

## **AUTOMATISCHES AUSWERTEN VON BEMAßUNGEN IN TECHNISCHEN ZEICHNUNGEN**

*Dr.-Ing. Volker Junge*  
*Arbeitsbereich Konstruktionstechnik I*  
*Technische Universität Hamburg-Harburg*

### **Kurzfassung**

Es wird ein an der Technischen Universität Hamburg-Harburg entwickeltes System zur Auswertung von Bemaßungen in technischen Zeichnungen vorgestellt, mit dem kontrolliert werden kann, ob eine Zeichnung vollständig und widerspruchsfrei bemaßt ist. Darüber hinaus kann das System wie ein Parametrikmodul eingesetzt werden, indem die Geometrie auf die durch die Bemaßung gemachten Vorgaben ausgerichtet wird. Es können sowohl CAD-Zeichnungen bearbeitet werden als auch auf Papier vorliegende technische Zeichnungen, die in einer Vorverarbeitung zunächst gescannt, vektorisiert und interpretiert werden.

### **1 Einleitung**

Das hier vorgestellte Verfahren zur Bemaßungsauswertung wurde im Rahmen eines am Arbeitsbereich Konstruktionstechnik I der Technischen Universität Hamburg-Harburg durchgeführten Projekts entwickelt, dessen primäres Ziel die Erfassung von auf Papier vorliegenden technischen Zeichnungen zur Nutzung in 2D-CAD-System war. Die Zeichnungserfassung erfolgt über die Arbeitsschritte **Scannen, Vektorisieren, Klassifizieren** der Zeichnungselemente, d.h. Erkennung von Bemaßung, Kontur etc., und exakt maßstäbliche **Ausrichtung** der Zeichnung anhand der erkannten Bemaßung. Durch die Ausrichtung werden Verzerrungen korrigiert, die beim Scannen und Vektorisieren praktisch unvermeidbar sind und die eine vollwertige Nutzung der Daten im CAD-System verhindern würden. [1],[2]

Das Zeichnungserfassungssystem wurde von Anfang an so konzipiert, daß einzelne Module auch separat und unabhängig von der Erfassung von Papierzeichnungen eingesetzt werden können. Dies betrifft insbesondere das Modul zur Zeichnungsausrichtung, das neben der Bearbeitung von vektorisierten Zeichnungen auch auf CAD-Zeichnungen angewendet werden kann, um hier z.B. die Bemaßung auf Vollständigkeit zu überprüfen. Im Laufe der Entwicklung des Systems zeigte sich, daß bei vielen Firmen, die ihre Konstruktionen mit CAD erstellen, diese spezielle Teilaufgabe auf besonderes Interesse stößt, da die Gewährleistung einer korrekt bemaßten Zeichnung ein durchaus erhebliches Problem darstellt. Im folgenden wird das Zeichnungsausrichtungsprogramm einschließlich des Einsatzes für die Überprüfung von CAD-Zeichnungen näher vorgestellt.

### **2 Ziele der Verarbeitung von CAD-Zeichnungen**

Durch die Anwendung des Zeichnungsausrichtungsprogramms auf CAD-Zeichnungen können mehrere Ziele realisiert werden:

1. **Überprüfung der Bemaßung**  
Eine Zeichnung kann nur korrekt und vollständig ausgerichtet werden, wenn die Bemaßung korrekt ist. Durch das Ausrichtungsprogramm können daher Bemaßungsfehler wie eine unvollständige Bemaßung, widersprüchliche Bemaßung, Überbemaßung oder

nicht normgerechte Bemaßung erkannt werden. Heutige CAD-Systeme bieten zwar vielfältige Funktionen zum Eintragen der einzelnen Bemaßungen, sind aber nicht in der Lage zu überprüfen, ob die Bemaßung insgesamt vollständig und konsistent ist. Diese Überprüfung muß daher bis heute manuell erfolgen, was bei komplexen Zeichnungen einen erheblichen Aufwand darstellt.

2. Erstellung von Variantenzeichnungen

Das Zeichnungsausrichtungsprogramm kann auch als Parametrik- oder Variantenerstellungsmodul eingesetzt werden. Die Maßzahlen werden dazu vom Benutzer auf den für die Variante gewünschten Wert geändert, das Ausrichtungsprogramm berechnet dann durch Anpassung der Geometrie an die Bemaßung die Variante.

