotential definiert und alle weiteren planungsrelevanten Daten der Montageaufgabe zusammengetragen. Die notwendigen Montagevorgänge mit den zugehörigen Vorgangsfolgen werden bestimmt. Durch die Strukturierung relevanter Produkte werden Montagefamilien gebildet. Eine erste Beurteilung von Automatisierbarkeit und Wirtschaftlichkeit beendet diesen Planungsabschnitt. Die Aufgaben sind in sechs Hauptblöcken zusammengefaßt.

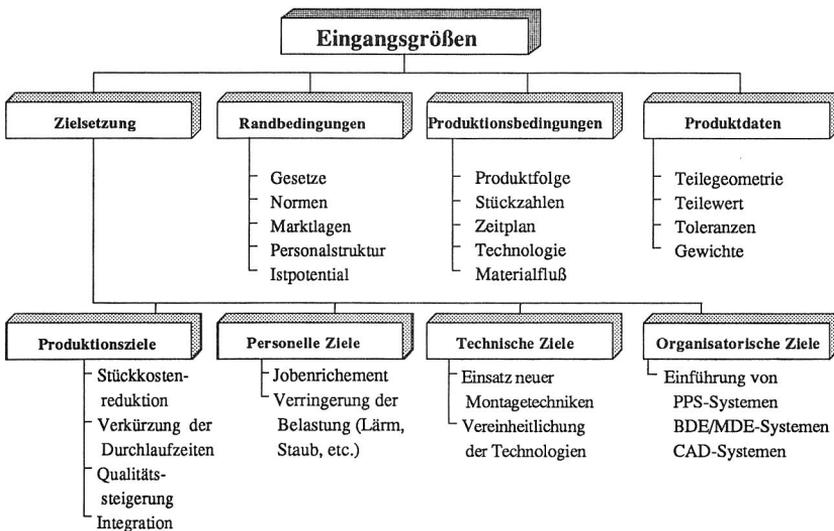


Bild 3.2: Eingangsgrößen der Vorplanung

## **I Bestimmung der Eingangsgrößen**

Wesentliche Eingangsgrößen der Vorplanung zeigt Bild 3.2. Die angegebenen Planungsdaten variieren mit der Art der Planungsaufgabe (z.B.: Neu- oder Umplanung), bestimmen aber stets in maßgeblicher Weise den Verlauf des gesamten Planungsvorgangs.

## **II Bestimmung der Ablaufstruktur**

### **Bildung von Produktgruppen**

Um den Planungsaufwand zu begrenzen, wird bei breitgefächerten Produktspektren die Vorplanung auf planungsrepräsentative Erzeugnisse beschränkt. Als Verfahren werden dabei unter anderem die **Clusteranalyse** oder **ABC-Analyse** eingesetzt. Maßgebliche Kriterien sind Art und Anzahl der Einzelteile, Art und Häufigkeit der Montagetechnologie, Stückzahl etc. Die Abstimmung auf alle Varianten des Produktspektrums erfolgt häufig erst in der Feinplanung.

### **Bestimmung der Teilverrichtung**

Die Art der Teilverrichtung ergibt sich aus Zeichnung, Stückliste oder Arbeitsanweisung und wird nach DIN 8593 in fünf Gruppen gegliedert. Eine feinere Gliederung ist in diesem Planungsstadium normalerweise nicht erforderlich. Die Reihenfolgebeziehungen werden ebenfalls in grober Auflösung bestimmt [22,66] und lassen sich beispielsweise mit einem Vorranggraph darstellen.

### **Bestimmung der Arbeitswerte**

Die Bestimmung der Arbeitswerte dient der Lohnfindung für Montagetätigkeiten. Dabei werden Anforderungen wie Fachkönnen, Belastung, Verantwortung, Umweltbelastung etc. bewertet [10].

## **Bestimmung der Vorgabezeiten**

Die Abschätzung von Vorgabezeiten ist in dieser Planungsphase von großer Bedeutung. Dabei kommen die bekannten Möglichkeiten

- Schätzen und Vergleichen
- Systeme vorbestimmter Zeiten
- Einflußgrößenrechnung

im niedrigen Detaillierungsgrad der Vorplanung zum Einsatz [67].

## **Weitere Kenndaten**

Neben den obengenannten grundsätzlichen Montagekenndaten sind eine Reihe von weiteren Kenndaten, in der Regel für montagetechnische Besonderheiten zu bestimmen:

- spezielle Technologieanforderungen
- kostenintensive Sonderverfahren
- Unverträglichkeitsbedingungen
- Umweltbelastungen

\*

## **III Definition von Baugruppen**

Ausgangspunkt der Definition von Montagebaugruppen ist die Erzeugnisgliederung in Konstruktionsbaugruppen. Häufig erfordern besondere Anforderungen der Montage wie:

- vergleichbarer Kapazitätsbedarf
- Zusammenfassung gleicher Technologien
- Trennung unverträglicher Prozesse
- Trennung variantenneutraler von variantenspezifischen Teilen

\*

eine gesonderte Festlegung der Montagegruppen [19].

## **IV Bildung von Montagefamilien**

Die Montagefamilie faßt Montagebaugruppen wieder nach bestimmten Funktionen zusammen [19]. Durch die Bildung von Montagefamilien können unter anderem erreicht werden:

- Realisierung höherer Organisationsformen
- Einsparung von Rüstzeiten
- effektivere Nutzung der Betriebsmittel
- einfachere Arbeitsplanung
- \*
- \*

## **V Beurteilung der Automatisierbarkeit**

Entscheidend für die Beurteilung der Automatisierbarkeit ist die Ausprägung der einzelnen Teilverrichtung. Kann die Beurteilung einzelner Elemente nicht ausreichend genau vorgenommen werden, muß die Verrichtung in weitere Vorgangselemente zergliedert werden. Einige grundlegende Beurteilungskriterien in dieser Planungsphase sind:

- Fügeart
- Fügelage
- Platz für Werkzeuge
- Einzelteilbereitstellung
- Fertigungsqualität

Zweckmäßigerweise wird dabei auf der untersten Ebene der Baugruppen begonnen, da sich die Ergebnisse dann häufig auf ähnliche Baugruppen innerhalb der Familie übertragen lassen.

An dieser Stelle im Planungsablauf ist auch die Anbindung zur montagegerechten Produktgestaltung zu sehen. Aus der Beurteilung der Automatisierbarkeit lassen sich oft unmittelbare Forderungen an die Produktgestaltung ableiten. Zahlreiche Beispiele für die Integration von Konstruktion und Produktionsplanung sind in unterschiedlicher Ausprägung gegeben worden [18,19].

Nach der Beurteilung einzelner Baugruppen oder Teilverrichtungen werden Abschnitte mit gleichen Automatisierungsmöglichkeiten gebildet. Unter Berücksichtigung der Reihenfolgebedingungen und der technischen Realisierbarkeit können erste Konturen einzelner Montagestationen gebildet werden.

## **VI Abschätzung der Wirtschaftlichkeit**

Die abgestimmten Montagestationen ermöglichen im Verlauf eine erste Beurteilung von Kostendaten und damit der Abschätzung der Wirtschaftlichkeit. Mit den bekannten Verfahren der statischen und dynamischen Wirtschaftlichkeitsrechnung [101] können zunächst einzelne Montagestationen und damit alternative Montagestrukturen beurteilt werden.

Für die optimale Lösung werden eine Reihe von wirtschaftlichen Kenndaten wie Interner Zins, Amortisationszeit oder Marginalrendite als Ergebnis der Vorplanung bestimmt.

Mit diesen Kennzahlen kann die weitere Planung im Stadium der Grobplanung fortgeführt, mit Modifikationen an den Eingangsgrößen die Vorplanung erneut aufgenommen oder abgebrochen werden.

### **3.1.2 Aufgaben der Grobplanung**

Gekennzeichnet ist die Phase der Grobplanung durch die

- Komplexität
- Einmaligkeit
- Entscheidungsfindung mit unvollständigen und qualitativen Eingangsgrößen
- Geringe Verbreitung rechnergestützter Hilfsmittel

Auf Basis der in der Vorplanung entstandenen Daten werden hier die Strukturen des Montagesystems erarbeitet. Die Einzelaufgaben sind in fünf Blöcken zusammengefaßt.

## **I Bestimmung der Prozeßstruktur**

Der Montageprozeß ist der nach bestimmten Gesetzmäßigkeiten ablaufende Fortgang aller, zum Zusammenbau von Produkten erforderlicher Tätigkeiten. Er wird durch Montageablauf- und Prozeßstruktur bestimmt. Die Ablaufstruktur wird bereits in der Vorplanung festgelegt, die Prozeßstruktur entsteht aus der Gliederung in Montageebenen und Montagephasen [19,61]. Montageebenen bezeichnen die Montage von Baugruppen (Unterbaugruppe, Baugruppe, Hauptbau-

gruppe). Innerhalb dieser Ebenen werden jeweils die **Montagephasen** Vor-, Haupt- und Nachmontage durchlaufen.

Grundlage der Strukturierung ist die Taktzeit, die sich aus den Produktionsvorgaben zur effektiven Arbeitszeit sowie der Sollstückzahl ermitteln läßt. Daraus ergibt sich eine erste Aufteilung in parallele Verrichtungen.

## **II Gliederung in Teilsysteme**

Die Gliederung in Teilsysteme (Montagebereiche) ist in hohem Maße von der Forderung nach Integration in vorhandene Strukturen abhängig, der Spielraum für mögliche Lösungen deutlich eingegrenzt. Die Abgrenzung einzelner Bereiche kann nach folgenden Aspekten vorgenommen werden:

- Produkt
- Materialfluß
- Qualifikation
- Betriebsmittel
- Prozeßstruktur

## **III Bestimmung der Organisationsform**

Nach der Bereichsbildung liegen Inhalt und Umfang der Aufgaben eines Teilsystems fest. Im weiteren ist jetzt das Organisationsprinzip festzulegen. Neben den Reinformen Objekt- und Verrichtungszentralisation, kommt es häufig zu gemischten Prinzipien. Mit der Detaillierung der Prinzipien kommt man auf die vier möglichen Organisationsformen Baustellenmontage, Gruppenmontage, Taktstraße und kombinierte Fließmontage [10].

## **IV Erstellung der Groblayouts**

Aus der Stationsverteilung der Vorplanung und der bestimmten Organisationsform ergeben sich als wesentliches Ergebnis der Grobplanung alternative Groblayouts. Dabei werden folgende Informationen erarbeitet:

- Grundriß mit wichtigen Abmaßen
- Boden- und Deckenbelastungen
- Maschinenanordnung
- Transportwege
- Transporteinrichtungen
- Lager
- Versorgungsanschlüsse
- \*
- \*

## **V Bewertung der Lösungen**

Die Bewertung der gefundenen Lösungen erfolgt mit technischen und wirtschaftlichen Vergleichsrechnungen. Die entsprechenden Verfahren sind von Warnecke ausführlich dargestellt [101].

- Aufstellung von Zielkriterien
- Nutzwertanalyse
- Wirtschaftlichkeitsrechnung
- Auswahl

Basis der Bewertung ist die Spiegelung der Lösungsalternativen an Zielkriterien. Neben der Formulierung von Zielen werden die einzelnen Zielkriterien gewichtet. Dazu werden von Löhr [54] geeignete Verfahren vorgeschlagen. Die Auswahl der optimalen Lösung kann aus der Kombination der Ergebnisse von Nutzwertanalyse [111] und Wirtschaftlichkeitsrechnung ermittelt werden. Ergibt sich kein klares Optimum, kann es auch zur Feinplanung der zwei besten Alternativen kommen.

### **3.1.3 Aufgaben der Feinplanung**

In der Feinplanungsphase wird ausgehend vom Grobentwurf der optimale Montageablauf bestimmt. Dazu gehören die Aufteilung der teilsystemspezifischen Arbeitsvolumen auf Stationen (Abtaktung), die Festlegung der Verkettungsbedingungen, die Personaleinsatzplanung sowie die exakte Auswahl und Anordnung der Betriebsmittel. Diese Teilaufgaben sind in neun Hauptblöcke gegliedert.

## **I Festlegung des Montageablaufs**

Aufgabe dieses Planungsabschnittes ist die Bestimmung von Anzahl und Aufgabeninhalt der benötigten Montagestationen je Teilsystem, die Entwicklung der Stationsanordnung, die Planung des Personaleinsatzes sowie die Verkettungsbedingungen.

### **Aufteilung der Aufgabeninhalte**

Ziel dieser Aufteilung ist es, den Differenzbetrag zwischen der Summe der Vorgabezeiten pro Station und der Taktzeit des Montagesystems zu minimieren. Zur Lösung dieser Problematik sind verschiedene mathematische Verfahren vorgestellt worden [66]. Grundsätzlich lassen sich dabei empirische, exakte und heuristische Verfahren unterscheiden.

### **Personaleinsatzplanung**

Bei der Personaleinsatzplanung ist zunächst die überwiegend manuelle Montage zu betrachten. Dabei werden je nach Organisationsform fixe und variable Arbeitsplätze unterschieden [107]. Die Einsatzplanung umfaßt insbesondere die Bestimmung notwendiger Kapazitäten, Qualifikationen sowie der Einsatzstrategie. Bei automatisierten Montageanlagen sind häufig mehrere Stationen von einer Person zu betreuen. Daraus ergeben sich geänderte Anforderungen an die Einsatzstrategien und die Qualifikation des Bedienpersonals.

### **Definition der Arbeitsinhalte**

Der Arbeitsinhalt umfaßt die konkrete Aufgabe mit Umfeldaufgaben und Ausführungsbedingungen [10]. Er wird im Montageplan zusammengefaßt.

## **Feinlayout**

Mit den definierten Stationen und dem exakten Montageplan kann das vorhandene Groblayout verfeinert werden. Dabei kommt eine große Vielfalt möglicher Anordnungen, meist in kombinierter Form zum Einsatz. Auch die Anordnung der Betriebsmittel innerhalb einzelner Stationen wird bei der Erstellung der Feinlayouts vorgenommen.

## **Verkettungsbedingungen**

Die Verkettungsbedingungen sind entscheidend für die Flexibilität, Störungsempfindlichkeit und letztlich auch für die Gesamtausbringung des Montagesystems. Dabei ist der Einsatz starrer oder loser Einrichtungen, Puffer und deren Dimensionierung zu planen. Insbesondere bei der Pufferdimensionierung werden Simulationsprogramme als Entscheidungshilfsmittel eingesetzt [85].

## **Systemoptimierung und Auswahl**

Die Analyse der bisher erarbeiteten Kennwerte ermöglicht die Optimierung der alternativen Lösungen bzw. die Auswahl einzelner Teillösungen. An dieser Stelle des Planungsablaufs kann, bei unbefriedigenden Zwischenlösungen nocheinmal ein Rücksprung in die Grobplanung erfolgen. Andernfalls wird die Planung mit den erarbeiteten Unterlagen mit der Betriebsmittelkonstruktion und der Personalplanung fortgesetzt.

## **II Materialbereitstellung**

Mit den Ergebnissen aus der Festlegung des Montageablaufs, der Organisationsform, des Produktionsprogrammes, der Monatspläne, der Stücklisten, der Teilverrichtungslisten, der Layouts etc. kann die Materialbereitstellung durchgeplant werden.

## **Materialbereitstellungsstrategie**

Die Materialbereitstellungsstrategie umfaßt den Plan für die Bereitstellung alles benötigten Materials (Werk-, Hilfs- und Betriebsstoffe) in der richtigen Menge, zur richtigen Zeit, am richtigen Ort. Dafür gibt es drei grundsätzliche Strategietypen:

- verbrauchsgesteuerte/auftragsbezogene Bereitstellung
- bedarfsgesteuerte/auftragsbezogene Bereitstellung
- verbrauchsgesteuerte/auftragsneutrale Bereitstellung

Eine detaillierte Erläuterung der Begriffe enthält BULLINGER [10] und die VDI-Norm 3590.

## **Verkettungsmittel und Puffer**

Je nach Anwendungsfall ist die mechanische Ausprägung der Verkettungsmittel und Puffer zu bestimmen. Bei der Auswahl geeigneter Puffer sind unter anderem die Ordnung der Objekte, Werkstückeigenschaften, Werkstückverhalten und Losgröße von ausschlaggebender Bedeutung. Auch hier stehen bewertete Element-Kataloge zur Verfügung. Ebenfalls in diesem Planungsabschnitt ist die Entscheidung für oder gegen Werkstückträger zu treffen, die in direktem Zusammenhang mit der Puffer- und Verkettungsmittelausprägung zu sehen ist.

## **III Konzeption der Montagestationen**

Die bereits definierten Montagestationen sind hier detailliert zu konstruieren. Dabei gelten als Vorgehensweise übliche Konstruktionsrichtlinien [4]. Insbesondere ist die Auswahl technisch geeigneter Betriebsmittel sowie deren Anordnung zu treffen.

## **Entwicklung technischer Lösungen**

Aus den vorhandenen Unterlagen (Montagepläne, Vorranggraphen, Verrichtungslisten etc.) sind wesentliche Konstruktionsparameter zu entnehmen. Weitere Hilfsmittel sind Kataloge und technische

Unterlagen von Komponenten- und Systemherstellern. Dabei sind je nach Automatisierungsgrad verschiedene Komponenten zu bestimmen und zu verknüpfen.

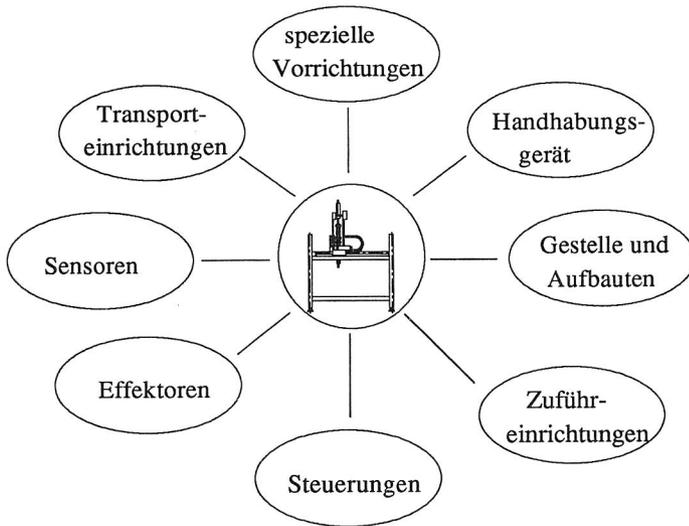


Bild 3.3: Komponenten von Montagestationen

### Lösungsauswahl

Die Auswahl geeigneter Komponenten in Einzelbereichen sowie die Berücksichtigung der Integrationsbedingungen ist eine der Kernfunktionen der Feinplanung von Montagesystemen [47]. In diesem Bereich stehen kaum geeignete Hilfsmittel zur Verfügung [17,36]. Neben den reinen technischen Anforderungen sind eine Reihe weiterer Kriterien zu berücksichtigen:

- Investitionskosten
- Wartungs- und Reparaturkosten
- Ausfallkosten
- Personalkosten
- Umrüstaufwand
- Zuverlässigkeit
- Beanspruchung des Bedienpersonals
- Umweltbelastung
- Qualität
- Transportierbarkeit
- Energieversorgung

- Steuerungsaufwand
- Mengenleistung
- Einsatzhäufigkeit
- \*
- \*

### **Lagersysteme**

Lagersysteme sind neben Montagestationen integraler Bestandteil von kompletten Montagesystemen. Die mechanische Ausprägung wird bestimmt durch Eigenschaften des Lagerguts, der Lagerausführung und der Lagerorganisation. Beurteilungskennzahlen sind der Flächennutzungsgrad, der Raumnutzungsgrad, der Lagernutzungsgrad oder die Zugriffszeit [19].

### **Anordnung**

Nach der Bestimmung der technischen Ausrüstung muß in Anlehnung an das vorhandene Layout die Anordnung unter Überarbeitung der Vorgabezeiten exakt festgelegt werden.

## **IV Betriebsmittelplanung**

Nach der Festlegung der technischen Lösungen ist die Planung der notwendigen Betriebsmittel in folgenden Schritten durchzuführen:

- Betriebsmittelbedarf
- Betriebsmittelbeschaffung
- Betriebsmittelenwicklung
- Betriebsmitteleinsatz
- Betriebsmittelinstandhaltung

## **V Personalplanung**

Die Personalplanung in der Feinplanungsphase ermittelt den qualitativen, quantitativen, zeitlichen und örtlichen Personalbedarf und bereitet die Beschaffung, Entwicklung, den Einsatz und die Freistellung des ermittelten Bedarfs vor. Daraus ergeben sich vier wesentliche Aufgabenbereiche:

Personalbedarf  
Personalbeschaffung  
Personalentwicklung  
Personaleinsatz

## **VI Materialplanung**

Die Materialplanung umfaßt die Bedarfs- und Bestandsplanung aller Roh- und Hilfsstoffe sowie sämtlicher Zulieferteile in zwei Funktionen:

Materialbedarfsplanung  
Materialbestandsplanung

## **VII Steuerungskonzept**

Von zunehmender Bedeutung ist die exakte Auslegung des gesamten Steuerungskonzeptes. Dabei sind neben operativen auch organisatorische Funktionen zu planen. Ausgehend von der beschriebenen Funktionalität erfolgt die Festlegung geeigneter Hard- und Software. Auch in diesem Bereich gibt es bislang kaum geeignete rechnergestützte Hilfsmittel.

## **VIII Überprüfung der Ergebnisse**

Zum Abschluß der Feinplanung sind die ermittelten Kennwerte noch einmal den vorgegebenen Plandaten gegenüberzustellen. Insbesondere sind Ausbringung, Investitionsschwerpunkte und Wirtschaftlichkeit nochmals nachzuweisen. Sind keine ausreichenden Planungsergebnisse erreicht worden, ist der Abbruch der gesamten Planung noch möglich.

## **IX Vollzugsplanung**

Die Vollzugsplanung bereitet das Umsetzen der Gesamtplanung vor, verteilt die Aufgaben und die Verantwortung für deren Durchführung. Hilfsmittel sind erstellte Termin- und Kostenpläne, die mit Netzplantechniken überwacht werden können.

Auch die anschließenden Projektphasen Inbetriebnahme, Anlauf und Optimierung sind Bestandteil der Vollzugsplanung. Die abschließende vollständige Dokumentation des Gesamtsystems beendet die Planung eines Montagesystems.

### **3.2 Informationen in der Montageplanung**

Die bestehenden Informationsflüsse stehen in direktem Zusammenhang mit der Reihenfolge der einzelnen Planungsaufgaben. Die Ausführung eines bestimmten Planungsschrittes kann erst erfolgen, wenn alle notwendigen Informationen vorliegen. Daraus lassen sich eine zwingende Planungsfolge, aber auch die Freiheitsgrade des Planungsablaufes ableiten.

#### **3.2.1 Darstellung der Daten- und Informationsstruktur**

Um die Darstellung der Reihenfolgebeziehung und der Informationsflüsse selbst in einer geeigneten graphischen Form darzustellen, wird ein, an das elementare Bewertungschema (EBS) [7] angelehntes Konzept eingesetzt.

Ein EBS ist ein formales Mittel zur Beschreibung der Struktur von Rechenanlagen oder Algorithmen mit dem Ziel vorhandene Abläufe und Beziehungen von Teilprozessen deutlich zu machen. Das EBS setzt sich zusammen aus:

- einer endlichen Menge von Speicherzellen (die Menge auftretender Informationen)
- einer endlichen Menge von Operatoren (die Menge anfallender Planungsaufgaben)
- dem Datenflußplan und Reihenfolgegraph

Der Datenflußplan ist ein gerichteter Graph bei dem Knoten den Planungsaufgaben (Operatoren) und Informationen (Speicherzellen) entsprechen. Die Kanten von Speicherzellen zu Operatoren kennzeichnen die Speicherzelle als Eingangsgröße, Kanten von Operatoren zu Speicherzellen als Ausgangsgröße.

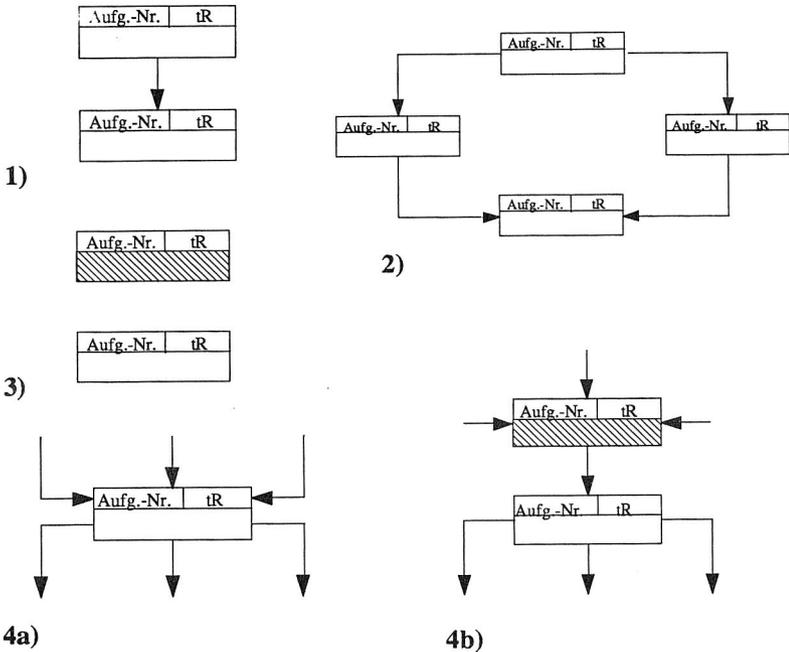


Bild 3.4: Graphische Beschreibung von Standardsituationen (I)

- 1: Die gerichtete Kante zwischen zwei Operatoren definiert die Vorgänger/Nachfolger Beziehung.
- 2: Mehrere aus einem Operator auslaufende Kanten beschreiben ihn als Vorgänger beider nachfolgender Operatoren. Zwischen beiden Nachfolgern besteht keine direkte Folgebeziehung. Mehrere, in einen Operator einlaufende Kanten beschreiben alle vorgeschalteten Operatoren als Voraussetzung für die Aktivierung.
- 3: Die markierte Darstellung unterscheidet echte Operatoren (Aufgaben) von Metaoperatoren (Sammelbegriffe). Zusätzlich ist die technologische Relevanz der einzelnen Operatoren in der rechten oberen Ecke des Symbols (Rechteck) noch einmal hervorgehoben.
- 4: Mit Metaoperatoren verringert sich die Anzahl der Kanten pro Operator deutlich. (4a -> 4b)

Im Reihenfolgegraphen werden zu den Operatoren, "META-Operatoren" eingeführt, die einem Sammelbegriff untergliederter Planungsaufgaben entsprechen. Diese Metaoperatoren entsprechen keinem realen Vorgang, sondern der Zusammenführung von Informationen zu Beginn neuer Hauptabschnitte. Damit läßt sich die Kantenzahl ohne logische Verletzung reduzieren und die Übersichtlichkeit deutlich verbessern.

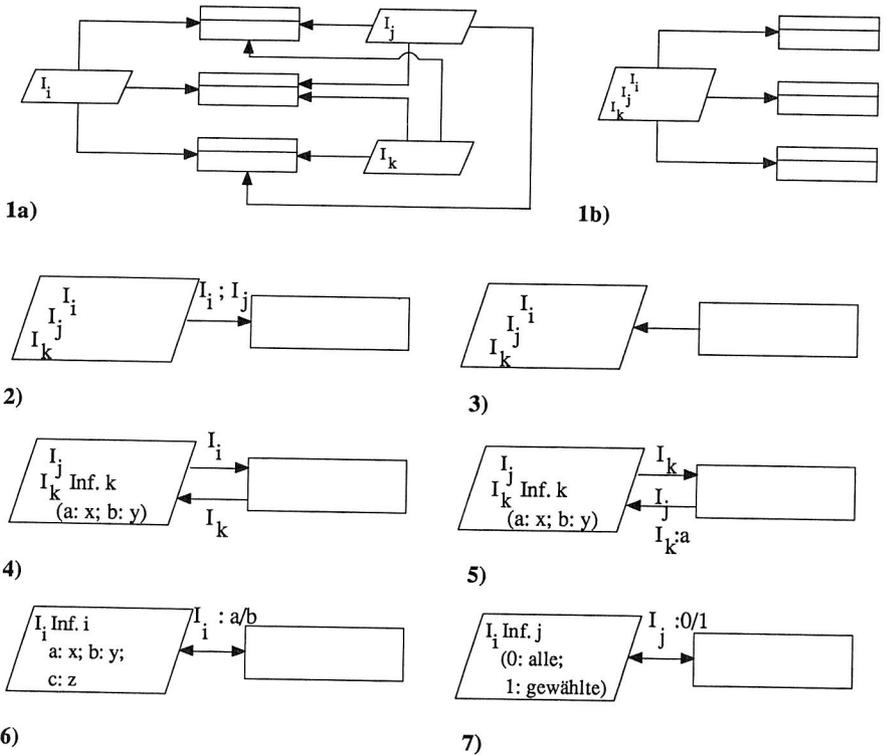


Bild 3.5: Graphische Beschreibung von Standardsituationen (II)

- 1: Wird eine Vielzahl von Daten in einem Operator genutzt, können diese in einem Parallelogramm zusammengefaßt werden. (1a -> 1b)
- 2: Um die Information über verwendete Einzeldaten nicht zu verlieren, werden die entsprechenden Kanten markiert.
- 3: Werden alle Einzeldaten verarbeitet, wird die entsprechende Kante nicht gesondert beschriftet.
- 4: Bei nicht unterteilbarer Information wird die Bezeichnung der Gesamtinformation angegeben.
- 5: Bei Verwendung einer Untermenge wird zusätzlich deren explizite Bezeichnung angegeben.
- 6: Bei zweiseitigen Kanten kann die Information durch neue Einzeldaten ergänzt werden.
- 7: Zweiseitige Kanten beschreiben auch Auswahlprozesse durch Angabe des ausgewählten Einzeldatums.

Bild 3.5 zeigt die graphische Beschreibung von Standardsituationen im Datenflußgraphen. Operatoren sind als Rechteck, Speicherzellen als Parallelogramm gezeichnet. Dabei ist nicht mehr jedes Einzeldatum dargestellt. Metaoperatoren werden nicht verwendet.

Weiterhin sind in allen Darstellungen technologisch relevante ( $tR > 1$ ) Daten und Planungsschritte hervorgehoben. Eine umfassende Darstellung der Informationsstruktur aller Planungsphasen ist Bestandteil der Arbeit.

### **Datentypen:**

Übersichtsmatrix:

I : Eingangsdatum (Input)  
O : Ausgangsdatum (Output)  
E : Ergänzung des Datums  
U : Auswahl einer Alternative (Update)

Datenflußgraph:

BG : Baugruppe  
BM : Betriebsmittel  
WZ : Werkzeug

Informationsnamen:

$I_j$  : Eingabegrößen  
 $R_k$  : Randbedingungen  
 $H_l$  : Hilfsmittel  
 $Z_m$  : Zwischengrößen  
 $O_n$  : Ausgabegrößen

### **3.2.2 Technologische Relevanz der Daten**

Im folgenden werden alle definierten Datentypen auf ihre technologische Relevanz (nach der festgelegten Definition) untersucht. Zu einzelnen Daten sind, zur besseren Veranschaulichung, Beispiele aus dem Bereich der Schraubtechnologie angegeben.

## Eingabegrößen I<sub>j</sub>

- mit j = 1 : Zielsetzung des Unternehmens  
a: organisationsspezifische Zielsetzungen  
b: produktionsspezifische Zielsetzungen  
c: personalspezifische Zielsetzungen  
= 2 : Erzeugnisdokumentation aus der Konstruktion  
0/1 a: Zeichnungen (CAD-Daten)  
b: Stücklisten  
c: Musterteile  
d: Arbeitsanweisungen  
0: Dokumentation aller Typen und Varianten  
1: Dokumentation planungsrepräsentativer Erzeugnisse  
= 3 : Produktionsprogramm  
= 4 : Produktpflichtenheft

Tabelle 3.1: Planungseingangsgrößen

- I 1 : Zielsetzung des Unternehmens tR = 1
- a: tR = 0  
b: tR = 1

**Bem :** Als Unternehmenszielsetzung kann die Neueinführung oder Weiterentwicklung bestimmter Produktionstechniken formuliert werden. Der technologiebezogene Einfluß auf nachfolgende Planungsvorgänge ist damit gegeben.

**Beispiel:** Unternehmensziel ist die Mechanisierung der Montage von Schraubverbindungen auf 80% zu erhöhen.

c: tR = 0

**Bem:** Der Aufbau personalgebundener technologischer Erfahrung als Unternehmensziel ist vorstellbar, hat auf die technologisch orientierte Planung jedoch keine Auswirkung.

I 2 : Erzeugnisdokumentation

tR = 1

a: tR = 1

**Bem:** Zeichnungen oder CAD-Daten können technologische Spezifikationen enthalten.

**Beispiel:** Angabe der Vorspannkraft zu einzelnen Schraubverbindungen in der Zeichnung, aber auch als Attribut von CAD-Daten.

"Fv = 1000 N"

b: tR = 1

**Bem:** Stücklisten enthalten technologische Spezifikationen.

**Beispiel:** Angabe zu montierten Schrauben im Bemerkungsfeld.

"Gewindebolzen verzinkt"

c: tR = 0

**Bem:** Musterteile enthalten außer der Anschauung keine speziellen Merkmale der einzusetzenden Montagetechnologie.

d: tR = 0

I 3 : Produktionsprogramm

tR = 0

I 4 : Produktpflichtenheft

tR = 1

**Bem:** Aus der Beschreibung bestimmter Produktfunktionen im Pflichtenheft können technologische Anforderungen entstehen.

**Beispiel:** lt. Pflichtenheft sollen Kleinschütze mit aufgeschraubten Klemmlaschen ausgeliefert werden, daraus entstehen direkte Anforderungen an die Laufrichtung eingesetzter Schraubwerkzeuge.

"Linkslauf"

## Randbedingungen $R_k$

- mit  $k = 1$  : Fristenpläne
- = 2 : Investitionspläne
- = 3 : Kostenpläne
- = 4 : Hallen- und Baupläne
- = 5 : Betriebsmittelbestandsliste
- = 6 : Stellen- und Personaleinsatzpläne
- = 7 : Gesetze, Normen, Richtlinien, Verfahrensvorschriften

Tabelle 3.2: Planungsrandbedingungen

R 1 : Fristenpläne tR = 0

R 2 : Investitionspläne tR = 0

**Bem:** Investitionspläne beziehen sich auf die Gesamtinvestition und betreffen daher spezielle Montagetechnologien kaum.

R 3 : Kostenpläne tR = 1

**Bem:** Kostenpläne können den Einsatz bestimmter Technologien beeinflussen. (Erzwingen bis Verhindern)

**Beispiel:** Die Verarbeitung spezieller, automatisierungsgerecht gestalteter Schrauben wird wegen der höheren Teilekosten durch einen engen Kostenplan verhindert.

R 4 : Hallen- und Baupläne tR = 1

**Bem:** Durch die enthaltenen räumlichen oder Gewichtseinschränkungen können eingesetzte Montagetechnologien beeinflusst werden.

**Beispiel:** Das laut Bauplan fehlende Druckluftnetz beeinflusst die Antriebs- und Zuführtechnologie von Schraubstationen.

R 5 : Betriebsmittelbestandsliste tR = 2

**Bem:** Betriebsmittelbestandslisten sind direkter Bestandteil eingesetzter Montagetechnologien.

**Beispiel:** Bestandslisten vorhandener Schraubwerkzeuge mit der Beschreibung wichtiger Einsatzkriterien (Drehmomentbereich, Genauigkeit) sind Entscheidungsgrundlage der Betriebsmittelauswahl.

R 6 : Stellen und Personaleinsatzpläne tR = 0

R 7 : Gesetze, Normen, Richtlinien tR = 2

**Bem:** Die Auswahl, vor allem aber die Ausprägung eingesetzter Montagetechnologien wird durch diese Randbedingungen direkt beeinflusst.

**Beispiel:** Ein neues Produkthaftungsgesetz erfordert den Einsatz von Schraubsystemen mit vollständiger Drehmoment-, Drehwinkeldokumentation.

### Hilfsgrößen $H_1$

- mit 1 = 1 : Informationen aus der Fertigung
  - a: Qualitätsschwankungen
  - b: Teilebereitstellung
  - c: Toleranzen
- = 2 : Vergangenheitswerte
  - a: Arbeitswerte
  - b: Vorgabezeiten
  - bzw. Ergebnisse früherer Planungen
- = 3 : Standardzeitwertkataloge
- = 4 : Kalkulationsunterlagen
- = 5 : Kostenartentabellen
- = 6 : langfristige Störungsanalysen
- = 7 : Prioritätsregeln zur Zuweisung von Montagevorgängen zu Stationen
- = 8 : Checklisten für die Arbeitsplatzgestaltung
- = 9 : Relativkostenkataloge, Herstellerkataloge
- =10 : Handhabungsversuchsergebnisse
- =11 : Absatz- und Produktionspläne
- =12 : Lagerstatistiken, Prognosen, Verwendungsnachweise
- =13 : Untersuchung von Personalberatungsgesellschaften oder Branchenvereinigungen

Tabelle 3.3: Planungshilfsgrößen

H 1 : Informationen aus der Fertigung tR = 1

a: tR = 1

**Bem:** Angaben zur Qualität der Vorfertigung können auf Spezifikationen der Montagetechnologie rückwirken.

**Beispiel:** Qualitätsmängel bei der Gewindefertigung am Bauteil erfordern spezielle Überwachung der Einschraubtiefe.

b: tR = 1

**Bem:** Die Art der Teilebereitstellung kann durch Angabe von Toleranzen, aufnehmbaren Momenten oder Kräften ebenfalls auf die Montagetechnologie rückwirken.

**Beispiel:** Die festgelegte maximale Axialkraft verhindert den Einsatz bestimmter Klingen, die hohe Axialkräfte in Bauteil und Werkstückträger erzeugen.

c: tR = 1

**Beispiel:** Hohe Maßabweichungen bei Bauteilen kann den Einsatz von Lochsensoren oder Vermessungssystemen erfordern.

H 2 : Vergangenheitswerte

tR = 2

a : tR = 2

**Bem:** Arbeitswerte beurteilen die körperliche Belastung bekannter Ausprägungen bestimmter Technologien.

**Beispiel:** Montage mit Schraubwerkzeugen in gerader Bauform führt zu höheren körperlichen Belastungen durch Rückdrehmomente.

b : tR = 2

**Bem:** Vorgabezeiten ergeben sich unmittelbar aus der Technologie.

**Beispiel:** Schrauberdrehzahl beeinflusst die Vorgabezeit der Montagestation.

H 3 : Standzeitwertkataloge

tR = 2

**Bem:** Standzeitwertkataloge enthalten Daten technologisch spezifischer Betriebsmittel.

**Beispiel:** Die Anzahl der Verschraubungen als Lebensdauerangabe von Schraubwerkzeugen.

H 4 : Kalkulationsunterlagen früherer Planungsperioden tR = 1

**Bem:** In den Unterlagen können Informationen über Betriebsmittel enthalten sein.

**Beispiel:** Energieverbrauch und Einschaltdauer bestimmter Schraubwerkzeuge.

H 5 : Kostenartentabellen tR = 0

H 6 : Ergebnisse langfristiger Störungsanalysen tR = 1

**Bem:** Störungen haben neben organisatorischen, vor allem technische Ursachen. Deren Analyse ist dann technologiebezogen.

**Beispiel:** Durch Langzeituntersuchungen von eingestellten Schraubparametern (Drehmoment) und erreichter Verschraubungsqualität lassen sich diese Einstellparameter verbessern.

H 7 : Prioritätsregeln für die Stationszuweisung tR = 1

**Beispiel:** Die Montage von Schrauben gleicher Durchmesser, verschiedener Längen ist besser auf einer Station als von gleichen Längen bei verschiedenen Durchmessern durchzuführen.

H 8 : Checklisten zur Arbeitsplatzgestaltung tR = 1

**Beispiel:** Beachtung der Aufnahme von Rückdrehmomenten.

H 9 : Kataloge tR = 3

**Bem:** Herstellerkataloge sind in der Ausprägung einzelner Daten direkt technologieabhängig.

**Beispiel:** Angabe der möglichen Einschraubmomente in Abhängigkeit von der Schraubfallhärte in Werkzeugkatalogen.

H 10 : Handhabungsversuche tR = 2

**Bem:** Entsprechende Versuche und deren Ergebnisse hängen in der Ausprägung der Einzeldaten von der untersuchten Technologie ab.

**Beispiel:** Erprobung der Zuführbarkeit neuer Schrauben im Vibrationswendelförderer.

H 11 : Absatz- und Produktionspläne tR = 1  
(siehe I 1b)

H 12 : Statistiken, Prognosen

tR = 0

H 13 : Untersuchungen von Personalberatungsfirmen

tR = 0

### Zwischengrößen $Z_m$

mit  $m = 1$  : Vorranggraph

0/1 0 : alle Typen und Varianten

1 : für planungsrelevante Erzeugnisse

= 2 : Teilverrichtungslisten

a: Bezeichnung der Teilverrichtung (Nummer)

b: textuelle Beschreibung der Teilverrichtung

c: Arbeitswert

d: Vorgabezeit

e: Kennzeichnung für Bindung an kapitalintensive Betriebsmittel

f: Kennzeichen für den Einbau schwergewichtiger Teile

g: Kennzeichen für den Einbau voluminöser Teile

h: Kennzeichen für Umweltbelastung (Lärm, Schmutz)

i: Kennzeichen für feinsensomotorische Verrichtungen

j: Kennzeichen für variantenspezifische Teile

k: mehr als ein Mitarbeiter zur Teilverrichtung nötig

l: Unverträglichkeit mit anderen Verrichtungen

m: Kennzeichen für Automatisierbarkeit

n: Kennzeichen für Automatikstation

o: Kennzeichen des einzusetzenden Betriebsmittels

Zusätzlich gelten für Pos. e-k : 0 : "aus"

1 : "ein"

l : 0 : keine Unverträglichkeit

1 : völlige Unverträglichkeit

2 : partielle Unverträglichkeit

m : 0 : manuell

1 : teilautomatisierbar

2 : automatisierbar

= 3 : Dokumentation der montageablauforientierten Erzeugnisgliederung

a: Stücklisten

b: Klassifizierung zu Montagefamilien

c: Kennzeichen für Vor/Endmontage

= 4 : Bewertungsgrößen je Alternative

a: Wirtschaftlichkeitskennzahlen

b: kritische Stückzahl

= 5 : Planungsfreigabe

= 6 : Prozeßstrukturierung

a: maximal zulässige Taktzeit

b: maximal zulässige Durchlaufzeit

= 7 : Kapazitätsbedarf des Teilsystems

= 8 : Kennzeichnung der Teilsysteme

a: Kennzeichen der Baugruppe

b: Kennzeichen der Organisationsform

mit 0 : Baustellenmontage

1 : Gruppenmontage

2 : Reihenmontage, etc.

- = 9 : Groblayout
  - 0: Für alle Alternativen
  - 1: Für die gewählte Alternative
- =10 : Beurteilung geldwertmäßig erfaßbarer Kriterien je Alternative
  - a: Zielkriterien und Gewichtung
  - b: Ausprägung je Kriterium
- =11 : Beurteilung geldwertmäßig nicht erfaßbarer Kriterien je Alternative
  - a: Zielkriterien und Gewichtung
  - b: Erfüllungsgrad je Kriterium
  - c: Nutzwert je Alternative
- =12 : Geschlossener Vorrangraph (i. d. Massenfertigung)
- =13 : Kennzeichnung der Station
  - a: Zuordnung zum Teilsystem
  - b: Aufgabeninhalt
  - c: Reihenfolgebeziehung
  - d: Kapazitätsbedarf
  - e: Reservekapazität
  - f: Taktzeiten
- =14 : Kennzeichnung der Arbeitsplätze
  - a: Stationszuordnung
  - b: Aufgabenumfang
  - c: Kennzeichen für fixen/variablen Arbeitsplatz (0/1)
  - d: Aufgabeninhalt
  - e: Umfeldaufgaben
  - f: Reservekapazität
- =15 : Dokumentation der Personaleinsatzstrategie
  - a: Indikatoren zum Arbeitsplatzwechsel
  - b: Rangfolge der Indikatoren
  - c: Kennzeichen des Wechsels
- =16 : Prinzipanordnungen
- =17 : Pufferdaten
  - a: Platzierung des Puffers
  - b: technische Ausführung
  - c: Dimensionierung
- =18 : technische Ausführung der Verkettungsmittel
- =19 : Materialbereitstellungsstrategie
  - a: Bereitstellungsform
    - 0 : komplett
    - 1 : synchron
    - 2 : Mischform
  - b: Bereitstellungsart
    - 0 : Holsystem
    - 1 : Bringsystem
  - c: Dispositionsform
    - 0 : losweise
    - 1 : losweise geordnet
    - 2 : kommissioniert
- =20 : Bewertung der Ablaufvariante
  - a: Auswertung des Produktmixes
  - b: Kapazitätsverteilung
  - c: Kapazitätsschwankungen
  - d: Störverhalten
- =21 : Spezifikation des Arbeitsablaufs
  - a: Zuordnung
  - b: Art und Zeitfolge der Teilverrichtung
  - c: Komponenten

- =22 : Grundlagen zur Bestimmung des Lösungsprinzips
  - a: Feinvorranggraph
  - b: Funktionsstruktur automatisierter Betriebsmittel
  - c: Funktionsplan von Automatikstationen
  - d: Morphologischer Kasten
  - e: Verträglichkeitsmatrix
- =23 : Technisches Lösungsprinzip
  - a: Kombination der Funktionsträger
  - b: Klassifizierung der Betriebsmittel
- =24 : Materialflußdarstellung
- =25 : Spezifikation der Transport- und Lagersysteme
  - a: Transportorganisation
    - 0 : Sternverkehr
    - 1 : Ringverkehr
    - 2 : Direktverkehr
  - b: technische Ausführung der Transportmittel
  - c: Lagerorganisation
  - d: technische Ausführung der Lager
  - e: Lagerdimensionierung
- =26 : Liste der Betriebsmittel
  - a: Bezeichnung
  - b: Zuordnung
  - c: Abmessungen
  - d: Leistungsdaten
  - e: Kennzeichen für Eigenfertigung/Fremdbezug
- =27 : Anforderungen an Personalplanung

Tabelle 3.4: Planungszwischengrößen

Z 1 : Vorranggraphen tR = 0

Z 2 : Teilverrichtungslisten tR = 2

- a : tR = 0
- b : tR = 1
- c : tR = 2 (siehe auch H 2a)
- d : tR = 2 (siehe auch H 2b)
- e - g : tR = 0
- h : tR = 1

**Beispiel:** Mögliche Umweltbelastung durch ölhaltige Abluft eingesetzt  
Schraubwerkzeuge)

i : tR = 1

**Beispiel:** Schrauben kleiner M3 werden von Hand gefügt.

j/k : tR = 0

l : tR = 2

**Bem:** Unverträglichkeiten ergeben sich häufig aus speziellen technischen Anforderungen.

m : tR = 2

**Beispiel:** Die Automatisierbarkeit hängt von der Zuführbarkeit einer speziellen Schraube mit Vibrationswendelförderer ab.

n : tR = 1

**Bem:** Die Kennzeichnung von Automatikstationen beeinflusst die Betriebsmittelauswahl.

o : tR = 3

**Bem:** Die Kennzeichnung der eingesetzten Betriebsmittel ist direkter Bestandteil von Montagetechnologien.

**Beispiel:** Schraubwerkzeug Nr. 12345, mit Klinge Nr. 67, eingestellt auf 3,25 Nm Anzugsmoment.

Z 3 : Dokumentation der Erzeugnisgliederung tR = 1

a : tR = 1 (siehe I 2b)

b : tR = 1

**Bem:** Die Klassifizierung zu Montagefamilien kann auch nach technologischen Gesichtspunkten erfolgen.

**Beispiel:** Alle Schütze mit Schrauben M4 bilden eine Familie.

c : tR = 0

Z 4 : Bewertungsgrößen tR = 0

Z 5 : Planungsfreigabe tR = 0

Z 6 : Daten für die Prozeßstrukturierung

tR = 2

a : tR = 2

**Bem:** Die maximal zulässige Taktzeit steht in direktem Zusammenhang mit dem Betriebsmittel (Technologie!).

**Beispiel:** Geringe Taktzeitvorgabe erfordert pneumatische, statt elektrischer Werkzeugantriebe.

b : tR = 1

**Bem:** Die kritische Stückzahl ist auf das Gesamtsystem bezogen, kann aber die Ausprägung oder die Anzahl einzelner Stationen betreffen.