3. Überprüfung der Konsistenz der Ansichten

Da die Bemaßungsüberprüfung ansichtenübergreifend erfolgt, können einige mögliche Inkonsistenzen von Ansichten zueinander erkannt werden. Dies sind eine falsche Positionierung von Ansichten, eine abweichende Größe der in den Ansichten dargestellten Gesamtabmessungen und die fehlende Zuordbarkeit von Elementen (z.B. eine in einer Ansicht falsch positionierte Kante).

### 3 Ausrichtungsvorschriften in technischen Zeichnungen

Bei einer vollständig bemaßten Zeichnung muß jeder Geometriepunkt durch zwei voneinander unabhängige Vorschriften festgelegt sein, z.B. den Abstand in x- und y-Richtung zu einem anderen Punkt. Das Zeichnungsausrichtungsprogramm arbeitet so, daß zunächst sämtliche die Lage der Geometrieelemente festlegenden Vorschriften ermittelt werden und anschließend die Geometrie anhand dieser Vorschriften neu aufgebaut wird, so daß jedes Geometrieelement auf die durch die Bemaßung vorgegebene Position und Länge ausgerichtet wird. Dieser prinzipielle Ablauf ist unabhängig davon, ob das Zeichnungsausrichtungsprogramm zur Ausrichtung einer vektorisierten Zeichnung, zur Ausrichtung einer CAD-Zeichnung oder zur Bemaßungsüberprüfung eingesetzt wird. Wegen des identischen Ablaufs werden die vom Programm ausgewerteten Vorschriften im folgenden einheitlich als Ausrichtungsvorschriften bezeichnet, auch wenn bei der Bemaßungsüberprüfung die Ausrichtung nicht das primäre Ziel ist.

Wenn eine Zeichnung vollständig bemaßt ist, existiert für jeden Geometriepunkt genau eine Vorschriftkombination, die die Lage dieses Punkts festlegt. Ist eine Zeichnung überbemaßt, gibt es Punkte, die auf mehrfache Weise festgelegt sind. Ist eine Zeichnung zudem widersprüchlich bemaßt, führen die mehrfachen Festlegungen zu unterschiedlichen Ergebnissen. Wenn eine Zeichnung unterbemaßt ist, fehlen Ausrichtungsvorschriften, so daß einzelne Punkte nicht vollständig festgelegt werden können.

Bei den auszuwertenden Ausrichtungsvorschriften können drei Gruppen von Vorschriften unterschieden werden, die sich hinsichtlich der Erkennung der Vorschrift in der technischen Zeichnung und der Auswertung unterscheiden. Die direkt der Bemaßung zu entnehmenden Abstands-, Winkel oder Radienangaben werden als **explizite** Vorschriften bezeichnet, da die Vorschrift durch die Bemaßung in der technischen Zeichnung explizit angegeben ist. Ferner gibt es Ausrichtungsvorschriften wie Parallelität, Rechtwinkligkeit, Horizontalität, Vertikalität oder Symmetrie, die vom Programm anhand der Lage von Zeichnungselementen erkannt werden. Diese Vorschriften werden als **implizite** Vorschriften bezeichnet. Die dritte Gruppe von Vorschriften sind die **topologischen** Vorschriften, die dazu verwendet werden, um eine Verknüpfung zwischen Linien und den zugehörigen Endpunkten bzw. Kreisen und Mittelpunkten herzustellen. Über diese Informationen kann gewährleistet werden, daß zusammenhängende Zeichnungselemente bei der Ausrichtung auch tatsächlich miteinander verbunden bleiben.

### 4 Programmablauf

Der Programmablauf kann grob gegliedert werden in die Phasen Einlesen der Daten, Ermittlung der Ausrichtungsvorschriften, Auswertung der Vorschriften und Ausgabe. Bei den Eingangsdaten handelt es sich entweder um CAD-Daten, die über die IGES-Schnittstelle eingelesen werden können, oder um Zeichnungsdaten eines gescannten und vektorisierten Papieroriginals. Es wird vorausgesetzt, daß bei den Zeichnungsdaten Kontur, Bemaßung, Schraffur und Hilfslinien voneinander unterschieden sind, anderenfalls muß die entsprechende Information zuvor durch eine Verarbeitung durch das Vektorklassifikationsmodul (s. Einleitung) hergestellt werden.

Beim Zeichnungsausrichtungsprogramm werden sämtliche Zeichnungselemente über Objekte repräsentiert (mit Klassen wie Punkt, Linie, Kreis etc.). Die Ausrichtungsvorschriften werden als Verbindungen zwischen je zwei Zeichnungselementen abgespeichert, so daß eine graphenförmige, vernetzte Struktur entsteht, der sogenannte *Zeichnungsgraph*.

Nach der Erkennung sämtlicher Ausrichtungsvorschriften findet die Vorschriftenauswertung statt. Hierbei wird zunächst die Geometrie ausgerichtet, danach findet eine Ausrichtung von Schraffur und Bemaßung statt, die z.B. dann erforderlich ist, wenn durch die Geometrieausrichtung Bemaßungen verschoben werden müssen.

Die fertig verarbeitete Zeichnung kann über die IGES- oder DXF-Schnittstelle wieder an ein CAD-System übergeben werden.

### 5 Programminterne Repräsentation der Ausrichtungsvorschriften

Bild 1. Zeichnungsgraph für ein einfaches Beispiel Bild 1 zeigt ein Beispiel für die programminterne Repräsentation der Ausrichtungsvorschriften im Zeichnungsgraph. Bild 1a zeigt die

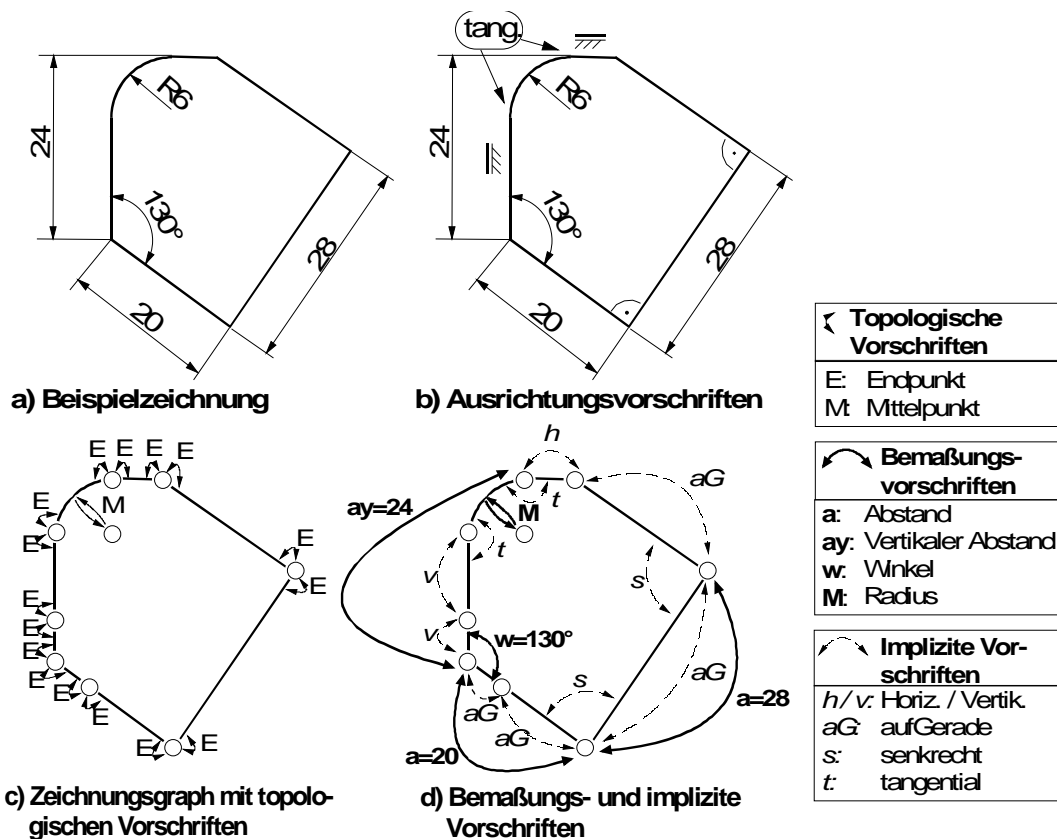


Bild 1. Zeichnungsgraph für ein einfaches Beispiel

Originalzeichnung, Bild 1b die bei dieser Zeichnung zu berücksichtigenden expliziten (Bemaßungen) und impliziten Ausrichtungsvorschriften. Das dritte und vierte Teilbild schließlich zeigt die Speicherung dieser Vorschriften im Zeichnungsgraphen in Form von Verbindungen zwischen Zeichnungselementen. Verbindungen können sowohl zwischen Linien, Kreisen, Bögen etc. als auch zwischen End- und Mittelpunkten eingetragen werden. Wegen der besseren Übersichtlichkeit sind die Verbindungen zur Speicherung der topologischen und der expliziten/impliziten Vorschriften in je einem separaten Teilbild dargestellt.