**Beispiel:** Einsatz von parallel arbeitenden Werkzeugen.

Z 7 : Kapazitätsbedarf von Teilsystemen

tR = 0

Z 8 : Kennzeichnung der Teilsysteme

tR = 1

**Bem:** Teilsysteme können durch Zusammenfassung gleicher Techniken entstehen.

**Beispiel:** Montagesystem zum Verschrauben aller Kontaktflaschen bei Kleinschützen.

Z 9 : Groblayout

tR = 0

Z 10 : Geldmäßig erfaßbare Kriterien

tR = 0

Z 11 : Geldmäßig nicht erfaßbare Kriterien

tR = 1

**Bem:** Die Anwendung spezieller Montagetechnologien kann ein derartiges Kriterium sein.

**Beispiel:** Einführung von drehwinkelgesteuerten Anziehverfahren in 80% aller Stationen.

Z 12 : Vorranggraph

tR = 0

Z 13 : Kennzeichnung der Stationen

tR = 1

a : tR = 0

b : tR = 2

**Bem:** Der Aufgabeninhalt beschreibt in Teilen die eingesetzte Technologie

**Beispiel:** Anzug der Schraube M4 (Nr.2) mit einem Schwellmoment von 1 Nm und 60° Nachspannwinkel.

c : tR = 0

d : tR = 1

**Bem:** Der Kapazitätsbedarf beschreibt auch den technologieabhängigen Bedarf.

**Beispiel:** Station Nr.12 benötigt 60.000 Schrauben/Tag.

e : tR = 0

f : tR = 2 (siehe H 2b)

Z 14 : Kennzeichnung der Arbeitsplätze

tR = 1

a - c : tR = 0

d : tR = 2 (siehe Z 13b)

e : tR = 1

**Bem:** Umfeldaufgaben können von der am Arbeitsplatz eingesetzten Technologie abhängen.

**Beispiel:** Regelmäßige Kontrolle der Druckluftwartungseinheit für Schraubwerkzeuge.

f : tR = 0 (siehe Z 13e)

Z 15 : Personaleinsatzstrategie

tR = 0

Z 16 : Prinzipanordnungen

tR = 0

Z 17 : Pufferdaten

tR = 0

Z 18 : Technische Ausführung der Verkettungsmittel tR = 1  
(siehe H 1b)

Z 19 : Materialbereitstellungsstrategie tR = 0

Z 20 : Bewertung der Ablaufvariante tR = 1

a - c : tR = 0

d : tR = 1

**Bem:** Das Störverhalten hängt auch von einzelnen Arbeitsplätzen und damit der dort eingesetzten Montagetechnologie ab.

Z 21 : Spezifikation des Arbeitsablaufs tR = 2

a : tR = 0

b : tR = 2

**Beispiel:** "Schraube M4 fügen in Bohrung Nr.2"

c : tR = 2

**Beispiel:** "mit dem Schraubwerkzeug Nr.12345"

Z 22 : Bestimmung des Lösungsprinzips tR = 1

a : tR = 0

b : tR = 2

c : tR = 2

d : tR = 0

e : tR = 1

Z 23 : Technische Lösung der Station tR = 2

a : tR = 2

**Beispiel:** "Mundstück Nr.23 mit Schraubwerkzeug Nr. 12345 und Vibrationswendelförderer Nr.2 zur Schraubstation kombinieren."

b : tR = 2

Z 24 : Materialflußdiagramm tR = 0

Z 25 : Spezifikation von Transport- und Lagersystem tR = 0  
(a - c: tR = 0)

Z 26 : Liste eingesetzter Betriebsmittel tR = 2

a : tR = 0

b : tR = 1

**Bem:** Betriebsmittel werden Stationen, Arbeitsplätzen, aber auch Technologien zugeordnet.

c : tR = 1

d : tR = 3

**Bem:** Einzelne Leistungsdaten treten nur bei der entsprechenden Technologie auf.

**Beispiel:** Schraubwerkzeug leistet bei hartem Schraubfall 3 Nm.

e : tR = 0

Z 27 : Personalplanung tR = 0

### Ausgabegrößen $O_n$

- mit n = 1 : Vorschläge für konstruktive Änderungen
- = 2 : Standardisierungsvorschläge
- = 3 : Ausgabe der Planung des Montageablaufs
  - a: Arbeitsplatzbeschreibung
  - b: Kapazitätsbedarfspläne (stationsspezifisch)
  - c: Optimierungsmaßnahmen
- = 4 : Feinlayout
- = 5 : Optimierung der Produktkonstruktion
- = 6 : Pflichtenhefte für:
  - a: Betriebsmittel (Konstruktion, Beschaffung)
  - b: Betriebsmittel (Umbau)
- = 7 : Vorläufige Betriebsmitteleinsatzpläne
- = 8 : Wartungspläne, Ersatzteillisten
- = 9 : Personalbedarfspläne
- =10 : Pläne für Personalbeschaffung
- =11 : Stellenausschreibung
- =12 : Pläne für Aus- und Weiterbildungsmaßnahmen
- =13 : Pläne für Personalabbau
- =14 : Vorläufige Personaleinsatzpläne
- =15 : Lagerkennzahlen
- =16 : Materialbedarf

- =17 : Angaben zur Steuerung
  - a: Steuerungshierarchie
  - b: Kennzeichen für manuell/automatische Ausführung
  - c: Steuerungsstrategien
  - d: Pläne zur BDE/MDE
- =18 : Vorläufige Montagepläne
- =19 : Projektstrukturplan für den Systemaufbau

Tabelle 3.5: Planungsausgabegrößen

0 1 : Vorschläge für konstruktive Änderungen tR = 3

**Bem:** Vorschläge zu konstruktiven Änderungen sind meist Rückwirkungen der eingesetzten Montagetechnologie.

**Beispiel:** "Verwendung 4 gleicher Schrauben mit Kreuzschlitz als Kopfform, statt ....."

0 2 : Standardisierungsvorschläge tR = 1

**Bem:** Standardisierungsbemühungen sind Ziel jedweder Planungsarbeit, können aber in der konkreten Ausprägung von der jeweiligen Technologie abhängen.

**Beispiel:** "Verwendung von Standardschrauben nach DIN"

0 3 : Montageablauf tR = 1  
(siehe Z 13/14)

0 4 : Feinlayout tR = 1

**Bem:** Das Feinlayout enthält Anschlußdaten, die technologische Bezüge aufweisen.

**Beispiel:** Druckluftversorgung (1000 l/min) zur Versorgung von pneumatischen Werkzeugen und der automatischen Zuführung.

0 5 : Optimierung der Produktkonstruktion tR = 2

**Bem:** Macht der Konstruktion technologische Regeln verfügbar.

0 6 : Betriebsmittelpflichtenheft tR = 3

**Bem:** Diese Pflichtenhefte enthalten technische Daten, die nur bei der jeweiligen Technologie auftreten.

**Beispiel:** Drehmomentbereiche bei verschiedenen Schraubfällen.

O 7 : Betriebsmitteleinsatzpläne tR = 1

**Bem:** Setzen die Anforderungen der Pflichtenhefte in Ausführungsbestimmungen um.

**Beispiel:** Drehmomenteinstellwerte

O 8 : Wartungspläne und Ersatzteillisten tR = 2

**Bem:** Wartungspläne enthalten technologische Anweisungen.

**Beispiel:** "Drehmomenteinstellung korrigieren, nach 10.000 Verschraubungen."

O 9 : Personalbedarfspläne	tR = 0
O 10 : Pläne für Personalbeschaffung	tR = 0
O 11 : Stellenausschreibungen	tR = 0
O 12 : Pläne für Weiterbildungsmaßnahmen	tR = 0
O 13 : Pläne für Anpassung der Personalkapazität	tR = 0
O 14 : Personaleinsatzpläne	tR = 0
O 15 : Lagerkennzahlen	tR = 0
O 16 : Materialbedarf	tR = 0

O 17 : Angaben zum Steuerungssystem tR = 2

a: tR = 1

**Bem:** Die Zahl der Hierarchieebenen hängt von den technologischen Anforderungen der Station ab.

b : tR = 1

c : tR = 2

**Bem:** Störungsstrategien (von der Erkennung bis zur Beseitigung) sind stark von der Technologie abhängig.

d : tR = 2

e : tR = 1

O 18 : Montagepläne für den Arbeitsplatz tR = 2  
(siehe Z 14/21)

O 19 : Projektstrukturplan (Netzplan) tR = 0

Der Zusammenhang von technologisch bewerteten Einzeldaten und deren Verwendung in Planungsaufgaben kann in der folgenden Datenmatrix dargestellt werden.

Planungsabschnitt												
Technologische Relevanz	1	1	0	1	0	0	1	1	2	0	1	1
Daten	I	I	I	I	R	R	R	R	R	R	R	H
Teilaufgabe	1	2	3	4	1	2	1	2	3	4	5	1
1.1.1	I	-	A	-	-	-	-	-	-	-	-	E
1.1.2	-	O	E	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1.1.3	-	-	-	I	-	I	-	-	-	-	-	-

I: Eingangsdatum (Input)  
 O: Ausgangsdatum (Output)  
 E: Erweiterung  
 A: Auswahl

Bild 3.6: Datenmatrix zur Beschreibung des Planungsprozesses

Für die Hauptplanungsphasen werden die vollständig ausgefüllten Datenmatrizen zusammengestellt.

### 3.2.3 Bewertung des Planungsprozesses

#### Bewertung der Planungsdaten:

Die einzelnen Planungsdaten können nun zur Abschätzung ihrer Bedeutung während der Planungsarbeit nach ihrer Verwendungshäufigkeit bewertet werden. Ohne spezielle Gewichtung bezieht sich der Begriff der Bedeutung ausschließlich auf die Durchführung der Planungsarbeit.

$$\text{allg. Bedeutg.} = \sum_{i=1}^n (N_i * G_i)$$

mit: i = Nummer der Planungsaufgabe

N<sub>i</sub> = Verwendungshäufigkeit der Einzelinformation in der Planungsaufgabe i

G = Gewichtung der Planungsaufgabe (z.B.: nach Kostenrelevanz)

n = Anzahl der Planungsaufgaben

Zur allgemein gültigen, exemplarischen Bewertung werden keine zusätzlichen Gewichtungen vorgenommen (G = 1) und die Anzahl der Planungsaufgaben auf die beschriebenen 20 Hauptaufgaben festgelegt. Über die Anzahl der Planungsaufgaben läßt sich der Detaillierungsgrad der Analyse an die speziellen Anforderungen anpassen.

Zum Vergleich kann nun die technologische Relevanz der Einzeldaten miteinbezogen werden:

$$\text{techn. Bedeutg.} = \text{tR} \times \text{allg. Bedeutg.}$$

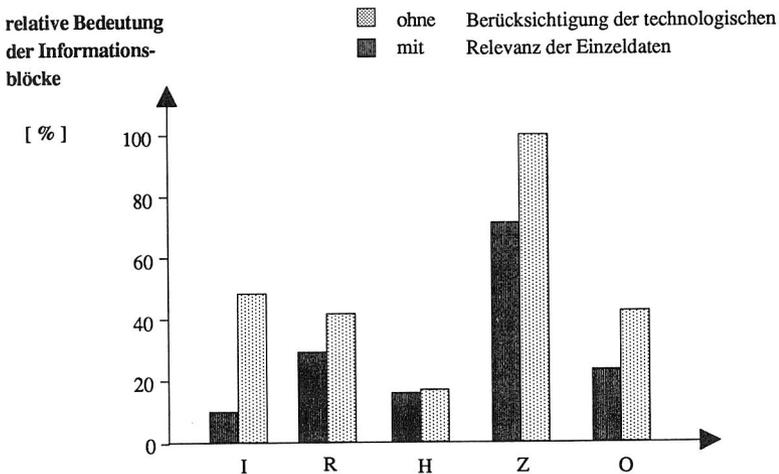


Bild 3.7: relative Bedeutung der Informationshauptblöcke

Damit kann die abweichende relative Bedeutung einzelner Planungsdaten deutlich gemacht werden. Die relative allgemeine Bedeutung wird der relativen technischen Bedeutung gegenübergestellt. Dabei wird die größere relative Bedeutung aller betriebsmittelbezogenen Daten (Pflichtenheft, Kataloge, Listen etc.) unter Berücksichtigung der technologisch orientierten Planungsweise sichtbar.

Faßt man diesen Vergleich auf die definierten Informationshauptblöcke zusammen und setzt die relative Bedeutung der Zwischengrößen mit 100% an, erkennt man, daß der Einfluß von Hilfsgrößen und Randbedingungen bei technologischer Planungsweise zunimmt.

### **Bedeutung der Planungsaufgaben:**

Die bisher angewandte Bewertungsmethode läßt sich auch auf definierte Planungsaufgaben übertragen. Dabei gilt dann:

$$\text{rel. allg. Bedeutg.} = G * \sum_j^m M_j$$

mit:  $M_j$  = Verwendungshäufigkeit des Planungsdatums  $j$

$j$  = Nummer des Planungsdatums

$m$  = Anzahl definierter Planungsdaten

Zur Ermittlung der relativen technologischen Bedeutung kann wieder die technologische Relevanz der Einzeldaten miteinbezogen werden:

$$\text{rel. techn. Bedeutg.} = G * \sum_j^m (M_j * t_{Rj})$$

mit :  $t_{Rj}$  = technologische Relevanz des Einzeldatums  $j$

Aus dem Vergleich der allgemeinen mit der technologischen Bedeutung läßt sich wieder eine Verschiebung des Planungsschwerpunktes erkennen. So wird beispielsweise die Planungsaufgabe "Betriebsmittelplanung" wesentlich stärker als das "Festlegen des Montage-

ablaufs" bewertet. Dazu wird eine vollständige Darstellung aller hier definierten Aufgaben erarbeitet.

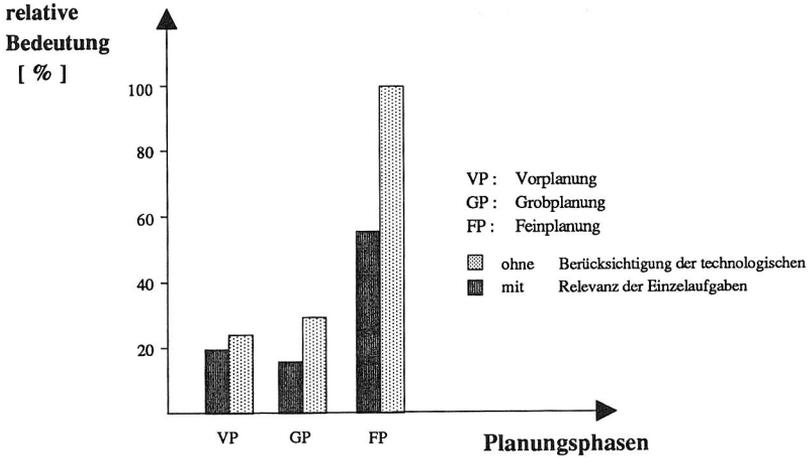


Bild 3.8: relative Bedeutung der Planungsphasen

Verdichtet man einzelne Planungsaufgaben zu den einzelnen Planungsphasen zeigt sich ebenfalls eine Verschiebung der relativen Bedeutung der Planungsphasen bei Berücksichtigung der technologischen Relevanz. Gegenüber der allgemeinen Bedeutung erhöht sich die Bedeutung der Vor- und Feinplanung gegenüber der Grobplanungsphase.

Deutlicher tritt die abweichende Bedeutung bei der Betrachtung einzelner Teilaufgaben oder Daten hervor. Als wesentliche Schwerpunkte technologisch orientierter Planungsweisen lassen sich die Betriebsmittelplanung in der Angebots- bzw. Definitionsphase (Vorplanung) [siehe auch: 39,71,90] und die Betriebsmittelkonstruktion (Feinplanung) erkennen.

### 3.3 Ableitung der Planungsschwerpunkte

Erste Schwerpunkte technologisch orientierter Montageplanung lassen sich mit der in 3.2.4 beschriebenen Bewertung gewinnen. Durch die vorgesehenen Gewichtungsfaktoren lassen sich auch die individuell notwendigen Anpassungen erreichen. Zur Festlegung der Gewichtung bestehen folgende Möglichkeiten:

#### 3.3.1 Analyse des Planungsaufwandes

Eine weitergehende Detaillierung der Gewichtungsfaktoren ermöglicht die Untersuchung des Planungsaufwandes. Die definierten Planungsaufgaben werden dabei mit Zeit- und Kostenfaktoren belegt. Die Ermittlung dieser Faktoren erfolgt über Fragebögen, Interviews oder spezielle Untersuchungen.

Aus den zeitbezogenen Bewertungen kann der Kostenbezug direkt abgeleitet werden. Häufig ist neben der Kostenreduktion vor allem auch die Verkürzung der Planungsdurchlaufzeiten Ziel von Rationalisierungsbemühungen. Dann sollte die Schwerpunktbildung zeitbezogen vorgenommen werden.

Projektname								
Tarifgruppe	1	2	3	4	5	6	7	AT
Aufgabennr.:								
1.1.1	-	-	20	-	-	-	-	20
1.1.2	-	-	-	-	50	-	-	-
1.1.3	-	-	-	-	-	10	-	-
1.1.4	-	-	-	-	-	-	-	-

Bild 3.9: Zeitbezogene Bewertung von Planungsaufgaben durch Eintrag benötigter Planungsstunden

### **3.3.2 Analyse eingesetzter Montagetechniken**

Zur Umsetzung der vorgestellten technologisch orientierten Planungsmethodik ist die Schwerpunktbildung auch auf eingesetzte Montagetechniken zu beziehen. Zur Bestimmung dieser Schwerpunkte sind zwei unterschiedliche Szenarien zu betrachten:

#### **A: Montageplanung beim Spezialisten**

Durch starke Belastung interner Abteilungen großer Montagewerke wird die Planung nur bis zur Grobplanung eigenständig durchgeführt. Sind danach einzelne Stationen mit wesentlichen Eckdaten (Vorgabezeiten, Grundfläche, Aufgabeninhalt etc.) festgelegt, wird die komplette Feinplanung an den jeweiligen Zulieferer gegeben. Für diesen Zulieferer ist der technologische Planungsschwerpunkt durch sein Produkt festgelegt. Sollen neue, technologisch orientierte Planungsmethoden eingesetzt werden, stellt sich die Frage nach dem Technologieschwerpunkt nicht mehr.

#### **B: Montageplanung beim Produzenten**

Soll dagegen die Planung vollständig beim Produzenten durchgeführt werden, bieten sich folgende Hilfsmittel zur technologischen Schwerpunktbildung an:

##### **Analyse der Produktstrukturen**

Hierbei werden alle zu montierenden Produkte nach eingesetzten Technologien spezifiziert. Dabei bieten sich die Definitionen der DIN 8593 als Ordnungsmerkmal und Zeichnungen oder Prototypen als Informationsträger an.

##### **Analyse der Montagepläne**

Stehen bei der Neuplanung von Montagelinien bereits Montagepläne zur Verfügung, oder lassen sich die Montagepläne ähnlicher Produkte heranziehen, kann die Verteilung der Montagetechniken auch aus dem Montageplan erarbeitet werden.

AP - Kopf						
Position	Arbeitsgang	DIN	Stückzahl	Vorgabezeit	Rüstzeit	Werkzeug
1	Bolzen fügen	-	500	0.40	10	17589
2	Mutter montieren	-	500	1.20	15	23897

Bild 3.10: Montagearbeitsplan

Ziel dieser Analysen ist eine Übersicht eingesetzter Technologien in der Montage. Diese Übersicht kann, je nach Aufgabenstellung produkt-, projekt-, abteilungs-, werks- oder konzernbezogen ermittelt werden.

### 3.3.3 Planungsschwerpunkte in der Schraubtechnik

Durch die weite Verbreitung der Schraubtechnik in der Montage, kommen bei der Planung von Schraubstationen häufig Spezialisten in oder außerhalb des Montagewerkes zum Einsatz. Die Voraussetzung für den Einsatz spezieller technologisch orientierter Planungsmethoden sind somit gegeben.

Beachtet man die Strukturanalyse des gesamten Planungsablaufs unter dem Blickwinkel der Planung von Schraubstationen, ergeben sich folgende Planungsschwerpunkte:

#### Vorplanung

In der **montagegerechten Produktgestaltung** sind eine Reihe von technologischen Bedingungen zu verwirklichen. Die entsprechenden Hilfsmittel benötigen Regeln zur Prüfung dieser Bedingungen. Die **Bestimmung der Vorgabezeiten** (II) erfordert bei Schraubverbindungen spezielle Algorithmen, die bereits in der Vorplanung zur möglichst exakten Abschätzung der Vorgabezeit herangezogen werden können. Bei der **Beurteilung der Automatisierbarkeit** (V) sind ebenfalls technologische Regeln zu prüfen. Auch hier kann mit

allgemein einsetzbaren Hilfsmitteln nur bei definierten, auf die Schraubtechnik abgestimmten Regeln, eine hinreichend genaue Aussage erreicht werden.

### **Grobplanung**

Wie bereits die bewertete Strukturanalyse zeigt (3.2.3) sind in der Grobplanung technologisch orientierte Planungsweisen nur von geringer Bedeutung. Hier werden überwiegend übergreifende Organisations-, Transport- und Lagerprobleme behandelt.

### **Feinplanung**

Sind die globalen Planungsaufgaben gelöst, beginnt die Detailarbeit an den Stationen. Insbesondere die Auslegung und Auswahl der Werkzeuge, des kinematischen Aufbaus, der Steuerung und Sensorik sind Aufgaben technologisch orientierter Planung. Ausgehend von diesen Schwerpunkten wird im weiteren Verlauf eine Methode zur rechnergestützten Konzeption von Schraubstationen vorgestellt.

## **3.4 Modell zur technologisch orientierten Montageplanung**

Faßt man die, durch Analyse von Planungsstruktur und -modellen gewonnenen Aussagen in einem theoretischen Abbild zusammen, läßt sich das Ergebnis in folgendem Modell darstellen. Der gesamte Planungsprozeß wird als dreidimensionaler Planungsraum, ohne Zeitbezug als der möglichen vierten Dimension, aufgefaßt. Der übliche Zusammenhang von Planungsaufgaben und dazu notwendigen Planungsinformationen (statische und dynamische Daten, Regeln) als zweidimensionale Darstellung wird um die zugehörige Technologie als dritte Dimension erweitert.

In diesem Planungsraum lassen sich nun drei sogenannte Scheiben definieren. Die **Aufgabenscheibe** enthält alle zu einer Aufgabe gehörenden Teilprozesse mit den zugehörigen Informationen über die auftretenden Technologien. Die **Datenscheibe** enthält Daten und Regeln einer Teilinformation für alle beteiligten Aufgaben und Technologien. Die **Technologiescheibe** schließlich beschreibt alle zu einer Montagetechnik gehörenden Aufgaben und Informationen.

Zu den definierten Scheiben lassen sich einzelne Planungshilfsmittel im Planungsraum einordnen. Die weitaus überwiegende Zahl rechnergestützter Planungshilfen bewegt sich in einzelnen oder Gruppen von Aufgabenscheiben. Dies gilt beispielsweise für Programme zur Layouterstellung, Abtaktung oder Wirtschaftlichkeitsberechnung. Sie durchdringen dabei auf Grund ihres flächenhaften Charakters nicht den gesamten Planungsraum.

Andere Hilfsmittel wie beispielsweise Datenbanksysteme sind weniger aufgaben-, als vielmehr datenbezogen. Sie erreichen jedoch wiederum nur flächigen Charakter, da technologische Spezifika in der Datenbankstruktur nicht ausreichend abgebildet werden.

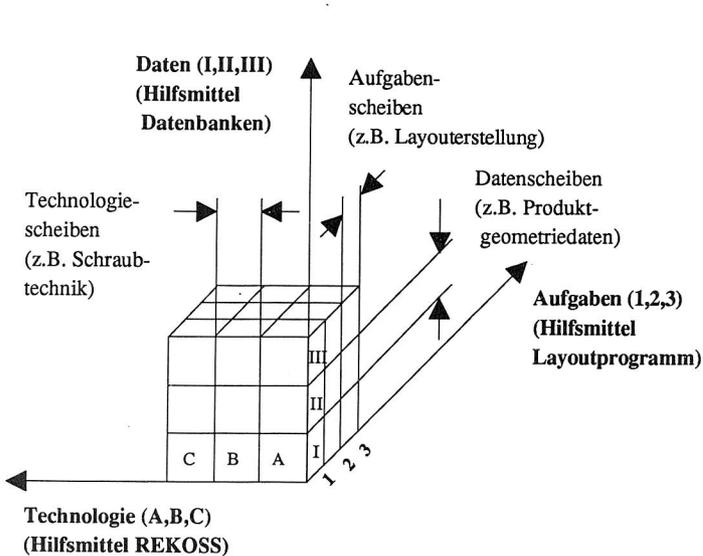


Bild 3.11: Planungsraum als Modell des Planungsprozesses

Damit läßt sich am modellhaften Planungsraum die Notwendigkeit technologisch orientierter Planungsmethoden erkennen. Nur mit einer Kombination aus technologischer Planungsweise, datenbezogenen Hilfsmitteln und aufgabenorientierten Rechenprogrammen kann der Planungsraum vollständig durchdrungen werden (Bild 3.11).

## 4. Automatische Montage von Schraubverbindungen

### 4.1 Schrauben als Montagetechnik

#### 4.4.1 Einsatzmöglichkeiten

Eingeordnet ist Schrauben als Fertigungsverfahren durch die DIN 8593 unter der Hauptgruppe Fügen. Das Fügen als Aufgabe der Produktion ist häufiger Bestandteil von Montageanlagen. Im Teil 0 der Norm werden die Fügetechnologien weiter aufgeteilt, unter anderem in die Gruppe An- und Einpressen. Diese umfangreiche Gruppe der Fügetechnologien gliedert Teil 3 der Norm weiter nach einzelnen Verfahren wie Klemmen, Klammern, Pressen und schließlich dem **Schrauben**.

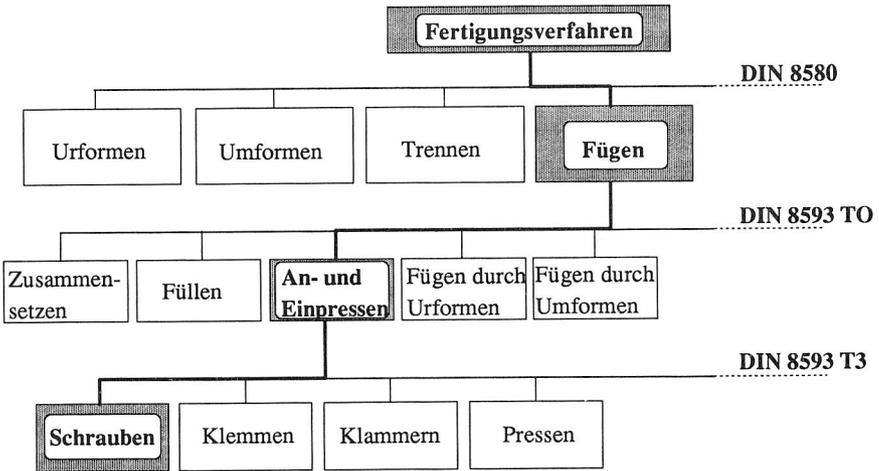


Bild 4.1: Schrauben als Fertigungsverfahren in der DIN - Norm

Wesentlich für die Stellung der Schraubtechnik gegenüber alternativen Verfahren sind wichtige Einsatzmerkmale. Bild 4.2 gibt einen Überblick über fünf exemplarische Verbindungsmöglichkeiten mit einer vergleichenden Bewertung entscheidender Merkmale.

	Nieten	Kleben	Schweißen	Form-schluß	Schrauben	
<b>Funktionsmerkmale</b>	Lösbarkeit	●	●	○	●	●
	Steifigkeit	●	●	●	●	●
	Dämpfung	●	○	○	●	●
	Belastungsvielfalt	○	●	●	○	●
	Zentrierfähigkeit	●	○	○	●	●
<b>Einsatzmerkmale</b>	Betriebssicherheit	●	●	●	●	●
	Überlastbarkeit	●	○	●	○	●
	Wiederverwendbarkeit	●	○	○	●	●
	Temperaturfestigkeit	●	●	●	●	●
	Korrosionsverhalten	○	○	○	○	○
	Inspektion	●	○	●	●	●
	Instandsetzung	●	○	●	○	●
<b>Montagemerkmale</b>	erreichbarer Automatisierungsgrad	●	●	●	●	●
	Verfügbarkeit autom. Anlagen	●	●	●	●	●
	Komplexität autom. Anlagen	●	●	●	●	●
	Kosten autom. Anlagen	●	○	●	●	●
	Qualitätssicherung	●	○	●	●	●

**Bewertung:**

- positiv
- neutral
- negativ

Bild 4.2: Vergleich alternativer Montagetechnologien

In der Summe der vorgestellten Merkmale spricht vor allem die Ausgewogenheit zu Gunsten der Schraubverbindung. Außer der für alle Alternativen negativ zu bewertenden Korrosionsgefahr (überwiegend Spaltkorrosion) ist kein weiteres Merkmal von Schraubverbindungen negativ zu beurteilen. Darüber hinaus sind in praktischen Anwendungen oft hoch bewertete funktionale Kriterien wie die Lösbarkeit oder die Überlastbarkeit der Verbindung für eine Auswahl entscheidend.

Diese Beurteilung führt, trotz aller Bemühungen Schraubverbindungen mit zusätzlichen Montageteilen nach Möglichkeit ganz zu vermeiden, zu einem nach wie vor hohen Verbreitungsgrad dieser Verbindungstechnik [99,102,109].

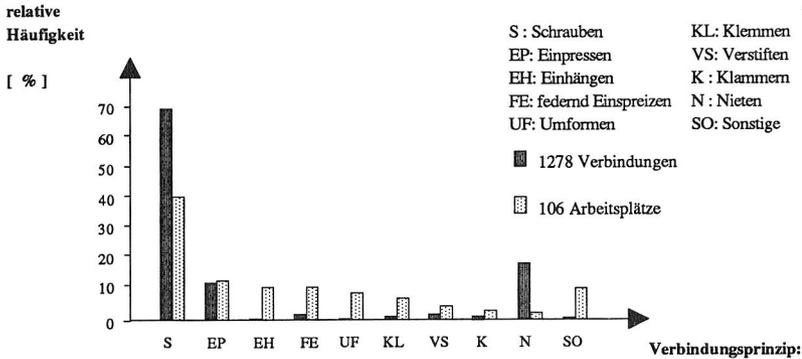


Bild 4.3: Einsatzhäufigkeit von Verbindungen nach Warnecke [99]

Bild 4.3 stellt Untersuchungsergebnisse verschiedener Erhebungen gegenüber. Je nach Branche oder Untersuchungsziel (Arbeitsplätze, Verbindungen etc.) entstehen dabei unterschiedliche quantitative Aussagen. Die herausragende Bedeutung der Schraubverbindung wird jedoch eindeutig bestätigt. Diese Aussage wird durch die Beobachtung der Marktsituation bei Herstellern von Montageanlagen verstärkt. So gibt es in Europa eine Reihe von Firmen, die sich mit der Planung und Produktion von Schraubanlagen beschäftigen. Diese Angebotsvielfalt kann man bei alternativen Montagetechnologien nicht in der gleichen Weise beobachten.

#### 4.1.2 Montagegerechte Produktgestaltung

Voraussetzung für den effektiven Einsatz von Schraubstationen ist die montagegerechte Gestaltung der Produkte [3,55]. Dabei gilt es als Beginn systematischer Montageplanung eine Reihe von Kriterien zu berücksichtigen. Diese Merkmale beziehen sich auf Struktur, Geometrie, Oberfläche, Abmessungen und Material des Produktes, der Verbindung selbst und der Verbindungselemente wie Schrauben, Muttern, Sicherungselemente etc. Zusätzlich müssen periphere

Bedingungen beachtet werden. Dazu werden Ansätze von MAIER [57] und GROSSBERNDT [33] erweitert und die zu bewertenden Merkmale in drei Kategorien gegliedert.

### **Produktspezifische Merkmale**

Stets muß bei der Erfüllung montagespezifischer Produktfunktionen die Auswirkung auf andere Funktionsbereiche beachtet werden. Andernfalls kann die Einsparung der Montagekosten beispielsweise durch einen Anstieg der Fertigungskosten weitgehend aufgezehrt oder gar überstiegen werden [2]. Wirkungsvolle Verbesserungen lassen sich durch Maßnahmen am Produkt selbst erreichen. Die drei Zielgruppen **Verringerung der Teilezahl, Vereinheitlichung von Einzelteilen** und **Produktaufbau** sind in verschiedenen Einzelaspekten anzupassen. Bild 4.4 gibt einen Überblick über mögliche Maßnahmen. Weitere Einzelheiten sind in der folgenden Komponentenbeschreibung enthalten.

### **Verbindungsmerkmale**

Weitere, teilweise analoge Forderungen beziehen sich auf die Gestaltung der Verbindung selbst. Abgesehen von dem Versuch Schraubverbindungen grundsätzlich zu vermeiden, kommt der zweckgerichteten Auswahl der Verbindungsart, der Verbindungsgeometrie und der Verbindungsteile entscheidende Bedeutung zu. Wichtige Verbindungselemente mit wesentlichen Merkmalen sind im folgenden Kapitel beschrieben. Darüberhinaus sind bei der Gestaltung der Verbindungsgeometrie nach Möglichkeit Fügehilfen, Zentrierungen und zusätzlicher Formschluß vorzusehen.

### **Peripheriemerkmale**

Zu den genannten Hauptmerkmalsgruppen können noch Kriterien aus der Produktionsumgebung die Konstruktion beeinflussen. Dabei wirkt vorhandene oder geplante Montageperipherie auf die mögliche Produktausprägung zurück. Dies gilt im wesentlichen für den Bereich der Handhabungstechnik, der Schraubwerkzeuge und der Pro-

zeßführung. Ist als Standardanzugsverfahren beispielsweise das streckgrenzengesteuerte Anziehen bereits eingeführt, kann die Auslegung der geplanten Verbindung danach ausgerichtet werden, ohne zusätzliche Probleme durch neue Montagetechnologien zu verursachen. Entscheidend für die Verwirklichung weitgehender Anforderungen an den Konstrukteur ist die Einbindung dieses Planungswissens in ein geeignetes, bedienerfreundliches Konstruktionshilfsmittel.

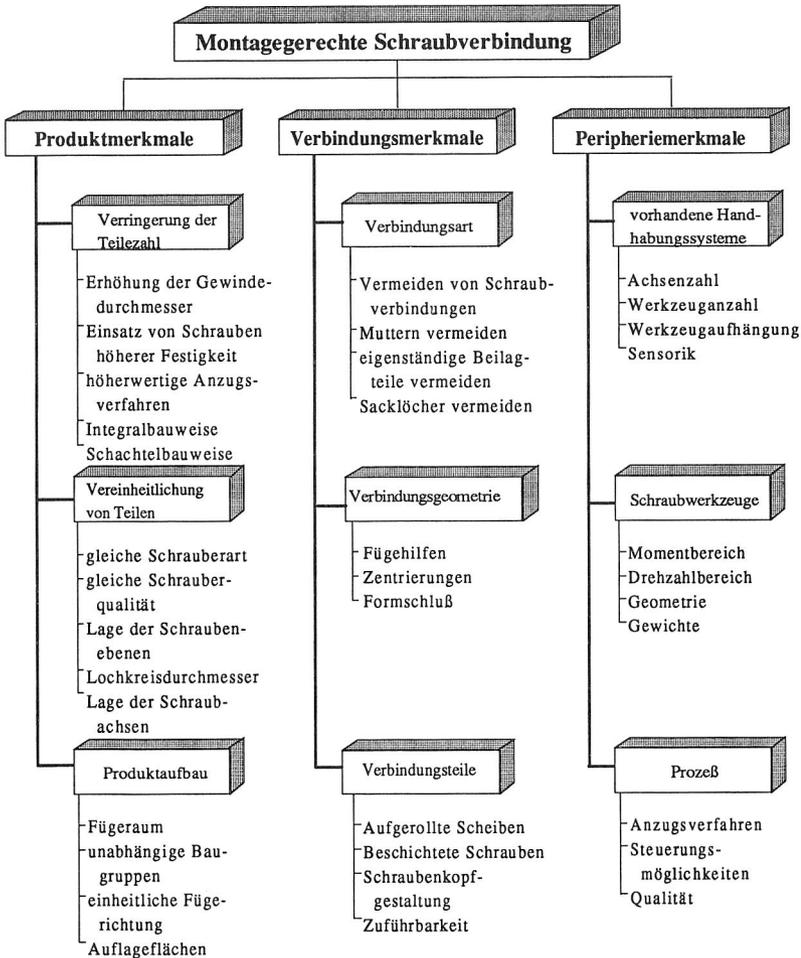


Bild 4.4: Montagegerechte Konstruktion in der Schraubtechnik

## 4.2 Schrauben als Verbindungstechnik

### 4.2.1 Zu verbindende Werkstücke

Das Produkt als Träger der zu montierenden Verbindung ist Zielobjekt sämtlicher Planungsaktivitäten. Es prägt mit einer Reihe wesentlicher Eigenschaften die Ausprägung fast aller weiteren Komponenten.

Die **Art der Schraube** beschreibt Gewindeform, Durchmesser, Gewindelänge, Steigung und Anzahl einzuschraubender Gewindegänge jeder benötigten Schraubenart. Die **Anzahl der Schrauben** nennt die absolute Anzahl verwendeter Schrauben je Art. Damit kann auch die **Anzahl der Schraubenarten** abgeleitet werden. Gleiches gilt für die Festlegung von Art und Anzahl notwendiger **Beilageteile und Muttern**.

Die Funktion der **Bauteilverbindung** definiert die Aufgabe der gesamten oder jeder einzelnen Schraubverbindung. Dabei kann es neben dem Aufbringen bestimmter Haltekräfte auch zu Justier- oder Löseaufgaben kommen. Der Begriff Produkt umfaßt in der Regel eine Summe von Einzelteilen die mit einander verbunden werden sollen. **Form- und Lagetoleranzen** dieser Einzelteile spielen dann eine wichtige Rolle.

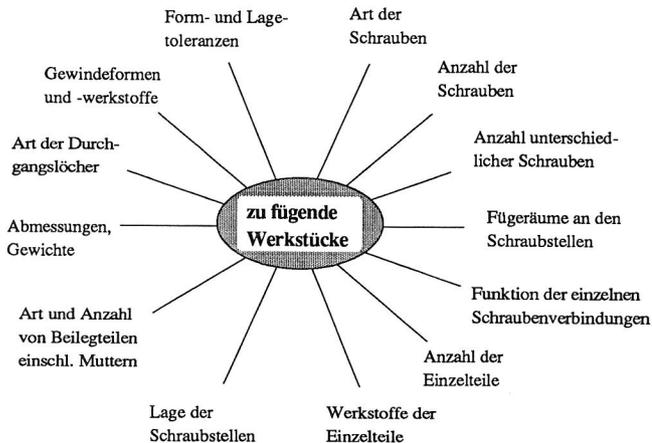


Bild 4.5: Werkstückeinflußgrößen

Zur Produktbeschreibung gehören auch Angaben über Art und Toleranzen von **Durchgangslöchern und Gewindebohrungen** sowie eine geometrische Beschreibung der **Fügeräume**. Wichtig für die Auslegung von Materialfluß, Handhabung, Spannvorrichtungen sind noch **Gewicht, Abmaße, Werkstoffe und sonstige Randbedingungen** (z.B.: empfindliche Oberflächen, Explosionsgefahr etc.).

Gekoppelt an das Produkt sind Informationen über die laufende oder die geplante Produktion. Einige dieser Einflußfaktoren wirken ebenfalls auf die zu konfigurierende Schraubstation zurück und werden bei der Beschreibung der Hilfsmittel zur technologischen Planungsmethode noch näher erläutert.

#### 4.2.2 Beilageteile

In der Stücklistenbeschreibung des Produktes sind auch Beilageteile und Muttern aufgeführt. Im Rahmen der hier vorliegenden Planungsaufgabe nehmen diese Bauteile eine besondere Rolle ein und sind daher auch gesondert zu behandeln. In der Regel erfüllen Beilageteile keine direkte Produktfunktion sondern dienen primär der Realisierung der gewählten Verbindungsart, der Schraubverbindung. Die Gewährleistung der Verbindungsfunktion **Betriebssicherheit** wird in bestimmten Fällen durch Beilageteile erreicht.

Lose vorliegende Beilageteile erfordern einen gesonderten Montagevorgang und sind daher für eine vollautomatische Schraubstation nach Möglichkeit zu vermeiden. Als Alternative können Schrauben mit vormontierten Beilageteilen eingesetzt werden. Auch vormontierte Beilageteile verursachen noch Einschränkungen in der automatischen Montage durch eine Vergrößerung des maximalen Durchmessers der Scheiben/Schraubeneinheit und der Neigung zum Verhaken im Vibrationswendelförderer.

Durchmesser, Toleranzen, Stärken, Materialien und Setzverhalten beeinflussen dabei die Gestaltung der Schraubstation, insbesondere die Auslegung von Zuführeinheit und Werkzeug. Die Festlegung wesentlicher Parameter in DIN-Normen erleichtert die EDV-gerechte Bereitstellung dieser Werte. Teilweise werden dazu bereits DIN-Normen als Bibliotheksmodule für CAD-Systeme angeboten.

Eine Sonderstellung unter den Beilageteilen nehmen die Muttern als unmittelbar zur Verbindungsfunktion gehörige Teile ein. Die notwendigen Parameter sind analog zur Gewindebeschreibung am Werkstück weitgehend aktuellen Normen zu entnehmen.

Hier gilt der Grundsatz der montagegerechten Produktgestaltung in besonderer Weise, Muttern nach Möglichkeit vollständig zu vermeiden. Ein Blick auf bestehende Montageanlagen zeigt, daß es in der überwiegenden Zahl der Fälle gelingt auf den Einsatz von Muttern zu verzichten. Grundsätzlich lassen sich aber auch Schraubverbindungen mit Schrauben/Muttern oder besser mit feststehendem Gewindestift/Mutter automatisch montieren. Bei der letztgenannten Ausführung erhöht sich die Anzahl der zu montierenden Teile gegenüber der Standardverbindung (Gewinde im Werkstück/Schraube) nicht. Muttern können über Vibrationswendelförderer zugeführt und mit Schraubwerkzeugen angezogen oder durch übliche Handhabungsgeräte positioniert und in Vorrichtungen gehalten werden. Bei der Handmontage erweist sich das Erzeugen von Schraubverbindungen aus feststehendem Gewindebolzen und Mutter als gut beherrschbar.

#### 4.2.3 Schrauben

Wichtigstes Bauteil der Schraubverbindung ist die Schraube als Träger wesentlicher Verbindungsfunktionen und Bindeglied zwischen Produkt und Produktionsumgebung. Wie bei anderen beteiligten Verbindungselementen sind auch für Schrauben maßgebliche Werte durch zahlreiche Normen festgelegt [48]. Für die Planung von Schraubstationen sind dabei zahlreiche Einflußfaktoren zu berücksichtigen [49,53].

Von großer Bedeutung für die Prozeßsicherheit ist dabei die **Gestaltung des Schraubenkopfes**. Wesentliche Grundformen sind durch Normen geregelt. Darüber hinaus spielen besonders automatisierungsgerecht gestaltete Kopfformen wie bei Außen- und Innentorxschrauben eine zunehmende Rolle. Die Gestaltung des Schraubenkopfes wirkt in erster Linie auf die Werkzeugauswahl, aber auch die Gestaltung des Zuführgerätes und gegebenenfalls auf die Werkstückaufnahme zurück. In Bild 4.7 sind wesentliche Merkmale gegenübergestellt und bewertet. Die **Übertragbarkeit des geforderten An-**

**zugsmomentes** spielt besonders beim Einsatz hochfester Schrauben eine große Rolle. Durch die verwirklichte Flächenberührung der TORX-Geometrie können gegenüber der konventionellen Sechskant-schraube (Linienberührung) deutliche Vorteile erreicht werden. Der **Raumbedarf des entsprechenden Werkzeuges** ist bei außen angreifenden Werkzeugen naturgemäß größer als bei Innenliegenden. Die Werkzeugauswahl kann dadurch bei entsprechend geringem Füge-raum erheblich eingeschränkt werden.

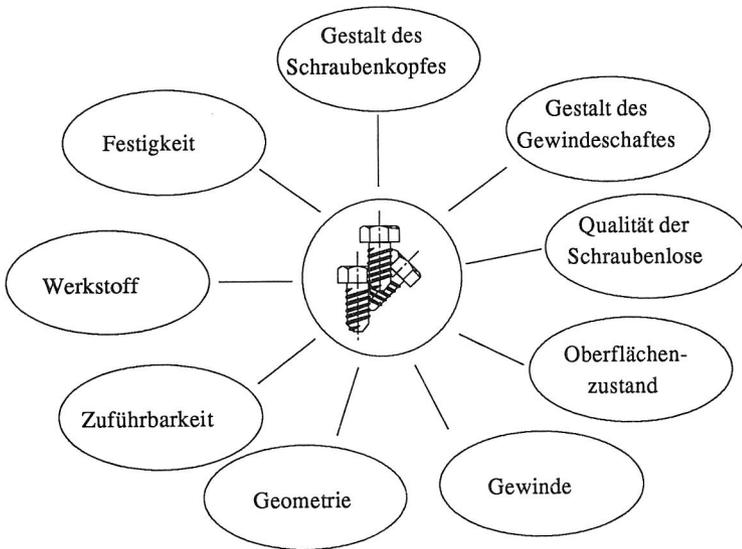


Bild 4.6: Einflussgrößen der Schraube

Der **Zeitverlust** zwischen Werkzeugeinschaltpunkt und Eingriffszeitpunkt der Klinge liegt bei Schlitzschrauben bei maximal 180 oder bei einmaligem Überdrehen auch bis 360 Grad. Über 90 Grad bei Kreuzschlitzschrauben kann dieser Wert auf 60 Grad bei allen sechskantigen Geometrien verringert werden. Dieses Einsatzverhalten beeinflusst maßgeblich auch den **Verschleiß der Klingen** und stellt insbesondere auch bei geforderten kurzen Taktzeiten durch den auftretenden Zeitverlust einen zu berücksichtigenden Kostenfaktor dar.

Schraube Merkmale	 Innen- torx	 Außen- torx	 Innen- sechskant	 Außen- sechskant	 Kreuz- schlitz	 Schlitz
hohe übertragbare Anzugsmomente	9	9	7	8	5	3
geringer Raumbedarf des Werkzeugs	8	5	8	4	8	8
geringe "Werkzeugfindzeit"	7	7	7	7	5	1
geringe Axialkraft erforderlich	10	10	10	10	5	1
geringe Empfindlichkeit für Axialfehler	9	9	5	5	8	6
geringer Werkzeugverschleiß	9	9	7	7	5	2
Preisgünstig	1	1	4	5	7	10
einheitliche Normung	0	0	10	10	8	10
große Variantenvielfalt	5	5	10	10	10	8

Bewertung:

10 ..... 0

optimal ..... nicht erfüllt

Bild 4.7 Einfluß der Schraubenkopfgestaltung

Weiterhin ist die **Empfindlichkeit gegenüber axialen Positionierfehlern** von Bedeutung. Im Zusammenhang mit Form- und Lagetoleranzen von Werkstück und Peripherie kann daraus die Notwendigkeit einer komplizierten Werkzeugaufhängung entstehen [27,57]. Neuartige Geometrien (wie z.B.: TORX) haben hier deutliche Vorteile. Bei genormten Sechskantschrauben kommt es bei axialen Positionierfehlern häufig zu einem Verklemmen der Klinge beim Rückhub des Werkzeuges. Dadurch kann das Werkstück beschädigt oder aus der Aufspannung gerissen werden.

Nachteilig bei diesen Sonderformen sind vor allem der höhere Preis und die fehlende Normung. Neben der Kopfform werden dabei auch Veränderungen am Gewindenschaft vorgenommen, die zu einer Verringerung der Positionierfehlerempfindlichkeit führen.

Wesentlichen Einfluß auf die Verfügbarkeit automatisierter Schraubenanlagen hat die **Qualität der Schraubenlose**. In der DIN-Norm 267 werden dabei als Beurteilungskriterien der Reinheitsgrad des Schraubenloses mit der Anzahl von Gutteilen zu der Anzahl der fehlerhaften Teile pro Los, oder die annehmbare Qualitätsgrenzlage AQL, mit der akzeptablen Anzahl von Fehlerteilen pro Merkmal im Prüflös vorgeschlagen. Die steigenden Anforderungen automatisierter Anlagen lassen nun auch ehemaligen Nebenmerkmalen eine höhere Bedeutung zukommen.

So kann eine Änderung im Herstellungsprozeß der Schraube innerhalb eines Montageloses, bei ungeänderter Prozeßführung zu völligem Versagen der Verbindung führen. Daher empfiehlt Großberndt [31] über die in der Norm festgelegten Kriterien sogenannte A, B und C Merkmale zwischen Schraubenhersteller und Montagebetrieb zu vereinbaren. Dabei sollen A - Merkmale zu 100%, B - Merkmale nach verschärftem Stichprobenplan mit einer AQL von 0,25 und C - Merkmale nach DIN 267 Teil 5 geprüft werden.

Der Zusammenhang zwischen Schraubenqualität und Montageprozeß läßt sich über die Kostenbeziehung darstellen. Der hyperbolisch asymptotische Verlauf der Montagekosten über dem Reinheitsgrad zeigt, daß sich ein Optimum etwa mit Reinheitsgraden zwischen 1.000 und 10.000 erreichen läßt [33,78].

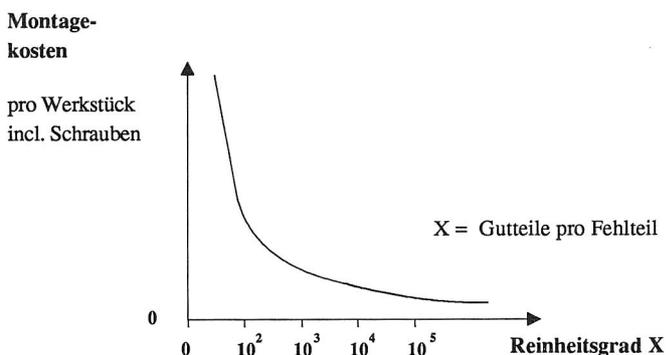


Bild 4.8: Zusammenhang von Reinheitsgrad und Montagekosten

Weiteres wichtiges Merkmal von Schrauben ist die **Oberflächenbeschaffenheit**. Dabei gilt es vor allem gleichbleibende Zustände zu gewährleisten. Über die in der Verbindung auftretenden Reibwerte wirkt die Oberflächenbeschaffenheit der Schrauben direkt auf den Prozeß zurück. Dies gilt besonders für extrem ausgelegte Verbindungen mit hochwertigen Anzugsverfahren, die eine experimentelle Bestimmung der exakten Reibverhältnisse erfordern. Übliche Oberflächenbehandlung bei Schrauben sind das Beizblank-Ölen, Vergütungsschwarz-Ölen, Phosphatieren, Galvanisches Verzinken, Verchromen, Verkupfern oder Kunststoffbeschichten. Wird die Schraubenoberfläche nicht gesondert behandelt ist der **Schraubengrundwerkstoff** zur Beurteilung heranzuziehen.

Ausschlaggebend für eine Reihe von notwendigen Berechnungen sind Kennzahlen des **Gewindes**. Den entsprechenden Normen können Parameter wie Steigung, Kern-, Flanken- und Nenndurchmesser, Flankenwinkel oder Gewindetiefe entnommen werden. Neben den metrischen Gewinden müssen auch Whitworth-, Rund-, Trapez- oder Sägegewinde berücksichtigt werden können. Für eine Reihe von Spezialschrauben (Verschraubung in Blech, Holz, Kunststoff) oder selbstschneidende Schrauben gelten zusätzliche Gewindemaße.

Übliche **Abmessungen von Schrauben** wie Länge, Durchmesser, Kopfhöhe, Kopfdurchmesser, Durchmesser von Zusatzteilen, Gewindelänge sind notwendige Planungsdaten. Dies gilt insbesondere für Länge und Durchmesser zur Beurteilung der Zuführbarkeit und die Anzahl der einzuschraubenden Gewindegänge für die Berechnung der Takt- und Vorgabezeiten.

Voraussetzung für die richtige Festlegung von Anzugsvorschriften ist die Festigkeitsklasse der Schraube. DIN 267 T3 (bzw. ISO 898 T1) legt dabei die Bezeichnungsweise nach Nennzugfestigkeit, Bruchdehnung und Lage der Streckgrenze fest.

Neben den im Maschinenbau häufigsten metrischen Fein- und Regelfewinden für Verschraubungen in Stahlgewinde werden zunehmend Sonderschrauben in automatischen Montageanlagen verarbeitet. Viele Befestigungsfunktionen mit zahlreichen Gestaltungsmöglichkeiten können mit **Blechschraben** realisiert werden [49]. DIN 7970 beschreibt wesentliche Eckdaten.

Das Gewindeschneiden im Bauteil kann als Fertigungsschritt durch den Einsatz einer weiteren Form von Sonderschrauben eingespart werden. Dabei werden **gewindeformende Schrauben** in gewindeschneidende und gewindefurchende mit vorgebohrtem Kernloch sowie gewindebohrende ohne Kernloch unterschieden. Erzeugt werden dabei in der Regel metrische Gewinde, die sich nach möglicher Demontage auch mit Regelschrauben wieder verbinden lassen. Neben dem Verzicht auf Fertigungsschritte können durch den Einsatz dieser Schrauben weitere Vorteile, wie eine hohe Flankenüberschneidung mit geringem Spiel und damit guten Selbstsicherungseigenschaften erreicht werden.

Durch den vermehrten Einsatz von Kunststoffwerkstücken kommen verstärkt **Sonderschrauben zum Direktverschrauben in Kunststoff** zur Anwendung. Dabei wird mit einer Vielzahl unterschiedlicher Gewindeformen, insbesondere mit kleineren Flankenwinkeln experimentiert.

Alle genannten Sonderformen wirken direkt auf den zu planenden Montageprozeß zurück. Sie stellen insbesondere spezielle Anforderungen an die Prozeßführung. Bei Verwendung derartiger Schrauben muß dem Planer ein umfangreicher beschreibender Datensatz zur Verfügung gestellt werden.

### 4.3 Schraubwerkzeuge

Wichtigstes Einzelelement in der Schraubtechnik ist das sogenannte Schraubwerkzeug oder der Schrauber. In allen Schraubstationen vom einfachsten Handarbeitsplatz bis zur voll integrierten Automatikstation erfüllt das Schraubwerkzeug die eigentliche Montageaufgabe [76]. Bei der Feinplanung von Schraubstationen ist daher die Auswahl, Konfiguration und Einstellung des notwendigen Werkzeuges eine der Hauptaufgaben. Bild 4.9 zeigt drei Möglichkeiten zur Einteilung von Schraubwerkzeugen.

Zur Gewinnung notwendiger Planungsdaten wurde eine umfangreiche Untersuchung marktgängiger Schraubwerkzeuge durchgeführt. Auf der Basis von über 700 untersuchten Werkzeugen können erstmals quantitative Angaben zu wesentlichen Merkmalen gemacht werden.

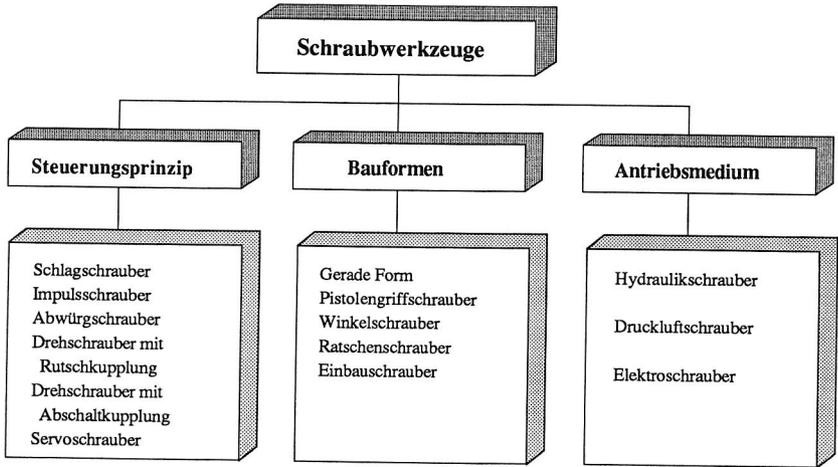


Bild 4.9: Einteilung von Schraubwerkzeugen

#### 4.3.1 Bauformen

Die große Anwendungsbreite von Schraubwerkzeugen hat zu einer enormen Vielfalt äußerer Bauformen geführt. Diese Formenvielfalt läßt sich in die, im Bild 4.9 genannten fünf Hauptgruppen einteilen und beschreiben.

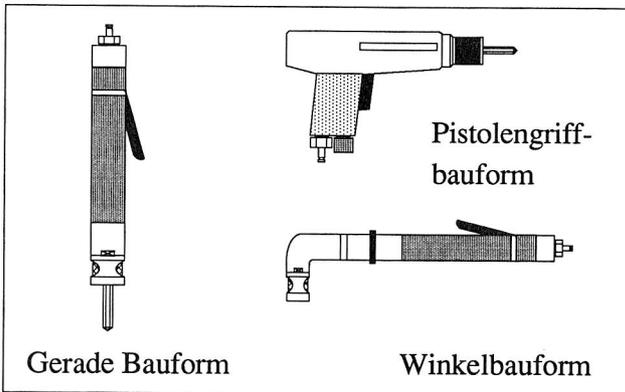


Bild 4.10: Bauformen typischer Schraubwerkzeuge

Die **gerade Grundform** findet häufige Anwendung bei Handarbeitsplätzen mit senkrechter Montagerichtung und kleinen bis mittleren Momenten. Dabei sind die ergonomische Griffhaltung bei vertikaler Montagerichtung und das geringere Gewicht dieser Bauform als Hauptvorteile zu nennen. Bei vielen Herstellern ist darüberhinaus die gerade Grundform auch Basis der Automatikschrauber.

Kann beispielsweise in der Automobilendmontage die waagrechte Montagerichtung nicht verwirklicht werden kommen häufig sogenannte **Pistolengriffschrauber** zum Einsatz. Diese werden ausschließlich an Handarbeitsplätzen eingesetzt. Der Momentbereich bewegt sich dabei von mittleren bis zu höchsten Momenten bei Schlag-schraubern mit zusätzlicher Drehmomentabstützung.

Lassen die Platzverhältnisse am Bauteil den Einsatz von geraden- oder Pistolengriffschraubern nicht zu, können **Winkelschrauber** als Alternative eingesetzt werden. Diese Bauform kommt häufig an manuellen Arbeitsplätzen, aber auch in Automatikstationen zum Einsatz. Der entsprechende Momentbereich liegt bei mittleren bis hohen Einschraubmomenten. Durch das notwendige Kegelradgetriebe haben Winkelschrauber einen etwas geringeren Antriebswirkungsgrad und höheres Gewicht als gerade Bauformen.

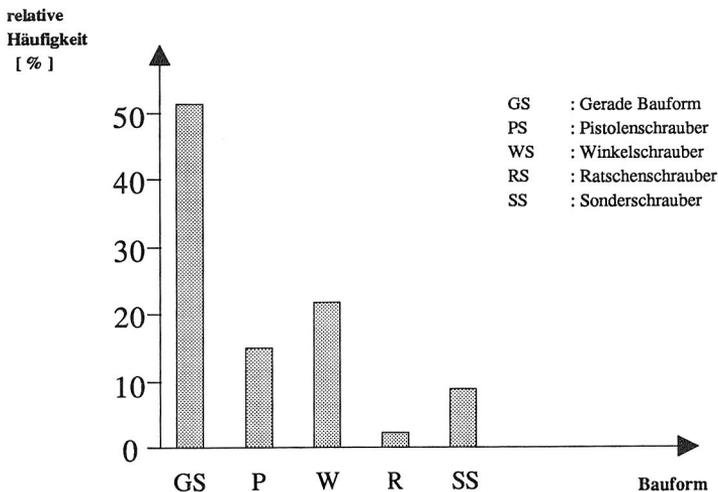


Bild 4.11: Häufigkeitsverteilung der Bauformen

Für den Einsatz in halb- oder vollautomatischen Anlagen werden von den meisten Herstellern sogenannte **Einbauschrauber** angeboten. Diese sind überwiegend nach der geraden Grundform aufgebaut.

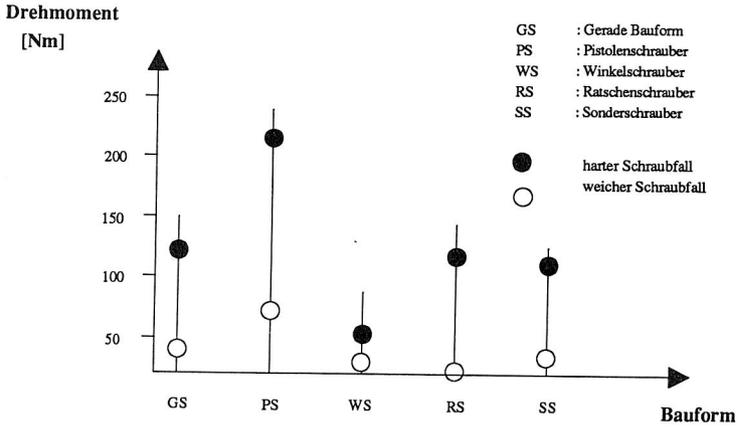


Bild 4.12: Momentbereiche verschiedener Bauformen

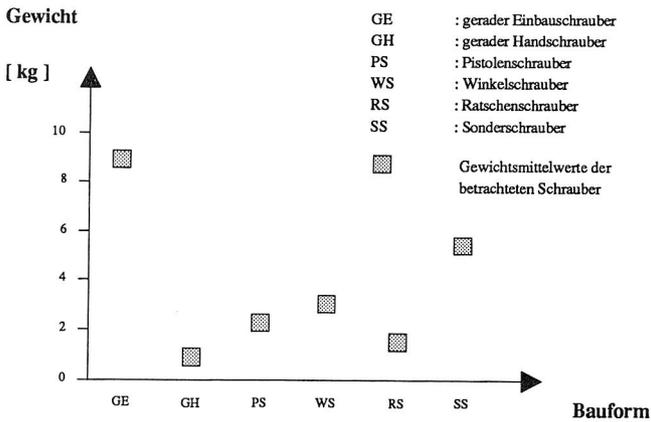


Bild 4.13: Gewichtsverteilung verschiedener Bauformen

### 4.3.2 Steuerungsprinzipien

Das Steuerungsprinzip unterscheidet Schraubwerkzeuge nach den Möglichkeiten, bestimmte Anzugsgrößen (Momente) definiert aufzubringen. Diese Klassifizierung wird durch die Möglichkeit der Prozeßführung mit verschiedenen Anzugsmöglichkeiten überlagert, die jedoch nur bei sogenannten Servoschraubern zum Einsatz gelangen. Bei allen anderen Klassen fehlt das notwendige Stellglied für eine elektronische Regelung. Für das Einsatzverhalten sind die erreichbare Genauigkeit und die Schraubfallempfindlichkeit maßgebliche Planungsdaten. Bild 4.14 gibt einen Überblick über von Herstellern gemachte Genauigkeitsangaben.

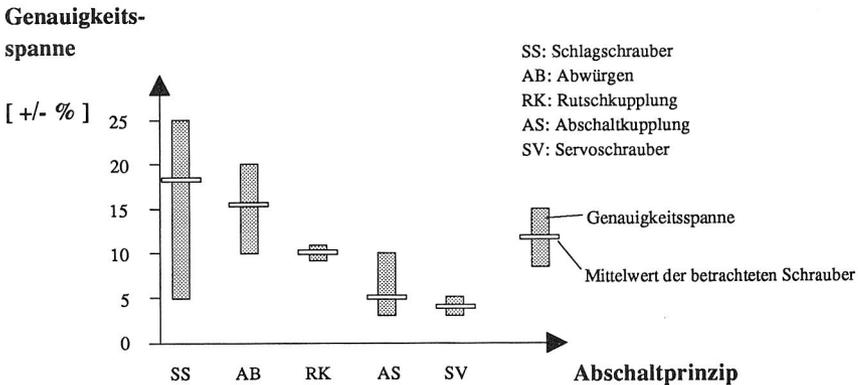


Bild 4.14: Genauigkeit unterschiedlicher Steuerungsprinzipien

Bei Schlagschraubern wird die kinetische Energie des Drehantriebes durch ein mechanisches Schlagwerk in einen Drehimpuls der Klinge umgewandelt. Die Höhe des erreichbaren Anzugmomentes richtet sich neben der zur Verfügung stehenden Antriebsleistung vor allem nach der Anzahl der Impulse, also der Einschaltdauer des Schraubwerkzeuges. Durch dieses Einsatzverhalten werden nur sehr geringe Genauigkeiten bei allerdings höchsten Momenten erreicht.

Ersetzt man das mechanische Schlagwerk durch einen hydraulischen Mechanismus, lassen sich die erreichbaren Genauigkeiten geringfügig verbessern. Vor allem der Geräuschpegel kann durch **Impuls-**

**schrauber** gegenüber mechanischen Schlagschraubern verringert werden [34].

Für geringe Anforderungen, etwa in der Holzindustrie werden sogenannte **Abwürgschrauber** eingesetzt. Dabei handelt es sich um direkt angetriebene Drehschrauber ohne Kupplung, deren Antrieb bei Erreichen des maximalen Motormomentes zum Stillstand kommt. Als Antrieb kommen daher ausschließlich pneumatische oder hydraulische Antriebe in Frage, da elektromotorische Antriebe nicht bis zum Stillstand belastbar sind. Die erreichten Anzugsmomente werden durch eine Vielzahl von Faktoren wie der Drehzahl des Werkzeuges, der Leistungsstreuung des Werkzeuges, Druckschwankungen im Leitungsnetz etc. beeinflusst, sodaß sie die Abweichungen vom Sollmoment  $\pm 25\%$  noch überschreiten. Aufgrund der fehlenden Kupplungselemente bauen derartige Werkzeuge relativ klein und leicht. Durch das direkte Abwürgen des Antriebes müssen die vollen Rückdrehmomente über das Gehäuse abgestützt werden.

Nächste Verbesserung im mechanischen Steuerungsprinzip ist der Einbau von **Rutschkupplungen in Drehschrauber**. Dabei werden normal federbelastete Kupplungsscheiben zur reibschlüssigen Kraftübertragung verwendet. Über die Federvorspannung kann die Normalkraft und damit die übertragbare Umfangskraft eingestellt werden. Bei Erreichen des eingestellten Schaltmomentes reicht die Federvorspannung nicht mehr zur Übertragung der Umfangskraft aus, die Kupplung beginnt "durchzurutschen" und der Schrauberantrieb wird damit vom Antrieb getrennt. Die Rückdrehmomente verringern sich dadurch gegenüber dem direkt angetriebenen Werkzeug. Aus den Schwankungen in der Drehzahl und bei den Reibwerten resultieren die relativ geringen Genauigkeiten von  $\pm 15\%$  bei Drehschraubern mit Rutschkupplung.

Diese Einflüsse versucht man durch den Einsatz von **Abschaltkupplungen** zu verringern. Dabei sind formschlüssige Kupplungen zwischen Antrieb und Abtrieb gebaut. Diese Kupplungen trennen den Antrieb vom Schrauberantrieb bei einer relativ exakt einstellbaren Umfangskraft (Moment). Ungenauigkeiten in den Reibwerten innerhalb der Rutschkupplungsbeläge können damit vermieden werden. Die mit Standardabschaltkupplungen erreichbaren Genauigkeiten liegen bei etwa  $\pm 5\%$ .

Darüberhinaus gibt es auch noch mechanische Lösungen zur Reduzierung der Drehzahleinflüsse (siehe Schraubfalldefinition). Über unterschiedliche Drehzahlen im Abschaltpunkt gibt es durch die kinetische Energie drehender Antriebsteile eine sogenannte Drehmomentüberhöhung. Dabei wird das eingestellte Drehmoment um einige Prozent überschritten. Dieser Effekt trägt vor allem bei unterschiedlicher Schraubfallhärte zur verbleibenden Ungenauigkeit von Abschaltschraubern bei. Dieser Effekt kann nun mit Kupplungen, die bei Erreichen des Sollmomentes nicht sofort Ab- und Antrieb trennen sondern zunächst die übertragbare Umfangskraft verringern und erst bei niedrigerem Momentniveau den Motor abtrennen, vermieden werden. Zusätzlich wird bei allen Abschalt-schraubern die Energiezufuhr des Motors nach dem Schaltpunkt unterbrochen.

Mit diesen Kupplungen kann die Werkzeuggenauigkeit auf  $\pm 3\%$  verbessert werden. Dieser Wert liegt im Bereich elektronisch geregelter und teilweise über den elektronisch gesteuerten Servoschraubern und stellt somit eine zuverlässige und kostengünstige Alternative dar.

Weitere Möglichkeit genaue Anzugsmomentes beziehungsweise Vorspannkkräfte zu erreichen, ist der Einsatz elektronisch gesteuerter oder geregelter, sogenannter **Servoschrauber**. Dabei kann, ausgehend von eingebauten Sensoren über entsprechende Stellglieder das Schraubwerkzeug, je nach Anzugsverfahren bei Erreichen definierter Sollwerte abgeschaltet werden. Die technischen Möglichkeiten hängen vom Antriebskonzept, dem verbundenen Stellglied sowie den Möglichkeiten der Steuerung ab. Insbesondere bei pneumatisch angetriebenen Werkzeugen fehlen bislang geeignete Servoventile als Stellglieder (siehe auch 4.7).

Bei elektrischen Antrieben kann über entsprechende Leistungsteile eine Regelung durchgeführt werden. Diese ermöglicht dann die Verwirklichung höherer Anzugsverfahren und eine deutliche Steigerung der Genauigkeit, insbesondere auf die Vorspannkraft bezogen. Dieser Vorteil muß jedoch mit einem hohen Aufwand an Sensorik und spezieller Steuerung erkaufte werden. Der Kostenfaktor von mechanischem Werkzeug und Sensorik/Steuerung beträgt bis zu  $1/20$ . Die elektronische Einstellung des Anzugsmomentes im laufenden Prozeß

ist aber unabhängig von erreichbaren Genauigkeiten wichtiger Vorteil gesteuerter Werkzeuge. Qualitative Angaben zu erreichbaren Genauigkeiten stehen in direktem Zusammenhang mit dem gewählten Anzugsverfahren und lassen sich nicht mehr auf das Werkzeug beziehen.

### 4.3.3 Antriebsmedien

Die unterschiedlichen Antriebsmedien ergeben eine dritte Möglichkeit der Klassifizierung von Schraubwerkzeugen. Geringste Bedeutung kommt dabei den **hydraulisch angetriebenen Schraubwerkzeugen** zu, die nur bei extremen Momenten beispielsweise im Schiffs- oder Bergbau zum Einsatz gelangen.

Große Verbreitung finden dagegen **pneumatisch angetriebene Schraubwerkzeuge**. Insbesondere das gute Leistungsgewicht und die robuste einfache Bauweise sind dafür ausschlaggebende Vorteile. Im Bild 4.15 sind weitere Vor- und Nachteile den elektrisch angetriebene Werkzeugen gegenübergestellt. Diese Merkmale ergeben bei Berücksichtigung spezieller Planungsrandbedingungen wichtige Auswahlregeln.

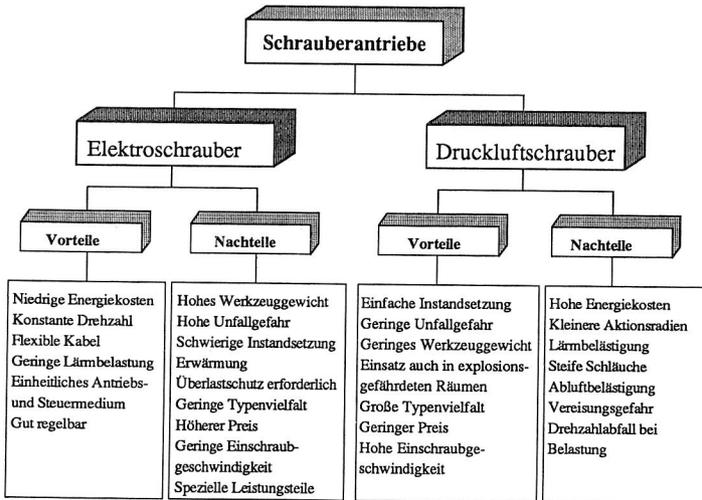


Bild 4.15: Vergleich von Druckluft- und Elektroschraubern

Als pneumatischer Antrieb wird überwiegend der Lamellenmotor eingesetzt (Bild 4.16). Bei umsteuerbaren Motoren verschlechtert sich der Wirkungsgrad, auf Grund der unvollständigeren Entspannung der Druckluft. Durch mögliche hohe Drehzahlen (bis 10.000 U/Min) lassen sich kurze Einschraubzeiten erreichen.

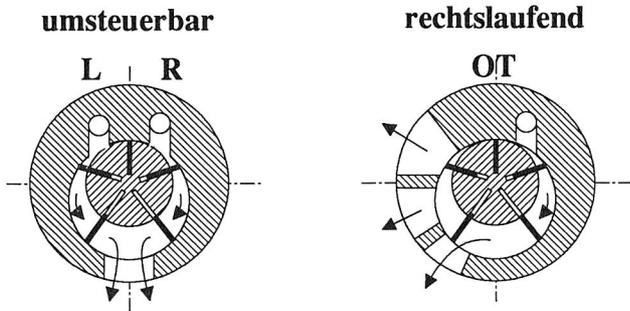


Bild 4.16: Wirkungsweise von Druckluftlamellenmotoren

Durch neue Entwicklungen bei elektromotorischen Antrieben haben in den letzten Jahren auch **elektrisch angetriebene Schraubwerkzeuge** an Bedeutung gewonnen. So hatten die zunächst verfügbaren Gleichstromantriebe gegenüber pneumatischen Antrieben wesentliche Nachteile wie den großen Wartungsbedarf, das ungünstige Leistungsgewicht, höhere Unfallgefahren und vieles mehr [15,97].

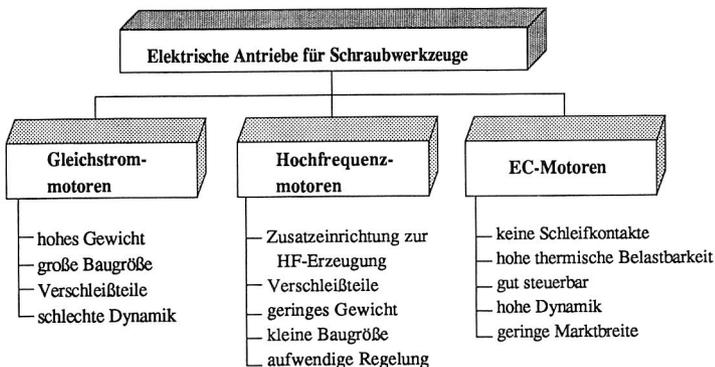


Bild 4.17: Vergleich elektromotorischer Schrauberantriebe

Neueste Entwicklungen alternativer Schrauberantriebe sind elektronisch kommutierte Gleichstrommotoren mit Samarium-Kobalt-Magneten. Mit dieser Technologie können wesentliche Einsatzmerkmale wie Wartungsbedarf, Leistungsgewicht, Dynamik etc. weiter verbessert werden. Die stürmische Entwicklung der Mikroelektronik hat hiermit eine echte Alternative zu pneumatischen Antrieben eröffnet [92]. Im Bild 4.17 sind noch einmal wesentliche Einsatzmerkmale gegenübergestellt.

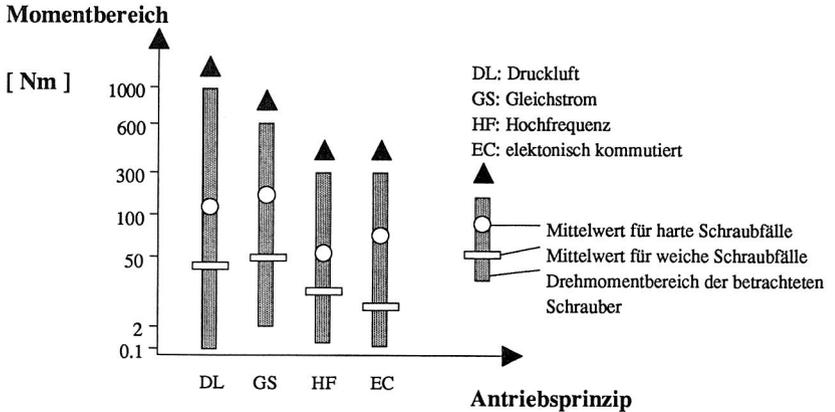


Bild 4.18: Anzugsmomente unterschiedlicher Antriebskonzepte

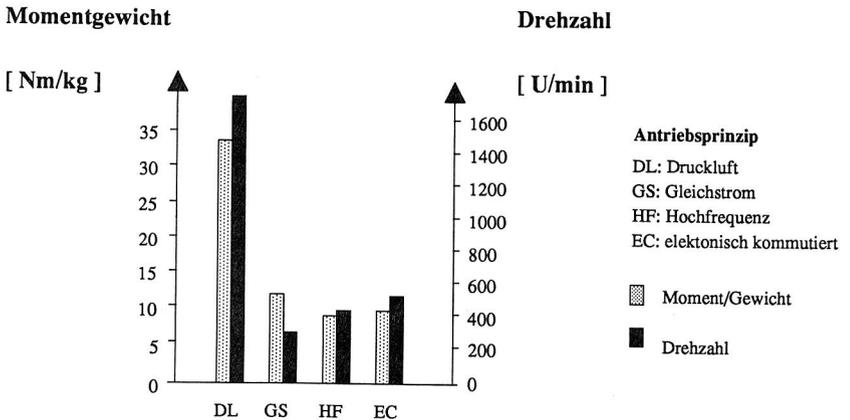


Bild 4.19: Momentgewicht unterschiedlicher Antriebskonzepte

## Geräusch

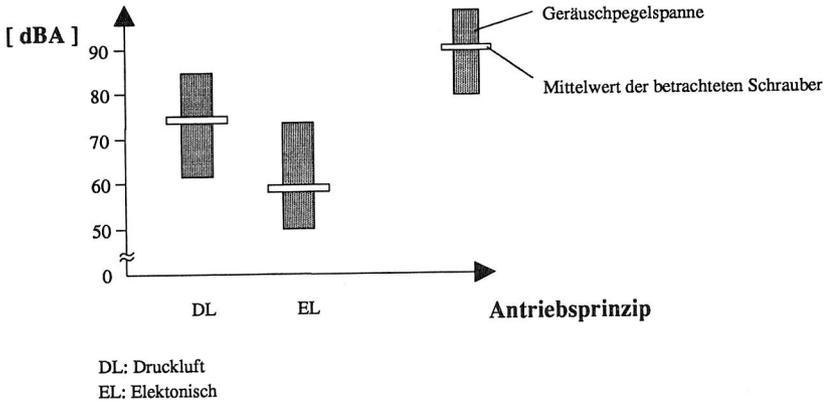


Bild 4.20: Geräuschpegel unterschiedlicher Antriebskonzepte

## relative Häufigkeit

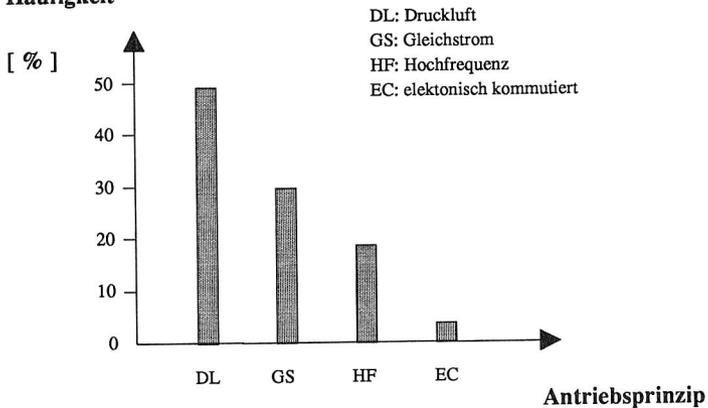


Bild 4.21: Verteilung unterschiedlicher Antriebskonzepte

#### 4.4 Schraubstationen

Der Begriff **Schraubstation** beschreibt die vollständige Betriebsmittelanordnung einer Montageteilaufgabe aus der Schraubtechnik. Kern der Montageaufgabe von Schraubstationen ist das Herstellen von Schraubverbindungen. Zusätzliche Aufgaben wie Positionieren und Fügen von Einzelteilen sollen per Definition von untergeordneter Bedeutung an dieser Station sein. Nach der von Milberg und Groha formulierten Definition einer Zelle als "Arbeitsstation in verteilter oder konzentrierter Struktur" handelt es sich hier um eine Montagezelle in konzentrierter Struktur [63]. Die Schraubstation kann also einer vollständigen Montagezelle entsprechen aber auch nur Teileinheit solcher Zellen sein. Dabei besteht die Schraubstation aus den im Bild 4.22 dargestellten Komponenten. Dazu sind jeweils noch Systemschnittstellen und die zum Betrieb notwendige Software zu rechnen. Diese Definition der **Station** als technologische Montageeinheit ist Basis der bisherigen und der folgenden Komponentenbeschreibung.

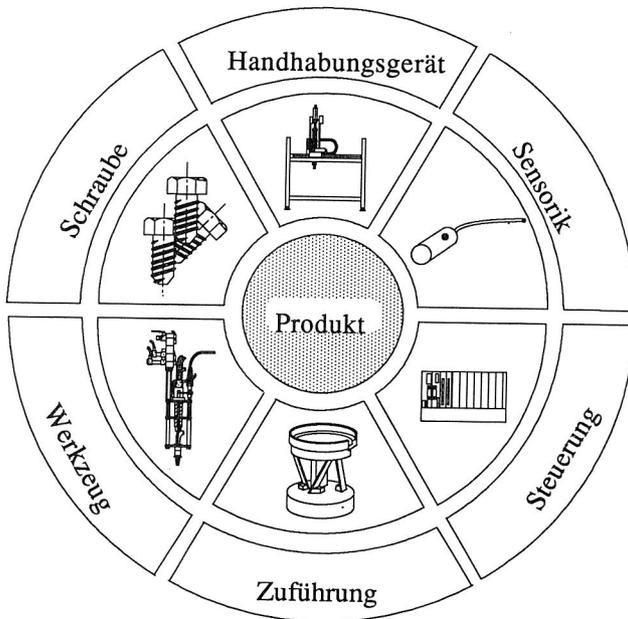


Bild 4.22: Problemkreis Schraubstation

#### **4.4.1 Handhabung**

Zu handhaben sind in Schraubstationen immer Werkstück(e) und Verbindungsteile, häufig auch Werkzeug(e). Die Zuführung von Schrauben nimmt wegen der großen Bedeutung für Funktion und Verfügbarkeit eine Sonderstellung ein und wird daher getrennt betrachtet.

#### **Werkstückhandhabung**

Die Werkstückhandhabung umfaßt stets den An- und Abtransport der Werkstücke zur Station und den Transport, sowie die Positionierung in der Station. Häufig sind auch kleine Füge- oder Einlegeoperationen durchzuführen, die aber per Definition hier nicht weiter betrachtet werden sollen. Zugehörige Greiferlösungen finden sich in [24]. Der Transport nach und von der Station ist abhängig vom gesamten Montagesystem. Zum Einsatz kommen übliche Transportanlagen vom Gabelstapler bis zum fahrerlosen Transportsystem (FTS) [74].

#### **Fahrerlose Transportsysteme**

Fahrerlose Transportsysteme erfüllen die Anforderungen nach hoher Flexibilität in besonderer Weise. Je nach Transportauftrag und Zellenzustand können die Stationen in freiem Wechsel bedient werden. Begonnen hat die Entwicklung bereits in den 50er Jahren in den USA. Haupteinsatzgebiet war und ist die Automobilindustrie mit hohen Nutzlasten. Für die hier betrachteten Industriezweige werden geeignete Fahrzeuge seit Beginn der 80er Jahre angeboten.

Aktive und passive Leitsysteme bilden Hauptssystemmerkmale. Den aktiv geführten Anlagen kommt noch die größere Bedeutung zu. Größere Flexibilität erwartet man von neuen passiven Leitsystemen bei denen die flexiblere Leitspur von optischen oder induktiven Sensoren verfolgt wird. Spurfreie, sensorgeführte Fahrzeuge befinden sich in der Entwicklungsphase [77].

Werden im stationsübergreifenden Materialfluß Werkstückträger eingesetzt, ist das Auftreten von Axialkräften an den jeweiligen

Schraubstellen zu berücksichtigender Planungsparameter. Auch sind häufig dem Werkstück oder Werkstückträger zugeordnete Datenträger Bestandteil des Materialflusssystems.

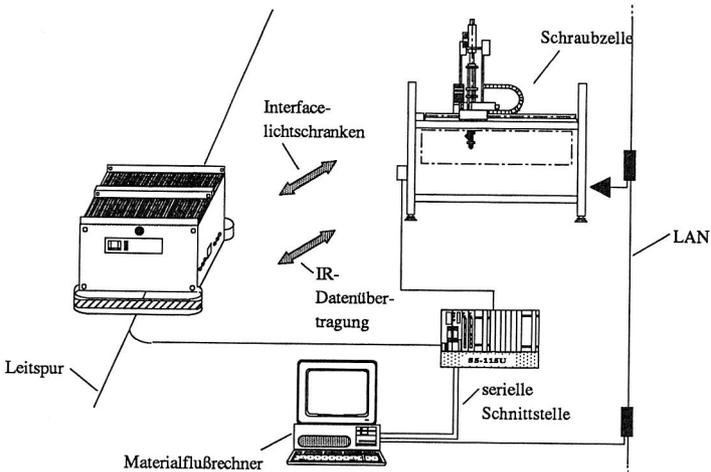


Bild 4.23: FTS-System in der elektrofeinmechanischen Produktion

Innerhalb der Station wird der Materialfluß über die üblichen stetigen, wie beispielsweise Doppelgurtbänder oder in Ausnahmefällen auch unstetigen Transportsysteme [74] abgewickelt. Wesentliche Funktion in Schraubstationen ist dann die Positionierung und Aufspannung der Teile am Montageort. Dabei beeinflussen die Lagetoleranzen wesentlich die Zuverlässigkeit der Station. Die Aufnahme von Kräften und Momenten an der Positionierungseinrichtung muß ebenfalls entsprechend eingeplant werden.

Kann die Realisierung der notwendigen Kinematik durch das Werkzeughandhabungssystem nicht verwirklicht werden, können auch die Werkstücke entsprechend bewegt werden. Einfache und häufigste Lösung sind pneumatische Verschiebeeinrichtungen. Damit werden etwa 2 bis 3 unterschiedliche Werkstückpositionen erreicht. Auch geometrische Produktvarianten werden mit solchen Einrichtungen bearbeitet. Reicht dieser Freiheitsgrad nicht aus, kommen selten auch frei programmierbare Systeme, in der Regel Koordinatentische mit zusätzlichen Dreh- und Schwenkeinrichtungen zur Anwendung.

## Werkzeughandhabung

Die Handhabung der Werkzeuge umfaßt die Realisierung der Zustellbewegung. Beim Eindrehen der Schraube muß das Werkzeug so nachgeführt werden, daß die Klinge stets im Eingriff bleibt. Diese Bewegung wird in den meisten Fällen durch eine, über Pneumatikzylinder vorgespannte Feder realisiert. Die Nachführung durch NC-Achsen erfordert dagegen die aufwendige Synchronisation mit der Werkzeugdrehzahl.

Weitere Handhabungsfunktionen entstehen durch das Plazieren des Werkzeugs über der entsprechenden Schraubstelle. Je nach Anzahl durchzuführender Bewegungsschritte wird die Gesamttaktzeit maßgeblich von den Werkzeugverfahrzeiten beeinflusst. Bei Stationen mit "Pick and Place" - Schraubenzuführung muß ein erheblicher Anstieg der Verfahrzeiten in Kauf genommen werden. Wichtige Bestimmungsgrößen sind dabei die zu handhabende Masse sowie die auftretenden Bearbeitungsbelastungen (Schwingungen, Kräfte, Momente).

Für die Einsatzplanung des Handhabungssystems sind Verfahrgeschwindigkeiten, Beschleunigungen, der maximale Arbeitsraum, Positioniergenauigkeiten, Traglasten sowie die Steuerungsmöglichkeiten zu berücksichtigen. Die Systeme lassen sich in drei technisch organisatorische Hauptgruppen gliedern. Am **manuellen Arbeitsplatz** werden die Werkzeuge von der Bedienperson geführt. Als Arbeitserleichterung kommen vor allem Gewichtsausgleichsysteme, mechanische Positionierhilfen und Drehmomentabstützungen zum Einsatz. An **starren Automaten** wird die Werkzeugbewegung mit pneumatischen Verschiebeeinheiten ausgeführt. **Freiprogrammierbare Systeme** ermöglichen die flexible Anpassung der Werkzeugbewegung.

### 4.4.2 Schraubenzuführung

Die Zuführung der Schraube als Verbindungsteil ist eine der zentralen Handhabungsfunktionen. Nach Möglichkeit sollte die Zuführung über Vibrationswendelförderer und Druckluftschlauch erfolgen. Dies gilt auch für manuelle Arbeitsplätze mit handgeführten Werkzeugen.

Entscheidend bestimmt wird die Einsatzmöglichkeit dieser Zuführ-  
lösung von der Schraube selbst. Die am zuzuführenden Teil maxima-  
le Länge L muß den maximal auftretenden Durchmesser um mindestens  
2 mm überragen um ein Kippen im Schlauch oder Mundstück zu ver-  
meiden . Dieses Merkmal wird in der Literatur häufig mit den Be-  
griffen "kopf-" oder "schaftlastig" beschrieben. Diese Beschrei-  
bung gibt jedoch den Sachverhalt nicht ausreichend genau wieder  
und ist zudem einer rechnerischen Auswertung schlecht zugänglich.

Die Lage des außermittigen Massenschwerpunktes führt zu der Ei-  
genschaft der Schraube in Zuführschienen entweder **kopflastige**  
oder **schaftlastige** Vorzugslagen einzunehmen. Da die Schraube am  
Auslauf des Vibrationswendelförderers mit dem Schaft in Flugrich-  
tung entnommen wird, lassen sich **schaftlastige** Schrauben einfa-  
cher und damit sicherer im Vibrationswendelförderer handhaben.  
Ein Ausschlußkriterium ist diese Eigenschaft dagegen nicht, da  
mit speziellen Schikanen oder Wendevorrichtungen die Auslauflage  
auch entgegen der Vorzugslage erreicht werden kann.

Wichtig in diesem Zusammenhang sind die negativen Folgen aufge-  
brachter Beilageteile. Diese beeinflussen maßgebliche Größen wie D  
und L der Zuführteile und erschweren durch die Neigung zum gegen-  
seitigen Verhaken die Verarbeitung im Vibrationswendelförderer.  
Stark verschmutzte oder geölte Schraubenlose sind ebenfalls Stör-  
größen bei der Zuführung über Vibrationswendelförderer. Die Ge-  
samtverfügbarkeit einer Montagestation wird maßgeblich von der  
Verfügbarkeit des Zuführsystems beeinflußt. Für die Auslegung und  
Auswahl der Zuführgeräte ist im wesentlichen die Mengenleistung  
und die Speicherkapazität von Bedeutung.

Weitere Bestandteile dieser Zuführtechnik sind Führungshülsen und  
Mundstücke. Das Mundstück übernimmt die Schraube aus dem Zuführ-  
schlauch und leitet sie in die zugehörige Führungshülse weiter.  
Zusätzlich erfüllt das Mundstück die kinematische Aufgabe Klinge  
und zugeführte Schraube gegenseitig passieren zu lassen. Dazu muß  
eine Relativbewegung zwischen Klinge und Mundstück erfolgen.

Nach dem Mundstück gelangt die Schraube in die sogenannte Füh-  
rungshülse und wird dort mindestens bis zum Fassen der ersten  
Gewindgänge gehalten. Je nach Orientierung des Werkzeuges im

Raum ist dabei ein aktives Halten mit federbelasteten Backen bei Verschraubungen mit mehr als 45 Grad Abweichung von der Vertikalen, oder ein passives Halten durch elastische Elemente bei vertikalen Verschraubungen möglich. Vor dem Anzug der Schraube muß der gesamte Schraubenkopf mit möglichen Beilageteilen durch die Führungshülse geführt werden. Entscheidend bestimmt die Führungshülse den notwendigen Fügebaum am Werkstück.

Läßt sich eine Lösung mit "Zuschießen" und Vibrationswendelförderer nicht verwirklichen, werden Schrauben in seltenen Fällen aus Magazinen zugeführt. Die Ordnungs- und Handhabungsproblematik wird dabei auf den Zulieferer übertragen.

Als letzte Alternative verbleibt das aktive Aufnehmen der einzelnen Schrauben mit dem Schraubwerkzeug, das sogenannte "pick and place" - Verfahren. Gehalten werden die Schrauben dabei mechanisch, ähnlich der Schlauchzuführung mit magnetischen Klingen, durch Vakuumsaugung im Mundstück oder durch eine Kombination dieser Lösungen. Diese Alternativen belasten jedoch die Taktzeit mit zusätzlichen Verfahrszeiten und die Verfügbarkeit durch weitere Fehlerquellen und sollten daher vermieden werden.

Der Vollständigkeit halber werden auch zwei Möglichkeiten zur Vermeidung automatischer Zuführeinrichtungen, das Vormontieren von Hand und das Auslagern auf andere Montagestationen berücksichtigt. Letztere Möglichkeit kann durch die entsprechende Montagereihenfolge (Trennung von Einschrauben und Anziehen) oder die Montageaufgabe (Lösen einer bereits verschraubten Verbindung) eintreten. Die Zuführung entfällt in diesen Fällen vollständig.

#### **4.4.3 Steuerung**

Zunehmend wichtige Komponente moderner Schraubstationen ist der gesamte Steuerungsbereich. Nach Funktionen gegliedert lassen sich fünf Hauptaufgaben definieren. Die Steuerung des **Verschraubungsprozesses** ist Gegenstand eines eigenen Kapitels und eng verbunden mit der Steuerung des **Werkzeuges**. Bei einfachen Verfahren genügt die Ansteuerung des Werkzeuges zur Realisierung des Prozesses. Wesentliche **Materialflußfunktionen** sind bereits im Kapitel 4.4.2

genannt worden, die Koordination aller Teilfunktionen innerhalb der Station erfolgt durch die **Ablaufsteuerung**. Sie stellt das Bindeglied zu vorhandenen Leitsystemen oder dem Bedienpersonal dar. Das **Leitsystem** schließlich ermöglicht eine Rechnerintegration der gesamten Schraubstation.



Bild 4.24: Steuerungsfunktionen in Schraubstationen

Diesen Funktionen stehen eine Reihe von Hard- und Softwarelösungen gegenüber. Wurden bis vor einigen Jahren Teilfunktionen noch pneumatisch gesteuert, erfüllen heute speicherprogrammierbare Steuerungen wesentliche Aufgaben aus dem Komplex der Ablaufsteuerung, der Materialflußsteuerung und teilweise der Werkzeug- und Prozeßsteuerung. Den letztgenannten Funktionen ist oft spezielle Antriebs- und Meßelektronik unterlagert. Je nach den Anforderungen der Fertigungsumgebung steht über der speicherprogrammierbaren Steuerung ein Personalcomputer als Zellrechner zur Verfügung. Die Anbindung an das Leitsystem erfolgt über den Fabrikbus vom Zellrechner oder direkt von der Steuerung.

Der Einsatz standardisierter Hard- und Softwarelösungen unterstützt die Planung und Auslegung des Steuerungssystems. Der Kern der Steuerungsfunktionen wird von der speicherprogrammierbaren Steuerung bearbeitet. Wesentliche Merkmale für deren Auslegung sind die CPU-Leistung (Zykluszeit), die Anzahl notwendiger Ein-/Ausgabebaugruppen sowie die notwendigen Kommunikationsaufgaben.

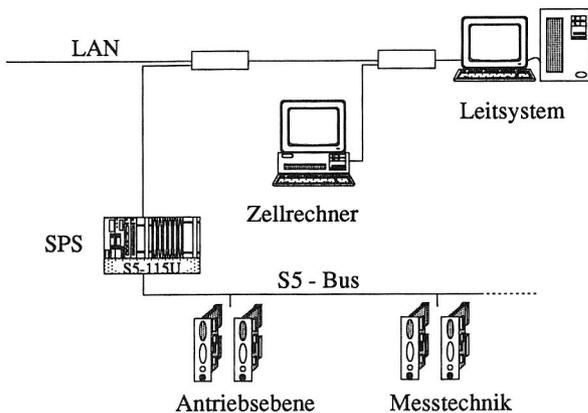


Bild 4.25: Steuerungskomponenten in Schraubstationen

## 4.5 Der Verschraubungsprozeß

### 4.5.1 Prozeßbeschreibung

Ziel des Verschraubungsprozesses ist entweder das Aufbringen einer definierten Haltekraft oder das Erbringen definierter Montagebewegungen. In Fällen der Justage- oder Demontagefunktion ist der Prozeß durch kinematische Zielgrößen, wie etwa dem Rückhubweg oder der Einschraubtiefe in mm oder der Justage in Anzahl der Umdrehungen beschrieben. Hubwege werden meist durch festgestellte induktive Geber gemessen oder durch einen Aufbau mit programmierbaren NC-Achsen realisiert. Das Erreichen definierter Drehwinkel erfolgt über übliche Drehgeber oder die Laufzeit des Schraubwerkzeuges.

Mit Ausnahme einiger Sonderfälle ist in der überwiegenden Zahl aller Montagestationen das Aufbringen von, an den jeweiligen Belastungsfall angepaßten Haltekraften Aufgabe der Schraubstation. Die Vorspannkraft der Verbindung  $F_v$  als Zielgröße der Montage ist so zu bestimmen, daß einerseits bei jeder möglichen auftretenden Betriebskraft die vorgegebene Funktion noch erreicht wird, die zulässige Belastung der Schraubverbindung andererseits nicht überschritten wird. Erschwerend für die genaue Berechnung

sind die oft unsicheren Setzerscheinungen der Verbindung, die zu einer Verringerung der Vorspannkraft führen, vor allem aber die montagebedingten Schwankungen der Vorspannkraft [9,11,21].

#### **4.5.2 Anzugsverfahren**

Da sich am laufenden Produkt, die durch die Montage erreichten Vorspannkraft nur mit sehr hohem Aufwand, beispielsweise genauen Längungsmessungen kontrollieren lassen, weichen alle realisierten Verfahren auf das Erfassen indirekter Größen aus. Aus diesen indirekten Prozeßgrößen resultieren viele der Ungenauigkeiten beim Aufbringen definierter Vorspannkraft.