Jeder Vorschrift ist ein Wahrscheinlichkeitswert zugeordnet. Für die expliziten und topologischen Vorschriften beträgt dieser Wert 100%, wodurch ausgedrückt wird, daß diese Vorschriften auf jeden Fall einzuhalten sind, bzw. wenn dies zu einem Widerspruch zu anderen expliziten oder topologischen Vorschriften führen würde, eine Fehlermeldung auszugeben ist. Implizite Vorschriften erhalten einen Wahrscheinlichkeitswert zwischen 0 und 90% zugeordnet. Der Maximalwert von 90% wird vergeben, wenn die entsprechende Vorschrift in der Zeichnung optimal erfüllt ist, also im Falle einer Horizontalitätsvorschrift z.B., wenn die betrachtete Linie exakt waagrecht verläuft. Der in jedem Fall kleinere Wert als bei expliziten und topologischen Vorschriften spiegelt wider, daß die tatsächliche Gültigkeit einer impliziten Vorschrift stets mit einer Unsicherheit behaftet ist, insbesondere vor dem Hintergrund, daß von dem Programm auch unmaßstäbliche Zeichnungen und Varianatenzeichnungen verarbeitet werden sollen. So kann es sein, daß z.B. bei der in der Ausgangszeichnung beschriebenen Variante zwei Linien zueinander parallel dargestellt sind, ohne daß diese Parallelität aufrechterhalten werden soll, wenn durch Abänderung von Maßen andere Varianten beschrieben werden.

Durch die Abstufung des Wahrscheinlichkeitswerts bis herunter auf 0% können Abweichungen von der idealen Lage berücksichtigt werden. Überschreitet die Abweichung einen vorgegebenen Grenzwert, wird keine implizite Vorschrift mehr vergeben. Die für die Vergabe von impliziten Vorschriften einzuhaltenden Toleranzen hängen vom Anwendungsfall ab. Bei der Bearbeitung einer vektorisierten Zeichnung sind relativ große Toleranzen erforderlich, was auch bei der Ausrichtung einer nur als Skizze gezeichneten CAD-Zeichnung sinnvoll ist. Wird hingegen eine Bemaßungsüberprüfung einer CAD-Zeichnung durchgeführt, wird über die Toleranzen lediglich die begrenzte Rechengenauigkeit wiedergegeben.

Bei Zeichnungen mit mehreren Ansichten kommen zusätzlich zu den in Bild 1 dargestellten ansichteninternen Vorschriften noch ansichtenübergreifende Verknüpfungen hinzu. Der Aufbau des Zeichnungsgraphen ist jedoch prinzipiell identisch. Für die ansichtenübergreifende Verknüpfung werden zunächst die Projektionsrichtungen der Ansichten bestimmt. Dabei können eventuell vorhandene Fehler wie eine falsch positionierte Ansicht oder eine falsche Ansichtengröße erkannt und gekennzeichnet werden. Fehlerhaft positionierte einzelne Elemente, die in einer Ansicht widersprüchlich zu anderen Ansichten plaziert sind, können daran erkannt werden, daß bei diesen Elementen eine ansichtenübergreifende Bemaßungszuordnung nicht möglich ist und sie daher bei der weiteren Auswertung als nicht ausreichend bemaßt bewertet werden.

## 6 Ablauf der Bemaßungsauswertung und Zeichnungsausrichtung

Nach der Erzeugung des Zeichnungsgraphen findet die Ausrichtung und damit verbunden die Überprüfung der Bemaßung auf Vollständigkeit und Widerspruchsfreiheit statt. Die Ausrichtung der Kontur erfolgt durch Auswertung des Zeichnungsgraphen schrittweise von einem Referenzpunkt aus. Es werden immer die Ausrichtungsvorschriften ausgewertet, die sich auf ein Element mit bereits festgelegter Lage beziehen, d.h. zunächst auf den Referenzpunkt. Sobald die Lage bzw. Abmessung eines weiteren Elements festgelegt werden kann, werden für dieses Element die exakten Werte berechnet und es kann analog wie der Referenzpunkt behandelt werden. Können mehrere Vorschriften zur selben Zeit ausgewertet werden, wird die Vorschrift mit dem höchsten Wahrscheinlichkeitswert gewählt.