#### **Drehmomentverfahren**

Wichtigster Parameter ist dabei das sogenannte Anzugsmoment, als das vom Werkzeug auf die Schraube oder Mutter aufgebrachte Drehmoment. In den weitaus meisten Anwendungsfällen wird dieses Moment zur Prozeßführung verwendet. Das notwendige Anzugsmoment kann nach den Grundformeln der VDI-Richtlinie 2230 aus der Vorspannkraft errechnet werden [68].

Die Reibung ist bei diesem Verfahren die wichtigste Einfluß- und zugleich Störgröße. Unterschieden wird in erster Linie Reibung zwischen Schraubenkopf und Bauteilauflage und die Gewindereibung. Große Schwankungen bei den tatsächlich auftretenden Reibwerten führen bei diesem Verfahren zu großen Toleranzbreiten in der erreichten Vorspannkraft. Bild 4.26 verdeutlicht, daß die Kombination der beiden wesentlichen Störgrößen dieses Verfahrens, der Wiederholgenauigkeit des Werkzeuges und die Reibwertschwankungen zu Abweichungen über 100% vom vorgegebenen Sollwert führen. Insbesondere Oberflächenqualität und Verschmutzung der Schraubenlose beeinflussen die maßgeblichen Reibwerte [93]. Dieser verhältnismäßig geringen Genauigkeit stehen vor allem die einfache, oft rein mechanische Umsetzung des Anzugsverfahrens und der eindeutige, rechnerisch nachvollziehbare Zusammenhang zwischen Vorspannkraft und Anzugsmoment als Vorteile gegenüber [45,46,58].

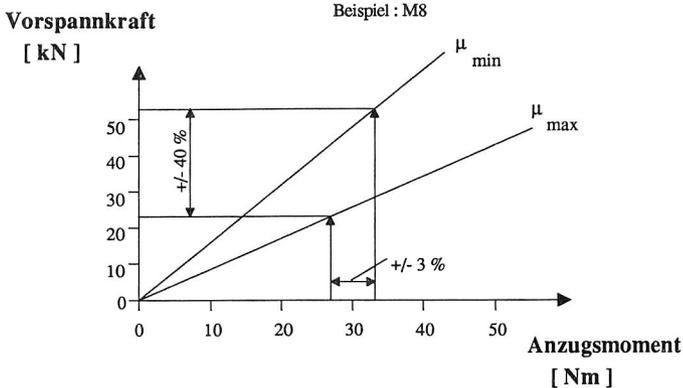


Bild 4.26: Reibungseinfluß beim drehmomentgesteuerten Anziehen

Die erreichbaren Genauigkeiten hängen von der Wiederholgenauigkeit der Werkzeuge und der Exaktheit und Konstanz der ermittelten Reibwerte ab. Bei optimaler Drehmomentwiederholgenauigkeit von beispielsweise  $\pm 2\%$  muß noch immer mit Schwankungen der erzielten Vorspannkraft von mindestens  $\pm 10\%$  gerechnet werden.

### Drehwinkelverfahren

Beim sogenannten Drehwinkelverfahren werden sowohl Drehmoment als auch Drehwinkel der Schraubverbindung als Steuergröße herangezogen. Üblicherweise wird bis zur Schraubkopfanlage Drehmoment kontrolliert verschraubt, um nach Erreichen eines sogenannten Schwellmomentes einen definierten Nachspannwinkel als Steuergröße zu nutzen. Bestimmt wird der Nachspannwinkel vor allem vom Setzverhalten der Verbindung. Eine exakte rechnerische Bestimmung der Nachspannwinkel ist mit der hohen Zahl von Einflußgrößen ausgesprochen schwierig. Daher müssen die genauen Prozeßparameter durch aufwendige Experimente bestimmt werden.

Überlagert wird dieses Verfahren häufig von Grenzbedingungen, dem sogenannten grünen Fenster. Dabei werden für den Abschaltpunkt Minima- und Maximawerte für Drehmoment und Drehwinkel vorgegeben.

Nur innerhalb dieses Fensters gilt der Schaltpunkt nach obigem Verfahren als korrekt. Auch diese Grenzwerte werden in der Praxis häufig noch experimentell bestimmt.

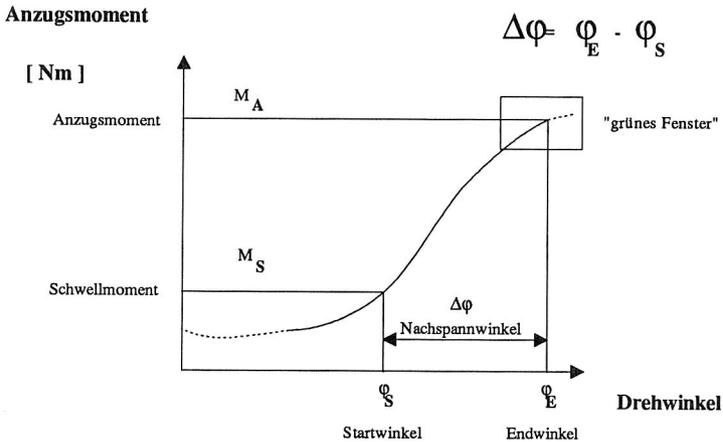


Bild 4.27: Drehwinkelgesteuertes Anziehen

Vermieden werden mit dem Drehwinkelverfahren die Ungenauigkeiten durch die Reibwertschwankungen und der Drehmomentwiederholgenauigkeit der Schraubwerkzeuge. Auf Grund der notwendigen Sensorik und der aufwendigen Versuche wird dieses Verfahren jedoch relativ selten eingesetzt.

### Streckgrenzengesteuertes Anziehen

Beim streckgrenzengesteuerten Anziehen werden ebenfalls Drehmoment und Drehwinkel als indirekte Prozeßgrößen herangezogen. Dabei wird als Steuergröße das Differential von Moment nach Drehwinkel genutzt. Der Anstieg des Anzugsmomentes pro Winkleinheit (entspricht dem Weg) ist konstant, solange die Schraube im elastischen Bereich nach dem Hook'schen Gesetz gedehnt wird. Wird die Proportionalitätsgrenze des Schraubenwerkstoffes überschritten, fällt der Gradient  $dM/d\varphi$  ab. Diesen Effekt nutzt man zur Schaltsteuerung. Um den Einfluß schwankender Werkstoffdaten zu

eliminieren, wird dabei der relative Abfall des Gradienten zum Maximalwert (etwa 50%) und kein Absolutwert als Schaltgröße herangezogen. Zusätzlich kann auch hier wie beim Drehwinkelverfahren ein "grünes Fenster" über den Abschaltbereich gelegt werden.

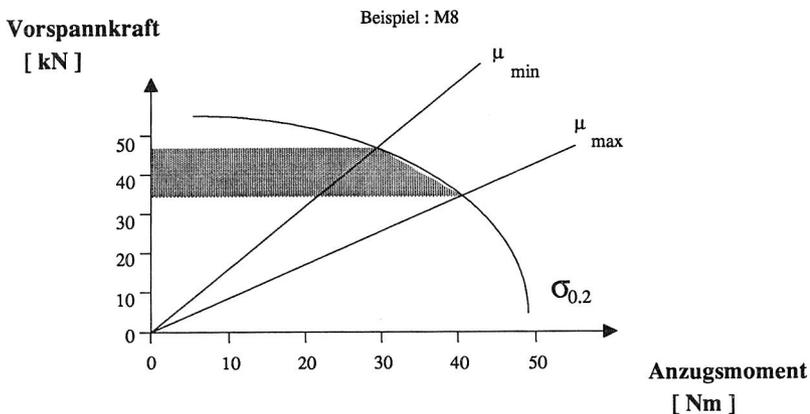


Bild 4.28: Streckgrenzengesteuertes Anziehen

Damit lassen sich nun die Ungenauigkeiten von Werkzeugen und Reibwerten einerseits, das Belasten der Schraube bis in den plastischen Bereich mit den aufwendigen Experimenten beim Drehwinkelverfahren andererseits vermeiden. Bild 4.28 zeigt wie schwankende Reibwerte durch unterschiedliche Anzugsmomente abgefangen werden können, wenn das Erreichen der Streckgrenze als Schaltgröße genutzt wird [41].

#### 4.5.3 Sonderfälle

Die beschriebenen Anzugsverfahren eignen sich in erster Linie für das Verschrauben metrischer Gewinde mit metallischen Werkstoffen. Gerade im Bereich kleinerer Schraubendurchmesser mit reinen Befestigungsaufgaben und geringen Belastungen, wie sie in der Elektro- und feinmechanischen Industrie häufig anzutreffen sind, werden zunehmend Sonderschrauben eingesetzt [14]. Für die Montage derartiger Sonderschrauben sind eine Reihe von Abweichungen bei

Anzugsverfahren zu beachten, sodaß die bisher genannten höheren Verfahren hier selten eingesetzt werden können [106].

Sowohl für Blechschrauben als auch für andere gewindeformende oder -schneidende Schrauben gelten mehrere Drehmomentwerte als prozeßbestimmende Größen. Das sogenannte **Eindrehmoment** beschreibt das zum Eindrehen und den damit verbundenen Gewindeformprozeß notwendige Moment. Im Gegensatz zu fertigen Gewinden hängt das Eindrehmoment weniger von Reibwertschwankungen, sondern vielmehr von Materialeigenschaften, Kernlochdurchmesser, Gewindetiefen und weiteren Parametern ab. Es verändert seinen Verlauf über dem Einschraubweg zudem erheblich. Das **Überdrehmoment** bezeichnet das Moment, bei dessen Überschreitung das geformte Gewinde beschädigt würde und keine Vorspannkraft mehr aufgebracht werden könnte. Zu beachten ist auch das Bruchmoment der Schraube, bei dessen Überschreiten es zum Versagen der Schraube und damit der gesamten Verbindung kommt.

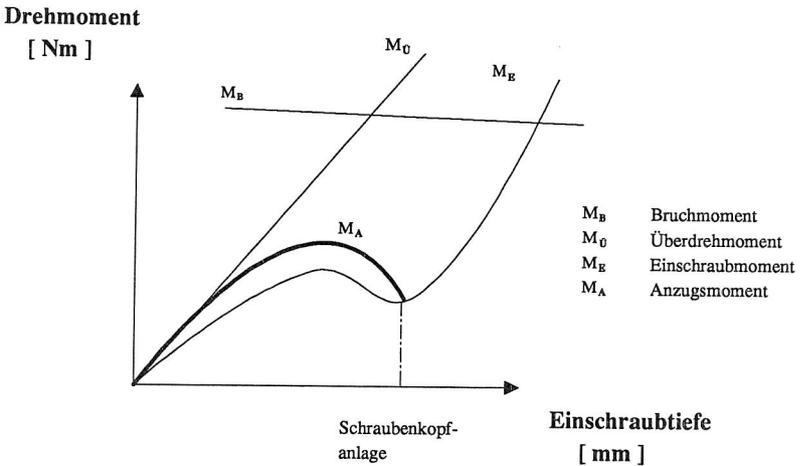


Bild 4.29: Momentenverläufe bei Sonderschrauben

Da die beiden erstgenannten Momente einen zeitlich stark veränderlichen Verlauf haben, muß der Prozeß kontinuierlich gesteuert werden. Ziel ist dabei das Werkzeugmoment optimal zwischen Ein-

dreh- und Überdrehmoment (Bruchmoment) zum Anzugsmoment zu führen. Erschwerend kommt dazu häufig der Umstand, daß maximal auftretende Einschraubmomente über dem abschließend notwendigen Anzugsmoment liegen, sodaß eine reine Drehmomentsteuerung hier ebenfalls zu unvollständig durchgeführten Verschraubungen führen muß. Hier werden dann zusätzliche Kontrollen des Einschraubweges durchgeführt und die Drehmomentabschaltung des Werkzeuges vorübergehend überbrückt.

Weitere Sonderfälle entstehen durch das Direktverschrauben in Kunststoff, oder das Verschrauben mit Kunststoffschrauben, aber auch Verschraubungen in organische Werkstoffe wie Holz müssen gesteuert werden. Bei Kunststoffverschraubungen entstehen bei thermoplastischen Werkstoffen zu den oben genannten Prozeßparametern noch Anforderungen an die Drehzahl des Schraubwerkzeuges, um ein Aufschmelzen des Gewindes zu verhindern. Die Momentschwankungen beim Einschraubmoment dürfen nicht zu beliebigen Drehzahlüberschreitungen führen, sodaß in Einzelfällen noch eine Drehzahlregelung überlagert werden muß. Diese Sonderfälle zeigen, daß es eine Reihe von unterschiedlichen Prozeßparametern gibt, die bei der Prozeßführung und damit bei der Konzeption von Werkzeug, Steuerung und der gesamten Schraubstation Berücksichtigung finden.

Schließlich entstehen Sonderfälle auch bei metallischen Gewindepaarungen mit hochelastischen Bauteilen wie Dichtungen, Gummiringen, Federn und dergleichen.

#### **4.6 Prozeßdatenerfassung**

Zur Darstellung der gesamten Prozeßdatenerfassung dient das Sensormodell (Bild 4.30) der Schraubtechnik. Dabei werden fünf logische Ebenen definiert. Der Informationsfluß geht von Ebene 0 zu Ebene 5. Ebene 0 ist der Verschraubungsprozeß selbst sowie alle ihn beschreibenden Parameter. Dies sind Drehzahl des Werkzeuges, Haltezeiten, Reibkräfte, Längung von Werkstücken, Form- und Lagetoleranzen, verschiedene Drehmomente und Kräfte, geometrische Daten etc. Eine Untermenge dieser Daten kann zur Prozeßbeobachtung herangezogen werden.

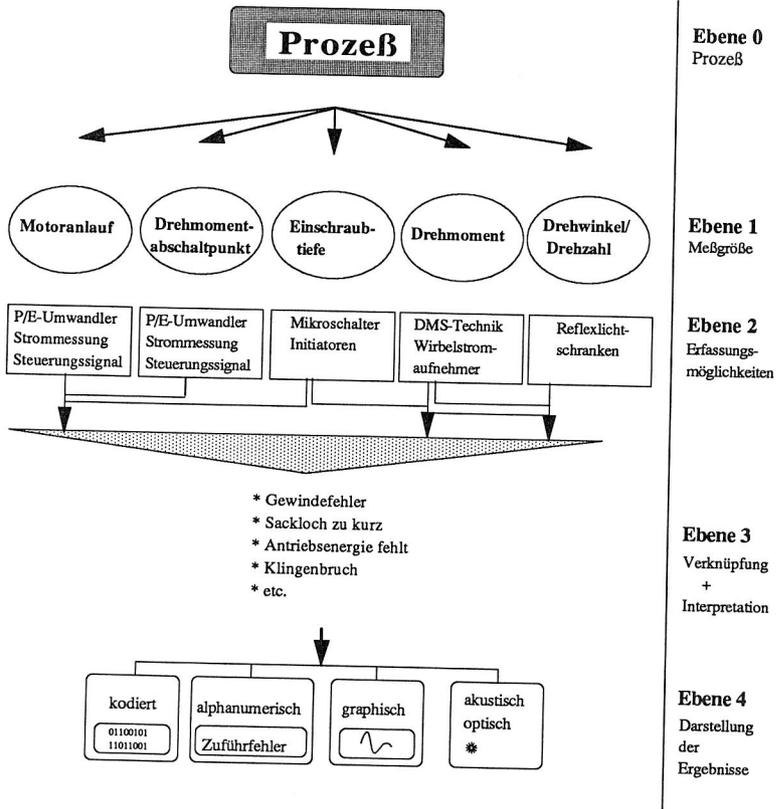


Bild 4.30: Sensormodell in der Schraubtechnik

Diese Daten werden als Meßgrößen bezeichnet und bilden Ebene 1 des genannten Modells. Daran schließt sich die Erfassung dieser Daten mit den entsprechenden Meßgeräten an. Geräte und zugehörige Meßtechnik bilden die Ebene 2 des Sensormodells. Aus den erhaltenen Ergebnissen lassen sich durch geeignete Verknüpfung und entsprechende Interpretation Aussagen über Prozeßzustände gewinnen (Ebene 3). Die Darstellung der Ergebnisse als Voraussetzung für die Prozeßrückführung und damit das Schließen des Prozeßregelkreises bilden die letzte Ebene (4) des Sensormodells.

#### **4.6.1 Meßgrößen**

##### **Motoranlauf**

Das Einschalten des Schraubwerkzeuges durch Klängenandruck ist eine der häufigsten Lösungen zur Startsteuerung. In diesem Fall ist die Kontrolle des Motoranlaufs wesentliche Meßgröße. Je nach Antrieb und Steuerung handelt es sich um ein binäres Signal, das über einen pneumatisch/elektrischen Wandler, eine Strommessung oder als direktes Steuerungssignal vorliegt.

##### **Drehmomentabschaltpunkt**

Das Erreichen des vorgegebenen Drehmomentes steht am Motor ebenfalls als Meßgröße zur Verfügung. Je nach Anzugsverfahren kann der Startpunkt über die mechanische Kupplung und das Abschalten des Antriebes wie oben oder aus der Steuerung abgeleitet werden.

##### **Einschraubtiefe**

Die Einschraubtiefe beschreibt die eingeschraubte Länge der Schraube und ist damit ebenfalls wichtige Meßgröße zur Beurteilung der Verschraubungsqualität.

##### **Drehwinkel**

Der Drehwinkel beschreibt die Umdrehung des Werkzeuges und damit der Schraube. Er ist Basis der höherwertigen Anzugsverfahren. Gemessen wird er über Reflexlichtschranken, die am Umfang angebrachte Inkremente auswerten. Übliche Auflösungsbereiche liegen bei etwa einem Grad.

##### **Drehzahl**

Mit entsprechender Auflösung werden geeignete handelsübliche Drehgeber zur Drehzahlmessung eingesetzt. Die Drehzahl spielt jedoch nur bei einigen Sonderfällen eine wichtige Rolle und wird daher selten erfaßt.

## Drehmoment

Wichtigste Meßgröße in der Schraubtechnik ist das aufgebrachte Montagemoment. Diese Meßgröße wird bei nahezu allen Anzugsverfahren benötigt. Möglichkeiten zur Drehmomentmessung werden daher im folgenden detailliert dargestellt.

### 4.6.2 Meßverfahren

Die mechanische Erfassung des aufgebrachten Montagemomentes über federbelastete Kupplungen ist in vielen Fällen zur Drehmomentsteuerung ausreichend. Sollen höhere Anzugsverfahren realisiert oder eine Prozeßdatenerfassung vorgenommen werden, muß das Drehmoment laufend gemessen und als auswertbares Signal zur Verfügung gestellt werden. Die älteste Methode zur Erfassung von Drehmomenten ist das Dehnmeßstreifen (DMS) - Verfahren. Genutzter physikalischer Effekt ist der unter mechanischer Belastung geänderte Widerstand geeigneter elektrischer Leiter. Die robuste Bauweise steht vor allem großem benötigtem Bauraum und den zur Signalübertragung benötigten Schleifringen als Nachteilen gegenüber.

Um die Schleifringe als Verschleißteil zu vermeiden wurde ein Wirbelstrommeßverfahren entwickelt [32,91]. An je einem Ende der Torsionswelle sind geschlitzte Hohlzylinder befestigt, die gegeneinander tordiert eine veränderliche Zylindermantelfläche erzeugen. Im umgebenden Gehäuse sind Spulen integriert, die ein hochfrequentes Wirbelstromfeld in der Zylindermantelfläche erzeugen. Durch die Veränderung dieser Oberfläche wird dieses Feld, abhängig vom Drehmoment unterschiedlich stark bedämpft. Diese Dämpfung kann als Meßgröße herangezogen werden. Damit entfallen die Schleifringe als Verschleißteil. Der Wirbelstromsensor benötigt immer noch einen relativ großen Bauraum und zusätzliches Gewicht.

Eine weitere Möglichkeit Drehmomente zu messen sind piezoelektrische Aufnehmer. Dabei werden Quarzkristalle ( $\text{SiO}_2$ ) elastisch verformt, sodaß an definierten Außenflächen eine elektrische Ladung auftritt. Dies wird als direkter piezoelektrischer Effekt bezeichnet. Nach dem Zusammenhang  $Q_i \sim F_i$  läßt sich die belastende Kraft aus der gemessenen Ladung errechnen. Drehmomente lassen

sich mit dem dargestellten Ringelement messen. Dabei sind die einzelnen Quarzscheiben auf dem Umfang so angeordnet, daß die auftretenden tangentialen Schubkräfte gemessen werden. Der Aufnehmer muß unter hoher Vorspannung stehen, um die auftretenden Momente durch die Reibkräfte auf die Quarzelemente als Schubkraft zu übertragen. Alle Einzelelemente sind parallel geschaltet, sodaß die entstehende Gesamtladung zu dem übertragenen Moment proportional ist.

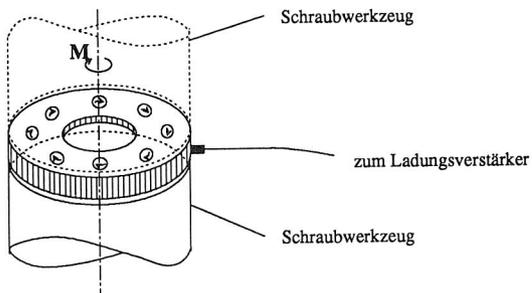


Bild 4.31: Piezoelektrischer Drehmomentaufnehmer

Da der Isolationswiderstand von Ladungsverstärker und Meßgerät nur endlich groß ist, fließt die entstandene Ladung langsam ab. Piezoelektrische Aufnehmer sind daher für statische Meßvorgänge nur bedingt geeignet. Für den Einsatz in Schraubwerkzeugen vereinen sie allerdings den sehr geringen Bauraum, die fehlenden Verschleißteile und die guten meßtechnischen Eigenschaften als wichtige Vorteile.

### 4.6.3 Auswertung

Zahlreiche Aussagen lassen sich bereits durch ein geeignetes Verknüpfen der binär vorliegenden Signale erreichen. Diese einfache Qualitätsüberwachung erfolgt in der Regel auf der Anlagen-SPS. Dazu einige Beispiele:

#### Kein Motoranlauf:

Ist kein Motoranlauf erfolgt, liegt entweder keine Schraube im Mundstück, ist die Klinge gebrochen, kein Bauteil vorhanden oder

die Antriebsenergie fehlt. Da die Anwesenheit von Schraube, Bauteil und Antriebsenergie leicht überwacht werden können, handelt es sich mit hoher Wahrscheinlichkeit um einen Klingenbruch.

**Motor angelaufen, Schaltpunkt nicht erreicht:**

Hier liegt ein Gewindefehler vor, oder es wurde die falsche Schraube (zu lang) zugeführt.

**Schaltpunkt erreicht, Einschraubtiefe nicht erreicht:**

Hier liegt der umgekehrte Gewindefehler oder eine falsche Schraube (zu kurz) vor.

Diese Informationen können über kodierte Fehlerdisplays ausgegeben, oder an Zellrechner weitergeleitet werden. Sie sind gleichzeitig Basis einer möglichen Maschinen- oder Betriebsdatenerfassung.

Eine zweite Stufe der Auswertung von Meßdaten dient der Steuerung des Anzugverfahrens. Alle beschriebenen höheren Anzugsverfahren benötigen Informationen über Drehmoment und Drehwinkel. Im Vergleich mit eingestellten Sollwerten sind die Meßwerte Istzustandsbild für die Antriebssteuerung oder Regelung.

Schließlich werden alle Daten auch zur Prozeßbeobachtung, Qualitätssicherung und Dokumentation verarbeitet. Dies geschieht nach dem jeweiligen Meßverfahren in der Regel auf speziellen Steuerrechnern der entsprechenden Hersteller. Eine flexible Anpassung an die betrieblichen Gegebenheiten ist kaum möglich [75]. Der übliche Funktionsumfang liegt auf der Erfassung einiger statistischer Daten, die auf Drucker protokolliert werden können. Beispielsweise lassen sich Momentmaximalwerte oder Nachspannwinkel aufzeichnen.

Eine weitergehende Auswertung mit exakter Zuordnung zur Produktidentifikationsnummer findet in der Regel nicht statt. Durch die unterschiedliche Meßtechnik wird häufig Spezialhard- und Software eingesetzt, die eine Integration in die Rechnerumgebung der Fertigung erschweren.

## **4.7 Entwicklungstendenzen**

### **Pneumatische Antriebe**

Alle beschriebenen höheren Anzugsverfahren lassen sich nur mit gesteuerten oder geregelten Antrieben verwirklichen. Diese Möglichkeit gibt es auf Grund der fehlenden Stellglieder für pneumatische Antriebe bislang nicht. Um die übrigen Vorteile der pneumatischen Antriebe weiter nutzen zu können, liegt eine Aufgabe künftiger Arbeiten in der Entwicklung geeigneter Stellglieder [52]. Dabei konnten durch Stetigventile mit extrem hohen Schaltfrequenzen bei geringem Bauraum sowie geeigneten Regelalgorithmen bereits erste Ergebnisse erzielt werden [112].

### **Elektrische Antriebe**

Bei den elektrischen Antrieben liegt der Entwicklungsschwerpunkt bei neuen bürstenlosen Gleichstromantrieben. Hier geht die Zielrichtung zu einer weiteren Verbesserung des Leistungsgewichts und der Entwicklung kleinerer Antriebe für den unteren Leistungsbe- reich der Schraubtechnik.

### **Schraubstationen**

Größte Einschränkung bestehender Schraubstationen ist die geringe Flexibilität. Zur Verarbeitung verschiedener Schrauben muß in fast allen Fällen das Schraubwerkzeug gewechselt und die gesamte Zuführung geändert werden. Einige Arbeiten versuchen durch verstellbare Komponenten hier eine Verbesserung zu erreichen [37].

### **Steuerungstechnik**

Teilfunktionen der Flexibilität lassen sich auch durch erweiterte Steuerungsfunktionen erreichen. So ist die Verschraubung nach Drehmomentverläufen, die freie Programmierbarkeit des Anzugverfahrens und das Schließen des Qualitätsregelkreises durch geeignete Steuerungsalgorithmen, die auf Veränderung der Produktionsumgebung automatisch reagieren, Ziel laufender Entwicklungsarbeit. Dazu kommen Arbeiten zur Einbindung von Schraubstationen in die Umgebung rechnerintegrierter Produktion [75].

## **5. Definition standardisierter Schraubstationen**

### **5.1 Auswahl von Lösungsstandards als Planungsmethode**

Die beschriebenen Schwierigkeiten der rechnergestützten Montageplanung, die enorme Vielfalt und Komplexität an relevanten Daten und Regeln zu beherrschen, macht die sinnvolle Einschränkung auf notwendige Mindestdatensätze erforderlich. Daraus ergibt sich als Methode eine mehrfache Beschränkung bei der Entwicklung von Planungshilfen. Neben der Festlegung auf eine spezielle Technologie, ist die Realisierung von Planung als Auswahl unter standardisierten Lösungen eine effektive Möglichkeit den Planungsaufwand zu verringern und den Einsatz rechnergestützter Planungshilfen zu erleichtern [16,28].

Planung wird dabei nicht mehr als individuelle Neuplanung, sondern als eine Art Betriebsmittelauswahl durchgeführt. Der Verzicht auf einzelne Sonderlösungen führt zu erstaunlich geringen Einschränkungen. Als erheblicher Nebeneffekt kann durch die Standardisierung auch die Betriebsmittelkonstruktion und vor allem die Betriebsmittelfertigung vereinfacht und damit kostengünstiger gestaltet werden.

Die Planung von Schraubstationen wird zweistufig durchgeführt. Basis und Ziel der Planungsarbeit ist die Auswahl einer vordefinierten Standardlösung. Mit der Auswahl wird zugleich ein Parametersatz bestimmt, der die ausgewählte Standardlösung an die Projektgegebenheiten anpaßt und weitgehend konfiguriert. Mit diesem Parametersatz können CAD-Variantenprogramme gestartet werden, die speziell auf diese Methodik abgestimmt sind, sodaß die vollständige Konstruktion mit Stücklisten und Basis-NC-Programmen als Ergebnis der Planung erreicht werden kann.

Zweite überlagerte Stufe ist die Entwicklung einiger Hilfsmittel zur Bestimmung dieser notwendigen Parameter. Dabei soll, durch große Flexibilität bezüglich der notwendigen Eingabedaten, die universelle Einsetzbarkeit der Hilfsmittel in verschiedenen Planungsphasen und von unterschiedlich qualifizierten Bedienpersonen ermöglicht werden.

Im Rahmen dieser Arbeit werden derartig standardisierte Schraubstationen entwickelt und beschreibende Parametersätze definiert. Gegliedert sind die Lösungsstandards nach ihrem Automatisierungsgrad in drei Hauptgruppen. Dazu werden die beiden Bereiche der Meßdatenerfassung und der Steuerung definiert, die mit jeder der mechanischen Lösungen kombinierbar sind. Da im Bereich der Meßdatenerfassung aus der bestehenden Technik keine standardisierte Lösung abzuleiten ist, wird die notwendige Voraussetzung durch eine eigene Neuentwicklung geschaffen.

## 5.2 Analyse industrieller Lösungen

Am Beispiel eines Herstellers von Schraubanlagen wurden industriell erstellte Schraubanlagen untersucht. Die betrachteten Lösungen beziehen sich in erster Linie auf Produkte der Elektro-, Elektronik- und der feinmechanischen Industrie. Damit eignen sich die Ergebnisse sehr gut als Ausgangsbasis für die Entwicklung von Standardlösungen im Bereich dieser Arbeit.

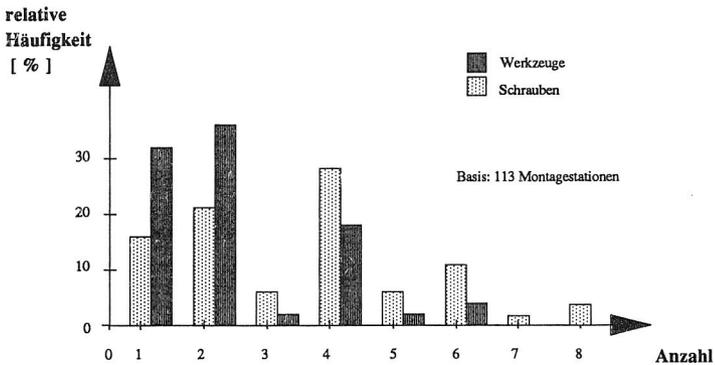


Bild 5.1: Zusammenhang von Werkzeug- und Schraubenzahl pro Montagestation

Untersucht werden 113 Montageaufgaben nach Produkt- und den zugehörigen Stationsmerkmalen. Zusätzlich werden wesentliche Planungssekdaten aufgenommen. Einige Ergebnisse der Produktanalyse

sind in Zusammenhang mit dem entwickelten Produktmodell dargestellt. Die produktbezogenen Angaben sind dabei nur auf die stationsrelevanten Merkmale bezogen. Die Anzahl der zu verarbeitenden Schrauben ist beispielsweise nicht auf das gesamte Produkt, sondern ausschließlich auf die jeweilige Station bezogen.

Deutlich zeigt der Vergleich von Werkzeug- und Schraubstellenzahl die symetrische Anordnung der meisten Aufgaben sowie die begrenzte Anzahl von Schrauben pro Station. Stationen mit einer, zwei und vier zu verarbeitenden Schrauben entsprechen bereits über 65 Prozent aller Aufgaben, Stationen mit einem, zwei oder vier Werkzeugen sogar 85 Prozent aller Systemlösungen. Der hohe Anteil von Stationen mit mehr als einem Werkzeug (68%) bestätigt die Bemühungen nach der Verwirklichung kürzerer Taktzeiten und höherem Automatisierungsgrad in der Montage.

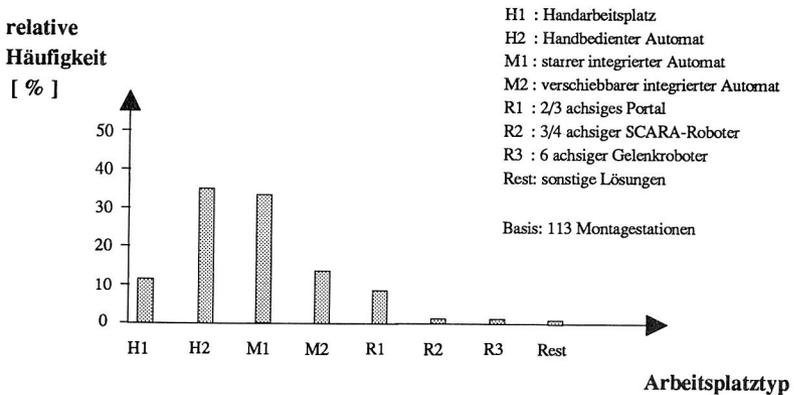


Bild 5.2: Anteile an Standardsystemen

Betrachtet man die aus den Aufgaben entstandenen Lösungen zeigt sich der hohe Anteil mechanisierter Systeme (90%). Der Schwerpunkt mit über 66 Prozent aller Stationen liegt bei relativ einfachen, entweder handbedienten oder bandintegrierten starren Automaten. Der in der Literatur häufig beschriebene zunehmende Robotereinsatz [89,99] läßt sich beim automatischen Verschrauben in dem untersuchten Industriespektrum nicht nachweisen. So ent-

fallen weniger als 10 Prozent aller Schraubstationen auf flexible, freiprogrammierbare Stationen. Davon sind wiederum etwa 90 Prozent in 2-3 achsiger Portalbauweise ausgeführt. Bestätigt wird diese Beobachtung durch die Anzahl der Schraubebenen. Nahezu 90 Prozent aller Aufgaben lassen sich innerhalb einer Schraubebene behandeln, fast alle (> 99%) bestehen aus maximal zwei Ebenen. Der Einsatz mehrachsiger Robotersysteme mit mehr als drei Freiheitsgraden ist so nur selten notwendig. Mit den definierten Standardsystemen lassen sich andererseits über 99 Prozent aller untersuchten Fälle erfolgreich konzipieren.

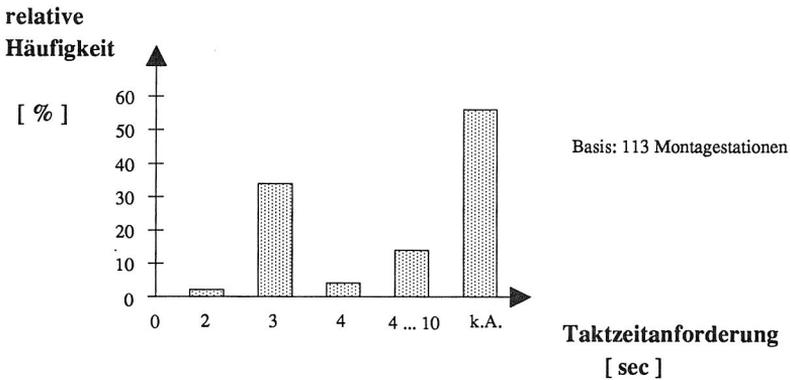


Bild 5.3: Taktzeitvorgaben untersuchter Planungsaufgaben

Als weitere wichtige Planungsvorgaben können Drehmomentangaben nur in 21, Taktzeitvorgaben in immerhin 44, bereits vormontierte Schrauben in weniger als 2, nicht zuführbare Schrauben in weniger als 5 und das Direktverschrauben in Kunststoff in 32 Prozent aller Fälle ermittelt werden.

Daß viele Forderungen nach montagegerechter Produktgestaltung (4.1.2) bereits verwirklicht werden, zeigt die Verteilung der Schraubenkopfformen. Ungünstige Schlitzschrauben finden sich nur in etwa 20 Prozent aller Fälle, überwiegend bei sehr kleinen Durchmessern und niedrigen Anzugsmomenten. Dennoch ist bei der Gestaltung des Schraubenkopfes immer noch ein erhebliches Potential für Verbesserungen vorhanden.

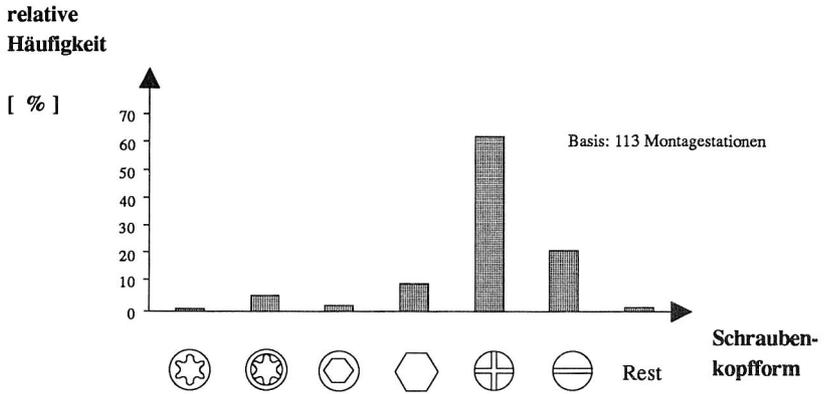


Bild 5.4: Eingesetzte Schraubkopfformen

Die Montage mehrerer Schraubentypen in einer Station ist nur in etwa 10 Prozent der Fälle gefordert. Diese unterschiedlichen Typen befinden sich dann in nur 7 Prozent der Fälle innerhalb einer Ebene.

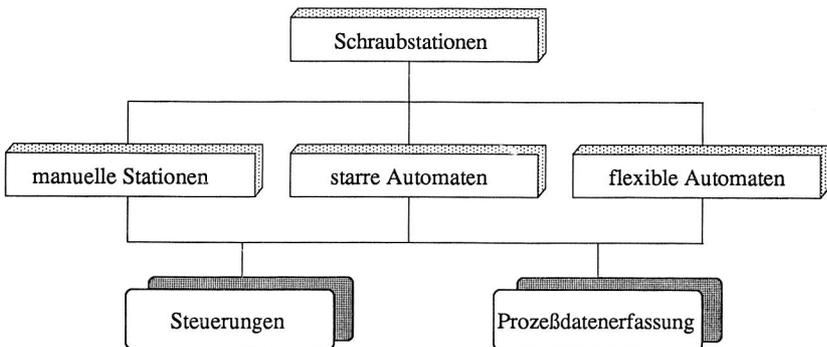


Bild 5.5: Ausprägungen von Schraubstationen

Schraubstationen lassen sich in den drei Haupttypen manuelle Arbeitsstationen, starre und flexible Automaten zusammenfassen. Alle Typen werden durch Komponenten aus dem Bereich der Steuerungstechnik und der Prozeß- und Meßdatenerfassung vervollständigt. Für diese fünf Bereiche werden in der vorliegenden Arbeit mögliche Lösungsstandards vorgeschlagen und entwickelt.

### **5.3 Handarbeitsplätze**

Der Begriff **manueller Arbeitsplatz** beschreibt in diesem Zusammenhang eine Montagestation an der zur Funktionserfüllung die ständige Anwesenheit einer Bedienperson erforderlich ist.

#### **Handgeführtes Werkzeug**

Einfache Ausprägung des manuellen Arbeitsplatzes ist die Einrichtung einer Montagestation mit handgeführtem Schraubwerkzeug. Mechanisierungsfortschritt ist hier durch den Einsatz angetriebener Werkzeuge zu erreichen. Ein Produktivitätsfortschritt kann, mit Drehzahlen zwischen 200 und 1000 Umdrehungen pro Minute über die verkürzten Einschraubzeiten erzielt werden. Beispielsweise läßt sich die Einschraubzeit einer DIN-Schraube M6 x 40 mit 20 mm Einschraublänge von etwa 10 Sekunden (Schraubendreher) auf 1.2 Sekunden (pneumatisches Werkzeug mit ca. 800 U/Min) reduzieren. Die Dauerbelastung der Arbeitsperson durch die Einschraubbewegung kann vermieden werden.

Weiterer Automatisierungsfortschritt kann durch die automatische Schraubenzuführung bereits am einfachen manuellen Arbeitsplatz erreicht werden. Gegenüber günstiger Anordnung von Schrauben in Griffschalen und manueller Vormontage in beispielsweise 2 Sekunden werden Schrauben über Zuführsysteme während der Werkstückwechselzeit nachgeführt und in die Montageposition am Werkzeug gebracht, sodaß diese Taktzeitanteile entfallen.

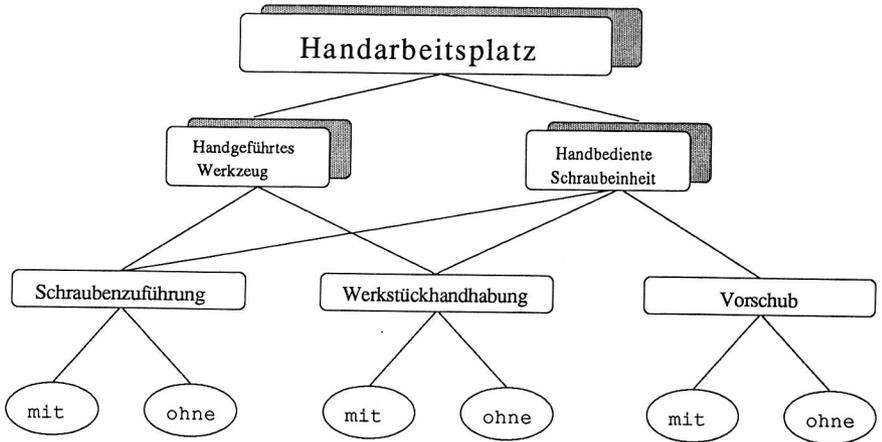


Bild 5.6: Ausprägungen manueller Schraubstationen

Bei der Auswahl der Schraubwerkzeuge ist besonders auf die ergonomische Gestaltung des Gehäuses und die Aufnahme der Montage-rückdrehmomente zu achten. Unterschiedliche verfügbare Gehäusebauformen erleichtern die Auswahl geeigneter Werkzeuge. Am Standardarbeitsplatz wird das Werkzeuggewicht durch ein Ausgleichssystem in der Werkzeugaufhängung aufgenommen. Die mechanische Belastung reduziert sich auf die Überwindung der Gewichtsausgleichsfeder ( $< 100\text{ N}$ ) und die Aufnahme der Rückdrehmomente. Insbesondere diese Momente können in der Dauerbelastung zu erheblichen Ermüdungserscheinungen führen.

Weiterhin besteht die Schraubstation am manuellen Arbeitsplatz aus Hilfsvorrichtungen zur Positionierung von Verbindungsteilen (Schrauben, Muttern, Scheiben etc.) und Werkstücken. Das Fügen der Einzelteile ist häufig zusätzliche Aufgabe der Montagestationen. Zur Anordnung der übrigen Komponenten, wie Arbeitstisch, Stuhl, Beleuchtung liegen ergonomische Konstruktionsrichtlinien vor [87].

Neben Planungsdaten über Werkstücke und Inhalte der Fügeaufgaben, sind mit der beschriebenen Planungsmethode folgende Parameter zur Konzeption der manuellen Schraubstation zu definieren:

- Werkstückhüllquader
- Werkzeugidentnummern
- Zuführeinrichtungen (j/n)
- Art der Zuführung (nach der Schraube)
- Auswahl der Hilfsvorrichtungen zur Bereitstellung der Verbindungsteile
- Ausprägung der Werkzeugaufhängung (nach Werkzeuggewicht)
- Drehmomenteinstellwerte

Der Personalbedarf einer derartigen Arbeitsstation besteht aus einer angelernten Arbeitsperson. Die Arbeit ist in der Regel ohne große mechanische Belastung und besondere Fachkenntnis ausführbar. Einstellarbeiten am Werkzeug erfordern je nach Qualitätsanforderungen 0.5 - 1 zusätzliche Facharbeiterstunde pro Monat. Ist der Arbeitsplatz mit automatischen Zuführsystemen versehen, erhöht sich der Einstellaufwand auf 1 - 2 Stunden pro Monat. Rüstzeiten erfordern mit Werkzeugwechsel und Drehmomenteinstellung etwa 10 Minuten.

### **Handbediente Schraubeinheit**

In der Weiterentwicklung manueller Arbeitsplätze kann der Positioniervorgang des Werkzeuges über dem Werkstück ebenfalls mechanisiert werden. Insbesondere an Stationen mit automatischer Schraubenzuführung oder vormontierten Schrauben sind derartige Systeme sehr effektiv einsetzbar. Dabei wird das Schraubwerkzeug an einer Aufnahmeplatte befestigt. Diese Platte ist über eine Doppelsäulenführung fixiert. Dieser Werkzeugständer wird über der Werkstückaufnahme montiert. Die Bedienperson führt in einer einfachen Schwenkbewegung das Werkzeug an die Schraubstelle. Die Taktzeitanteile für die Positioniervorgänge entfallen.

Je nach Einbindung der Schraubstation kann dieser Ständer in automatisierte Montagesysteme und den zugehörigen Materialfluß eingebunden oder überwiegend in teilautomatisierte Systeme inte-

griert werden. Von der Bedienperson sind dann häufig zusätzliche Füge- und Werkstückpositionierarbeiten vorzunehmen.

Um die Belastung durch die Schwenkbewegung der Werkzeugaufhängung zu vermeiden, kann der Schrauberhub auch mit eigenem, pneumatischem Antrieb versehen werden. Dann entsteht eine bereits voll mechanisierte, lediglich handgesteuerte Schraubstation. Zur Realisierung der notwendigen Kinematik werden an der Grundeinheit drei weitere Platten befestigt. Die beiden Schrauberplatten ermöglichen durch Relativbewegung den notwendigen Längenausgleich beim Eindrehen der Schraube. Zusammen werden sie gegen die Zylinderplatte zur Hubbewegung der Einheit und der relativen Klingebewegung für das Nachladen der Schraube verfahren. Die Mundstücke sind über die Mundstückplatte direkt an der Säulenführung der Grundeinheit befestigt.

Diese Konstruktion ist bereits Grundlage der folgenden automatisierten Systeme. Sie wird jedoch in der Regel manuell beschickt und ist mit einer sogenannten pneumatischen Zweihandsteuerung versehen. Die Bedienperson bringt, häufig durch Positionierhilfen und Schiebeschlitten unterstützt die Werkstücke in die Montagestation und startet den Verschraubungsvorgang über zwei getrennte, von je einer Hand zu betätigende Schalter.

Bestimmungsgrößen der Planungsmethode für handbediente Schraubereinheiten sind:

- mechanisierte Hubbewegung (j/n)
- Werkzeugzahl
- Produkthüllquader
- Werkzeugidentifikation
- Drehmomenteinstellwert
- Ausprägung der Zuführung (nach der Schraube)
- Schraubstellengeometrie

Der Personalbedarf entspricht dem einfacher Arbeitsplätze. Beim Betrieb der Schraubeinheit ist eine längere fachlich bezogene Einarbeitung anzustreben. Geringfügig höher ist jedoch der Einstellaufwand bei Schraubeinheiten. Je nach Ausbau mit Zuführung und Werkstückschlitten sind 2 - 3 Facharbeiterstunden pro Monat

erforderlich. Ein Umrüsten könnte über den Tausch der Aufnahmeplatten erfolgen. In der Regel werden jedoch nur Drehmomenteinstellungen geändert, sodaß der Rüstaufwand mit etwa 15 Minuten zu veranschlagen ist.

#### 5.4 Starre Automaten

In der nächsten Automatisierungsstufe wird der Einsatz ständig anwesender Bedienpersonen vermieden. Dazu werden voll mechanisierte Schraubeinheiten an die jeweilige Aufgabe angepaßt. Die Werkstückhandhabung und der Materialfluß sind in das gesamte Montagesystem integriert. Je nach Anzahl der Schraubenebenen und zusätzlicher Randbedingungen sind zwei Hauptausprägungen zu unterscheiden (Bild 5.7). Ist keine automatische Schraubenzuführung möglich, muß die Schraube an vorausliegenden Stationen vormontiert werden. Ein manueller Eingriff in die laufende Anlage ist nicht vorgesehen.

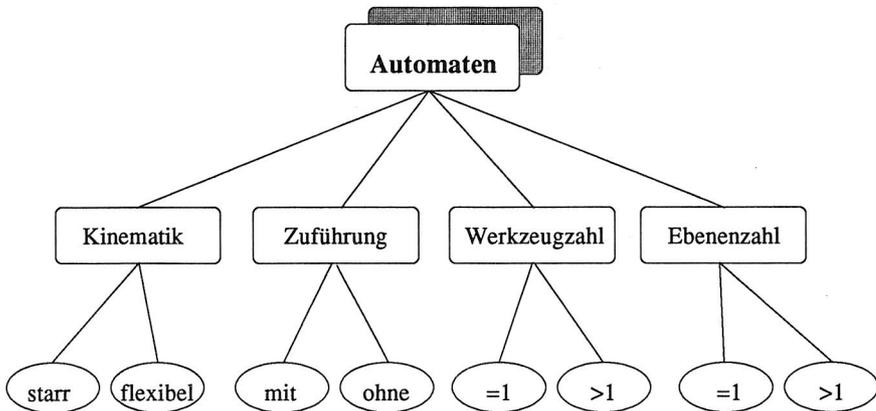


Bild 5.7: Ausprägung starrer Einheiten

## Starre Mehrfacheinheit

Bei starren Mehrfacheinheiten wird das Konzept der handbedienten Schraubeinheit um mechanische Komponenten insbesondere zur Werkstückhandhabung erweitert. Die volle Integration in bestehende Montagesysteme stellt erweiterte Anforderungen an die Stationssteuerung, die in der Regel mit der pneumatischen Basissteuerung nicht mehr erfüllt werden können.

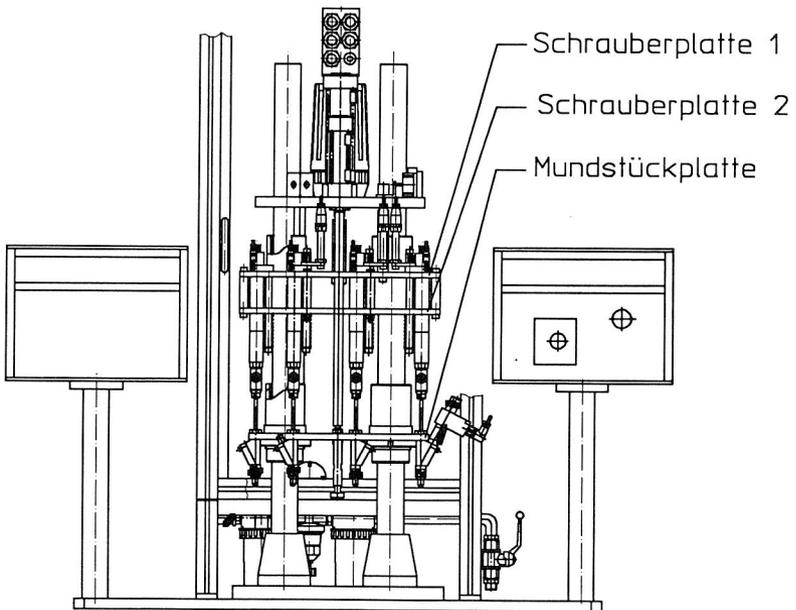


Bild 5.8: Schraubstation als Mehrfacheinheit

Zur Taktzeitverkürzung wird versucht, das Schraubbild einzelner Ebenen in den Platten der Schraubeinheit vollständig abzubilden. Dabei kommen häufig Systeme mit mehr als einem Schraubwerkzeug zum Einsatz. Die zeitgleiche Montage mehrerer Schrauben entspricht auch optimal häufigen Reihenfolgevorschriften. Sind am Werkstück mehrere Ebenen in einer Station zu bearbeiten, wird der gesamte Aufbau aus Teilstationen pro Ebene zusammengestellt. Eine Teilstation entspricht vollständig der beschriebenen Mehrfacheinheit.

Die Gestellaufbauten werden aus Aluminiumprofilen zusammengestellt, müssen aber an die Materialflußbedingungen des Montagesystems angepaßt werden. Die geplante Arbeitshöhe ist dafür entscheidender Planungsparameter, dazu kommen noch:

- Ebenenzahl
- Produkthüllquader
- Werkzeugzahl
- Werkzeugidentifikation
- Einstellwerte
- Lochbilder
- Zuführung (j/n)
- Ausprägung der Zuführung (nach der Schraube)
- Arbeitshöhe

Der Personalbedarf ist auf die Ausführung von Rüst-, Einstell- und Überwachungsarbeiten reduziert. Die erforderliche Komplexität dieser Arbeiten erfordert jedoch einen gewissen Einarbeitungsaufwand angelernter Kräfte. Der Einsatz von Facharbeitern ist anzustreben. Insbesondere die Anbindung an das gesamte Montagesystem, Bedienung und Überwachung der mechanischen Verschiebekomponenten, der Werkzeuge, der gesamten Zuführtechnik und der elektronischen Steuerung stellen erhöhte Anforderungen an die Bedienperson.

Der Bedienaufwand umfaßt zwischen 10 und 20 Prozent der Anlagenlaufzeit. Rüstvorgänge entstehen durch Anpassung der Anzugsvorgaben und sind im obigen Zeitanteil enthalten. Ein Umrüsten der Schraubbilder durch Austausch der Schrauber- und Mundstückplatten ist denkbar, entspricht aber annähernd dem Aufbau neuer Systeme und kommt daher im laufenden Montagebetrieb praktisch nicht vor.

## **Verschiebbare Mehrfacheinheit**

Läßt sich das Schraubbild pro Ebene mit dieser beschriebenen Mehrfacheinheit nicht vollständig abbilden, wird versucht Teilschraubbilder abzuleiten, die sich mit entsprechenden Teileinheiten abbilden lassen. Dies ist insbesondere bei zu geringen Abständen der Schraubachsen oder hoher Variantenvielfalt der Fall. Kann die vollständige Darstellung des Schraubbildes durch mehrfache Abbildung von Teileinheiten erreicht werden, ist die Montage mit der sogenannten verschiebbaren Mehrfacheinheit durchführbar.

Die Schrauber- und Mundstückplatten werden dann nicht direkt am Säulenaufbau der Einheit, sondern an Längsführungen, entsprechend der notwendigen Verschiebung der Teileinheit befestigt. Die Verschiebung erfolgt über pneumatisch angetriebene Linearzylinder. Die ebenfalls mögliche Verschiebung der Werkstücke ist für die Definition von Standardlösungen nicht vorgesehen, da sie wesentlich in den Materialfluß des gesamten Montagesystems eingreifen würde. Daher ist diese Möglichkeit in realisierten Systemen auch nur selten vorzufinden. Soll sie dennoch als Randbedingung verarbeitet werden, kann dies problemlos über die Reduktion des angegebenen Schraubbildes verwirklicht werden.

Entscheidende Bestimmungsgrößen sind neben den bereits genannten Parametern der starren Mehrfacheinheit relevante Planungsgrößen:

- Länge des Taktweges
- Orientierung des Taktweges
- Takthäufigkeit

Sind Variantenwechsel durch die verschiebbaren Teileinheiten abgedeckt, fallen keine gesonderten Rüstzeiten an. Der Wechsel von Schrauber- und Mundstückplatten als Rüstvorgang ist nicht vorgesehen. Der Personalaufwand ist aufgrund komplexerer Mechanik geringfügig höher angesetzt als bei starren Mehrfacheinheiten. Die Anforderungen an Steuerungshard- und -software liegen ebenfalls über denen starrer Einheiten.

## **5.5 Flexible Automaten**

Kann die Vielzahl möglicher Schraubbilder, entstanden durch hohe Variantenvielfalt oder Ebenenzahlen mit den beschriebenen Mehrfacheinheiten nicht realisiert werden, müssen sogenannte flexible Automaten herangezogen werden. Wie bereits dargestellt, liegt deren Anteil an realisierten Lösungen derzeit noch unter zehn Prozent. Die steigenden Anforderungen an die Flexibilität der Montagemaschinen läßt jedoch eine Steigerung diesen Anteils erwarten, sodaß diesen Lösungen ebenfalls entsprechende Bedeutung einzuräumen ist.

Neben geringeren Taktzeitanforderungen sind diesen Systemen die hohe Flexibilität in der laufenden Produktion, aber auch die höhere Nachfolgeflexibilität bei Produktwechsel gemeinsam. Demgegenüber steht ein wesentlich höherer Investitionsbedarf.

### **Kartesische Bauweise**

Häufig werden Werkstücke in nur wenigen Schraubebenen verarbeitet. Auch ist bei Produkten mit mehreren Ebenen deren Anordnung häufig kartesisch, sodaß den kartesisch aufgebauten Portalrobotern die größte Bedeutung unter den flexiblen Systemen zukommt. Die Konstruktion der hier entwickelten Standardlösung basiert auf einem mit Aluminiumprofilen gestalteten Grundaufbau. Der Werkzeugschlitten ist über Rundführungen an diesem Aufbau befestigt und wird über ein Zahnriemen-Getriebe und Drehstromservomotoren angetrieben. Im Grundkonzept besteht das Portal aus zwei Hauptachsen, mit denen die Hauptschraubebene bedient wird. Der Vor- und Rückhub des Werkzeugs in den Sicherheitsabstand erfolgt dann mit den notwendigen Schraubhüben pneumatisch.

Besteht die Montageaufgabe aus zwei parallelen Schraubebenen, kann dieser Fall durch eine dritte, vertikal angeordnete NC-Achse bearbeitet werden. Weitere Schraubebenen werden durch entsprechende Teileinheiten gesondert bearbeitet. Dabei wird in der Regel ein gemeinsamer Gestellaufbau genutzt.

Der Werkzeugschlitten entspricht im prinzipiellen Aufbau den einfachen starren Anordnungen mit Schrauber- und Mundstückplatten. Häufig sind ein, selten zwei Werkzeuge am Schlitten befestigt. Ein Werkzeugwechsel in der laufenden Produktion ist nicht vorgesehen. Die bewegten Massen des Portals sind maßgebliche Determinanten für die Auslegung der NC-Antriebe. Das Werkzeuggewicht spielt hierbei eine entscheidende Rolle.

Die Art der Schraubenzuführung beeinflusst die Leistungsdaten dieser Station entscheidend. Zusätzliche Verfahrensbewegungen durch "pick and place" - Konzepte erhöhen die Taktzeit wesentlich. Grundsätzlich ist die Mitführung der relativ langen und steifen Zuführschläuche an flexiblen, bewegten Systemen problematisch. Zulässige Biegeradien müssen ebenso beachtet werden wie maximal mögliche Zuführwege. Die Anordnung des Zuführgerätes ist zu optimierende Größe, neben der Länge der Zuführwege ist vorallem die Zugänglichkeit der Geräte im gesamten Montagesystem zu beachten.

In der Konzeption sind als variable Größen die notwendige Achsenzahl aus der Ebenenlage, die Arbeitsraumabmessungen aus dem Produkthüllquader, die Antriebsleistung aus den bewegten Massen und den Taktzeitanforderungen sowie die Werkzeugauswahl zu bestimmen. Weitere Parameter sind:

- Werkzeugidentifikation
- Einstellwerte
- Schraubbilder
- Optimale Montagereihenfolge

Der Personalaufwand entspricht dem der verschiebbaren Mehrfacheinheit, die Qualifikation erfordert jedoch weitergehende Kenntnisse im Steuerungsbereich. Zu der üblichen Ablaufsteuerung sind hier spezielle Komponenten der NC-Achssteuerung mit den zugehörigen Leistungsteilen zu programmieren und zu warten.

## Knickarmroboter

### Horizontalbauweise

Für die, mit Portalrobotern bearbeiteten Montageaufgaben lassen sich in einigen Fällen alternativ auch 3 bis 4-achsige Knickarmroboter in horizontaler Bauweise (SCARA) einsetzen. Die Eignungsmerkmale weichen in einzelnen Bewertungskriterien geringfügig ab. Die durchgeführte Analyse von Schraubstationen zeigt, daß in der Summe der Eigenschaften häufig die Portalbauweise bevorzugt wird.



begrenzt	<b>Arbeitsraum</b>	besser an Produktgeometrie angepaßt
kürzer	<b>Verfahrzeit</b>	länger
höher	<b>Positioniergenauigkeit</b>	geringer
1	<b>Werkzeugzahl</b>	bis 3
ca. 120 %	<b>Kosten</b>	ca. 100 %
ca. 100 %	<b>Wiederverwendbarkeit</b>	ca. 80 %

Bild 5.9: SCARA- und Portalbauweise in Schraubstationen

Mit der hier vorgestellten Methode werden Schraubstationen für Aufgaben mit drei Ebenen und einem Werkzeug bei relativ kurzen Taktzeiten mit SCARA-Robotern konzipiert. Die hohe Steifigkeit in vertikaler Richtung bei gleichzeitiger selektiver Nachgiebigkeit in den Drehachsen kommt bei horizontaler Schraubebene gut zur Geltung. Andererseits zeigt die Geometrie untersuchter Werkstücke eine häufig karthesische Form, die im Arbeitsraum dieser Roboter nur mit Einschränkungen unterzubringen ist.

## **Vertikalbauweise**

Ungünstiger in ihren Einsatzmerkmalen an Schraubstationen sind Roboter in vertikaler Bauweise. Diese sind meist mit 6 Freiheitsgraden ausgestattet und haben als universelle Handhabungsgeräte zunehmende Verbreitung gefunden. Als Standardlösung nach der hier beschriebenen Methode kommen sie bei Produkten mit mehr als drei Schraubebenen pro Station, geringen Taktzeitanforderungen (< 20 Sekunden, oder 4 Sekunden pro Schraube) und vor allen Dingen hoher Variantenvielfalt zur Konzeption. Diese Randbedingungen sind im betrachteten Anwendungsbereich sehr selten gegeben. Als Planungsrandbedingung kann die Wiederverwendung vorhandener Geräte zur Auswahl dieser Lösung führen. Häufiger sind derartige Anforderungen dagegen in der Automobilindustrie bei der Fahrzeugendmontage zu beobachten.

Weiterhin erweist sich die Realisierung der konventionellen Zuführtechnik mit steifen Schläuchen in begrenzter Länge als problematisch. Werden pneumatisch angetriebene Werkzeuge eingesetzt, was auf Grund der Gewichtsvorteile häufig der Fall ist, sind zusätzlich noch Druckluftzuleitungen zu verlegen.

Müssen zur Bewältigung der Variantenvielfalt mehrere Werkzeuge eingesetzt werden, sind Werkzeugwechselsysteme erforderlich. Die Störanfälligkeit, der hohe Wartungs- und Bedienaufwand und vor allem die hohen Kosten sind wesentliche Einsatzhemmnisse.

Der Einsatz dieser universellen Robotersysteme erfordert den Einbau spezieller Robotersteuerungen. Die Steuerungsfunktionen der Schraubtechnik lassen sich für diese verschiedenen Steuerungstypen nicht standardisieren. Daher muß die Robotersteuerung mit der Standard - Steuerung (SPS) gekoppelt werden. Diese Kopplung und die zusätzlichen Steuerungskomponenten verschlechtern die Kostensituation dieser Lösungsvarianten.

Als Planungsparameter sind zu definieren:

- Produkthüllquader
- Zuführung (j/n)
- Ausprägung der Zuführung (nach der Schraube)
- Werkzeugidentifikation
- Einstellwerte

Der personelle Aufwand ist gegenüber dem Schraubportal durch die beiden verbundenen Steuerungssysteme höher anzusetzen. Dies gilt besonders für die Qualifikation der betreuenden Facharbeiter.

### 5.6 Steuerungsstandards

Steuerungsstandards sind an Schraubstationen sowohl für die eingesetzte Hardware, als auch die notwendige Logistik und Software zu definieren. Notwendige Grundfunktionen sind bereits im Kapitel 4 dieser Arbeit dargelegt. Aus den weiter detaillierten Anforderungen ergeben sich folgende Lösungsmöglichkeiten:

Hardware	Zuführtechnik	Werkzeugsteuerung	Handhabung	Ablauf	Leitfunktion
pneumatisch	●	●	●	●	
Basis-SPS	●	●		●	●
erweiterte SPS			●		●
RC			●		
PC			●		●

Bild 5.10: Einsatzmöglichkeiten von Steuerungskomponenten in der Schraubtechnik

Für den Steuerungsteil der vorgestellten Standardschraubstationen werden daraus zwei Basislösungen abgeleitet:

### Pneumatische Steuerung

Pneumatische Systeme werden zur Steuerung der Schraubenzuführung, der Werkzeuge und einfachster Handhabungs- und Ablauffunktionen eingesetzt. Die Bedeutung dieser Steuerungen liegt in erster Linie in den erzielbaren Kostenvorteilen und dem einfachen Aufbau. Bei der Schraubenzuführung sind die Vereinzlungsschieber, das Zuführgerät sowie die Dauer und der Zeitpunkt der Schußluft anzusteuern.

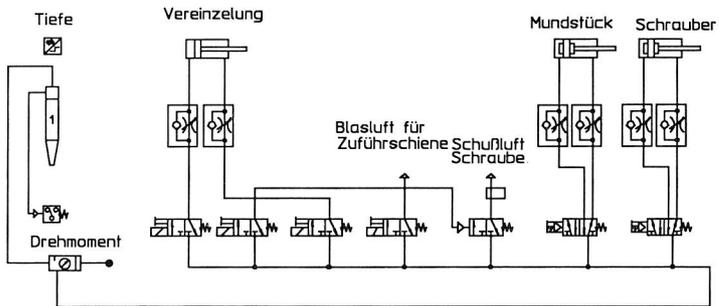


Bild 5.11: Schaltung einer pneumatischen Schraubersteuerung

Software für pneumatische Steuerungen ist nicht zu erstellen, logische Elemente sind durch den Aufbau einzelner Schaltungselemente verwirklicht. Dem Kostenvorteil stehen erhebliche Einschränkungen in Flexibilität und Funktionsumfang gegenüber, sodaß diese Steuerung nur für einfache, manuelle Arbeitsplätze mit strengen Investitionsrandbedingungen konzipiert sind.

## Elektrische Steuerungen

Große Fortschritte in Funktionalität und Bedienkomfort bringt die Entwicklung der Mikroelektronik auch im Bereich elektrischer und elektronischer Steuerungen. Pneumatische oder elektromechanische Steuerungen werden dadurch weitgehend verdrängt. Zur Steuerung von Schraubstationen sind vorhandene speicherprogrammierbare Steuerungen bestens geeignet. Sie erfüllen alle Anforderungen an Funktionalität und Investitionsvolumen, sodaß sie den Kern standardisierter Schraubsteuerungen darstellen.

In jedem Fall lassen sich Funktionen der Zuführ- und Werkzeugansteuerung mit entwickelten parametrisierbaren Softwaremodulen verwirklichen. Erweiterte Funktionsbereiche werden durch Erweiterungsbausteine in die SPS integriert oder über angeschlossene, eigenständige Steuerungen bedient. Die bestimmenden Planungsparameter sind im Einzelnen:

- Steuerungsmedium (p/e)
- Zuführtechnik (Gerätezahl, Einschaltdauer, Schußluftdauer, Anzahl der Anschlüsse, etc.)
- Werkzeug (Art und Anzahl, Anzugverfahren, Überwachung von Motoran- und auslauf, Einschraubtiefe, Vorschub, Klängenhub etc.)
- Ablauf (Koordination pneumatischer Einheiten und der Sensorsignale etc.)
- NC - Steuerung (j/n, Koordination)
- RC - Steuerung (j/n, Kommunikation über 2 Statusinformationen:  
----> Position erreicht  
<---- nächste Position anfahren)
- PC - Leitrechner (Prozeß-, Meßtechnik, Diagnose, Wartung etc.)

Sämtliche dieser Funktionen sind in Standardprogrammteilen verwirklicht. Nicht konfigurierbar sind aufgrund der hohen Varianz in Technik und Aufgabeninhalt weitere Leitfunktionen. Erfolge in diesem Bereich sind von weiteren Fortschritten bei der internationalen Standardisierung dieser Kommunikationsfunktionen abhängig.

## **6. REPROSS - Rechnergestützte Prozeßdatenerfassung an Schraubstationen**

Die Konzeption moderner Schraubsysteme umfaßt zunehmend auch den Bereich der Prozeßdatenerfassung. Neue Produkthaftungs-Richtlinien der Europäischen Gemeinschaft führen umgewandelt in nationales Recht, zu neuen Anforderungen an die Dokumentation der Fertigungsqualität. Diese können in einzelnen Bereichen nur durch laufende Aufzeichnung und Auswertung wichtiger Prozeßdaten erfüllt werden [1].

Um die Integration dieser Komponente in die hier beschriebene Planungsmethode zu ermöglichen, wird ein parametrisierbares und damit an die gewählte Systemlösung adaptierbares System zur Prozeßdatenerfassung benötigt. Auf dem Markt befindliche Systeme sind an die jeweilige Meßtechnik der Werkzeughersteller angepaßt und in der Funktionalität wenig flexibel [76]. Die hier formulierten Anforderungen sind damit nicht zu erfüllen. Mit dem neu entwickelten **rechnergestützten Prozeßdatenerfassungssystem** für **Schraubstationen** REPROSS wird das notwendige adaptierbare System vorgestellt.

### **6.1 Entwicklungsumgebung**

#### **6.1.1 Hardware**

Entsprechend den Anforderungen beim Aufbau eigener Planungshilfsmittel wird als Basis der Systemhardware ein industrieüblicher Personal-Computer eingesetzt. Die Ausstattung dieses Rechners erfordert mindestens einen Festplattenspeicher (20 MB) und einen mathematischen Koprozessor. Je nach Kanalanzahl, Taktzeit der angeschlossenen Stationen und der Menge aufzuzeichnender Informationen können höhere Leistungsanforderungen durch eine höhere Taktfrequenz, leistungsfähigere Zentraleinheiten und vor allem größere Massenspeicher mit sehr kurzen Zugriffszeiten erfüllt werden [60].

Weiterhin ist ein leistungsfähiges (8 Bit Busbreite) Interface erforderlich. Als Technologie wird der sogenannte IEC-Bus einge-

setzt. Diese genormte Schnittstelle (IEEE-488) hat sich im Bereich der Meßtechnik als Standard etabliert. Zusätzlich ist die Möglichkeit Daten notfalls auch über ein RS.232 Interface einzulesen vorgesehen. Über diese Schnittstelle läßt sich jedoch nicht die gesamte Funktionalität der aufbauenden Programme nutzen.

Zu der notwendigen Umgebung sind neben dem Personal-Computer als Steuerrechner, IEC-Bus-fähige Meßgeräte als weitere Komponenten erforderlich. Je nach der vorhandenen Meßtechnik werden überwiegend Analog/Digital-Wandler, Ladungsverstärker oder Zähler benötigt. Durch die große Marktbreite der IEC-Bus-Geräte entstehen dabei nur sehr geringe Einschränkungen.

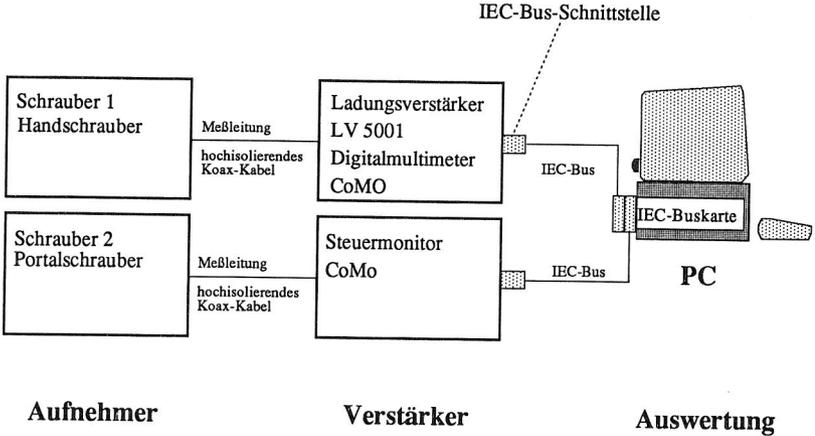


Bild 6.1: REPROSS-Testumgebung

**6.1.2 Software**

Betrieben wird der Rechner mit dem Standardbetriebssystem DOS. Über dem Betriebssystem ermöglicht das Softwarepaket ASYST die Ansprache der Schnittstellen und das Implementieren eigener Softwaremodule.

## 6.2 Programmbeschreibung

Diese Möglichkeiten werden mit dem erstellten Prozeßdatenerfassungsprogramm REPROSS genutzt. Die realisierten Funktionen gliedern sich in vier Hauptmodule. Die Erweiterung ist mit der Einbindung neuer ASYST-Programme jederzeit möglich und sinnvoll. Dies gilt besonders für die Anpassung der Datenauswertung und Ergebnisdarstellung an betriebliche Gegebenheiten.

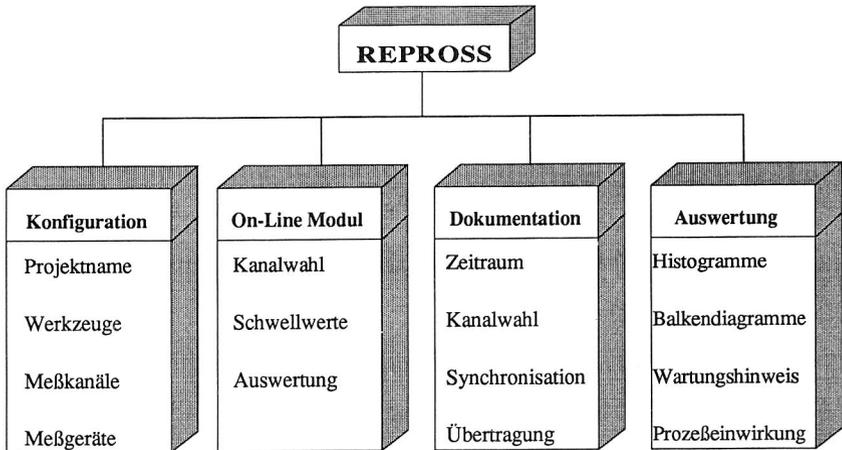


Bild 6.2: REPROSS Hauptmodule

### 6.2.1 Konfiguration

Das Konfigurationsmodell ermöglicht die Anpassung der Programmparameter an die entsprechende Systemumgebung. Schraubstationen als Zielobjekt der Betrachtung werden mit einem geeigneten Beschreibungsmodell erfaßt (Bild 6.3). Die angeschlossenen Schraubwerkzeuge werden mit Daten über Drehzahl, Taktzeit und Anzahl der aufzuzeichnenden Kanäle dem Projektnamen zugeordnet. Jeder Kanal

ist durch einen entsprechenden Aufnehmer repräsentiert. Zugeordnet wird jedem dieser Aufnehmer ein geeignetes Meßgerät.

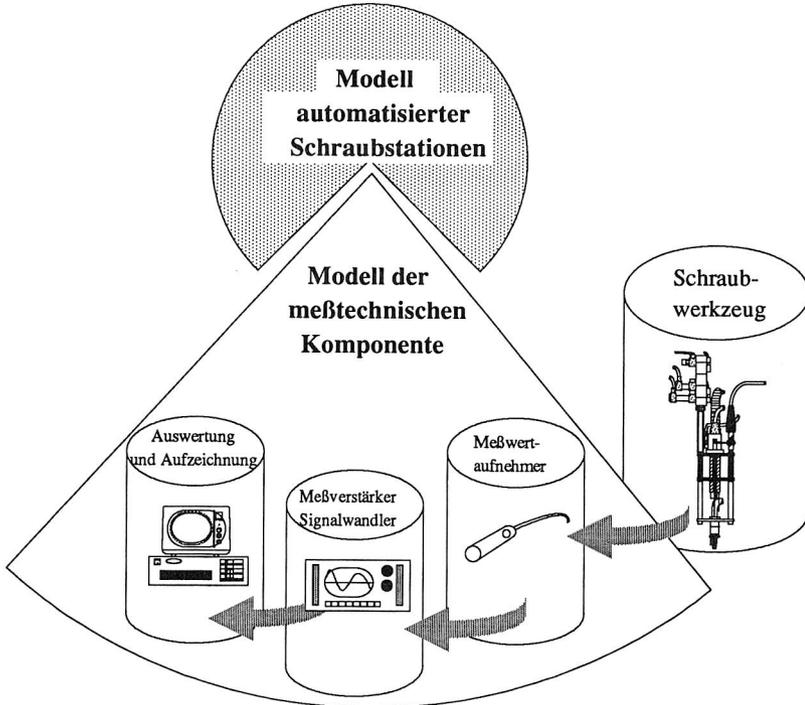


Bild 6.3: Modell meßtechnischer Komponenten

Zur Einstellung und Integration werden zugehörige Anpassungsdateien benötigt. Darin sind wesentliche Busfunktionen des Gerätes und die zur Ansprache notwendige Syntax beschrieben. Einige Beispiele sind im REPROSS-Grundsystem hinterlegt. Aus den vorhandenen Dateien kann das benötigte Meßgerät ausgewählt werden. Durch das Erstellen derartiger Dateien können auch weitere und neue Meßgeräte, mit erweiterten Funktionen in das System integriert werden.

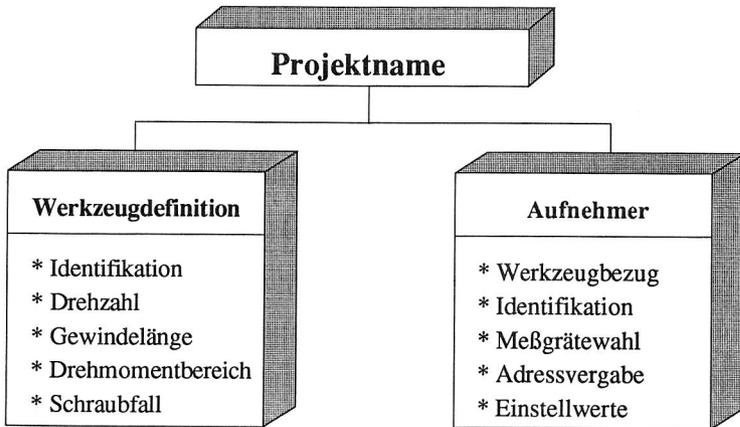


Bild 6.4: Projektdateien

Zusätzliche Angaben über die anwendungsspezifischen Einstellwerte der Aufnehmer/Meßgeräte Kombination sowie die Vergabe der IEC-Bus - Adresse vervollständigen die Projektkonfiguration. Die eingegebenen Werte werden bei angeschlossener Meßtechnik zum größten Teil direkt auf Ihre Plausibilität geprüft. Sind beispielsweise Busadressen doppelt belegt, wird sofort eine entsprechende Warnung ausgegeben.

### 6.2.2 Aufzeichnung

Mit dem Aufzeichnungsmodul können Prozeßdaten des konfigurierten Projektes aufgenommen werden. Art und Anzahl dieser Daten sind durch die Aufnehmerbeschreibung vorgegeben und der Projektdatei zugeordnet. Zielgrößen sind in der Regel das maximale Drehmoment und der erreichte Nachspannwinkel einer Schraubverbindung. Denkbar wäre zusätzlich die gemessene Einschraubtiefe aufzuzeichnen.

Der Aufzeichnungszeitraum kann über Zeitangaben eingestellt oder auch durch direkte Tastatureingaben gesteuert werden. Die durch den IEC-Bus festgelegte maximale Kanalzahl von 14 Einzeldaten kann abhängig von der Taktzeit mit der beschriebenen Hardware über eine 8 - stündige Schicht aufgezeichnet werden. Für weitergehende Anforderungen ist ein Rechnersystem mit Wechselfestplatten denkbar.

Wesentliche Funktion während der Aufzeichnung von Meßdaten ist die Werkstückzuordnung. Standardmäßig wird dazu für jeden Wert die laufende Systemzeit geschrieben. Über eine Synchronisation der Zeiten von Aufzeichnungssystem und Leitsystem kann die Werkstückidentifikation erreicht werden. Sind innerhalb des gesamten Montagesystems Werkstückidentifikationssysteme im Einsatz, können zur Meßwertzuordnung auch vorhandene Nummerungssysteme übernommen werden.

Die direkte Auswertung und Übertragung der Meßergebnisse, beispielsweise auf mitlaufende Datenträger ist ebenfalls möglich. Sie muß aber an die jeweilige Daten- und Schnittstellentechnik adaptiert werden und ist in der Planung nicht parametrisierbar. Aus Laufzeitgründen kann bei paralleler Aufzeichnung und Auswertung die volle Kanalzahl nicht genutzt werden.

### **6.2.3 Einzelfallbeobachtung**

Mit diesem Modul zur on-line Auswertung besteht die Möglichkeit einzelne Schraubfälle vollständig aufzuzeichnen und zu beurteilen. Dadurch können Schraubfalluntersuchungen komfortabel und effektiv durchgeführt werden. Insbesondere die Ermittlung von Einstellwerten wie Nachspannwinkel, Schwellmoment, Anzugsmoment oder Momenthaltezeit muß häufig durch umfangreiche Versuche abgesichert werden.

Dabei werden die Aufzeichnung von Drehmomenten über der Zeit, dem Drehwinkel oder der Drehzahl sowie des Drehwinkels über der Zeit angeboten. Mit einer Analyse der Verläufe lassen sich neben den Einstellwerten auch Fehler im Prozeß, an Werkzeugen, Kupplungsteilen oder den Meßsystemen selbst erkennen.

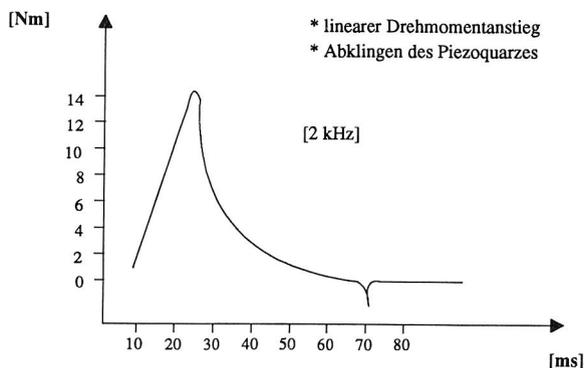


Bild 6.5: Drehmomentanalyse durch Verlauf über der Anzugsphase

Dies gilt in besonderer Weise für die Montage aller selbstformenden, -schneidenden oder -bohrenden Schrauben. Hier reicht die Aufzeichnung der Maximalwerte nicht aus, da in diesen Fällen das Anzugsmoment während des Einschraubvorgangs zeitweise überschritten wird. Die Aufzeichnung ganzer Verläufe während des Montageprozesses ist auf Grund der notwendigen Datenmengen derzeit nicht sinnvoll. So wird ein Schraubvorgang von etwa zwei Sekunden aus mindestens 3 (Moment, Winkel, Zeit) x 8.000 (4 KHz Abtastrate) = 24.000 Einzeldaten dargestellt.

In der automatisierten Prozeßkontrolle läßt sich die Einzelprozeßaufzeichnung somit nur stichprobenartig einsetzen. Auch ist die Interpretation der Verläufe mit mathematisch exakten Methoden nicht möglich, da die notwendigen Solldaten häufig nicht vollständig verfügbar sind. Über die graphische Ausgabe kann der erfahrene Maschineneinrichter die notwendigen Informationen direkt erkennen.

#### 6.2.4 Auswertung

Das Auswertemodul greift auf die Dateien des Aufzeichnungsmoduls zurück. Dabei werden wichtige Funktionen standardisiert angeboten. Die einfache Anpassung an benutzerdefinierte Auswertung ist mit den Hilfsmitteln der Programmiersprache ASYST problemlos möglich.

Angezeigt werden die Spitzendrehmomente des ausgewählten Werkzeugs über einem beliebigen Zeitraum (Bild 6.7). Das angegebene Toleranzband kann eingeblendet werden, wie auch Angaben über Mittelwerte und Streuung. Innerhalb eines Zeitintervalls läßt sich auch die Anzahl der Verschraubungen den erreichten Momenten zuordnen. In dieser Darstellung sind aufgetretene Verteilungen gut erkennbar. Beide Darstellungsformen können auf angeschlossenen Druckern ausgegeben werden.

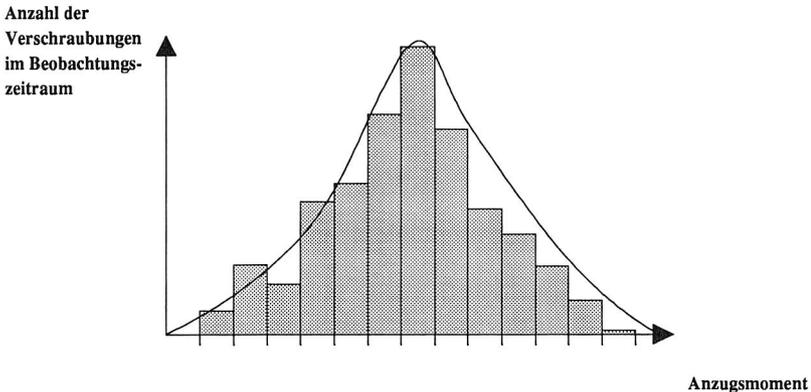


Bild 6.6: Drehmomentverteilung im Beobachtungszeitraum

Neben der Aussage über die ordnungsgemäß durchgeführte Montage der Schraubverbindung kann der Bediener aus dem Verlauf der Maximalwerte auch Rückschlüsse über beginnenden Verschleiß, Einstellungsfehler oder fallenden Luftdruck im Antriebssystem rechtzeitig erkennen. Verfügt die Anlagensteuerung über entsprechende Einrichtungen, beispielsweise automatisch einstellbare Werkzeuge,

kann diese vorbeugende Wartung auch ohne Bedienerereingriff realisiert werden. Um extreme Reibwertschwankungen oder andere Störgrößen auszuschließen, sollten immer eine Reihe von Schraubverbindungen im Beobachtungsintervall, beispielsweise 10 von 20 Fällen, im Bereich zwischen Nachstell- und Qualitätsgrenze liegen. Mit dieser Vorgehensweise kann ein automatischer Qualitätsregelkreis ansatzweise verwirklicht werden.

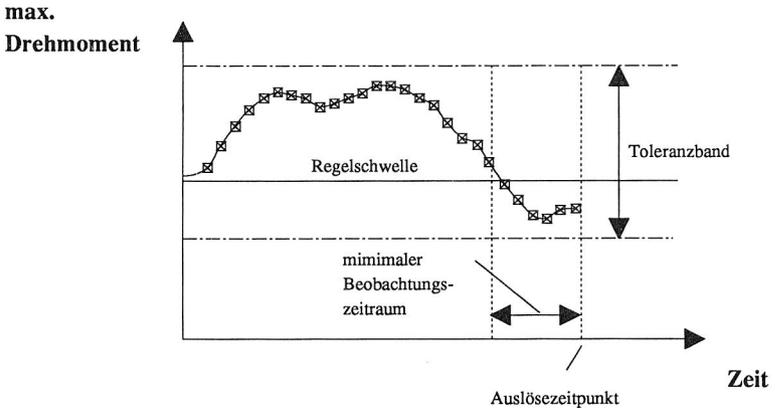


Bild 6.7: Qualitätsregelkreis durch Drehmomentüberwachung

Die Auswertung aller aufgezeichneten Daten ist immer eingebunden in ein gesamtes Qualitätssicherungssystem zu betrachten. Mit den vorhandenen Möglichkeiten können unterschiedliche Strategien verwirklicht werden.

Bei geringer angeschlossener Kanalzahl und mittleren Taktzeiten der Werkzeuge (> 10 Sekunden) ist die parallele Auswertung und Aufzeichnung auf einem Rechner in der Produktion möglich. Dabei können die Auswertungen pro Schraubfall auf die Aussage i.O. (für: in Ordnung) und n.i.O. (für: nicht in Ordnung) verdichtet und mit einem Zeiger auf die entsprechenden Einzeldaten an ein übergeordnetes Leitsystem weitergegeben, auf Drucker protokolliert oder dauerhaft abgelegt werden.

Ist die parallele Auswertung nicht möglich kann auf einem zweiten Rechner gearbeitet werden. Dazu ist dann ein System mit Wechselplatten notwendig. In Pausen- oder Rüstzeiten können die Plattenspeicher ohne Datenverlust getauscht werden.

Denkbar ist auch eine Auswertung bei 1 oder 2-schichtigem Betrieb während der nächtlichen Stillstandszeiten. Nachteilig ist dabei die lange Reaktionszeit bei aufgetretenen Fehlern. Für die reine Aufzeichnung aus Produkthaftungsgründen kann auf die vollständige Auswertung auch verzichtet werden. In diesem Fall genügt die Auswertung stichprobenartig gewählter Zeiträume während beliebiger Arbeitspausen.

### **6.3 Systemleistung**

Zur Einrichtung der Anpassungsdateien sowie zur Beurteilung des Leistungsverhaltens des entwickelten Gesamtsystems werden entsprechende Untersuchungen durchgeführt.

#### **6.3.1 Meßtechnik**

Notwendiger Einstellparameter ist die Abtastrate der Meßgeräte. Dabei gilt es die gegenläufigen Anforderungen nach hoher Meßgenauigkeit, schneller Ergebnisauswertung, hohem Datendurchsatz und richtiger Geräteauslegung zu optimieren. Die Meßgenauigkeit wird durch den Verlauf der Meßkurve und deren Zeitverhalten bestimmt. Ist der genaue Verlauf der Meßgröße analytisch erfaßt, läßt sich der Zusammenhang des durch die Abtastrate verursachten Meßfehlers mathematisch exakt bestimmen. Unbekannte Störgrößen wie Reibung und Materialkennwerte verhindern jedoch die exakte Beschreibung des Drehmomentverlaufs.

Betrachtet man die Drehmomentkurven beim Verschrauben metrischer Stahlschrauben zeigt sich während des Einschraubvorganges ein konstantes, bis leicht steigendes Moment, während die eigentliche Anziehphase überwiegend in einem annähernd linearen steilen Anstieg verläuft. Um den Maximalwert kommt es dabei jedoch zu einigen Abweichungen. Der abfallende Kurventeil liefert zur Beurteilung der Schraubverbindung keine weitere Aussage, kann aber zur

Beurteilung der Meßtechnik herangezogen werden.

Die schnelle Ergebnisauswertung hängt entscheidend von der zu verteilenden Datenmenge ab. Zusätzlich beeinflusst die Maximalwertbildung die Rechenzeit wesentlich. Kann diese Berechnung durch das Meßgerät erfolgen, wird das Bussystem und der Auswerterechner deutlich geringer belastet, sodaß nach Möglichkeit nur derartige Geräte eingesetzt werden sollten. Andernfalls muß jeder Meßwert an den REPROSS-Rechner übertragen werden.

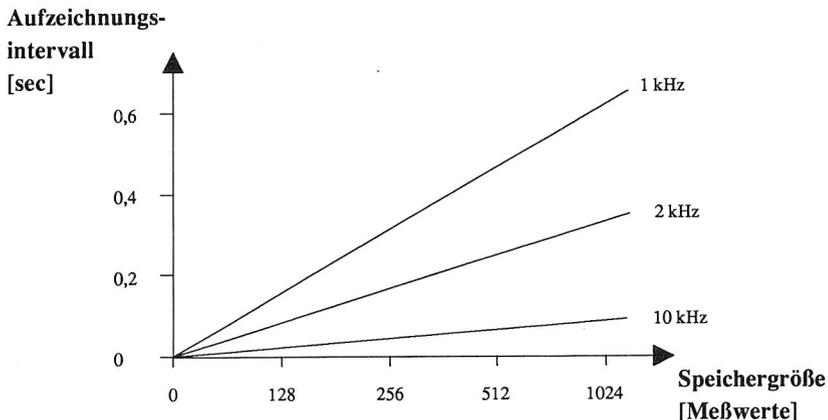


Bild 6.8: Zusammenhang von Meßrate, Abtastrate und Beobachtungszeitraum

Die Abstimmung von Taktrate und Aufzeichnungsintervall wird weiter von der Speicherfähigkeit der Meßgeräte beeinflusst. Sie ist für die vollständige Erfassung des Anzugmomentes erforderlich. Weiterhin muß das Aufzeichnungsintervall so gesteuert werden, daß die relevanten Verläufe sicher erfaßt werden. Dabei sind Meßgeräte mit Schwellwertdefinitionen sehr hilfreich. Besteht diese Möglichkeit nicht, muß das REPROSS-Hauptsystem diese Schwellwertbildung übernehmen.

Durch die Untersuchung zahlreicher Schraubfälle kann der Zeitraum vom Erreichen des Schwellmomentes bis zum Endmoment in etwa ein-

geplant werden. Er wird wesentlich von der Werkzeugdrehzahl und damit der Schraubfallhärte beeinflusst. Definiert ist die Härte des Schraubfalls durch den Nachspannwinkel von der Auflage des Schraubenkopfes (Schwellmoment) bis zum Erreichen des Endmomentes. Bei den untersuchten pneumatischen Werkzeugen ergibt sich ein annähernd linearer Verlauf mit Zeiten zwischen 15 [ms] bei extrem harten und über 300 [ms] bei weicheren Schraubfällen.

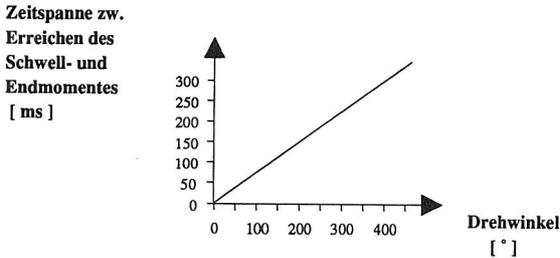


Bild 6.9: Dauer der Anzugphase über dem Nachspannwinkel

Auf diesen Beobachtungszeitraum gilt es die Abtastrate einzustellen. Dazu werden Vergleichsmessungen mit einer Abtastrate von 1 MHz durchgeführt, die zu folgenden Ergebnissen führen: Abnehmende Nachspannwinkel erfordern steigende Meßraten, dabei sollte 1 KHz nicht unterschritten werden. Bei härteren Schraubfällen muß mindestens mit 2, besser bis 5 KHz gearbeitet werden um den Meßfehler unter einem Prozent zu halten.

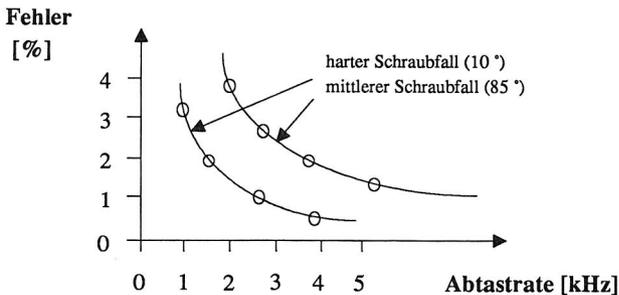


Bild 6.10: Meßfehler in Abhängigkeit von Schraubfallhärte und Nachspannwinkel

### 6.3.2 Datentechnik

Zur Leistungsbeurteilung des Gesamtsystems sind weitere Zeitbetrachtungen anzustellen. Dazu wird die Verarbeitung eines sogenannten Meßzyklus beobachtet, der pro Kanal innerhalb der Taktzeit verarbeitet werden muß. Aus den ermittelten Kennwerten lassen sich Rückschlüsse auf die Eignung der Gerätekonfiguration und die Zahl zeitgleich auswertbarer Kanäle ableiten.

Ein Meßzyklus ist dabei definiert durch die Abfrage nach konfigurierten Gerätetypen und Kanälen, der Geräteanfrage nach anstehenden aktuellen Meßwerten, gegebenenfalls der Übertragung relevanter Werte, die Umwandlung der übertragenen Werte in speicherbare, einheitliche Datenformate und das Ablegen auf Speichermedien. Es werden sowohl einzelne Teilzeiten als auch die Gesamtzeit exemplarischer Konfigurationen gemessen.

Für das "COMO" - Meßgerät (Fa. Kistler) der Testumgebung werden Drehmomentwerte, Drehwinkel, Drehzahl und Zeit aufgezeichnet. Liegt kein aktueller Meßwert an, dauert der Abfragezyklus zwischen 0.33 und 0.72 Sekunden, je nach Status des Meßgerätes. Die reine Übertragungszeit beträgt dabei zwischen 0.17 und 0.55 Sekunden. Der Anteil der Programmlaufzeit ist mit etwa 0.16 Sekunden konstant und vergleichsweise gering.

Sind aktuelle Meßwerte zu übertragen, erhöht sich die Zykluszeit auf einen Bereich von 0.71 bis 1.3 Sekunden. Dazu muß dann noch ein Zeitanteil von etwa 1 Sekunde für das Beschreiben der Festspeicher nach 10 Zyklen addiert werden.

Die geringere Leistungsfähigkeit eines Vergleichsgerätes (DMM 196 - Fa. Kithley) zeigen die Zeiten für die gleichen Übertragungsaufgaben. So liegt der Abfragezyklus zwischen 1.5 und 2.1 Sekunden, das Übertragen realer Meßwerte zwischen 4.2 und 4.6 Sekunden. Die Speicherzeiten bleiben unverändert.

Eine Leistungssteigerung des Gesamtsystems läßt sich durch schnellere Prozessoren und Festspeicher, größere Busbreite (16 oder 32 statt 8 Bit) der IEC-Bus-Geräte und vor allem durch den Einsatz von Meßgeräten mit Maximalwertspeicher erreichen.

## **7. REKOSS - Eine Methode zur Konfiguration von Schraubstationen**

### **7.1 Ziele**

REKOSS, als Methode zur **rechnergestützten Konzeption** von **Schraubstationen** umfaßt als Kernidee die rechnergestützte Auswahl einer konfigurierbaren Standardlösung. Basierend auf einem Gesamtkonzept, werden einzelne Hilfsmittel zur Planung und Bestimmung wesentlicher Eckdaten entwickelt. Die Integration weiterer Instrumentarien ist vorgesehen.

Die Schwerpunkte bei dieser Entwicklung können direkt aus der Strukturanalyse der Montageplanung abgeleitet werden. Die Auswahl geeigneter Standardlösungen, die Bestimmung der zugehörigen Eckdaten, die Auswahl der Schraubwerkzeuge mit Zubehör, eine exakte Taktzeitberechnung sowie das Ermitteln wesentlicher wirtschaftlicher Kennzahlen stehen dabei im Vordergrund.

Ziel der Methode ist eine universell einsetzbare Planungshilfe für die Projektierung und die Konzeption (bis hin zur Konstruktion) von Schraubstationen zu entwickeln. Dabei sollen insbesondere der stark differierende Kenntnisstand potentieller Benutzer, die Anwendbarkeit in den verschiedenen Planungsphasen und die zwischenbetrieblichen Aktivitäten berücksichtigt werden. Daraus lassen sich Teilziele wie die komfortable Benutzeroberfläche, die universelle Rechnerumgebung, die Generierung und Verwaltung eines erheblichen Datenbestandes sowie die leichte Anpassung an betriebliche Besonderheiten ableiten.