Bei einer **vollständigen Bemaßung** werden auf diese Weise alle Konturelemente in ihrer Lage festgelegt, d.h. man erhält vollständig ausgerichtete Zeichnungsdaten. Dabei ist zu beachten, daß es Fälle gibt, bei denen die Ausrichtung nicht wie beschrieben schrittweise, Vorschrift nach Vorschrift, durchgeführt werden kann, sondern die nur durch die gleichzeitige Auswertung mehrerer Vorschriften gelöst werden können. Für diese Fälle sind spezielle Lösungsverfahren vorhanden, so daß auch hier eine korrekte Auswertung möglich ist.

Wenn eine Zeichnung **unterbemaßt** ist, wird dies automatisch daran erkannt, daß das oben beschriebene Verfahren nicht vollständig durchgeführt werden kann. Es verbleibt ein noch nicht ausgerichteter Untergraph des Zeichnungsgraphen. Die zu diesem Untergraph gehörigen Elemente werden als unvollständig festgelegt gekennzeichnet. Der Untergraph enthält in der Regel noch nicht ausgewertete Ausrichtungsvorschriften, die jedoch vom Startknoten des Zeichnungsgraphen aus nicht erreicht werden können. Um ein optimales Ausrichtungsergebnis zu erhalten, wird der Untergraph separat ausgerichtet. Da die exakte Lage der Randknoten des Untergraphen wegen der fehlenden Ausrichtungsvorschriften nicht zu ermitteln ist, ist keine exakte absolute Festlegung der Elemente des Untergraphen möglich, die Elemente können so aber wenigstens relativ zueinander exakt ausgerichtet werden.

Bei einer **Überbemaßung** sind Elemente auf verschiedene Weisen festgelegt, d.h. im Zeichnungsgraph führen mehrere Wege zum überbemaßten Element. Eine Überbemaßung liegt allerdings nur dann vor, wenn auf den parallelen Wegen mindestens eine Bemaßungsvorschrift liegt. Ansonsten resultiert die mehrfache Festlegung lediglich aus unnötig vergebenen impliziten Vorschriften. Solche unnötigen Vorschriften würden z.B. entstehen, wenn bei einem Rechteck als implizite Vorschriften sowohl die Vertikalität und Horizontalität der Linien als auch, als hierzu redundante Vorschrift, der rechte Winkel zwischen den Linien in den Zeichnungsgraph eingetragen würden.

Für die Ermittlung, ob eine Bemaßungsvorschrift zu der Mehrfachfestlegung eines Elements geführt hat, wird der mit den Vorschriften verknüpfte Wahrscheinlichkeitswert ausgenutzt. Bei der normalen Ausrichtung werden die Vorschriften mit hohem Wahrscheinlichkeitswert vor denen mit geringem Wahrscheinlichkeitswert ausgewertet. Implizite Vorschriften mit einem mit geringem Wahrscheinlichkeitswert, deren tatsächliche Gültigkeit zweifelhaft ist, werden daher zuletzt ausgewertet. Die fehlerhaften, zu einem Widerspruch zu anderen Vorschriften führenden Vorschriften, werden gelöscht, so daß sichergestellt ist, daß der Zeichnungsgraph nur noch konsistente Vorschriften enthält. Zur Ermittlung von Überbemaßungen wird die Zeichnung ein zweites mal ausgewertet, jetzt jedoch in umgekehrter Reihenfolge bezüglich des Wahrscheinlichkeitswertes. Eine Überbemaßung kann dann sehr einfach daran erkannt werden, daß in diesem Fall die letzte, zur Mehrfachfestlegung eines Elements führende Vorschrift eine Bemaßungsvorschrift sein muß. Diese Vorschrift wird als Überbemaßung gekennzeichnet.

Ein weiterer Bemaßungsfehler sind **fehlerhafte Maßzahlen**, d.h. entweder Bemaßungen, deren Maßzahlen von der vorhandenen Geometrie abweichen, oder widersprüchliche Bemaßungen. Der erste Fall wird nur bei der Bemaßungsüberprüfung von CAD-Zeichnungen als möglicher Fehler angesehen, ansonsten gilt die von der Geometrie abweichende Maßzahl als gewünschte Vorgabe für eine von der Ausgangszeichnung abweichende Variante. Bei der Bemaßungsüberprüfung werden die betreffenden Bemaßungen als widersprüchlich zur Geometrie gekennzeichnet. Danach wird je nach Voreinstellung entweder die Maßzahl an die vorhandene Geometrie angepaßt oder die ursprüngliche Maßzahl beibehalten, so daß bei der späteren Ausrichtung die Geometrie an die Bemaßung angepaßt wird.