### **7.2 Entwicklungsumgebung**

#### **7.2.1 Hardware**

Voraussetzung für die universelle Anwendbarkeit der Planungsmethode und der zugehörigen Rechnerhilfsmittel ist eine standardisierte leistungsfähige Rechnerhardware. Als sogenannter Industriestandard bieten sich Rechner an, die mit der Prozessortechnik der Firma INTEL ausgestattet sind. Die aufwärtskompatible

Rechnerlinie läßt den Einsatz von PC-Systemen der Leistungsklasse XT (8088/8086) und AT (80286), bzw. der Nachfolgeprozessoren (80386/80486) zu.

Insbesondere für Anwendungen im Bereich der Angebotserstellung können dann auch tragbare Systeme, sogenannte Laptops effektiv eingesetzt werden. Die Anforderungen der beschriebenen Programme beschränken sich auf übliche Ausstattungsmerkmale wie Festplatte (mind. 20 MB) und Hauptspeicherausbau (mind. 640 KB). Neben der reinen CPU-Leistung beeinflußt vor allem die Plattenzugriffszeit das Zeitverhalten der Programme, sodaß eine Zugriffszeit von weniger als 28 ms anzustreben ist. Für den vollen Ausbau des Systems ist eine Hauptspeichererweiterung (ca. 2 MB) und ein mathematischer Koprozessor empfehlenswert.

Zur Entwicklung eingesetzt, und damit Basis aller Rechenzeitangaben ist eine mit 16 MHz getaktete CPU (INTEL 80386), ein passender Arithmetikprozessor, 4MB Hauptspeicherausbau, 40 MB Festplatte (40 ms Zugriffszeit) und übliche VGA-Graphikausstattung.

### **7.2.2 Software**

Weiterhin ist der Einsatz weit verbreiteter Basissoftware Bestandteil einer universellen Systemumgebung. Die beschriebene Prozessorwelt kann mit unterschiedlichen Betriebssystemen betrieben werden. Neben der Verbreitungshäufigkeit sind "multitasking-" (Mehrprozess-) und "multiuser-" (Mehrbenutzer-) fähigkeit entscheidende Einsatzmerkmale. Neuestes Programm ist eine PC-Version des Betriebssystems UNIX mit Mehrbenutzer- und Mehrprozessfähigkeit. Dagegen steht jedoch die geringe Verbreitung, die aufwendigere Kommandosyntax und die fehlende Anwendersoftware. Das am weitesten verbreitete Betriebssystem ist nach wie vor MS-DOS [67], das mit einer breiten Palette von Anwendersoftware die fehlende Mehrprozeß- und Mehrbenutzerfähigkeit aufwiegt. Einschränkung kommen aber die begrenzten Platten- (32 MB) und Hauptspeicherkapazitäten (640 KB) hinzu.

Als Erweiterung zum DOS-Betriebssystem steht seit einiger Zeit das Oberflächenmanagment-Programm MS-Windows zur Verfügung. Diese

Betriebssystemerweiterung erleichtert den Umgang mit dem geringen Speicherausbau und ermöglicht eine begrenzte Mehrprozeßverarbeitung. Die strukturelle Verwandtschaft mit der Bedienoberfläche des künftigen PC-Betriebssystems OS2 (Presentation Manager) erleichtert die Anpassung an kommende Standards wesentlich. Weiterhin erfordern unter Windows laufende Applikationen keine spezielle Graphikanpassung, sodaß auch hier die Einbindung der entwickelten Rechnerhilfsmittel in kommende Graphikstandards problemlos möglich sein wird.

Für dialogorientierte Anwendungen, wie die erforderliche Erarbeitung aller Projektdaten, stellt Windows eine Reihe hervorragender Mechanismen wie Cursorbilder, Sinnbilder, Menüs, Dialogboxen, Listboxen und Zeichenketten zur Verfügung, die alle über Maus bedient werden können. Diese entscheidenden Vorteile überwiegen, bei den hier vorliegenden Anwendungen den zusätzlichen Aufwand bei der Programmerstellung. Das Betriebssystem DOS mit der zugehörigen Erweiterung Windows bilden somit die Basissoftware für die Rechnerhilfsmittel der Planungsmethode REKOSS.

Neben der Betriebssystemsoftware ist vor allem ein geeignetes Datenbankmanagementsystem Bestandteil der Systemkonfiguration. Eingeschränkt wird die Auswahl der Folgesoftware durch die Betriebssystemfestlegung. Bedienerfreundlichkeit und weite Verbreitung stehen wieder im Vordergrund der Eignungskriterien, sodaß als Datenbankgrundsystem das Softwareprodukt "dbase" eingesetzt wird.

Zur Einbindung in die Oberflächenstruktur lassen sich im wesentlichen nur Datenformate und Strukturen des Datenbankmanagementsystems übernehmen, da die Anwenderprogrammierung mit der Programmiersprache C erfolgt. Die Einbindung der Datenformate von "dbase", in den C-Quellcode der Anwenderprogramme ermöglicht ein spezieller Übersetzer ("dbÜ"). Mit diesen Softwarehilfsmitteln wird das beschriebene Planungssystem aufgebaut und ist auch an künftige Anforderungen gut anzupassen.

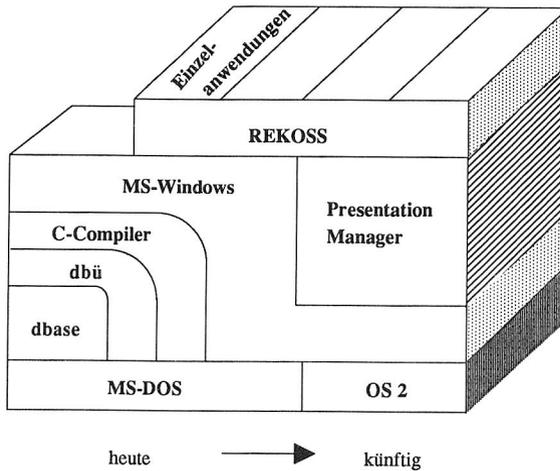


Bild 7.1: REKOSS - Softwareumgebung

Wesentlicher Bestandteil der Rechnerhilfsmittel ist die REKOSS-Bedienoberfläche zur Bearbeitung einzelner Projekte mit sämtlichen zugehörigen Planungsdaten. Eingebunden in diese Umgebung werden einzelne Hilfsmittel zur Taktzeitberechnung oder direkten Werkzeugauswahl.

### 7.2.3 Planungsschnittstellen

Betrachtet man den beschriebenen Planungsablauf, so gliedert sich die Methode einerseits in die Vorplanungsphase mit der Datenbeschaffung und der Möglichkeit zur Angebotserstellung ein. Sie schließt sich andererseits in der Feinplanung nahtlos an bereits bestehende Systeme zur Grobplanung [38,71,85] an. Ergebnisdaten dieser Hilfsmittel sind die Montagestruktur mit grober Stationsaufteilung und erster Betriebsmittelanordnung. Die Stationsbeschreibung enthält als wesentliche Eckdaten verfügbare Grundfläche, geplante Taktzeit und Aufgabeninhalt. Diese Daten bilden die wichtigsten Eingangsparameter für die mit REKOSS durchgeführte Feinplanung von Schraubstationen.

Als Ergebnis der Methode kann die fertige Konstruktion einer Schraubstation erreicht werden. Dazu wird der Parametersatz zur Ausprägung der Standardlösungen an ein CAD-System übertragen. Als Kommunikationsmechanismus genügt ein einfacher "file-transfer", der mit nahezu jedem Rechnersystem möglich ist. Über ein entsprechendes Variantenprogramm kann dann die Konstruktion erstellt werden.

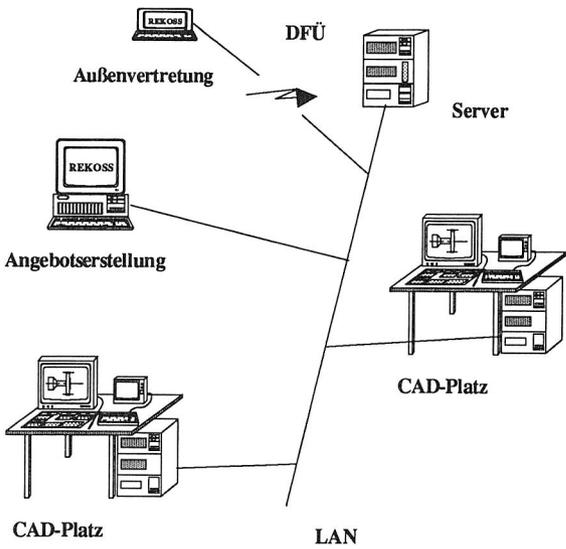


Bild 7.2: Rechnerumgebung einer REKOSS-Anwendung

Das Bild zeigt eine exemplarische Installation in einem mittelständischen Unternehmen. Basis ist ein CAD/CAM-System mit insgesamt 6 Arbeitsplätzen. Jeder Arbeitsplatz ist mit einer UNIX-Workstation und 19" Graphikmonitor ausgestattet. Neben der interaktiven CAD-Software entstehen Variantenprogramme zur Konstruktion der beschriebenen Standardlösungen. Parallel zu den CAD-Rechnern gibt es eine Reihe von Personalcomputern, mit deren Hilfe, zum Beispiel in der Angebotserstellung oder in Vertretungen vor Ort, die zur Konstruktion notwendigen Datensätze erarbeitet werden können.

## 7.3 Gesamtkonzept

### 7.3.1 Produktmodell

Ausgangspunkt der Planungsmethode ist das zu montierende Produkt. Um Produkte in einer dem Rechner zugänglichen Form bearbeiten zu können, bedarf es eines geeigneten Beschreibungsmodells. Je nach Anwendung gibt es verschiedene Modellformen, die jedoch den hier gestellten Anforderungen nicht ausreichend Rechnung tragen. Es muß daher ein speziell auf die Planung von Schraubstationen abgestimmtes Modell entwickelt werden.

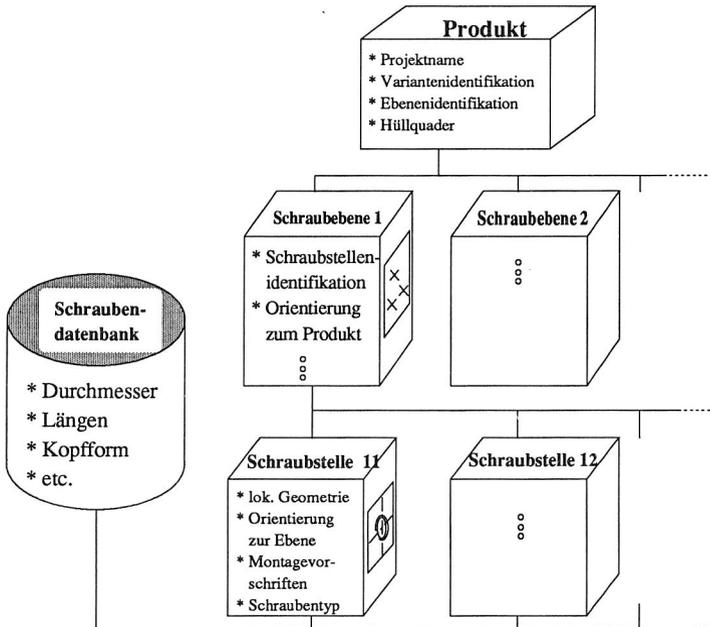


Bild 7.3: Produktmodell zur Planung von Schraubstationen

In der hierarchischen Struktur beginnt das Produktmodell mit der Hauptstufe. In dieser obersten Ebene wird die Produktidentifikation, die Anzahl und Identifikation von Varianten und Schraubebenen sowie der Hüllquader beschrieben. Über die Ebenenzeiger wird die Schraubstellenidentifikation zugeordnet. Als Schraubebene

wird die Summe derjenigen Schraubstellen definiert, deren Gewindeachsen parallel und gleichgerichtet sind und deren Schraubenkopfniveaus innerhalb einer Bandbreite von 20 mm liegen.

Die Schraubstellenbeschreibung selbst beinhaltet Informationen zur lokalen Geometrie (Fügeraum, Störkanten etc.), die relative Anordnung in einem lokalen kartesischen Koordinatensystem, Montageanweisungen, Schraubenangaben (Identifikationen, Typen- und Artzuordnungen, Zuführbarkeit etc.). Über die Schraubenzeiger kann damit auf den Schraubenkatalog zugegriffen werden.

Parallel zu dem Modellentwurf wurden zahlreiche Produkte als Montageaufgaben sowie die zugehörigen Montageanlagen analysiert und an dem Modell gespiegelt. Damit läßt sich einerseits die Beschreibungstechnik überprüfen und können andererseits zu einzelnen Modellstufen quantitative Aussagen gewonnen werden. So werden beispielsweise 88 Prozent aller untersuchten Produkte in einer, 10 Prozent in zwei und weniger als 1 Prozent in mehr als zwei Ebenen pro Montagestation bearbeitet. Die Anzahl der zu montierenden Schrauben je Station zeigt Bild 5.1.

Einen guten Überblick über die Größenordnung der untersuchten Produkte ergeben die Hüllquader und Grundflächen. Aus diesen Daten lassen sich in guter Näherung Angaben zur Arbeitsraumabmessung der Montagestation ableiten. Die Bilder 7.4 und 7.5 zeigen die geometrischen Strukturen und deren Verteilung für das untersuchte Produktspektrum.

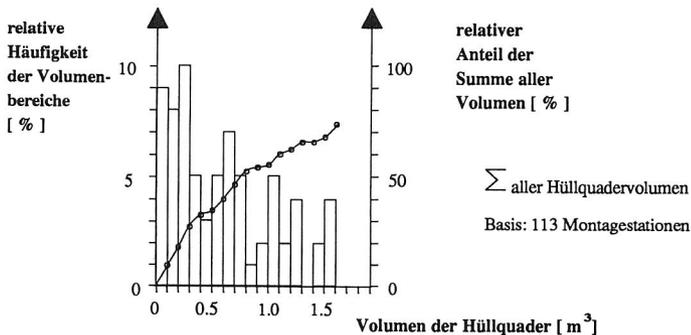


Bild 7.4: Hüllquader untersuchter Produkte

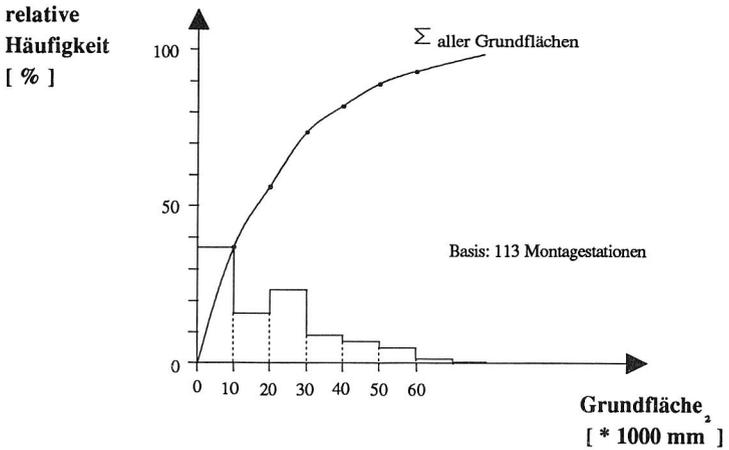


Bild 7.5: Grundflächen untersuchter Produkte

Weiterhin können interessante Aussagen über die Verteilung der Schraubendurchmesser gewonnen werden, die sich nach Bild 7.6 ergibt:

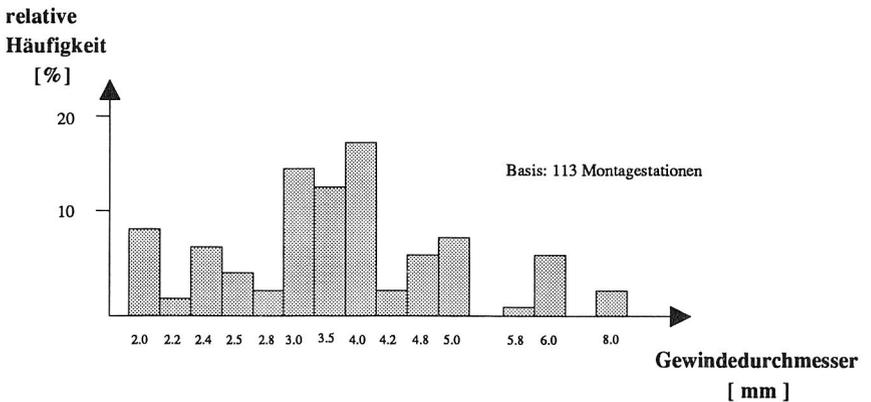


Bild 7.6: Verteilung der Schraubendurchmesser

### 7.3.2 Programmstruktur

Basierend auf dem beschriebenen Produktmodell gilt es den Planungsablauf bis zur Konzeption einer der definierten Standardsysteme zu unterstützen. Der grobe Ablauf ist dazu im Bild 7.7 dargestellt. In einer ersten Stufe wird durch einen komfortablen Benutzerdialog das Produktmodell erstellt. Die notwendigen Planungsgrunddaten werden unabhängig vom Kenntnisstand des Bedieners erzeugt. Die Bearbeitung erfolgt jeweils projektbezogen.

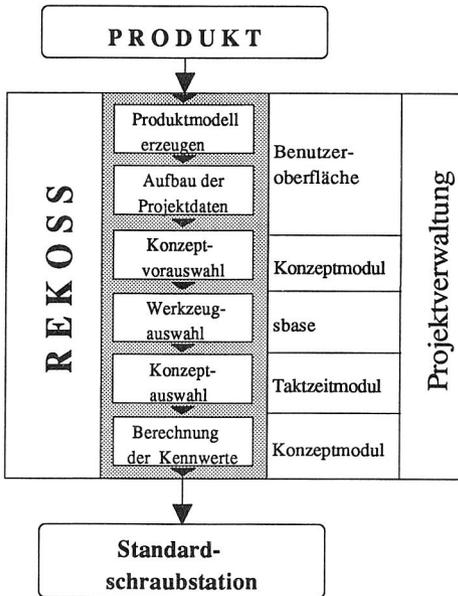


Bild 7.7: Planungsablauf mit REKOSS

Nach dem Aufbau der Projektdaten wird eine Konzeptvorauswahl über eine Reihe von Ausschlusskriterien durchgeführt. Für die verbleibenden zulässigen Systeme wird die Werkzeugauswahl schraubstellenbezogen fortgesetzt und ein umfangreicher Abgleich auf die Gesamtlösung vorgenommen. Abschließend werden notwendige Konstruktions- und Entscheidungskennzahlen berechnet. Die Ausführung einzelner Planungsstufen ist durch den Aufruf isoliert ablauffähiger Programme auch stufenweise möglich.

### 7.3.3 Benutzeroberfläche

Die Benutzeroberfläche besteht aus den Hauptfunktionsbereichen Verwaltung, Beschreibung, Bearbeiten und Datenbasis. Über diese Hauptfunktionen wird sowohl der Benutzer- als auch der Expertendialog abgewickelt. Die Funktion zur Verwaltung und Beschreibung der Projekte ist eher anwenderorientiert, die Bearbeitung und vor allem die Datenbankfunktionen sind eher auf den Experten als auf den Bediener zugeschnitten. Die komplette Bearbeitung kann aber auch der technologisch unerfahrene Benutzer durchführen.

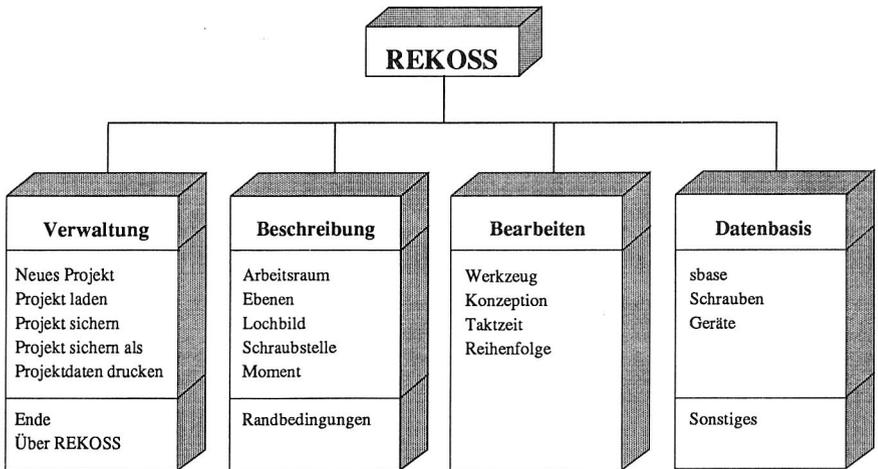


Bild 7.8: Funktionsblöcke zur Planung von Schraubstationen

#### Verwaltung

Angelehnt an das in "ms-windows" genutzte Dateiverwaltungsschema [20] wird die gesamte Benutzerdatenverwaltung projektbezogen durchgeführt. Alle erzeugten Daten sind dem festgelegten Projekt-namen zugeordnet. Die dargestellten Funktionen ermöglichen das definieren **neuer Projekte**, als Beginn einer Arbeitssitzung. Mit dem **Laden eines Projektes** kann eine unterbrochene Arbeit mit alten Projektdaten wieder aufgenommen werden. Die Anpassung der Ausgangsdaten an geänderte Planungsbedingungen ist damit ebenfalls möglich. Diese neue Projektvariante kann mit der Funktion

"sichern als" unter neuem Namen abgelegt werden. Schließlich können die wichtigsten Projektdaten auf angeschlossenen Druckern ausgegeben werden.

## Beschreibung

Unter der Projektbeschreibung werden mit dem Benutzer die notwendigen Planungsgrunddaten erarbeitet. Die Dialogmechanismen der "windows-Methodik" kommen hier wirkungsvoll zum Einsatz. Die **Bedingungen der Produktion** umfassen wirtschaftliche Eckdaten über angestrebte Investitionsvolumen, tägliche Maschinenlaufzeiten, erwartete Nutzungsdauer, Seriengröße, Variantenzahlen, Produktionsmengen und Ähnliches mehr. Dazu kommen globale technische Bedingungen mit Angaben über bereits vorhandene Schraubstationen und Energieversorgungseinrichtungen.

Die lokal bezogenen **Arbeitsraumbedingungen** beschreiben verfügbare Stellflächen und zugehörige Randbedingungen mit Geräuschbegrenzungen, Reinraumbedingungen, Explosionsgefahren etc. Zu diesen Randbedingungen werden Vorgabewerte angeboten, die zu einer echten Veränderung bei der Werkzeugauswahl führen. Je nach Schärfe der formulierten Restriktionen werden daraus Ausscheidungskriterien abgeleitet oder es wird die festgelegte Kriterienbewertung modifiziert.

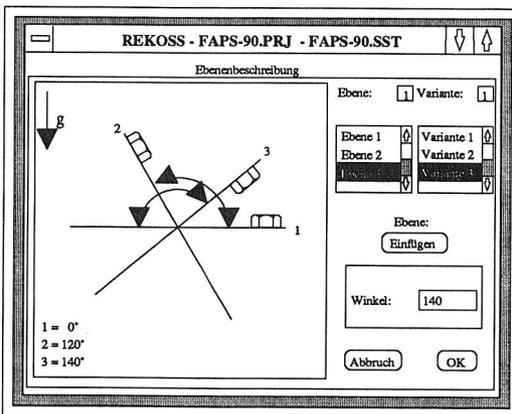


Bild 7.9: Ebenenbeschreibung

Nach dem definierten Produktmodell wird die **Ebenenbeschreibung** eingegeben. Gerade bei graphischen Informationen können weitere Möglichkeiten der Dialoggestaltung genutzt werden (Bild 7.9). Die Hauptschraubenebene als Ebene 1, wird in der Horizontalen angegeben. Die Orientierung weiterer Ebenen bezieht sich auf den relativen Winkel zur Ebene 1. Je nach der Orientierung der Schraubachsen ist der entsprechende Winkel größer oder kleiner als 90 Grad anzugeben. Ist eine, von der Horizontalen abweichende Lage der Ebene 1 bereits durch die Einbindung der Station in eine Montagelinie vorgegeben, muß diese entsprechend der tatsächlichen Lage eingetragen werden. Winkel zwischen 180 und 360 Grad treten nicht in Erscheinung. Parallele Ebenen mit gleicher Orientierung der Schraubachsen werden mit 360 Grad, bei entgegengesetzter Orientierung mit 180 Grad angegeben.

Auf die festgelegten Schraubenebenen bezogen, erfolgt die Beschreibung der zugehörigen **Lochbilder**. Alle Koordinatenangaben sind relativ, auf die erste angegebene Schraubstelle bezogen. Mit der angeschlossenen Maus als Bedieneinheit können Positionen angefahren, oder bei bekannten Koordinaten direkt eingegeben werden.

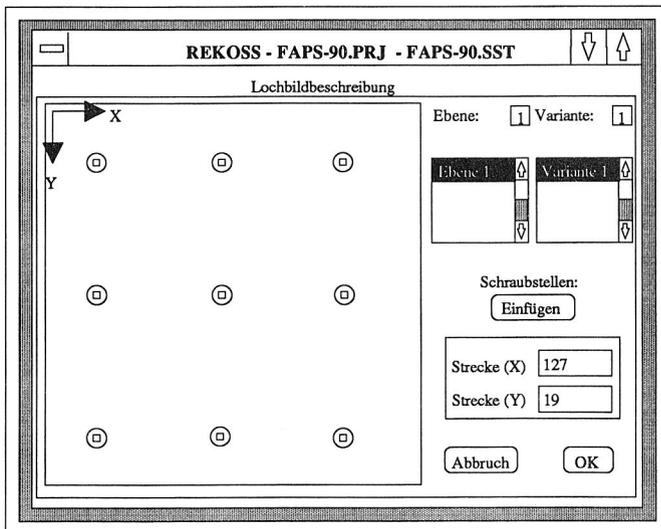


Bild 7.10: Lochbildbeschreibung

Jedem eingegeben Lochbild zugeordnet erfolgt die Beschreibung der Schraubstelle. Dabei stehen Angaben zur verarbeiteten Schraube, den Montagebedingungen und der lokalen Geometrie mit Störkanten-erfassung im Vordergrund. Bild 7.11 zeigt wie mit Listboxen und Dialogfenstern dem Benutzer die Eingabe notwendiger Informationen erleichtert wird.

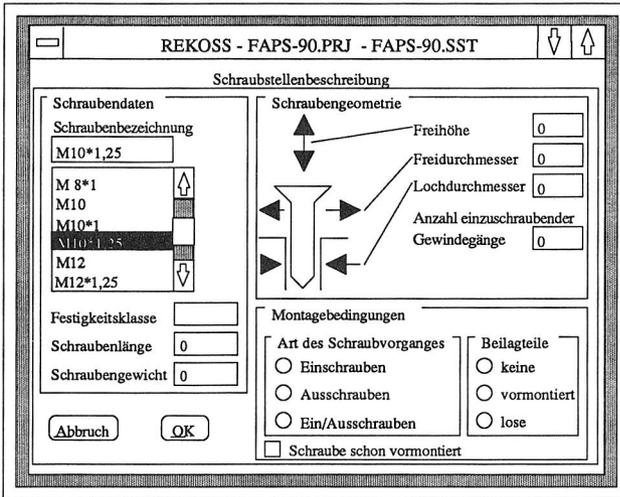


Bild 7.11: Schraubstellenbeschreibung

Dieser Schraubstellenbeschreibung nachgeordnet ist die Berechnung wichtiger Montagekennwerte, insbesondere des Anzugsmomentes und möglicher Anzugsverfahren. Um hier alle denkbaren Planungsszenarien abbilden zu können, wird im System ein umfangreicher Entscheidungsbaum hinterlegt. Ist das notwendige Anzugsmoment bekannt, wird es zur Kontrolle mit der Streckgrenze der angegebenen Schraube und des Mutterwerkstoffes gegengerechnet und mit dem gewählten Anzugsverfahren verglichen. Ist kein bestimmtes Verfahren vorgegeben, wird aus technologischer Sicht das kostengünstigste, aus dem Zusammenhang des Abstandes zur Streckgrenze und der erreichbaren Genauigkeit mögliche Verfahren gewählt. Andernfalls werden aus den übrigen Angaben über Schraube oder Gewindebauteil entsprechende Werte errechnet. Bild 7.12 gibt einen Einblick in mögliche Planungsszenarien.

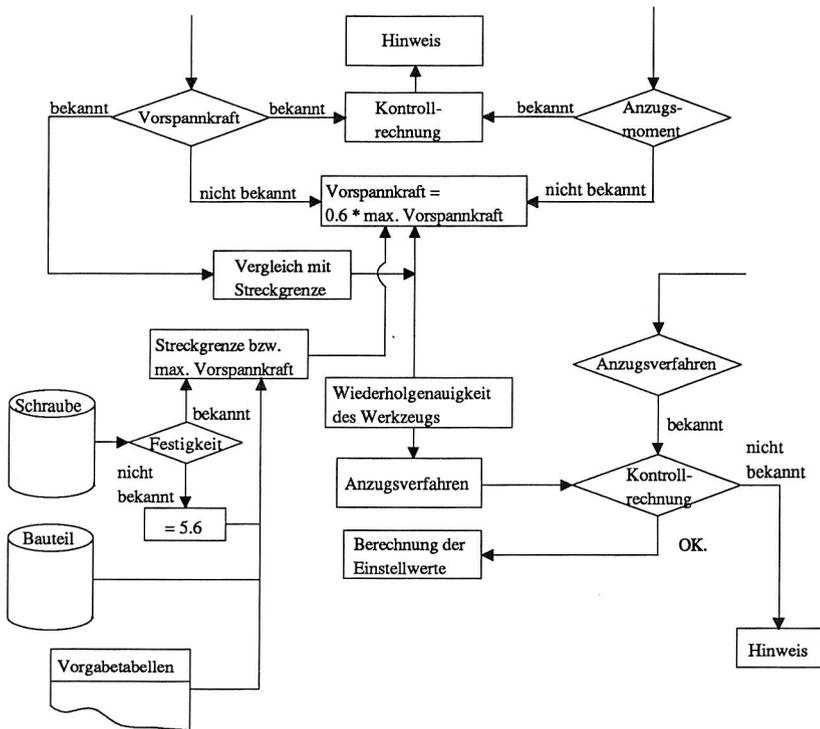


Bild 7.12: Mögliche Planungsszenarien

Schließlich hat der Benutzer die Möglichkeit weitere Randbedingungen der folgenden Auswahl festzulegen. Er kann die Auswahl auf zwei alternative Standardsysteme begrenzen, Taktzeiten vorgeben, pneumatisch angetriebene Werkzeuge ausschließen, Hersteller vorschreiben und dergleichen mehr. Angebotene Randbedingungen sind mit zugehörigen Erklärungskomponenten verbunden, die die Auswirkungen auf den folgenden Konfigurationsprozeß beschreiben.

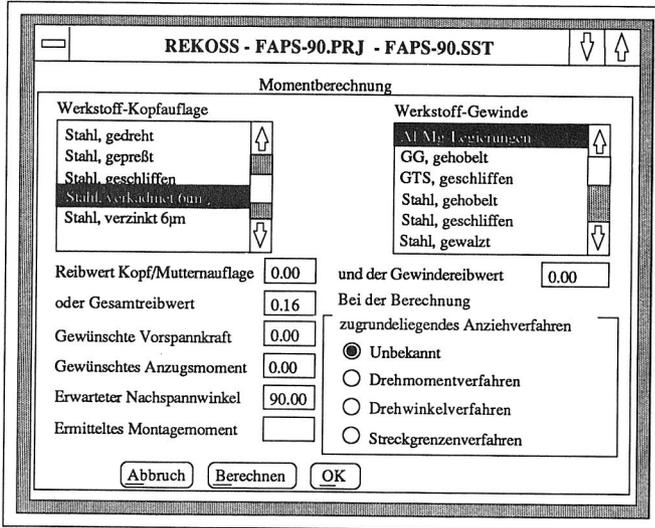


Bild 7.13: Momentberechnung

Nach der Abarbeitung der einzelnen Beschreibungsfelder und der Berechnung notwendiger Kenndaten steht die projektbezogene Datenbasis für den Einsatz weiterer Hilfsmittel zur Verfügung. Diese Datenbasis kann mit dem Laden eines Projektes jederzeit aktiv gemacht und auch nachträglich editiert werden.

#### 7.4 Schraubwerkzeugauswahl

Kernaufgabe bei der Konzeption von Schraubstationen ist die Auswahl geeigneter Schraubwerkzeuge. Diese wird mit der hier vorgestellten Methode, Schraubebenen bzw. Schraubstellen bezogen durchgeführt. Unabhängig von der Einbindung in das Gesamtkonzept soll die Datenhaltung und Datenauswertung auch eigenständig bedienbar sein. Dies wird mit der Schraubwerkzeugdatenbank **sbase** ermöglicht.

### 7.4.1 Datenbankentwurf

Ziel des Datenbankentwurfs ist der Versuch real existierende Werkzeuge mit dem Datenbankschema weitgehend zu erfassen. Die vollständige Abbildung aller Ausprägungen würde den Aufwand bei Erstellung und Pflege der Datenbank unzulässig erhöhen, sodaß hier ein geeigneter Kompromiß erreicht werden muß.

Ausgangspunkt für die Entwicklung des Schemas ist ein Schraubwerkzeugmodell mit den Komponenten Antrieb, Getriebe, Abtrieb, Kern- und Nebenzubehör. Je nach Hersteller wird diese Struktur vollständig abgebildet oder kann auch in einem Individualobjekt einschließlich dem zugehörigen Kernzubehör, zusammengefaßt sein. Nicht berücksichtigt wird das allgemeine Nebenzubehör oder Ersatzteile.

Für die systemeigene Schrauberauswahl müssen die entscheidenden Informationen in kodierter Form und mit diskreten, algorithmisch verwertbaren Wertebereichen gehalten werden. Weitere Informationen, überwiegend textuelle Beschreibungen dienen in erster Linie zur Orientierung des Experten bei der Dateneingabe und Pflege.

Zur eindeutigen Identifikation in der Datenbank gehaltener Objekte dienen drei Schlüsselnummern für Schrauber, Zubehör und Hersteller. Diese Schlüssel werden unabhängig verwaltet und begrenzen über ihr Datenformat die Menge der Objekte auf je 10.000 Schrauber und Zubehörteile bzw. 100 Hersteller. Als Datentype stehen numerische (NUM), alphanumerische (CHAR) und logische (BOOL) Variablen zur Verfügung. Die Beschreibung der aufgenommenen Attribute folgt in den Tabellen 7.1 - 7.7. Darin ist eine weitgehende und detaillierte Beschreibung des sbase Datenmodells enthalten.

Zur Laufzeitverbesserung gehören zusätzliche Hilfsstrukturen. Darin werden Gattungskennungen der Zubehörteile und die Zuordnungsrelationen erfaßt. Zusammengefaßt ergibt sich damit folgendes Datenbankschema:

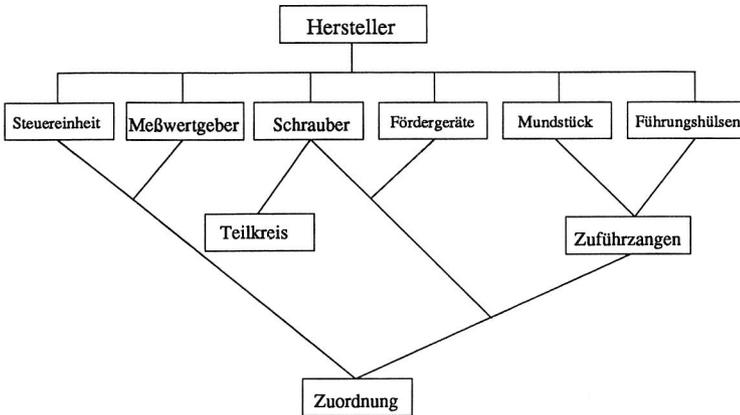


Bild 7.14: sbase - Datenbankschema

Mit diesem, an das relationale Datenmodell angelehnten Aufbau ist keine Normalform verwirklicht. Attribute wie Hersteller, beispielsweise in der Relation Teilkreis oder die gesamte Zubehörgattung sind redundant gehalten. Auch die Verwendbarkeit der Abmessungs- oder Verbrauchsfelder widersprechen der Forderung nach orthogonaler Datenstrukturierung. Diese Einschränkungen bringen jedoch erhebliche Laufzeitvorteile bei geringerem Speicherbedarf und stellen einen Kompromiß bezüglich des vorhandenen Rechnerzielsystems dar.

#### 7.4.2 Datenbasis

Realisiert ist das beschriebene Datenbankschema im Schraubwerkzeugdatenbanksystem **sbase**. Die Datenbasis läßt sich aus den Tabellen 7.1 -7.7 entnehmen. Da die Übertragung der Herstellerdaten in die Datenbank mit einigen Anpassungsarbeiten verbunden ist, werden zu einigen Daten noch zusätzliche Hinweise gegeben. Gefüllt und gepflegt wird die Datenbank ausschließlich von einem technologischen Experten, dem neben der REKOSS Anwenderoberfläche eine weitere, ebenfalls sehr benutzerfreundliche Bedienoberfläche zur Verfügung steht.

## Datenbasis

SNR	NUM	Schlüsselnummer des Schraubers
HNR	NUM	Schlüsselnummer des Herstellers
BESTNR	CHAR	Bestellnummer sofern vorhanden
TYP	CHAR	Herstellereigene Typbezeichnung
BESCHREIBG	CHAR	Kurzbeschreibung des Schraubwerkzeuges
HANDEINBAU	CHAR	<H>=Hand-, <E>=Einbauschrauber
DREH Schlag	CHAR	<D>=Dreh-, <S>=Schlagschrauber
ANTRIEB	NUM	<1>=Druckluft/standard, <2>=Druckluft/ ölfrei, <3>=Gleichstrom, <4>=Hochfre- quenz, <5>=elektronisch commutiert
VERBRAUCH	NUM	Leistungsaufnahme in [W] bzw. Luftver- brauch im Leerlauf bei 6 bar in [l/Min]
GERAEUSCH	NUM	Schallpegel in [dB(A)]
ABSCHALT	NUM	Abschaltmethode: <1>= per abwürgen, <2>= per Rutschkupplung, <3>= per Abschaltkupplung, <4>= geregelte Abschaltung
ANZIEHPHAS	NUM	Anziehphasen: <1>=eine, <2>=mehrere abgesetzt, <3>=stufenlos
DREHMOMGEN	NUM	Drehmomentgenauigkeit in [+/- %]
MINDREHWEI	NUM	minimales Drehmoment weicher Schraubfall in [Nm] (für Pneumatik; bei 6 bar)
MINDREHHR	NUM	minimales Drehmoment harter Schraubfall
MAXDREHWEI	NUM	maximales Drehmoment weicher Schraubfall
MAXDREHHR	NUM	maximales Drehmoment harter Schraubfall
GEWICHT	NUM	Gewicht des Werkzeuges ohne Zubehör in [kg]
ABMESSA	NUM	Bauformabhängige Abmessungen (siehe Schemazeichnung). ABMESSB bezeichnet dabei immer den Mindestplatzbedarf an
ABMESSB	NUM	lichter Höhe über der Schraubstelle
ABMESSD	NUM	Eignung des Schraubers für Schrauben mit Minimaldurchmesser SDMIN in [mm]
SDMIN	NUM	Eignung des Schraubers für Schrauben mit Maximaldurchmesser SDMAX in [mm]
SDMAX	NUM	Eignung des Schraubers für Schrauben mit Maximaldurchmesser SDMAX in [mm]
LDREHZAH	NUM	Leerlaufdrehzahl in [U/Min]
BAUFORM	CHAR	<G>=gerade, <P>=Pistole, <W>=Winkel, <R>=Ratsche, <M>=Maul, <S>=Sonderbauform
MOMENTMESS	NUM	Drehmomentmeßwertgeber: <1>=inbegriffen, <2>=Zubehör, <3>=nicht erhältlich
WINKELMESS	NUM	Drehwinkelmeßwertgeber: <1>=inbegriffen, <2>=Zubehör, <3>=nicht erhältlich
DREHRICHT	CHAR	Drehrichtung: <L>=linkslaufend, <R>=rechtslaufend, <U>=umsteuerbar
ANSAUGUNG	BOOL	TRUE= Schraubenansaugung möglich, FALSE= Schraubenansaugung nicht möglich
ZUFUEHRUNG	BOOL	TRUE= Schraubenzuführung durch Zu- schießen möglich, FALSE= nicht möglich
SIGNIERUNG	BOOL	TRUE= Signierung angezogener Schrauben durch Farbtupfer o.Ä. möglich, FALSE= nicht möglich
DOKUMENT	BOOL	TRUE= Dokumentierung/Protokollierung der erzielten Schraubergebnisse möglich, FALSE= nicht möglich
DRWVERF	BOOL	Drehwinkelgesteuertes Anziehverfahren: TRUE= möglich, FALSE= nicht möglich
STGVERF	BOOL	Streckgrenzgesteuertes Anziehverfahren: TRUE= möglich, FALSE= nicht möglich
PREIS	NUM	Preis exclusive Mwst in [DM]

Tabelle 7.1: Parameter von Schraubwerkzeugen

Dem Feld **Beschreibung** kommt, insbesondere für den Experten als Benutzer eine besondere Bedeutung zu, da sich hier Abweichungen vom strengen Datenbankschema textuell festhalten lassen. Eine rechnerinterne Auswertung kann jedoch nicht erfolgen.

Die **Drehmomentgenauigkeit** ist für Werkzeuge mit realisiertem streckgrenzengesteuertem Anziehen vermeintlich ohne Bedeutung. Da es jedoch keinen reinen "Streckgrenzschrauber" gibt, lassen sich diese Werkzeuge auch konventionell ansteuern und benötigen dann den entsprechenden Parameter.

Die Beschreibung der Abmessung unterliegt ebenfalls einem Kompromiß bezüglich der Datenkomplexität und der erreichbaren Genauigkeit. Bild 7.15 zeigt das hier angewandte Schema mit den zugehörigen Grunddaten. In einer späteren Entwicklungsstufe ist die Übernahme dieser Daten aus CAD-Datenmodellen möglich. Häufig sind die CAD-Modelle der Werkzeuge nicht ohne weiteres verfügbar, sodaß eine parallele und diskrete Beschreibung weiterhin erforderlich bleiben dürfte.

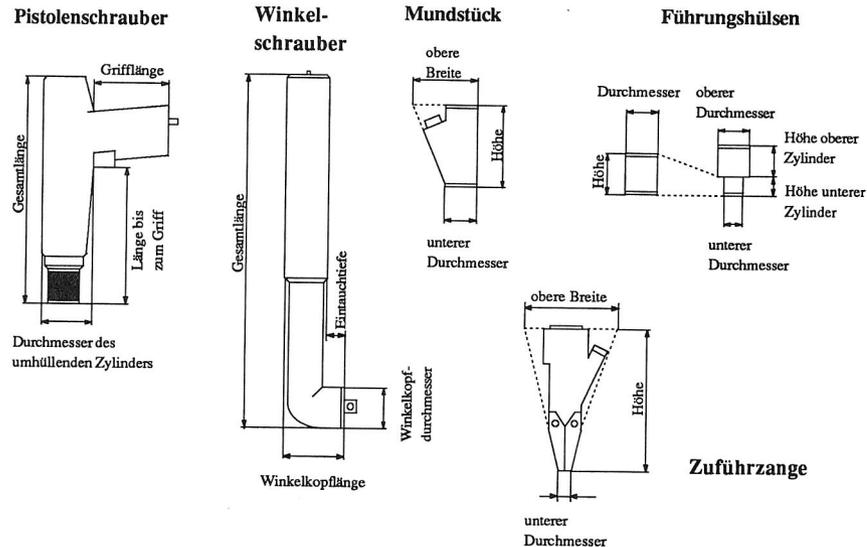
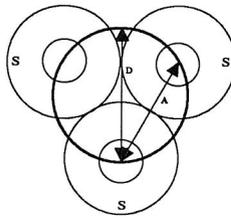


Bild 7.15: Beispiel zur geometrischen Beschreibung

Die eingelesenen Werte der Teilkreisdurchmesser erläutert Bild 7.16:



S: Schraubwerkzeug  
D: Teilkreisdurchmesser  
A: minimaler Abstand  
zweier Werkzeuge

Bild 7.16: Teilkreisdurchmesser

ZNR	NUM	Schlüsselnummer des Fördergerätes
HNR	NUM	Schlüsselnummer des Herstellers
BESTNR	CHAR	Bestellnummer
TYP	CHAR	Herstellereigene Typenbezeichnung
BESCHREIBG	CHAR	Bezeichnung und Kurzbeschreibung des Fördergerätes
FUELLKAP	NUM	Füllmengenkapazität des Gerätes in [l]
FOERDERKAP	NUM	Förderkapazität des Gerätes pro Auslauf in [Stck/h]
FAKTOR	NUM	Anzahl der Ausläufe
SDMIN	NUM	Minimaldurchmesser SDMIN in [mm] förderbarer Schrauben
SDMAX	NUM	Maximaldurchmesser SDMAX in [mm] förderbarer Schrauben
SLMAX	NUM	Maximallänge SLMAX in [mm] förderbarer Schrauben
PREIS	NUM	Preis exclusive Mwst in [DM]

Tabelle 7.2: Parameter von Fördergeräten

Die Förderkapazität pro Auslauf ist so anzugeben, daß jeder Auslauf mit einer der Förderkapazität entsprechenden Rate bedient werden kann.

ZNR	NUM	Schlüsselnummer der Steuerung
HNR	NUM	Schlüsselnummer des Herstellers
BESTNR	CHAR	Bestellnummer
TYP	CHAR	Herstellereigene Typbezeichnung
BESCHREIBG	CHAR	Bezeichnung und Kurzbeschreibung der Steereinheit
MOM_EING	NUM	Anzahl der Eingänge für Momentensignale.
WIN_EING	NUM	Anzahl der Eingänge für Drehwinkelsignale
STKGTAUGL	BOOL	<TRUE>= Steuerung beherrscht das Quotientenvergleichsverfahren für streckgrenzgesteuertes Anziehen, <FALSE>= nicht streckgrenztauglich
KANAELE	NUM	Anzahl der Steuerkanäle zur Schrauberverschaltung
SWSAETZE	NUM	Anzahl der Sollwertsätze
PREIS	NUM	Preis exclusive Mwst in [DM]

Tabelle 7.3: Parameter der Steereinheiten

ZNR	NUM	Schlüsselnummer des Meßwertgebers
HNR	NUM	Schlüsselnummer des Herstellers
BESTNR	CHAR	Bestellnummer
TYP	CHAR	Herstellereigene Typenbezeichnung
BESCHREIBG	CHAR	Bezeichnung und Kurzbeschreibung des Meßwertgebers
MOMENT	BOOL	<TRUE>= Momentenmeßfunktion realisiert
WINKEL	BOOL	<TRUE>= Winkelmeßfunktion realisiert
ANBAUWEISE	CHAR	<A>xial oder <R>adial
ABMESSA	NUM	Durchmesser eines umhüllenden Zylinders in [mm]
ABMESSB	NUM	Bei axialem Einbau bewirkte Längenzunahme des Werkzeuges in [mm]
GEWICHT	NUM	Gewicht des Meßwertgebers in [kg]
PREIS	NUM	Nettopreis exclusive Mwst in [DM]

Tabelle 7.4: Parameter der Meßwertgeber

Bei den Abmessungen der Meßwertgeber sind nicht die absoluten Maße, sondern die Auswirkungen auf die Gesamtabmaße des entsprechenden Schraubwerkzeuges einzutragen.

Je nach Bauweise werden Mundstücke und Führungshülsen zu Zuführzangen zusammengefaßt.

ZNR	NUM	Schlüsselnummer der Führungshülse
HNR	NUM	Schlüsselnummer des Herstellers
BESTNR	CHAR	Bestellnummer
TYP	CHAR	Herstellereigene Typbezeichnung
BESCHREIBG	CHAR	Bezeichnung und Kurzbeschreibung der Führungshülse
EIGNKAT	NUM	Eignungskategorie bezüglich Einschraubachslage: <1>= 0° bis 45°, <2>= 46° bis 90°, <3>= 91° bis 180° Neigungswinkel zur Vertikalen
SDMIN	NUM	Minimaldurchmesser SDMIN in [mm]
SDMAX	NUM	Maximaldurchmesser SDMAX in [mm]
SLMAX	NUM	Maximallänge SLMAX in [mm]
ABMESSA	NUM	Durchmesser des unteren (der Schraubstelle zugewandten) Zylinders in [mm], falls der eingetragene Wert positiv ist. Negative Werte in ABMESSA bedeuten einen schraubenabhängigen Durchmesser der Größe: Schraubenkopfdurchmesser +(-ABMESSA)
ABMESSB	NUM	Höhe des unteren Zylinders in [mm]
ABMESSC	NUM	Falls ein zweiter Zylinder zur Beschreibung herangezogen werden soll: Durchmesser dieses Zylinders in [mm]
ABMESSD	NUM	Falls ein dritter Zylinder zur Beschreibung herangezogen werden soll: Höhe dieses Zylinders in [mm]
GEWICHT	NUM	Gewicht der Führungshülse in [kg]
PREIS	NUM	Preis exclusive Mwst in [DM]

Tabelle 7.5: Parameter von Führungshülsen

ZNR	NUM	Schlüsselnummer des Mundstückes
HNR	NUM	Schlüsselnummer des Herstellers
BESTNR	CHAR	Bestellnummer
TYP	CHAR	Herstellereigene Typbezeichnung
BESCHREIBG	CHAR	Bezeichnung und Kurzbeschreibung des Mundstückes
SDMIN	NUM	Minimaldurchmesser SDMIN in [mm]
SDMAX	NUM	Maximaldurchmesser SDMAX in [mm]
SLMAX	NUM	Maximallänge SLMAX in [mm]
ABMESSA	NUM	Abmessungen
ABMESSB	NUM	(siehe Schemazeichnung)
ABMESSC	NUM	
GEWICHT	NUM	Gewicht des Mundstückes in [kg]
PREIS	NUM	Nettopreis exclusive Mwst in [DM]

Tabelle 7.6: Parameter von Mundstücken

ZNR	NUM	Schlüsselnummer der Zuführzange
HNR	NUM	Schlüsselnummer des Herstellers
BESTNR	CHAR	Bestellnummer
TYP	CHAR	Herstellereigene Typbezeichnung
BESCHREIBG	CHAR	Bezeichnung und Kurzbeschreibung der Zuführzange
EIGNKAT	NUM	Eignungskategorie bezüglich Einschraub- achsllage: <1>=0° bis 45°, <2>=46° bis 90°, <3>=91° bis 180° Neigungswinkel zur Vertikalen
SDMIN	NUM	Minimaldurchmesser SDMIN in [mm]
SDMAX	NUM	Maximaldurchmesser SDMAX in [mm]
SLMAX	NUM	Maximallänge SLMAX in [mm]
ABMESSB	NUM	Einbaulänge der Zuführzange in [mm]
ABMESSC	NUM	Obere Breite in [mm] (siehe Skizze)
GEWICHT	NUM	Gewicht der Zuführzange in [kg]
PREIS	NUM	Preis exclusive Mwst in [DM]

Tabelle 7.7: Parameter von Zuführzangen

## Bedienoberfläche

Die Bedienoberfläche des Datenbanksystems sbase gliedert sich in drei Bereiche. Die Titelzeile enthält jederzeit eine Kennzeichnung des aktuellen Dienstes, interaktives Bearbeiten von Daten erfolgt im Arbeitsfenster. Die beiden unteren Zeilen dienen dem Benutzerdialog. Wesentliche realisierte Funktionen sind komfortable Filter für alle Operationen "Lesen/Ändern/Suchen". Mit der sbase Filterfunktion kann der Benutzer alle wesentlichen Merkmale beliebig, lediglich durch Auswahl mit Cursortasten kombinieren und auf diese Weise sehr effektive Datenbankzugriffe durchführen.

Eine ähnliche Funktion steht neben der Schrauberbearbeitung auch für die Zubehördaten zur Verfügung.

Erstellen eines Schraubwerkzeugefilters																													
OK Hersteller Antrieb <input type="text" value="Drehmoment"/> Schraubenzuführung Abschaltung Anziehverfahren Drehrichtung Bauform Hand-/Einbauschrauber Dreh-/Schlagschrauber Gewicht (Einbau-)länge Preis Schrauber	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td style="padding: 2px;">[egal]</td><td style="padding: 2px;">Hersteller Nr. xx</td></tr> <tr><td style="padding: 2px;">[egal]</td><td style="padding: 2px;">[pneumatisch]elektrisch</td></tr> <tr><td style="padding: 2px;">[egal]</td><td style="padding: 2px;">Solldrehmoment: 0.0 Nm</td></tr> <tr><td style="padding: 2px;">[egal]</td><td style="padding: 2px;">per Zuschießen durch Ansaugung</td></tr> <tr><td style="padding: 2px;">[egal]</td><td style="padding: 2px;">Abwürgen Rutschk. Abschaltk. gesteuert</td></tr> <tr><td style="padding: 2px;">[egal]</td><td style="padding: 2px;">streckgrenzgesteuert drehwinkel gesteuert</td></tr> <tr><td style="padding: 2px;">[egal]</td><td style="padding: 2px;">rechtslaufend umsteuerbar linkslaufend</td></tr> <tr><td style="padding: 2px;">[egal]</td><td style="padding: 2px;">Gerade Winkel Pistole [Ratsche]Maul Sonder</td></tr> <tr><td style="padding: 2px;">[egal]</td><td style="padding: 2px;">Einbauschrauber Handschrauber</td></tr> <tr><td style="padding: 2px;">[egal]</td><td style="padding: 2px;">Drehschrauber Schlagschrauber</td></tr> <tr><td style="padding: 2px;">[egal]</td><td style="padding: 2px;">Maximalgewicht: xx.x kg</td></tr> <tr><td style="padding: 2px;">[egal]</td><td style="padding: 2px;">Maximallänge: xxx mm</td></tr> <tr><td style="padding: 2px;">[egal]</td><td style="padding: 2px;">Maximalpreis: xxxxx.xx DM</td></tr> <tr><td style="padding: 2px;">[alle wie gefiltert]</td><td style="padding: 2px;">Schrauber Nr. xxxx</td></tr> </table>	[egal]	Hersteller Nr. xx	[egal]	[pneumatisch]elektrisch	[egal]	Solldrehmoment: 0.0 Nm	[egal]	per Zuschießen durch Ansaugung	[egal]	Abwürgen Rutschk. Abschaltk. gesteuert	[egal]	streckgrenzgesteuert drehwinkel gesteuert	[egal]	rechtslaufend umsteuerbar linkslaufend	[egal]	Gerade Winkel Pistole [Ratsche]Maul Sonder	[egal]	Einbauschrauber Handschrauber	[egal]	Drehschrauber Schlagschrauber	[egal]	Maximalgewicht: xx.x kg	[egal]	Maximallänge: xxx mm	[egal]	Maximalpreis: xxxxx.xx DM	[alle wie gefiltert]	Schrauber Nr. xxxx
[egal]	Hersteller Nr. xx																												
[egal]	[pneumatisch]elektrisch																												
[egal]	Solldrehmoment: 0.0 Nm																												
[egal]	per Zuschießen durch Ansaugung																												
[egal]	Abwürgen Rutschk. Abschaltk. gesteuert																												
[egal]	streckgrenzgesteuert drehwinkel gesteuert																												
[egal]	rechtslaufend umsteuerbar linkslaufend																												
[egal]	Gerade Winkel Pistole [Ratsche]Maul Sonder																												
[egal]	Einbauschrauber Handschrauber																												
[egal]	Drehschrauber Schlagschrauber																												
[egal]	Maximalgewicht: xx.x kg																												
[egal]	Maximallänge: xxx mm																												
[egal]	Maximalpreis: xxxxx.xx DM																												
[alle wie gefiltert]	Schrauber Nr. xxxx																												
Bitte gewünschtes Solldrehmoment eingeben <span style="float: right;">&lt;ESC&gt; Abbruch</span>																													

Bild 7.17: Variable Filterdefinitionen

SBASE - Einstiegsseite															
<input type="button" value="Drucken"/> <input type="button" value="Suchen/Lesen/Ändern"/> <input type="button" value="Neueingaben"/> <input type="button" value="Zuordnungen"/> <input type="button" value="Ende"/>															
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td style="padding: 2px;">Schrauber</td></tr> <tr><td style="padding: 2px;">Zubehör</td></tr> <tr><td style="padding: 2px;">Hersteller</td></tr> </table>	Schrauber	Zubehör	Hersteller	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td style="padding: 2px;">alles</td></tr> <tr><td style="padding: 2px;">des Herstellers Nr. 02</td></tr> <tr><td style="padding: 2px;">zum Schrauber Nr. 1234</td></tr> </table>	alles	des Herstellers Nr. 02	zum Schrauber Nr. 1234	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td style="padding: 2px;">Fördergeräte</td></tr> <tr><td style="padding: 2px;">Steuereinheiten</td></tr> <tr><td style="padding: 2px;">Mundstücke</td></tr> <tr><td style="padding: 2px;">Führungshülsen</td></tr> <tr><td style="padding: 2px;">Zuführzangen</td></tr> <tr><td style="padding: 2px;">Meßwertgeber</td></tr> <tr><td style="padding: 2px;">Ende</td></tr> </table>	Fördergeräte	Steuereinheiten	Mundstücke	Führungshülsen	Zuführzangen	Meßwertgeber	Ende
Schrauber															
Zubehör															
Hersteller															
alles															
des Herstellers Nr. 02															
zum Schrauber Nr. 1234															
Fördergeräte															
Steuereinheiten															
Mundstücke															
Führungshülsen															
Zuführzangen															
Meßwertgeber															
Ende															
Abfragen und Bearbeiten von Mundstücken															

Bild 7.18: Filterfunktionen zur Bearbeitung von Schrauberzubehör

Neben der Aktualisierung ist das Eingeben neuer Werkzeuge Hauptaufgabe des Experten. Die jeweils aktuellen Felder werden durch Hilfsfunktionen erläutert und die Kodierung der Eingabe wird angezeigt. Die direkte Übertragung aus Herstellerkatalogen ist durch die allgemeingültige Datenstruktur nicht möglich. Das Anlegen der Datenbasis erfordert eine umfangreiche Sachkenntnis und gleichzeitigen Einblick in die Funktionsweise der nachfolgenden Planungsprogramme. Erleichtert wird die Eingabe von Baureihen ähnlicher Schraubwerkzeugtypen durch eine automatische Vorbelegung mit zuletzt eingegebenen Werten. Mit der eingerichteten Datenbasis von derzeit über 700 Schraubwerkzeugen von 6 Herstellern kann eine umfassende Auswahl durchgeführt werden.

### 7.4.3 Werkzeugvorauswahl

Eine programmgesteuerte Vorauswahl von Schraubwerkzeugen erfolgt pro Schraubstelle aus der REKOSS Konzepterstellungsoftware. Zusätzlich kann mit einem eigenen sbase Modul "Auswahl" dieser Zugriff auch innerhalb des Datenbanksystems interaktiv durchgeführt werden. Dabei wird die gleiche Vorgehensweise angewendet. Der von REKOSS zur Anfrage erarbeitete Datensatz muß dann vom sbase Benutzer im Dialog erarbeitet werden. Ergebnis der Vorauswahl ist eine bewertete Liste geeigneter Werkzeuge mit wesentlichen Merkmalen.

PERIPHERIE	NUM	Falls Peripherie mit ausgesucht werden soll, ist die entsprechende Anzahl der Schrauber anzugeben.
GDURCHMESS	NUM	Gewindeaußendurchmesser der betreffenden Schraube
KDURCHMESS	NUM	Kopfdurchmesser der Schraube
SCHRLAENGE	NUM	Gesamtlänge der Schraube
AEG	NUM	Anzahl einzuschraubender Gewindegänge
NEIGUNG	NUM	Neigungswinkel der Einschraubrichtung zur Vertikalen. <1>= 0° bis 45°, <2>= 46° bis 90°, <3>= 91° bis 180°
STATIONAER	BOOL	TRUE= stationärer Einbauschrauber, FALSE= Handschrauber
SCHLAGSCHR	BOOL	TRUE=Schlagschrauber,FALSE=Drehschrauber
TKANZAHL	NUM	Anzahl der Schraubstellen auf dem kleinsten Teilkreis.
TKDURCHM	NUM	Durchmesser dieses Teilkreises,
MOM_MITTEL	NUM	Nenn Drehmoment
MOM_UMAX	NUM	Drehmomentobergrenze
MOM_UMIN	NUM	Drehmomentuntergrenze
ZUFUEHRUNG	NUM	<1>=Schlauch, <2>=Pick&Place, <3>=per Hand
FKFOERDERG	NUM	Mindestförderkapazität
DREHRICHT	CHAR	<L>=links, <R>=rechts, <U>=umsteuerbar
ANTRIEB	NUM	<0>= egal, <1>=Luft, <2>=Luft,standard, <3>= Luft/ölfrei, <4>= elektr., <5>=DC, <6>=HF, <7>=EC.
FREIHOEHE	NUM	Abstand zwischen Schraubstelle und Umgebung
FREIDURCHM	NUM	Durchmesser einer störkantenfreien Kreisfläche.
SCHRZEIT	NUM	Einschraubzeit
GEWICHT	NUM	Höchstzulässiges Gesamtgewicht
BAUFORM	CHAR	<G>= gerade, <W>= Winkel, <P>=Pistole, <*>= alle.
UEBERWACH	NUM	Angabe der Meßfunktionen: <0>=keine, <1>= nur Drehmoment, <2>= nur Drehwinkel, <3>= Drehmoment und Drehwinkel.
SIGNIERUNG	BOOL	TRUE= Signierung, FALSE= nicht gefordert.
DOKUMENT	BOOL	TRUE= Dokumentationsmöglichkeit gefordert
ANZIEHVERF	NUM	gefordertes Anziehverfahren: <0>=egal, <1>=Drehmoment gesteuert, unregelt; <2>=Drehmoment gesteuert und geregelt; <3>=Drehwinkelgesteuert; <4>=Streckgrenzgesteuert.
REINRAUM	NUM	<0>= keinerlei, <1>= gemäßigte (mit Abluftfilter erfüllbar), <2>= strenge Reinraumanforderungen
HERSTELLER	NUM	Herstellerrandbedingung
GEW_PREIS	NUM	Bewertungskriterium 'Preis'
GEW_GEW	NUM	Bewertungskriterium 'Einbaugewicht'
GEW_LAUT	NUM	Bewertungskriterium 'Schallpegel'
GEW_ABLUFT	NUM	Bewertungskriterium 'Abluftbelästigung'
GEW_VERBR	NUM	Bewertungskriterium 'Verbrauch'

Tabelle 7.8: Anfragedatensatz zur Werkzeugauswahl

Bei der Berechnung der notwendigen Montagemomente wird die Verwendung des Anziehungsfaktors ALPHA A [5,44,94] bewußt vermieden. Dieser Faktor genügt mit seiner groben Vereinfachung nicht mehr den Genauigkeitsanforderungen der zugrunde liegenden Berechnungsverfahren [29]. Die Abschätzung der herrschenden Reibwerte ermöglicht im Zusammenspiel mit der Wiederholgenauigkeit der Werkzeuge eine erheblich bessere Vorauswahl.

SNR	NUM	Schlüsselnummer des Schraubers
HNR	NUM	Schlüsselnummer des Herstellers
ANTRIEB	NUM	<1>=Luft, <2>=Luft/ ölfrei, <3>=DC, <4>=HF, <5>=EC
ANZIEHVERF	NUM	Anziehverfahren
ZNRMUND	NUM	Schlüsselnummer des Mundstückes,
ZNRFUEHR	NUM	Schlüsselnummer der Führungshülse,
ZNRZUFZA	NUM	Schlüsselnummer der Zuführzange,
ZNRFOERD1	NUM	Schlüsselnummer der Fördergeräte
FOERD1ANZ	NUM	Anzahl der Fördergeräte
ZNRFOERD2	NUM	Schlüsselnummer der Fördergeräte 2. Typ
FOERD2ANZ	NUM	Anzahl der Fördergeräte
ZNRSTEU1	NUM	Schlüsselnummer der Steuereinheiten
STEU1ANZ	NUM	Anzahl der Steuergeräte
ZNRSTEU2	NUM	Schlüsselnummer der Steuereinheiten 2.Typ
STEU2ANZ	NUM	Anzahl der Steuergeräte
ZNRMWGEB1	NUM	Schlüsselnummer des 1. Meßwertgebers,
ZNRMWGEB2	NUM	Schlüsselnummer des 2. Meßwertgebers,
LAENGE	NUM	Gesamtlänge des Komplettwerkzeuges
GEWICHT	NUM	Gesamtgewicht des Komplettwerkzeuges
PREIS	NUM	Gesamtpreis des Komplettwerkzeuges
BON_PREIS	NUM	vergebene Bonuspunkte für Preis
BON_GEW	NUM	vergebene Bonuspunkte für Gewicht
BON_LAUT	NUM	vergebene Bonuspunkte für Schallpegel
BON_ABLUFT	NUM	vergebene Bonuspunkte für Abluftbelastung
BON_VERBR	NUM	vergebene Bonuspunkte für Verbrauch
BONUS	NUM	Gesamtsumme Bonuspunkte

Tabelle 7.9: Ergebnisdatensatz der Werkzeugauswahl

Kann mit den angegebenen Eingangsdaten kein geeignetes Werkzeug identifiziert werden, wird dem Benutzer eine Ursachenaufschlüsselung angeboten. Damit ist er in der Lage die sich ausschließenden Einzeldaten zu identifizieren und die Auswahl mit modifizierten Eingangsdaten zu wiederholen.

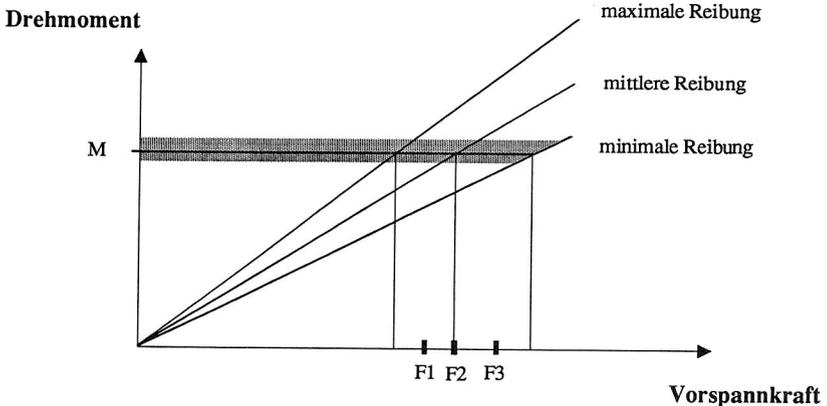
AD1	BOOL	freihoehoe + bauform + antrieb + drehmoment
AD2	BOOL	schrzeit + antrieb + drehmoment
AD3	BOOL	drehricht + antrieb + drehmoment
AD4	BOOL	anziehverf + hersteller + antrieb + drehmoment
AD5	BOOL	signierung + dokument + reinraum + hersteller + antrieb + drehmoment
AD6	BOOL	FALSE, falls Teilekreisdurchmesserrestriktion

AD7	BOOL	TRUE, falls Mundstück und Führungshülse oder Zuführzange gefunden werden konnten.
AD8	BOOL	TRUE, passendes Fördergerät
AD9	BOOL	TRUE, passendes Steuergerät
AD10	BOOL	TRUE, passender Meßwertgeber

Tabelle 7.10: Fehlerdiagnose bei abgebrochenem Auswahlvorgang

### Auswahlvorgang

Ist kein Anzugsverfahren gefordert, werden zunächst alle Werkzeuge in die Vorauswahl einbezogen. Um die große Datenmenge zu reduzieren wird dann auf drehmomentgesteuertes Anziehen reduziert. Läßt sich wenigstens ein geeignetes Werkzeug für dieses kostengünstige Verfahren identifizieren, wird der Verfahrensparameter auf drehmomentgesteuertes Anziehen festgelegt. Andernfalls wird im Verlauf ein streckgrenzengesteuertes Anziehen gefordert. Anschließend werden die gefundenen Objekte sukzessiv um notwendige Zusatzausstattung erweitert.



- M - eingestelltes Montagemoment
- F1 - minimal notwendige Vorspannkraft
- F2 - Montagevorspannkraft
- F3 - maximal zulässige Vorspannkraft
- ▨ Werkzeugwiederholgenauigkeit

Bild 7.19: Drehmoment als Auswahlparameter

Die vorgenommene Bewertung ergibt sich aus Gewichtungsfaktoren und Erfüllungsgrad bezogen auf wesentliche Merkmale. Vom Benutzer sind die Kriterien **Preis**, **Gewicht**, **Geräuschpegel**, **Abluft** und **Energieverbrauch** bewertbar. Dazu kommen interne Kriterien wie die **Leistungsproportionalität** und die **Drehmomentgenauigkeit**. Die Gewichtung addiert sich aus Anwender- und Systemgewichtung. Der Erfüllungsgrad wird nach folgendem Zusammenhang bestimmt:

$$E = \frac{(W_{\max} - W) \cdot W_{\max}}{(W_{\max} - W_{\min}) \cdot W_{\min}}$$

- mit E := Erfüllungsgrad
- W := aktueller Parameter
- W<sub>max</sub> := maximal gefundener Wert
- W<sub>min</sub> := minimal gefundener Wert

Bei den logarithmischen Skalen der Geräuschbelastung muß bei der Berechnung des Erfüllungsgrades entsprechend linearisiert werden.

Die bewertete Rangliste wird über Bildschirm oder Drucker an den Benutzer ausgegeben. Für die Verarbeitung im Konfigurationsprogramm wird das Ergebnis in eine entsprechende Datei kopiert.

## 7.5 Taktzeitberechnung

### 7.5.1 Analyse und Definitionen

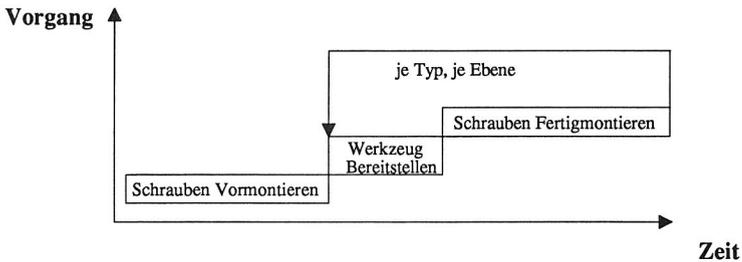


Bild 7.20: Ablauf der Schraubenmontage

Um die Abläufe verschiedener Stationen abbilden zu können, wird eine grobe Gliederung in allgemein gültige Teilvorgänge durchgeführt. Aus einer Analyse zahlreicher Verschraubungsvorgänge läßt sich der im Bild 7.20 dargestellte Ablauf abstrahieren.

Die Taktzeit **Verschrauben** umfaßt alle mit dem Prozeß unmittelbar in Zusammenhang stehenden zeitlichen Vorgänge. Sie beginnt nach der Bereitstellung und Positionierung der Werkstücke und endet mit dem Anzug der letzten Schraube. Weiterhin werden Vor- und Fertigmontage, Werkzeughandhabung, nicht jedoch Rüstzeiten, Verteilzeiten, Stillstandszeiten oder Werkstückwechselzeiten behandelt. Einzelne Teilzeiten können parallel oder sequenziell ablaufen.

Für die nachfolgende Feingliederung wird dieser Ablauf je nach Stationstyp aufgeteilt. Dazu sind noch einige Begriffe zu definieren:

SYSTEM	Entspricht der Standardlösung (Stationstyp)
ZUFÜHRART	Differenziert die Zuführtechnik nach: <ul style="list-style-type: none"> <li>- manuellem pick and place</li> <li>- automatischem pick and place</li> <li>- vormontierte Schraube</li> <li>- zuschießen</li> </ul>
SCHRAUBENART	entspricht allen Schraubentypen die sich mit einem Schraubwerkzeug verarbeiten lassen
SCHRAUBENTYP	Schraube mit definierten Merkmalen
TAKTWEG	Verfahrweg verschiebbarer Mehrfacheinheiten
EBENE	Schraubebene bezeichnet die Summe von Schraubstellen mit Schraubachsen gleicher Orientierung und nur geringem Niveauunterschied.
SICHERHEITSHÖHE	Rückhubweg des Schraubwerkzeuges
SCHRAUBERHÖHE	Abstand Referenzpunkt zu Schraubebene

### Handarbeitsplatz

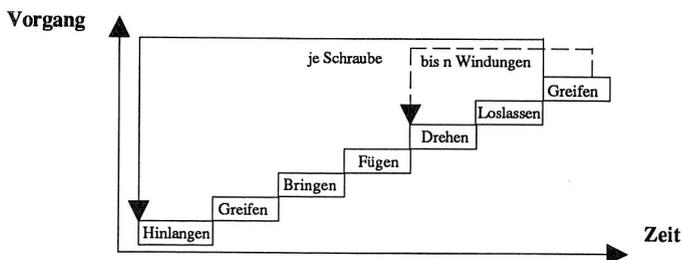


Bild 7.21: Vormontage am manuellen Arbeitsplatz

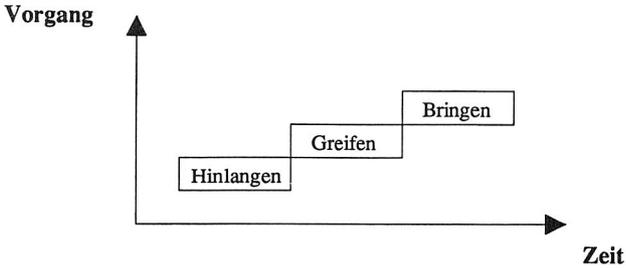


Bild 7.22: Werkzeugbereitstellen am manuellen Arbeitsplatz

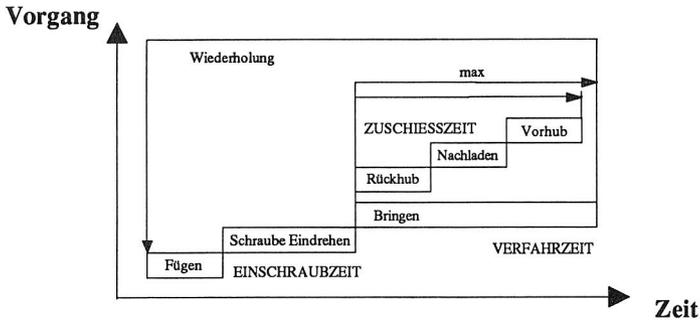


Bild 7.23: Fertigmontage am manuellen Arbeitsplatz

Ist eine Vormontage erforderlich, bewegt die Arbeitsperson die Hand zum Schraubenspeicher, greift die zu montierende Schraube und dreht diese einige Umdrehungen ein. Das manuelle Bereitstellen des Schraubwerkzeugs beinhaltet das Positionieren über der ersten zu montierenden Schraube. Der Ablauf sieht eine Montage zunächst aller Schrauben einer Art, über alle Ebenen vor, sodaß ein erneutes Bereitstellen nicht bei Ebenen- sondern bei Schraubenartwechsel erfolgt. Die Fertigmontage umfaßt das Eindrehen und Anziehen der Schraube. Bei automatischer Schraubenzuführung kommt die längere Einzelzeit zwischen **Zuschießen** und **Verfahren zur nächsten Position** zur Berechnung. Diese Abstimmung gilt für alle weiteren Systeme.

## Handautomat

Handbediente Mehrfacheinheiten werden wie manuelle Arbeitsplätze mit automatischer Schraubenzuführung und einem einmaligen Eindrehen behandelt. Für diese Teilzeit ist dann die längste Einzelein-schraubzeit maßgeblich.

## Vollautomat

Der Vorschub erfolgt hier in der Regel pneumatisch. Die übrigen Teilzeiten können wie oben behandelt werden.

## Verschiebbare Mehrfacheinheit

Die Schrauben werden nicht mehr gesondert vormontiert. Zu den obigen Teilzeiten kommen hier sogenannte **Verschiebezeiten** hinzu, die die Positionierung der Mehrfacheinheiten über dem Schraubbild beschreiben.

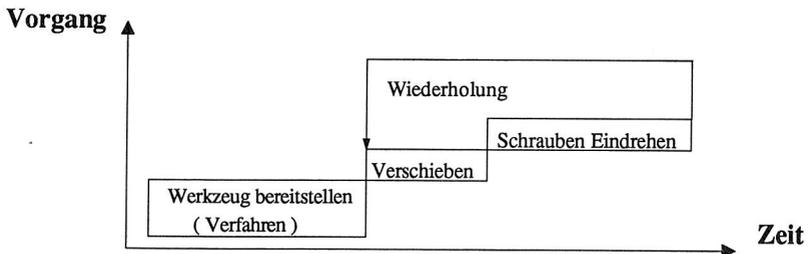


Bild 7.24: Teilzeiten verschiebbarer Mehrfacheinheiten

## Freiprogrammierbare Systeme

Die Vormontage umfaßt das "pick and place" der jeweiligen Schraube mit dem Schraubwerkzeug. In diesem Fall entfällt dann die Werkzeugbereitstellung. Danach erfolgt die Fertigmontage.

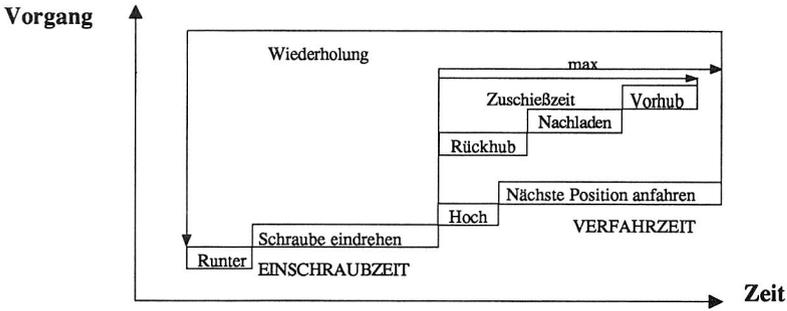


Bild 7.25: Teilzeiten freiprogrammierbarer Systeme

### 7.5.2 Berechnungsverfahren

Wesentliche Teilzeiten gliedern sich in manuelle, maschinelle und technologische Teilzeiten.

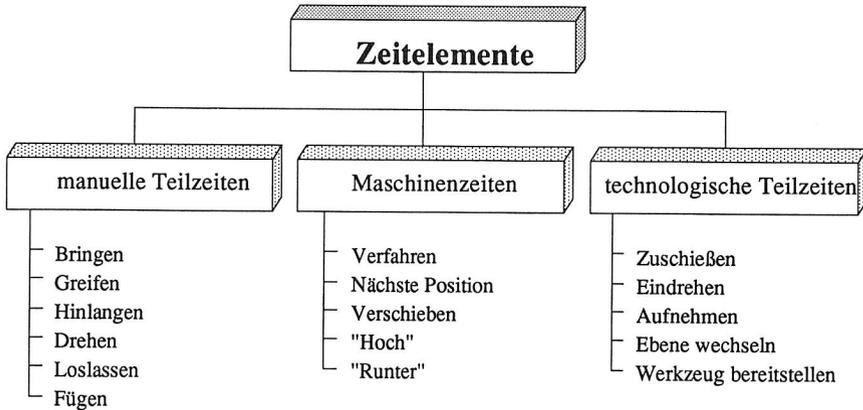


Bild 7.26: Zeitelemente beim Verschrauben

### Manuelle Teilzeiten

Zur Berechnung manueller Tätigkeiten stehen im wesentlichen zwei bekannte Analyseverfahren zur Verfügung. Mit dem Work Faktor Verfahren (WF) wird eine rein theoretische Analyse durchgeführt.

Das MTM Verfahren (Methods-Time-Measurement) berücksichtigt zusätzlich empirische und tatsächlich gemessene Größen. Trotz der exakteren Vorgehensweise lassen sich bei gleichem Analyseaufwand mit dem MTM-Verfahren bessere Ergebnisse erreichen [84]. Die rechnergestützte interaktive Ermittlung von Zeitvorgaben nach der MTM-Methode ist bereits mehrfach realisiert worden [43]. Sie wird innerhalb der hier vorgestellten Methode auf die manuellen Systeme angepaßt und ermöglicht ohne Benutzereingriff die Berechnung der manuellen Teilzeiten [72].

### Maschinenteilzeiten

Maschinenteilzeiten sind Verfahrszeiten der entsprechenden Handhabungsgeräte, sowie der pneumatischen Verschiebeeinrichtungen. Die Möglichkeiten Verfahrszeiten derartiger Systeme zu berechnen sind durch die Vielzahl von Einflußgrößen stark eingeschränkt.

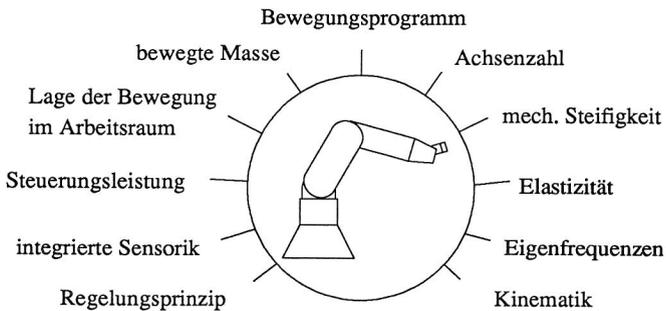


Bild 7.27: Einflußgrößen auf die Verfahrgeschwindigkeit programmierbarer Handhabungssysteme

Selbst mit CAD-gestützten Simulationsprogrammen können diese Einflußgrößen nicht vollständig berücksichtigt werden. Häufig stehen die neben den geometrischen Daten notwendigen Eingangsinformationen auch nicht ausreichend zur Verfügung. Die hier vorliegende Planungsmethode benutzt keine geometrischen CAD-Modelle, sodaß die benötigten Eingangsdaten stark eingeschränkt werden.

Dieser Sachverhalt führt zu verstärkten Bemühungen statt exakter Rechenverfahren mit vielen Einflußgrößen, empirische oder heuristische Verfahren einzusetzen [100]. So wird in diesem Zusammenhang die Taktzeitberechnung von Schraubstationen auf die Auswertung gemittelter Werte von Geschwindigkeit und Beschleunigung reduziert. Diese Angaben lassen sich durch geeignete Untersuchungen [100] ermitteln, oder aus Herstellerangaben ableiten. Für wichtige Grundsysteme wurden exemplarische Werte in der Datenbasis hinterlegt. Bei den überwiegend anzutreffenden Portalbauweisen, lassen sich damit ausreichend genaue Ergebnisse erreichen.

Weiterhin entstehen maschinelle Teilzeiten beispielsweise beim Klingenhub durch die Bewegung pneumatischer Linearantriebe. Die vollständige Erfassung aller Einflußgrößen ist hier ebenfalls nicht möglich. Da die Auswirkung veränderlicher Eingangsgrößen wie Last und Kolbendurchmesser sich in diesen Systemen gegenseitig in etwa aufheben, bleibt die Auswirkung auf die Verfahzeit gering. Daher kann die Zahl der notwendigen Parameter auf Weg, Last, Druck, Kolbendurchmesser und Ventiltinnenweite reduziert werden. Diese Daten sind mit den Vorgabewerten der entsprechenden Standardsysteme belegt.

### **Technologische Teilzeiten**

Hauptanteil technologischer Teilzeiten beansprucht das **Eindrehen** der Schraube. Dazu gehört noch das eigentliche **Anziehen**. Diese sogenannte Anziehzeit liegt jedoch im Bereich von [ns] und ist in Relation zu den Eindrehzeiten ohne Bedeutung. Ein direkter Einfluß des Anzugverfahrens ist nicht gegeben. Bild 7.28 zeigt Einflußfaktoren auf die Länge der Eindrehzeit.

Die größte Schwierigkeit bei der Berechnung von Eindrehzeiten liegt in den im Verlauf schwankenden Eindrehmomenten, in Zusammenhang mit den nicht vollständig erfaßbaren Drehmomentkurven der ausgewählten Antriebe. Bei metrischen Gewinden hat sich die Annahme einer Drehzahl von etwa 85% der Leerlaufdrehzahl als praktikabel erwiesen. Für selbstformende, -schneidende oder -bohrende Schrauben liegt dieser Wert erheblich niedriger, beispielsweise zwischen 40 und 60% der Leerlaufdrehzahl.

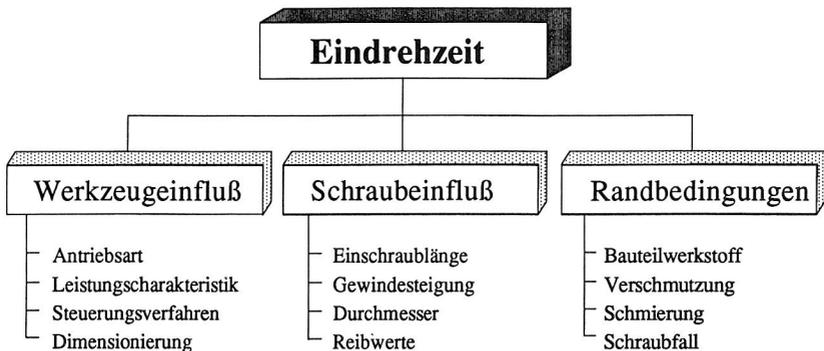


Bild 7.28: Einflußgrößen der Eindrehzeit

Das **Zuschießen** als technologische Teilzeit gliedert sich in Rückhub, das eigentliche Nachladen und den Vorhub der Klinge. Rück- und Vorhub werden als pneumatisch angetriebene Linearbewegungen behandelt. Dabei können Nachladezeit und Rückhub teilweise parallel verlaufen. Beeinflußt wird die Nachladezeit durch Luftdruck, Impulsdauer der Druckluft, Geometrie, Gewicht und Wirkfläche der Schraube sowie der Schlauchlänge und der Höhendifferenz zwischen Zuführgerät und Werkzeug. Aus den durchgeführten Untersuchungen ergibt sich ein annähernd linearer Zusammenhang von Schlauchlänge und Flugzeit. Die übrigen Parameter können für die Standardsysteme bestimmt werden und beeinflussen die Nachladezeit nur noch geringfügig.

Nach dem zugrundeliegenden Produktmodell bleibt schließlich die Teilzeit für den **Wechsel der Schraubenebene**. Aus den Schraubbildern und der Ebenenzahl läßt sich eine gute Abschätzung der Wechselwege erreichen. Die Zahl der notwendigen Ebenenwechsel ergibt sich aus der Zahl der Schraubenarten pro Ebene und der Ebenenanzahl.

### 7.5.3 Optimale Montagereihenfolge

Hauptteilzeit bei Produkten mit mehreren Schraubstellen pro Station und einem freiprogrammierbaren Montagesystem mit nur einem Werkzeug sind die Werkzeugverfahrzeiten. Das Abfahren der einzelnen Schraubstellen entspricht dabei in etwa einem der klassischen Probleme des Operations Research, dem Rundreiseproblem. Einige technische Besonderheiten sind jedoch bei der Übertragung allgemeiner Lösungen zu berücksichtigen:

- Die **Rundreise** muß nicht geschlossen sein, da der Verfahrensweg von der letzten bis zur ersten Schraubstelle in der Werkstückwechselzeit erfolgen kann
- Zusätzliche Transportmengenüberlegungen sind nicht erforderlich
- Technische Zwangsbedingungen können überlagert sein
- Bei Anwendung eines Lösungsverfahrens sind der Programmlaufzeit enge Grenzen gesetzt.

In der Literatur sind zahlreiche Algorithmen zur numerischen Lösung derartiger Probleme beschrieben, ein allgemein gültiges, befriedigendes Lösungsverfahren existiert jedoch bis heute nicht [65,103]. Drei dieser Methoden werden auf die beschriebenen Randbedingungen angepaßt und vergleichend untersucht. Aus dieser Einsatzumgebung ergeben sich Abweichungen im Programmlauf.

#### **Enumeration**

Optimal gelöst wird das Reihenfolgeproblem durch die vollständige Enumeration. Das Anfangspunktproblem kann mit einer vollständigen Variation über alle Punkte ebenfalls gelöst werden. Die Überlagerung technischer Reihenfolgebedingungen kann leicht verwirklicht werden, indem jede erzeugte Reihenfolge auf diese Bedingung überprüft wird. Nachteil ist die hohe Laufzeit der Programme, die mit der Schraubenzahl fakultativ steigt.

### **Next Point**

Eine erhebliche Laufzeitverkürzung kann mit dem sogenannten Verfahren des nächsten Punktes erreicht werden. Dabei wird ausgehend von einem beliebigen Startpunkt, über den jeweils nächsten Punkt eine Reihenfolge aufgebaut. Dieses Verfahren eignet sich für die häufig symmetrischen Anordnungen technischer Aufgabenstellungen recht gut, erfordert aber eine vollständige Anfangspunktvariation, die die kurze Laufzeit des entsprechenden Basisprogrammes fakultativ erhöht.

### **Branch & Bound**

Über eine mehrfache Reduktion der Distanzmatrix wird zunächst die Grenze (Bound) für das Entscheidungskriterium (Weglänge) gesucht, die nicht unterschritten werden kann. Diese Grenze ist jedoch keine scharfe, eindeutige Untergrenze, sondern beschreibt die Länge der auffindbaren Lösung. Von der unbekanntesten Restmenge zulässiger Touren wird nun die Menge aller Touren abgetrennt (Branch), die eine bestimmte Strecke enthält. Die Wahl dieser trennenden Strecke erfolgt nach dem maximalen Umwegzuwachs durch diese Strecke mit Hilfe der Distanzmatrix. Für die untersuchte Teilmenge wird der beschriebene Vorgang (Branch & Bound) so lange wiederholt, bis eine zulässige Tour gefunden wird. Ist diese Tour kürzer als alle Grenzen der nicht untersuchten Teilmengen ist es die gesuchte Reihenfolge. An dieser Stelle muß dann auch das Einhalten der technologischen Reihenfolgebedingungen überprüft werden. Kann keine Lösung gefunden werden, wird auf die bisher nicht untersuchten Teilmengen übergegangen. Mit diesem Verfahren läßt sich eine exakte Vorhersage der Programmaufzeit nicht erreichen, sie liegt aber zwischen der vollständigen Enumeration und dem Next Point Verfahren.

### **Modifiziertes Branch & Bound**

Wendet man den beschriebenen Algorithmus auf konkrete Schraubaufgaben an, zeigt sich eine hohe Abhängigkeit von den geometrischen Verhältnissen. Lassen sich bei willkürlichen Anordnungen gute

Ergebnisse (Laufzeit und Weglänge) erreichen, versagt die Methode bei linienförmigen, langgezogenen Anordnungen, beispielsweise alle Punkte auf einer Geraden. Um diese technisch sehr häufigen Situationen zu behandeln, wird der Algorithmus erweitert. Findet das Branch & Bound Verfahren keine Lösung, wird auf die Methode des nächsten Punktes übergegangen, die gerade in diesen Fällen schnell und sicher die optimale Lösung erreicht.

Die vollständige Variation der Anfangspunkte läßt sich mit dem beschriebenen Branch & Bound nicht durchführen, sodaß hier ebenfalls Modifikationen notwendig sind. Aus der gefundenen, geschlossenen Reihenfolge wird die längste Einzelstrecke identifiziert. Ist der Anfangspunkt einer der beiden Endpunkte dieser Strecke, handelt es sich um die optimale Lösung. Andernfalls wird das Verfahren um einen der beiden Endpunkte dieser Strecke neu gestartet. Diese Vorgehensweise findet bei technischen Anwendungen in allen untersuchten Fällen bereits im zweiten Durchlauf die optimale Lösung.

### **Bewertung**

Zur Beurteilung der Verfahren werden zahlreiche Geometrien mit unterschiedlichen Punktezahlen untersucht. Dabei läßt sich als Laufzeitgrenze der Enumeration je nach Aufgabenstellung mit 5 Schraubstellen (mehr als eine Schraubebene) oder bei 7 Schraubstellen (bei einer Schraubebene) ermitteln. Mit dem modifizierten Branch & Bound Verfahren lassen sich etwa 15 Schraubstellen pro Ebene behandeln, in allen anderen Fällen muß zumindestens in der Planungsphase auf das Next Point Verfahren übergegangen werden. Wird diese Berechnung zur Erstellung der Roboterprogramme genutzt, sollte auch bei höherer Schraubenzahl stets das modifizierte Branch & Bound Verfahren oder die vollständige Enumeration eingesetzt werden.

Basis aller Zeitangaben ist ein mit 16 MHz getakteter 80386 Prozessor und in PASCAL geschriebene Programme. Neben der Programmlaufzeit ist vor allem die erreichbare Genauigkeit Grundlage der festgestellten Verfahrensgrenzen. Dabei werden folgende Ergebnisse erreicht (Bild 7.30):

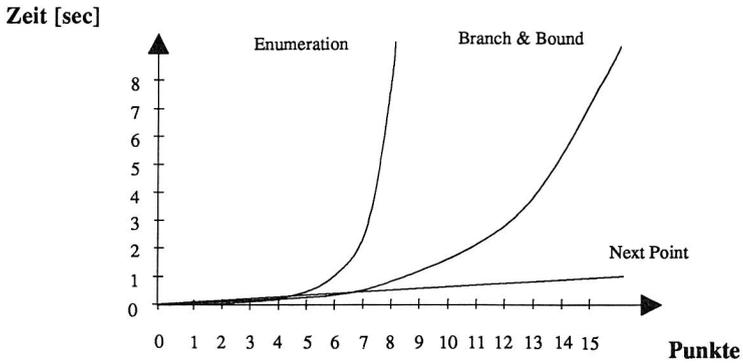


Bild 7.29: Laufzeit zur Berechnung optimaler Montagereihenfolgen

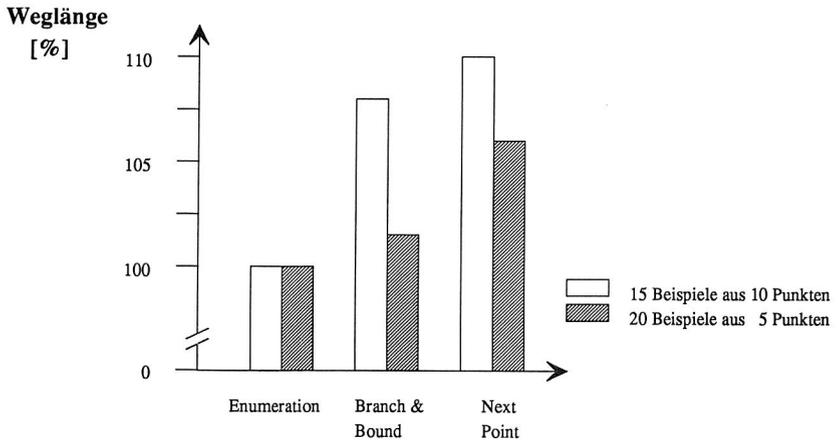


Bild 7.30: Genauigkeit der optimalen Verfahrenreihenfolge

Bei den dargestellten Werten handelt es sich um Mittelwerte, die aus Versuchen mit verschiedenen Geometrien und unterschiedlichen maßgeblichen Punktezahlen gebildet werden.

## 7.5.4 Programmschnittstellen

Eingebunden ist die Taktzeitberechnung direkt in die Konzeptauswahl. Für jede technisch mögliche Systemkonfiguration wird die zu erwartende Taktzeit bestimmt. Sind als Benutzerrandbedingungen Sollzeiten vorgegeben, ist die Taktzeitberechnung als KO-Kriterium wirksam. Andernfalls wird sie als Ergebnisdatum den erarbeiteten Systemkonzepten zugeordnet. Die Schnittstellenübergabe erfolgt mit folgenden Parametern:

X	num	Koordinate der aktuellen Schraube in der entsprechenden Ebene [mm]
Y	num	siehe X
EBENE	num	aktuelle Nummer der Ebene ( 1,2,3 )
TYP	num	laufende Nummer ( 1,2,3,... ) pro Ebene, um die verschiedenen Schraubentypen zu kennzeichnen; die Nummerierung beginnt für jede neue Ebene wieder bei 1
SYS_ID	num	Identifikationsnummer des Bearbeitungssystems, dieses ist in der technischen Datenbankdatei
SYS_ART	num	durch entsprechende Informationen näher beschrieben verwendetes Bearbeitungssystem: <1>=Handschrauber, <2>=handbedienter, starrer Schraubautomat, <3>=verschiebbarer Schraubautomat, <4>= vollautomatischer, starrer Schraubautomat, <5>=Portal-Roboter, <6>=ScaraRoboter, <7>=6-Achsen-Industrieroboter
ZUF_ART	num	Art der Schraubenzuführung: <1>=Zuschießen über Zuführschlauch, <2>=Pick-and-Place durch Handhabungsgerät, <3>=Pick-and-Place durch Bedienperson, <4>=Schraube bereits vormontiert
AEG	num	Anzahl einzudrehender Gewindegänge der Schraube
SNR	num	Systemseitig zu vergebende Schraubnummer (Identifikationsnummer für technische Datenbankdatei)
TAKT_WEG_1	num	Taktweg beim verschiebbaren Schraubautomaten für das Verschieben von der ersten zur zweiten Position [mm]. <0> = wenn kein verschiebbarer Schraubautomat
TAKT_WEG_2	num	Taktweg beim verschiebbaren Schraubautomat für das Verschieben von der zweiten zur dritten Position [mm]. <0> = wenn kein verschiebbarer Schraubautomat
TAKT_ZEIT	num	berechnete Gesamtzeit ( Rückgabewert )
RHN_FOLGE	num	optimierte Reihenfolge der Verschraubung

Tabelle 7.11: Schnittstellenparameter zur Taktzeitberechnung

Über die Schraubwerkzeugidentifikationsnummern wird zusätzlich auf notwendige Daten anderer Systemdatenbanken zugegriffen.

## 7.6 Konfiguration der Schraubstation

### 7.6.1 Konzeptvorauswahl

Die erste Phase der Konzeptauswahl besteht aus dem Abprüfen einiger Ausscheidungskriterien. Diese sind abhängig von den eingegebenen Projektrandbedingungen und dem beurteilten Standardsystem und führen bei "Nichterfüllung" zu sofortigem Planungsabbruch für die betroffene Systemlösung. Das ausschlaggebende Kriterium wird dabei gespeichert, sodaß sich der Planungsverlauf nach Abschluß jederzeit nachvollziehen läßt.

Die angestrebte automatische Zuführung wird durch die bekannte Geometrie der Schraube, aber auch durch Angaben über Beilageteile oder bereits vormontierte Schrauben entschieden. Die Anzahl und Lage der Schraubebenen beeinflusst die Einsatzmöglichkeiten einfacher Montageautomaten.