Bei der Behandlung von **widersprüchlichen Bemaßungen** werden zwei Fälle unterschieden. Falls zwei Bemaßungen im direkten Widerspruch stehen (s. Bild 2a), wird die stärker von der vorhandenen Geometrie abweichende Bemaßung als widersprüchlich gekennzeichnet und von der weiteren Auswertung ausgeschlossen. Meistens sind jedoch wie in Bild 2b Bemaßungen nur indirekt im Widerspruch zu anderen Bemaßungen. So widersprechen sich die beiden Bemaßungen in Bild 2b nur dann, wenn die waagerechten Linien tatsächlich hori-

zontal verlaufen sollen. Hier wird der Bemaßung Priorität eingeräumt, d.h. die Geometrie wird wie bei der oberen Lösung aus Bild 2b an die Bemaßung angepaßt, eine der beiden Horizontalitätsvorschriften wird vernachlässigt. Der scheinbare Widerspruch der Bemaßungen selbst wird also nicht als Fehler angesehen, allerdings wird bei der Bemaßungsüberprüfung insofern auf einen möglichen Fehler hingewiesen, als daß mindestens eines der beiden Maße von der Geometrie abweichen muß und daher als fehlerhaft gekennzeichnet wird.

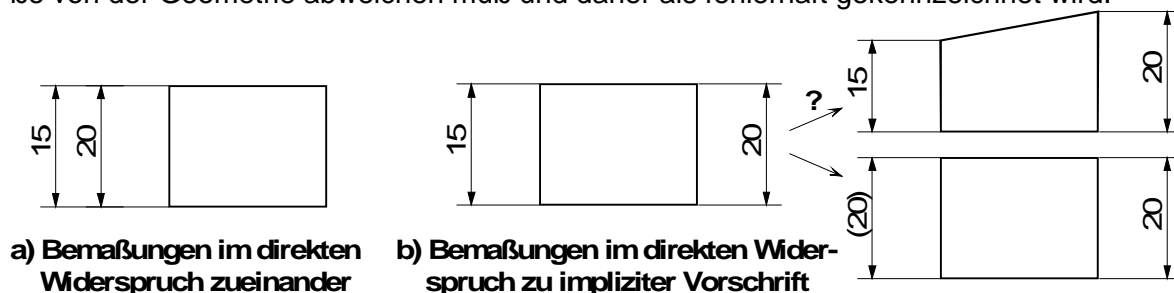


Bild 2: Behandlung von widersprüchlichen Bemaßungen

## 7 Zusammenfassung

Es wurde ein System vorgestellt, das sowohl zur reinen Bemaßungsüberprüfung bei technischen Zeichnungen als auch zur Ausrichtung der Zeichnungen anhand der Bemaßung eingesetzt werden kann. Es wurde beschrieben, welche Vorschriften neben der Bemaßung bei der Auswertung berücksichtigt werden müssen, sowie die programminterne Repräsentation der Vorschriften dargestellt. Bei der Auswertung der Vorschriften wurde das Grundprinzip der Zeichnungsausrichtung erläutert und insbesondere auf die Verfahren zur Erkennung einer fehlerhaften Bemaßung aufgrund von Unterbemaßung, Überbemaßung oder widersprüchlicher Bemaßung eingegangen.

## 8 Literaturverzeichnis

- [1] Junge, V., "CAD-gerechte Erfassung von technischen Zeichnungen durch Erkennung und Auswertung von Bemaßungen", Diss. TU-Hamburg-Harburg, Fortschr.-Ber. VDI Reihe 20 Nr. 235. Düsseldorf: VDI-Verlag 1997.
- [2] Feldmann, D.G., Junge, V., "CAD-gerechte Erfassung von technischen Zeichnungen durch Erkennen und Auswerten von Bemaßungen", in: Konstruktion, Nr. 4 1997, S. 29-33.

Dr.-Ing. Volker Junge  
 Technische Universität Hamburg-Harburg  
 Arbeitsbereich Konstruktionstechnik I  
 Denickestr. 17, 21 073 Hamburg  
 Tel: 040 / 7718 - 2148  
 Fax: 040 / 7718 - 2296  
 email: junge@tu-harburg.de  
 Internet: <http://www.tu-harburg.de/kt1/vj>