Die Anordnung der Schraubstellen in den Schraubebenen wird für die Konzeption der starren Automaten mehrfach untersucht. Die Errechnung des Teilkreisdurchmessers für die bekannte Geometrie ermöglicht eine Vorentscheidung über starre Werkzeuganordnung und Werkzeugzahl. Liegt die ermittelte Einschränkung im Bereich vorhandener Werkzeuge, kann die entsprechende Randbedingung für die Werkzeugauswahl festgelegt werden, andernfalls wirkt der Schraubstellenabstand als Ausscheidungskriterium für starre nicht verschiebbare Mehrfacheinheiten.

Komplexer ist die Situation bei der Eignungsbeurteilung verschiebbarer Mehrfacheinheiten. Dabei werden im vorhandenen Lochbild Teilmuster gesucht, die sich mit einem Verschiebevektor ineinander überführen lassen. Der Abstand  $a$  im Bild 7.31 verhindert den Einsatz eines starren 6-fachen Schraubautomaten. Als Teilmuster können die Schraubstellen 1 und 2 mit einer 2-fach Einheit montiert werden. Dieses Teilmuster ermöglicht durch zweifaches Verschieben entlang des Verschiebevektors  $A$  die Bearbeitung mit einer verschiebbaren Mehrfacheinheit.

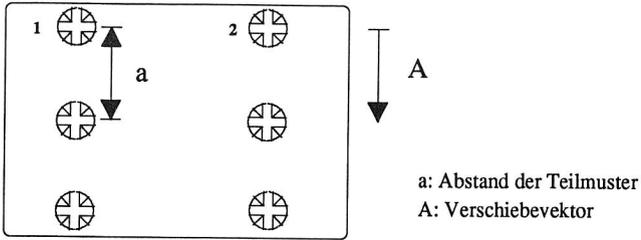


Bild 7.31: Schraubbild für verschiebbare Mehrfacheinheiten

Sind die definierten Standardsysteme an den hinterlegten Auswahlkriterien vollständig gespiegelt worden, entsteht eine Vorauswahltabelle (Bild 7.32), in der verbleibende und ausgeschiedene Lösungen enthalten sind. Zu den wegfallenden Systemen ist jeweils das erste wirksam gewordene Ausscheidungsmerkmal hinterlegt.

Standardlösung	geeignet	Ausscheidungskriterium
Handarbeitsplatz mit Zuführung	ja	_____
Handarbeitsplatz ohne Zuführung	nein	Schraube zuführbar
Mehrfacheinheit mit Zuführung	nein	Teilkreisdurchmesser
verschiebbare Mehrfacheinheit mit Zuführung	ja	_____

Bild 7.32: Vorauswahltabelle

Durch die Konzeptvorauswahl kann die Zahl der weiterhin zu untersuchenden Systeme in der Regel auf zwei bis vier Lösungen reduziert werden.

## 7.6.2 Werkzeugauswahl

Für die verbliebenen Systemlösungen wird nun nach dem hierarchischen Produktmodell die Werkzeugauswahl durchgeführt. Für jede Ebene und alle Varianten in dieser Ebene wird dabei nach Schraubentypen und Schraubstelle zusammengefaßt, die Anfrageschnittstelle zur Werkzeugauswahl gefüllt. Durch mögliche Unterschiede in der lokalen Geometrie sind häufig Schraubstellen mit gleichen Schrauben dennoch getrennt abzu prüfen.

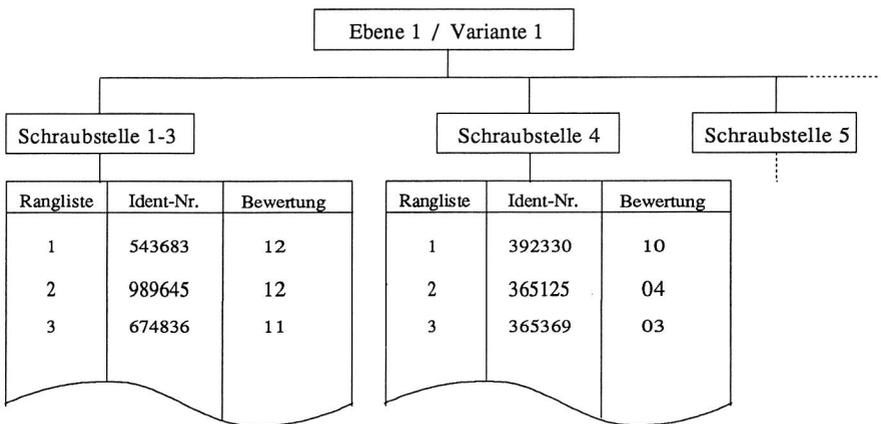


Bild 7.33: Schraubstellenbezogene Werkzeugauswahl

Nach dieser Werkzeugvorauswahl steht für jede Schraubstelle eine bewertete Rangliste von bis zu fünfzig geeigneten Schraubwerkzeugen mit Verweisen auf Zubehör, Zuführgeräte und Steuerungen. Im nun folgenden Quervergleich werden diese Listen in einer konzeptbezogenen Auswertematrix zusammengefaßt. Errechnet wird die Summe der erzielten Bewertungspunkte und die Summe bearbeitbarer Schraubstellen. Außerdem ist eine Liste aller Schraubstellen angebunden, deren Bearbeitbarkeit mit dem jeweiligen Werkzeug über eine BOOL'sche Variable angegeben ist (Bild 7.34).

Diese Daten werden projektbezogen gespeichert und können als Zwischenergebnis ausgegeben oder vom erfahrenen Benutzer editiert werden. Je nach der zugehörigen Systemlösung wird nun das oder die letztendlich notwendige(n) Werkzeug(e) ausgewählt. Bei flexibel programmierbaren Systemen wird dabei nach der Werkzeuganzahl optimiert, da Werkzeugwechsel nach Möglichkeit zu vermeiden sind. Verschiebbare oder starre Mehrfacheinheiten können wie Handarbeitsplätze durchaus unterschiedliche Werkzeuge enthalten, sodaß abhängig von der Gesamtwerkzeugzahl nach Bonuspunkten optimiert werden kann.

Identnr.	Summe der Bewertungszahlen	Summe der Schraubstellen	SST1	SST2	
43215	120	5	T	F	
98764	100	4	T	T	
76512	115	6	F	F	
48260	122	6	T	T	

Bild 7.34: Zusammengefaßte, konzeptbezogene Werkzeugauswahl

Überlagert werden bei diesem Auswahlvorgang zusätzliche Randbedingungen. Voreingestellt ist vor allem die Forderung nach einheitlichem Werkzeughersteller, einheitlichem Antriebsmedium in einer Maschine und einheitlichen Anzugsverfahren. Weitere Randbedingungen sind vom Benutzer editierbar.

Kann kein geeignetes Werkzeug für alle Schraubstellen und Randbedingungen gefunden werden, wird die entsprechende Systemlösung zunächst zurückgestellt. Die Einschränkungen bei der Werkzeugauswahl bleiben gespeichert, sodaß die Planung an dieser Stelle mit leicht modifizierten Randbedingungen wieder aufgenommen werden kann.

### **7.6.3 Ergebnisse**

#### **Systemleistung**

Mit den Ergebnissen der Werkzeugauswahl können nun die verbliebenen Konzepte vervollständigt werden. Zunächst wird die Schnittstelle des Taktzeitberechnungsmoduls gefüllt und die Taktzeitberechnung durchgeführt. Bei Robotersystemlösungen wird innerhalb dieser Berechnung automatisch eine optimierte Reihenfolge ermittelt. Diese Reihenfolge ist dann als Teilergebnis der Systemlösung zugeordnet.

Aus den eingegebenen Produktionsbedingungen läßt sich eine geforderte Mindestausbringung errechnen. Diese Ausbringung wird nun in eine Taktzeitforderung umgerechnet. Berücksichtigt werden die technische Verfügbarkeit der jeweiligen Standardlösung und angepaßte Rüstzeiten bei Variantenwechsel. Das Verhältnis von geforderter zu der für das konzipierte System ermittelten Taktzeit ist Ergebnis der durchgeführten Vergleichsrechnung. Anzustreben sind Verhältnisse im Bereich zwischen 1.1 und 2. Dann kann eine Sicherheit von 10 Prozent erreicht und die Überdimensionierung der Systemlösung vermieden werden.

#### **Kosten**

Aus den im Planungssystem hinterlegten Kostendaten kann ein gesamter Investitionsplan für die Systemlösung erstellt werden. Basis ist dabei die Summenbildung über die Gerätekosten. Da die Grundsysteme nur in wenigen Parametern variieren, lassen sich hier genaue Kostendaten ermitteln. Für die jeweiligen Werkzeuge und Zubehörteile sind ebenfalls genaue Anschaffungs- oder Herstellkosten bekannt.

Zur Ermittlung von Kennwerten der dynamischen Wirtschaftlichkeitsrechnung sind jedoch über die Nutzungsdauer verteilt, Wartungskosten, Energiekosten und vor allem Lohnkostenanteile in der Zahlungsreihe zu berücksichtigen. Über hinterlegte Grunddaten lassen sich die den Standardsystemen zugeordneten Verbrauchswerte in Kostendaten umrechnen. Insbesondere der Personalaufwand ist

nach Stundenbedarf und Qualifikationsstufe der Systemlösung zugeordnet (Kap. 5).

Voraussetzung für die vollständige Berechnung des internen Zinsfußes oder von Kapitalwerten ist eine der Station zugeordnete Einzahlungsreihe, die in der Regel nicht zur Verfügung steht. Die ermittelten Auszahlungswerte können aber einerseits den Vergleich verbliebener Systeme unterstützen, andererseits als Teilergebnis für die Wirtschaftlichkeitsrechnung der gesamten Montagelinie übergeben werden. Eine vollständige Berechnung des Maschinenstundensatzes ist wegen der fehlenden Gemeinkostenanteile an dieser Stelle nicht möglich.

### Konstruktionsdaten

Zur Ausführung der Detailkonstruktion werden als technische Teilergebnisse geometrische Daten über die Werkzeuganordnung angegeben. Der ermittelte Arbeitsraum wird mit den Werten des Produkt-hüllquaders vorbelegt. Läßt sich aus der Anordnung der Schraubstellen und den maximalen relativen Entfernungen innerhalb einzelner Ebenen eine deutliche Abweichung erkennen, kann der geforderte Arbeitsraum weiter reduziert werden.

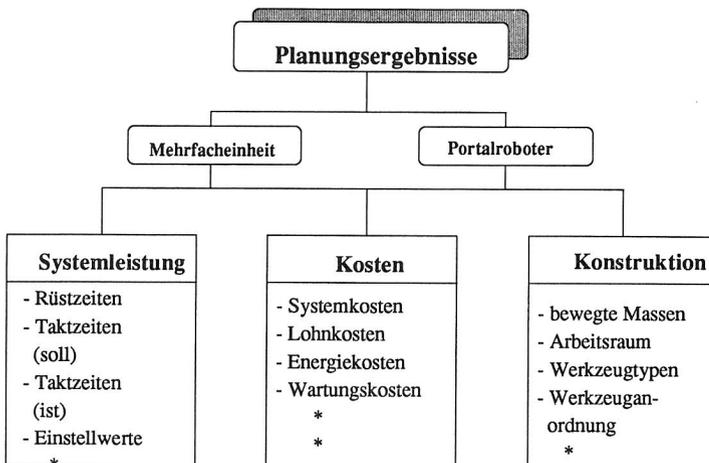


Bild 7.35: Ergebnisse der Konzeptauswahl

Dazu werden die jeweils größten Schraubstellenabstände in der Hauptschraubebene in Koordinatenrichtung aus der Distanzmatrix entnommen. Sind keine weiteren Ebenen definiert, läßt sich die damit aufgespannte Grundfläche als Basis des verkleinerten Arbeitsraumes angeben. Sind weitere Schraubebenen zu bearbeiten, muß der Hüllquader beibehalten werden, da ein echtes Geometriemodell nicht zur Verfügung steht.

Zur Konstruktion der Roboterlösungen, insbesondere der anzustrebenden 2/3 achsigen Portalbauweise werden aus dem Werkzeuggewicht und den angebauten Befestigungselementen die zu bewegenden Massen errechnet. Daraus kann die notwendige Antriebsleistung und -übersetzung abgeleitet werden.

### 7.7 Anwendungsbeispiel

Neben dem Einsatz der Methode bei einem mittelständischen Hersteller von Schraubanlagen, werden Vorgehensweise und Teile der Rechnerhilfsmittel an Teilsystemen der Modellfabrik des Lehrstuhls für Fertigungsautomatisierung und Produktionssystematik erprobt. In dieser Modellfabrik werden Forschungsarbeiten zur rechnerintegrierten Montage durchgeführt [26]. Teilaufgaben erstrecken sich auf die Gebiete der Steuerungstechnik, der Sensortechnik, der Diagnose, der Verfügbarkeitssteigerung sowie der Montage- und Handhabungstechnik. Um diesen Einzelaufgaben gerecht zu werden, besteht die Modellfabrik aus einer Reihe von Montagestationen die durch eine gemeinsame Hauptaufgabe verbunden sind.

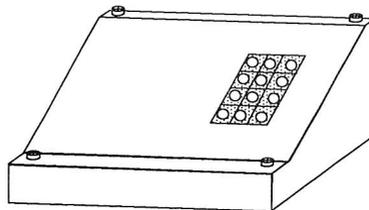


Bild 7.36: Modellprodukt

Eine der Montagezellen hat dabei die Aufgabe den Deckel des Produktgehäuses zu verschrauben. Verarbeitet werden dabei Kreuzschlitzschrauben M4 x 12. Um den technologischen Untersuchungen innerhalb der Modellfabrik größeren Spielraum zu eröffnen, sollen auf der Anlage parallel Gewindeplatten mit 10 Schraubstellen verarbeitet werden können. Nach dem beschriebenen Produktmodell ergibt sich damit folgende Struktur (Bild 7.37).

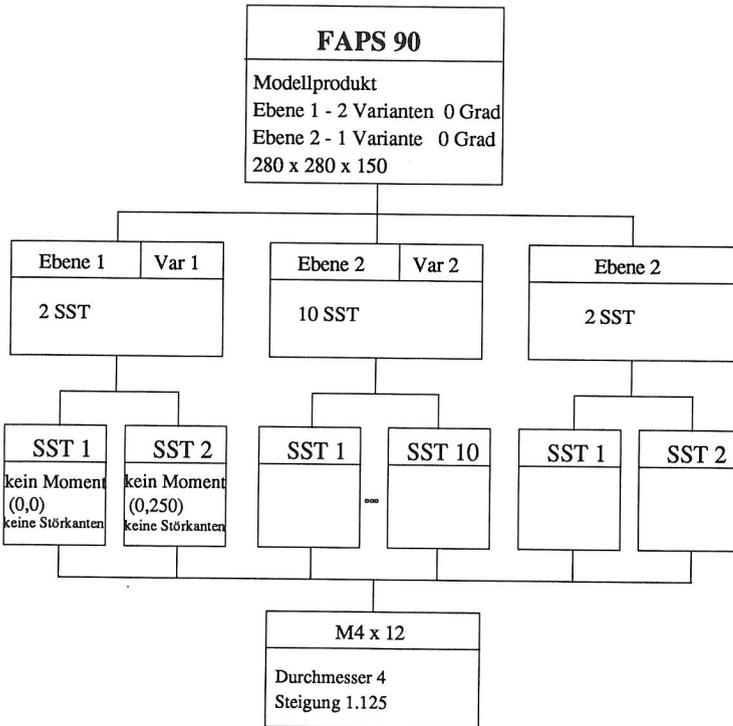


Bild 7.37: Modell des Produktes

Zugeordnet dem Projekt "FAPS 90" besteht das Produkt aus zwei Schraubebenen mit zwei Varianten in der Hauptebene. Momentvorgaben und Störkanten existieren nicht. Als Randbedingungen werden die Festlegung auf einen bestimmten Werkzeughersteller, pneumatische Antriebstechnik, die maximale Stellfläche von 6000 x 4000 mm und eine automatische Montage vorgegeben.

Da keine Angaben über Belastungen, Vorspannkräfte oder Anzugsmomente vorliegen, wird das Montagemoment durch das Auswahlprogramm auf den der Schraube zugeordneten Wert von 2.5 [Nm] der Vorgabetabelle festgelegt. Da keine direkten Vorgaben bestehen, wird als Anzugsverfahren das drehmomentgesteuerte Anziehen gewählt. Zu diesem Verfahren können bei den festgelegten Randbedingungen ausreichend Werkzeuge identifiziert werden.

Durch die Bedingung nach "automatischer Montage" scheidet Handarbeitsplätze in der Konzeptvorauswahl aus. Die gewählte Schraube ist ohne Probleme zuführbar ( $L - D = 7$ ), sodaß Lösungen ohne Zuführung ebenfalls ausgeschieden werden können. Auf Grund der Ebenen- und Variantenzahl verbleiben nach der Vorauswahl die verschiebbare Mehrfacheinheit und ein 3-achsiger Portalroboter.

Die Geometrieprüfung der Konzeptauswahl läßt für die Ebene 1 in der Variante 2 keine geeigneten mit zwei Verschiebungen erreichbaren Teilmuster erkennen. Damit ist die verschiebbare Mehrfacheinheit ebenfalls ausgeschieden. Die weitere Planungsarbeit bezieht sich ausschließlich auf das 3-achsige Portal.

Die Werkzeugauswahl ergibt einen pneumatischen Drehschrauber in gerader Bauform mit einem Drehmomentbereich von 0.2 - 4.5 Nm. Als Einstellwert werden 2.5 Nm angegeben. Das zugehörige Zuführgerät kann ebenfalls identifiziert werden. Als Zubehör wird ein passendes Mundstück und eine einfache Führungshülse (keine Störkante, vertikale Montagerichtung) gewählt. Ausgestattet ist der Schrauber mit einem Piezoquarzaufnehmer zur Drehmomentmessung.

Die gesamte zu bewegende Masse beträgt 2000 Gramm. Das Portal wird vom Planungssystem mit einem Arbeitsraum von 300 x 300 x 300 mm konzipiert. Die Taktzeit für Variante 1 ist mit 7 und für Variante 2 mit 10 Sekunden angegeben.

Zur Durchführung der technologischen Untersuchungen wird als weitere Randbedingung die Prozeßdatenerfassung von Drehmoment und weiterer Qualitätsmerkmale gefordert. Die Systemlösung wird daher mit der maximalen Steuerungsausstattung versehen.

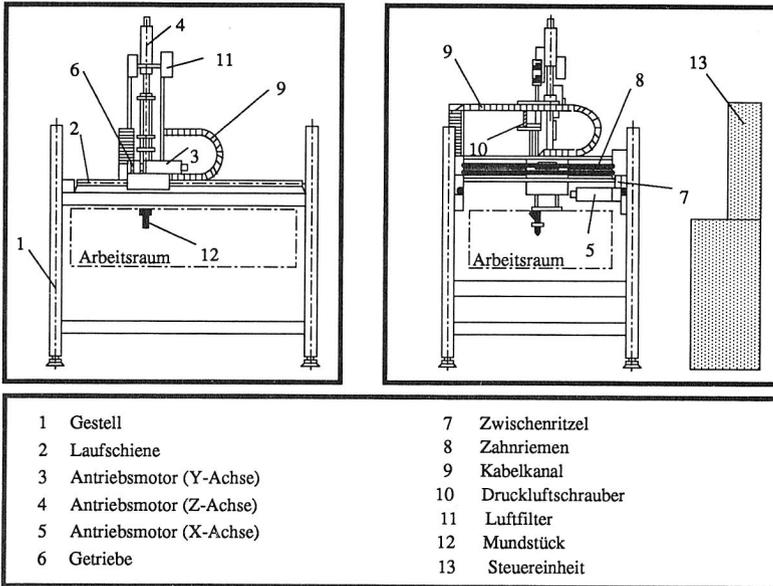


Bild 7.38: Schraubzelle in der Modellfabrik

Das Bild zeigt die mit REKOSS gefundene und realisierte Systemlösung. Lediglich der Portalarbeitsraum wird nach dem Planungsdurchlauf vergrößert, um weiteren Spielraum für neue Aufgaben in der Forschungsarbeit sicherzustellen. In der technischen Ausführung kann die definierte Standardlösung vollständig übernommen werden. Die tatsächlich ermittelten Taktzeiten (6,8 und 11 sec) weichen weniger als 10 Prozent von den berechneten Werten ab.

## 8. Zusammenfassung

Wachsender Wettbewerbsdruck in einem sich mit zunehmender Geschwindigkeit ändernden gesellschaftlichen Umfeld, führt zu neuen Anforderungen an moderne Fertigungsbetriebe. Dies gilt insbesondere für den Bereich der Montage. Die erhöhte Innovationsgeschwindigkeit verändert zusätzlich Ziele und Aufgabenschwerpunkte bei der Gestaltung des Montageprozesses, erweitert aber auch die Einsatzmöglichkeiten neuer Hilfsmittel. Die Planung der Produktmontage gewinnt dabei an Bedeutung.

Aus dieser Situation wurde in der vorliegenden Arbeit eine technologisch orientierte Betrachtungsweise des Planungsprozesses entwickelt. Am Beispiel der Schraubtechnik wird daraus eine geschlossene Planungsmethode zur Entwicklung von Schraubstationen abgeleitet. Die Betrachtung des Planungsprozesses wird um die jeweilige Montagetechnologie als zusätzlicher Dimension erweitert. Der Prozeß ist damit durch Teilaufgaben, Einzeldaten und Informationsblöcke technologisch spezifiziert zu beschreiben. Aus der durchgeführten Analyse wurde eine vollständige Darstellung des Planungsprozesses abgeleitet. Als Darstellungsformen werden Datenmatrizen, Datenflußpläne und Reihenfolgegraphen eingesetzt.

Im weiteren wurden Daten, Informationen und Regeln zur Planung von Schraubstationen erarbeitet. Mit der Darstellung der gegenseitigen Einflußgrößen ist die Voraussetzung für die Entwicklung rechnergestützter Hilfsmittel geschaffen worden. Schraubwerkzeuge als Kernfunktionsträger stehen dabei im Mittelpunkt. Mit dem Aufbau der Werkzeugdatenbank "sbase" konnten eine umfassende Datenbasis erarbeitet und erstmals vergleichende Aussagen zu Werkzeugausprägungen quantitativ belegt werden.

Voraussetzung für eine automatisierte Planung von Montagestationen sind Lösungsstandards als Zielgrößen dieses Prozesses. Diese Lösungen wurden für den Bereich der Schraubtechnik definiert. Mit den drei Hauptgruppen manuelle, starre und flexible Schraubstationen stehen Standards zur Verfügung, die in der Planung mit wenigen Parametern konfiguriert werden können. Dazu werden noch die Bereiche der Steuerungs- und Prozeßdatenerfassungssysteme gestellt.

Für die Erfassung von Meß- und Prozeßdaten an Schraubstationen konnte aus existierenden Systemen keine Standardlösung abgeleitet werden. Mit dem System REPROSS wurde deshalb eine neue Komponente entwickelt. Aufgebaut aus Standardelementen, wie genormten meß-technischen Schnittstellen, Basishard- und -software konnte die einfache Anpassung an die geforderte Funktionsvielfalt erreicht werden.

Der Weg vom zu montierenden Produkt als Objekt der Montageaufgabe zur konfigurierten Standardlösung als Zielgröße des Planungsprozesses, wird durch die Planungsmethode REKOSS beschrieben. Ausgehend vom vorgestellten, an den technologischen Anforderungen ausgerichteten Produktmodell, wird eine Schraubstellen-bezogene Werkzeugauswahl durchgeführt. Für relevante Standardlösungen werden notwendige Vergleichsdaten und Konfigurationsparameter erarbeitet.

Unterstützt wird die Anwendung dieser Methode durch die vorgestellten Rechnerhilfsmittel. Im Vordergrund steht die komfortable Erarbeitung der beschreibenden Projektgrunddaten. Durch geeignete Softwarehilfsmittel wird auch der technologisch wenig geschulte Planer in die Lage versetzt, Schraubstationen zu konfigurieren. Neben der Werkzeugauswahl kann auch die Bestimmung der Taktzeit als wesentlichem Leistungsmerkmal automatisch durchgeführt werden. Für die Abschätzung notwendiger Verfahrenswege in flexiblen Schraubstationen wurden die Rechenverfahren der vollständigen Enumeration, des besten nächsten Punktes und eine modifizierte Methode des Branch & Bound untersucht. Abhängig von der Zahl der Schraubstellen werden die Einsatzmöglichkeiten abgegrenzt.

Die vorgestellte Planungsmethode mit den zugehörigen Daten und entwickelten Hilfsmitteln eröffnet durch ihre vielseitigen Einsatzmöglichkeiten, Planungsabteilungen großer Montagebetriebe die Durchführung technologischer Feinplanung, aber auch Angebotsabteilungen technologisch ausgeprägter Zulieferbetriebe die Projektierung der jeweiligen Teilkomponenten. Schließlich wird durch das gesammelte Planungswissen die Voraussetzung für die künftige Anwendung neuer Softwaretechniken, wie beispielsweise Expertensysteme oder Methoden der künstlichen Intelligenz geschaffen.

## 9. Literaturverzeichnis

1. Anhalt, P.:                   Produkthaftung und Qualität  
in: Quality Management  
Bläsing, P. (Herausgeber)  
gmft-Verlags KG, München, 1989  
Seite: 107 - 174
  
2. Barthelmeß, P.:           Montagegerechtes Konstruieren durch  
die Integration von Produkt- und  
Montageprozeßgestaltung  
Springer Verlag, 1987  
ISBN: 3-540-18120-2
  
3. Bauer, C. O.:             Probleme und Lösungen beim  
automatischen Schrauben  
Werkstatt und Betrieb (122), Nr.:6  
1989, Seite: 441 - 444
  
4. Bauer, C. O.:             Der Weg zur optimierten Verbindung  
VDI-Z, Bd.129, Nr.4, 1987  
Seite: 84 - 88
  
5. Bauer, C. O.:             Sicherheit und Zuverlässigkeit von  
Schraubenverbindungen  
Werkstatt und Betrieb,  
Bd.119, Nr.1, 1986  
Seite: 32 - 34
  
6. Benz, A.;  
Walther, J.:                 Rechnerunterstützte Planung von  
Montageanlagen  
CAD-CAM Report Nr.4 1989  
S. 38-44
  
7. Bode, A.;  
Händler, W.:                Rechnerarchitektur  
Springer Verlag, Berlin, 1980

8. Börnecke, G.                   Stand und Tendenzen der Automati-  
sierung in der Elektrotechnik  
ZwF 80 (1985); Seite 101-105
  
9. Bossard, F.:                   Handbuch der Verschraubungstechnik  
Expert Verlag, 1982  
ISBN: 3-88508-783-9
  
10. Bullinger, H. J.:           Systematische Montageplanung  
Carl Hanser Verlag  
München, Wien, 1986  
ISBN: 3-446-14606-7
  
11. Chapman, I.;  
Newnham, J.;  
Wallace, P.:                   The Tightening of Bolts to Yield  
and Their Performance Under Load  
Journal of Vibration, Acoustics  
Stress, and Reliability in Design  
Bd.108, April 1986, Seite 213 - 221
  
12. Classe, D;  
Scholz, W.:                   Verfahrensbeschreibende Parameter -  
Schlüssel zur systematischen  
Montageautomatisierung  
wt Werkstattstechnik Nr.77, 1987  
Seite 684 - 689
  
13. Diess, H.:                   Rechnergestützte Entwicklung flexi-  
bel automatisierter Montageprozesse  
Springer Verlag, 1988  
Berlin, Heidelberg, New York, Tokio  
ISBN: 3-540-18799-5
  
14. Ehrhard, K. F.:           Zeitgemäße Schraubpraxis  
uta groebel - infotip  
Limeshain, 1981  
ISBN: 3-88736-000-1

15. Ehrhard, K. F.:           Elektroschrauber, ein Comeback?  
Verbindungstechnik, Nr.11, 1981  
Seite 25-27
16. Engel, G.:               Konzipierung und Auslegung modular  
aufgebaute Handhabungssysteme  
VDI-Verlag, Düsseldorf 1980  
ISBN: 3-18-146901-7
17. Esch, H.:               Arbeitsplanerstellung für die  
Montage  
Dissertation, RWTH Aachen, 1985
18. Eversheim, W.:         Simultane Planung von Produkt und  
Produktionsmittel  
VDI-Nachrichten  
Jahrgang 43 Nr.10, vom 10.03.1989
19. Eversheim, W.:         Strategien zur Rationalisierung  
(Herausgeber)           der Montage  
VDI-Verlag, Düsseldorf, 1987  
ISBN: 3-18-400791-X
20. Farell, T.:             Programmieren unter Windows  
Systema Verlag GmbH, München, 1989  
ISBN: 3-89390-251-1
21. Fauner, G.;  
Cecetka, O.:             Atlas der Schraubenmontage  
Expert Verlag, 1983  
ISBN: 3-88508-907-6
22. Felbecker, O.         Ein Beitrag zur Reihenfolgeplanung  
bei Mehrprodukt-Linienfertigung  
Dissertation, RWTH Aachen, 1980
23. Feldmann, K.,  
Schmidt, B.:             Simulation in der Fertigungstechnik  
Springer Verlag  
Berlin, Heidelberg, 1988  
ISBN: 3-540-50250-5

24. Feldmann, K.:           Rechnerunterstützte Planungsmethoden  
für Montagesysteme  
Tagungsband zum Kolloquium  
TU München, 1985
25. Feldmann, K.:           Ziele, Aufbau und Arbeitsweise  
des Kooperationsprojektes PAP  
in: Rechnerintegrierte Produktions-  
systeme, Tagungsband zur Fachtagung  
Erlangen, 1987
26. Feldmann, K.;  
Hake, F. O.;  
Pfeiffer, R.:           Blechhandhabung in der Montage  
Bleche Rohre Profile  
Bd: 33, Nr.7/8, 1986  
Seite: 286 - 290
27. Fischer, G. E.;  
Warnecke, H. J.:        Schraubenmontageautomatisierung  
VDI-Z 130 (1988), Nr.1  
Seite 69 - 75
28. Fischer, J.;  
Gentzen, G.  
Hähle, F.            Modulare Baueinheiten für die flexi-  
ble Montageautomatisierung  
ZwF 84 (1989) 4; S. 202-205
29. Galwelat, M.:        BOLT1 - Programmsystem zum Auslegen  
von Schraubenverbindungen  
Konstruktion Bd.31, Nr.7, 1979  
Seite 275-282
30. Grabowski, H.;  
Kambartel, K.-H.:      Rationelle Angebotsbearbeitung in  
Unternehmen mit Auftragsfertigung  
Girardet Verlag, Essen, 1977  
ISBN: 3-7736-0403-3
31. Großberndt, H.:     Die automatisierte Montage mit  
Schrauben  
Kontakt & Studium Bd.: 256  
Expert Verlag, 1988  
ISBN: 3-8169-0318-5

32. Großberndt, H.: Automatische Montage erfordert verbesserte Schraubenqualität  
VDI-Z, Bd.127, Nr.19, 1985  
Seite: 107 - 115
33. Großberndt, H.;  
Strelow, D.: Lieferqualität automatengerechter Schrauben  
VDI-Z, Bd.129, Nr.9, 1987  
Seite: 68 - 78
34. Grund, P.: Neue Funktionsprinzipien für das maschinelle Anziehen von Schraubverbindungen  
VDI-Z Bd.129, Nr.4, 1987  
Seite 89-95
35. Guttropf, W.: Auf dem Wege zur automatischen Fabrik  
Electronic tips, Nr.7, 1989  
Seite: 18 - 22
36. Haller E.: Rechnerunterstützte Gestaltung ortsgebundener Montagearbeitsplätze, dargestellt am Beispiel kleinvolumiger Produkte; Springer Verlag, 1982  
ISBN: 3-540-12015-7
37. Hellmann, K.-H.: Entwicklung der Schraubtechnik  
VDI-Z 131, Nr.5 , 1989  
Seite: 89-93
38. Hemberger, A.: Innovationspotentiale in der rechnerintegrierten Produktion durch wissensbasierte Systeme  
C. Hanser Verlag München, Wien, 1988  
ISBN: 3-446-15234-2

39. Hoeschen, R.-D.: Planung von Montagesystemen im Rahmen der technischen Investitionsplanung  
Dissertation, RWTH Aachen, 1978
40. Hollmann, H. Herausforderung und Chancen der Produkthaftung aus der Sicht eines Großunternehmens  
in: Quality Managment, Seite 51 - 56  
gfmt-Verlags KG, München 1989
41. Jende, S.: Roboter brauchen montagefreundliche Schrauben  
techno tip, Bd.14, Nr.12, 1984  
Seite 72 - 76
42. Jende, S.; Knackstedt, R.: Warum Dehnschaftschrauben?  
Definition-Wirkungsweise-Aufgaben  
VDI-Z, Bd.128, Nr.12, 1986  
Seite 111 - 119
43. John, B.: Handbuch der Planzeitenpraxis  
Carl Hanser Verlag,  
München Wien, 1987  
ISBN: 3-446-14973-2
44. Junker G. H.; Wallace P. W.: The bolted joint: economy of design through improved analysis and assembly methods  
Proc.of the Instn.of Mech. Engrs.  
Bd.198, Nr.14, 1984; Seite 255 - 266
45. Junker, G. H.: Mechanische Grundlagen moderner Steuerungsverfahren für Verschraubungsprozesse  
VDI-Z Bd.129, Nr.9, 1987  
Seite: 85 - 106

46. Junker, G.: Reihenuntersuchung über das Anziehen von Schraubenverbindungen mit motorischen Schraubern  
Draht-Welt, Bd.56 Nr.2, 1970  
Seite: 122 - 141
47. Kalde, M.: Methodik zur Festlegung der Flexibilität in der Montage  
Dissertation, RWTH Aachen, 1987
48. Kayser, K.: Kleinschrauben- Angebotsvielfalt ermöglicht profitable Problemlösungen  
Industrie anzeiger,  
Bd.108, Nr.15, 1986  
Seite: 34 - 40
49. Kayser, K.: Blechschraubenverbindungen  
VDI-Berichte Nr.478, 1983  
Seite 113 - 120
50. Kettner, H.; Die morphologische Methode  
Klingenschmitt, V.: und das Lösen konstruktiver Aufgaben  
wt - Z. f. ind. Fertigung  
Bd.61 Nr.12, 1971; Bd.63, Nr.6, 1973  
Seite: 737 - 741; 357 - 363
51. Kloos, K. H.; Untersuchung verschiedener Einflüsse  
Schneider, W.: auf die Dauerhaltbarkeit von  
Schraubenverbindungen  
VDI-Z, Bd.128, Nr.3, 1986  
Seite 101 - 109
52. Köhler, F. PIA, ein wissenschaftlich gestütztes Programm-  
König, D.: system zur automatischen Erstellung  
von Montagearbeitsplänen  
wt, 78, 1988  
Seite: 251-255

53. Kübler, K.-H.;  
Mages, W.: Handbuch der hochfesten Schrauben  
Giradet-Buchverlag,  
Essen 1986  
ISBN: 3-7736-1290-7
54. Löhr, H.-G.: Eine Planungsmethode für automa-  
tische Montagesysteme  
Krausskopf Verlag  
Mainz, 1977
55. Lotter, B.: Wirtschaftliche Montage  
VDI-Verlag  
Düsseldorf, 1986
56. Luszek, G.;  
Schulz, J.;  
Peters, C.: CAP für die Montage - ein Baustein  
für CIM  
VDI-Z Bd.129, Nr.1, 1987  
Seite: 49 - 53
57. Maier, C.: Montageautomatisierung am Beispiel  
des Schraubens mit Industrierobotern  
Springer Verlag, 1986  
Berlin, Heidelberg, New York, Tokio  
ISBN: 3-540-16393-X
58. Maruyama K.;  
Nakagawa, M.: Proposal of New Torque Control  
Method and New Design System in  
Bolted Joint  
Bull. of PMT, (T.I.T); Nr.5, 1985  
Seite: 25 - 29
59. Mayer, S.: LAPEX- Ein rechnerunterstütztes Ver-  
fahren zur Betriebsmittelzuordnung  
Springer-Verlag,  
Berlin Heidelberg New York, 1983

60. Mecklenburg, R.;  
Preisling, M.: PC-Einsatz in der statistischen  
Prozeßregelung  
QZ Bd.31, Nr.10, 1986  
Seite: 421 - 425
61. Merz, K.-P.: Entwicklung einer Methode zur Pla-  
nung einer Struktur automatisierter  
Montagesysteme  
Dissertation RWTH Aachen, 1987
62. Milberg, H. J.;  
Groha, P.: Der Zellengedanke als Strukturie-  
rungsprinzip  
ZwF Bd. 81, Nr.12, 1986  
Seite: 682 - 687
63. Milberg, J.;  
Diess, H.: Optimierung der Montagetechnik durch  
rechnergestützte Planungssysteme  
ZwF 82 (1987), Nr. 4  
Seite 190 - 195
64. Müller, U.: Technische Investitionsplanung in  
Klein- und Mittelbetrieben  
VDI-Z Bd.127 (1985) Nr.6
65. Müller-Merbach, H.: Operations Research  
Verlag Franz Vahlen GmbH,  
München, 1973
66. N. N. REFA  
Methodenlehre der Planung  
und Steuerung  
Carl Hanser Verlag, München, 1978
67. N. N. Computer Persönlich  
Nr. 25, 1989

68. N.N.: Systematische Berechnung hochbeanspruchter Schraubenverbindungen  
VDI-Norm 2230
69. N.N.: Angebotserstellung in der Investitionsgüterindustrie  
VDI-Verlag Düsseldorf, 1983  
ISBN: 3-18-400552-6
70. N.N.: MTM - Grundlehrgang, 3. Auflage  
Deutsche MTM Vereinigung, Hamburg  
1981
71. Nolting, F. W.: Rechnergestützte Systeme zur Montageplanung  
atp-Sonderheft  
Fertigungsautomatisierung  
(1987), Seite 53 - 58
72. Nolting, F.-W.: Projektierung von Montagesystemen  
Carl Hanser Verlag München, Wien 1989  
ISBN: 3-446-15546-5
73. Peffenkoven, K. H.: Planung und Steuerung des Montageablaufs in Unternehmen der Einzel- und Serienfertigung  
Dissertation, RWTH Aachen, 1982
74. Pfeiffer, R.: Fügegeräte in der Montage  
Tagungsband zum VDI-Bildungswerk  
Flexibel automatisierte Montagesysteme, Nürnberg, 1988
75. Pfeiffer, R.: Flexibles Fahrerloses Transportsystem im CIM-Verbund  
fördern+heben, Bd.38, Nr.6, 1988  
Seite: 387 - 390

76. Pfeiffer, R.;  
Steber, M.:  
Meßdaten flexibel an  
Schraubstationen erfassen  
Werkstatt und Betrieb,  
Bd.122, Nr.10, 1989,  
Seite: 872 - 876
77. Pfeiffer, R.;  
Thim, C.:  
Materialfluß in der Bestücktechnik  
in: Handbuch zum VDI-Bildungswerk  
Flexibles Bestücken von  
Leiterplatten, Erlangen, 1988
78. Plaza, H.:  
Optischer Formprüfautomat zur 100%  
Sichtprüfung von Schrauben  
QZ, Bd.31, Nr.3, 1986  
Seite 105 - 106
79. Poths, W.:  
Integration - Zentralproblem der  
Automation  
Der Konstrukteur 1-2, 1987  
Seite 6 - 16
80. Redecker, G.;  
Janisch, H.:  
Pufferoptimierung bei verketteten  
Fertigungssystemen  
ZwF Bd.76, Nr.12, 1981  
Seite: 579 - 585
81. Reinhart, G.:  
Flexible Automatisierung der  
Konstruktion und Fertigung  
elektrischer Leitungssätze  
Springer Verlag, Berlin Heidelberg  
New York, 1988, ISBN: 4-540-19003-1
82. Riese, K.:  
Klipsmontage mit Industrierobotern  
Springer Verlag  
Berlin, Heidelberg, New York, 1988  
ISBN: 3-540-19183-6

83. Schlaich, G.: CADLAS - eine rechnergestützte Methode für die Layouterstellung von automatischen Montagesystemen  
VDI-Z Bd.127 (1985) Nr.20
84. Schlaich, K.: Unterschiede zwischen dem WF- und dem MTM-Verfahren  
REFA-Nachrichten, Bd.18, Nr.2, 1965  
Seite: 72 - 78
85. Schlüter, K.: Nutzungsgradsteigerung von Montagesystemen durch den Einsatz der Simulationstechnik  
Carl Hanser Verlag München, Wien 1989  
ISBN: 3-446-15546-5
86. Schmidt-Streier, U.: Methode zur rechnergestützten Einsatzplanung von programmierbaren Handhabungsgeräten  
Springer Verlag, 1982,  
ISBN: 3-540-11355-X
87. Schmidtke, H.: Lehrbuch der Ergonomie  
Carl Hanser Verlag,  
München, Wien, 1981  
ISBN: 3-446-13390-9
88. Scholz, W.: Modell zur datenbankgestützten Planung automatisierter Montageanlagen  
Carl Hanser Verlag, München, Wien  
1989, ISBN: 3-446-15825-1
89. Schraft, R. D.;  
Schöninger, J.: Roboter im Vergleich  
VDI-Z Bd. 129 (1987) Nr.7

90. Schuster, J.;  
Viehweger, B.:  
Rechnerunterstützte Projektierung  
und Angebotserstellung für flexible  
Fertigungssysteme  
ZwF 79 (1984) 8
91. Schweikert, K.;  
Klug, H. G.;  
Bauer, G.:  
Schraubtechnik: Mehr Sicherheit  
durch Überwachung  
VDI-Z, Bd.130, Nr.5, 1988  
Seite 65 - 68
92. Stapel, A. G.:  
Die Flexibilisierung der Schraub-  
montage  
Technische Rundschau, Nr.39, 1985  
Seite 12-17
93. Strelow, D.:  
Reibungszahl und Werkstoffpaarung  
in der Schraubenmontage  
Verbindungstechnik, Nr.6, 1981
94. Strelow, D.:  
Bedeutung des Anziehungsfaktors ALPHA A  
für die Berechnung von Schraubver-  
bindungen  
VDI-Berichte Nr. 478, 1983
95. Vähning, H.;  
Weller, B.:  
Planung eines personalorientierten  
Montagesystems  
wt 74 (1984) Seite 43-46
96. Viehweger, B.;  
Wenke, B.:  
Rechnerunterstützte Planungshilfen  
für Fertigungssysteme  
ZWF 81, Nr.1, 1986
97. Walter, J.:  
Druckluft- oder Elektroschrauber?  
VDI-Nachrichten Nr.24, 1982  
Seite 24

98. Walther, J.: Systematische Planung flexibler automatisierter Montageanlagen  
VDI-Z, Band 127, Nr.9, 1985
99. Warnecke, H. J.; Automatisches Schrauben mit  
Walter, J.: Industrierobotern  
wt Z.ind. Fertig. 74, 1984  
Seite 137-140
100. Warnecke, H. J.; Taktzeitprognose für flexible  
Schweizer, M.; Montagestationen  
Schöniger, J.: VDI-Z Bd.129 (1987) Nr.3 (S.53-56)
101. Warnecke, H. J.; Wirtschaftlichkeitsrechnung für  
Bullinger, H. J.; Ingenieure  
Hichert, R.: Carl Hanser Verlag,  
München Wien, 1980  
ISBN: 3-446-12667-8
102. Warnecke, H.-J.; Flexible Automatisierung der  
Fischer, G. E.: Schraubtechnik - Bedarfsanalyse und  
spezifische Aufgaben  
wt Werkstattstechnik 78, 1988  
Seite: 181 - 185
103. Weber, H. H.: Einführung in Operations Research  
Akademische Verlagsgesellschaft  
Frankfurt am Main, 1972  
ISBN: 3-400-00195-3
104. Webjörn, J.: Die moderne Schraubenverbindung  
VDI-Z, Bd.130, Nr.1, 1988  
Seite: 76 - 78
105. Weichand, M.: Integration des Planungs- und Kon-  
struktionsprozesses durch rechner-  
interne Modellbildung  
VDI-Z, Bd.127, Nr.23/24, 1985  
Seite: 995 - 1000

106. Weitzel, S.:                   Direktverschraubung thermo-  
plastischer Teile  
techno tip Nr.12, 1983
107. Weller, B.:                   Wirtschaftlichkeit von struktu-  
rierten Montagesystemen  
wt, Bd.74, 1984  
Seite: 293 - 296
108. Weule, H.:                   Schrauben in der automatisierten  
Montage  
VDI-Berichte Nr. 479, 1983  
Seite: 61-70
109. Weule, H.;  
Friedmann, T.:                   Rechnergestützte Produktanalyse in  
der Montageplanung  
VDI-Z Bd.: 129, Nr.12, 1987  
Seite: 59 - 63
110. Wildemann, H.:               Expertensysteme in der Produktion  
(Herausgeber)                   Tagungsbericht  
gfmt-Verlags-KG, München 1987  
ISBN: 3-924483-66-3
111. Zangemeister, C.:           Nutzwertanalyse in der Systemtechnik  
Wittemannsche Buchhandlung  
München, 1976
112. Zöllner, B.:                 Servopneumatische Schrauber  
Ölhydraulik und Pneumatik 33  
Nr.3, 1989  
Seite: 222 - 230

# L E B E N S L A U F

## **Persönliches:**

Name: Rolf Pfeiffer  
Geboren: am 17. Juni 1958 in Amberg  
Eltern: Hans Pfeiffer  
Hildegard Pfeiffer, geb. Wiebalck  
Familienstand: verheiratet mit Evi Schießl-Pfeiffer,  
eine Tochter: Wiebke Pfeiffer  
Staatsangehörigkeit: deutsch

## **Schulbildung:**

1964 - 1968 Grundschohle Amberg  
1968 - 1977 Erasmus Gymnasium Amberg  
24.06.1977 Abitur

## **Wehrdienst:**

1977 - 1978 Grundwehrrdienst in Gebirgsjägereinheiten,  
Mittenwald

## **Studium:**

1979 - 1985 Technische Universität München  
Studienfach: Maschinenwesen  
Schwerpunkt: Allgemeiner Maschinenbau  
10.06.1985 Diplomhauptprüfung

## **Berufstätigkeit:**

1979 - 1981 Praktikantentätigkeiten in verschiedenen  
Industrieunternehmen  
1982 - 1984 Studentische Hilfskraft am Lehrstuhl und  
Institut für Arbeitsphysiologie der  
Technischen Universität München  
1985 - 1990 Wissenschaftlicher Mitarbeiter am  
Lehrstuhl für Fertigungsautomatisierung  
und Produktionssystematik der  
Universität Erlangen-Nürnberg  
01.02.1989 Oberingenieur für Handhabungs- und Montage-  
technik am gleichen Lehrstuhl



# Reihe Fertigungstechnik Erlangen

Band 1

Andreas Hemberger

**Innovationspotentiale in der rechnerintegrierten Produktion durch wissensbasierte Systeme**

208 Seiten, 107 Bilder. 1988. Kartoniert.

Band 2

Detlef Classe

**Beitrag zur Steigerung der Flexibilität automatisierter Montagesysteme durch Sensorintegration und erweiterte Steuerungskonzepte**

194 Seiten, 70 Bilder. 1988. Kartoniert.

Band 3

Friedrich-Wilhelm Nolting

**Projektierung von Montagesystemen**

201 Seiten, 107 Bilder, 1 Tabelle. 1989. Kartoniert.

Band 4

Karsten Schlüter

**Nutzungsgradsteigerung von Montagesystemen durch den Einsatz der Simulationstechnik**

177 Seiten, 97 Bilder. 1989. Kartoniert.

Band 5

Shir-Kuan Lin

**Aufbau von Modellen zur Lageregelung von Industrierobotern**

168 Seiten, 46 Bilder. 1989. Kartoniert.

Band 6

Rudolf Nuss

**Untersuchungen zur Bearbeitungsqualität im Fertigungssystem**

**Laserstrahlschneiden**

206 Seiten, 115 Bilder, 6 Tabellen. 1989. Kartoniert.

Band 7

Wolfgang Scholz

**Modell zur datenbankgestützten Planung automatisierter Montageanlagen**

194 Seiten, 89 Bilder. 1989. Kartoniert.

Band 8

Hans-Jürgen Wißmeier

**Beitrag zur Beurteilung des Bruchverhaltens von Hartmetall-Fließpreßmatrizen**

179 Seiten, 99 Bilder, 9 Tabellen. 1989. Kartoniert.

Band 9

Rainer Eisele

**Konzeption und Wirtschaftlichkeit rechnerintegrierter Planungssysteme**

183 Seiten. 1990. Kartoniert.

Band 10

Rolf Pfeiffer

**Technologisch orientierte Montageplanung  
am Beispiel der Schraubtechnik**

216 Seiten, 102 Bilder, 16 Tabellen. 1990. Kartoniert.

Band 11

Herbert Fischer

**Verteilte Planungssysteme zur Flexibilitätssteigerung der  
rechnerintegrierten Teilefertigung**

201 Seiten, 85 Bilder. 1990. Kartoniert.

Band 12

Gerhard Kleineidam

**CAD/CAP: Rechnergestützte Montagefeinplanung**

203 Seiten, 107 Bilder. 1990. Kartoniert.

Band 13

Frank Vollertsen

**Pulvermetallurgische Verarbeitung eines übereutektoiden  
verschleißfesten Stahls**

XIII + 217 Seiten, 67 Bilder, 34 Tabellen. 1990. Kartoniert.