



Wolfgang Beitz

Konstruktionswissenschaft / Konstruktionstechnik

(Vortrag in der Sitzung der Technikwissenschaftlichen Klasse am 26. März 1997)

In: Berichte und Abhandlungen / Berlin-Brandenburgische Akademie der Wissenschaften
(vormals Preußische Akademie der Wissenschaften) ; 5.1998, S. 61-70

Persistent Identifier: [urn:nbn:de:kobv:b4-opus4-31178](https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:kobv:b4-opus4-31178)

Die vorliegende Datei wird Ihnen von der Berlin-Brandenburgischen Akademie der Wissenschaften unter einer Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International (cc by-nc-sa 4.0) Licence zur Verfügung gestellt.



Wolfgang Beitz

Konstruktionswissenschaft/Konstruktionstechnik

(Vortrag in der Sitzung der Technikwissenschaftlichen Klasse am 26. März 1997)

Einleitung

Die Entwicklung und Konstruktion nehmen in der Prozeßkette der Produktentstehung technischer Produkte eine herausragende Rolle ein, werden doch bei ihr die wesentlichen Produkteigenschaften (Produktqualität) und auch die Herstellungs- und Gebrauchskosten entscheidend festgelegt. In zunehmendem Maße müssen auch Anforderungen hinsichtlich Ressourcenschonung, Recyclingfähigkeit und Umweltschutz erfüllt werden. Diesem komplexen Anforderungsspektrum steht gegenüber, daß der Entwicklungs- und Konstruktionsprozeß noch stärkere Anteile intuitiv betonter Tätigkeiten und Erfahrungswissen enthält, die nur begrenzt der elektronischen Datenverarbeitung übertragen werden können. Hinzu kommt, daß Entwicklungsprozesse zunehmend global, d. h. auf mehrere Standorte verteilt, abgewickelt werden, was eine methodisch-systematische Vorgehensweise erfordert.

1 Begriffsdefinitionen

Organisatorisch ist das Konstruieren (synonym: Entwickeln) ein wesentlicher und früher Bestandteil der Produktentstehung und des Produktlebenslaufs (Abb. 1). *Arbeitspsychologisch* ist das Konstruieren eine schöpferisch-geistige (kreative) Tätigkeit, die ihre Basis in den natur- und ingenieurwissenschaftlichen Grundlagen, im Technologiewissen, in der Kunst und Formgestaltung, in der Wirtschaftswissenschaft, Psychologie und Soziologie sowie im Spezial- und Erfahrungswissen des jeweils zu bearbeitenden Fachgebiets hat (Abb. 2). *Methodisch* ist das Konstruieren ein Optimierungsprozeß, für ein gegebenes Spektrum von Anforderungen (Aufgabenstellung, Problemstruktur) eine Lösung bzw. ein Produkt zu finden. Be dingt durch die Vielfalt unterschiedlicher Anforderungen und Randbedingungen

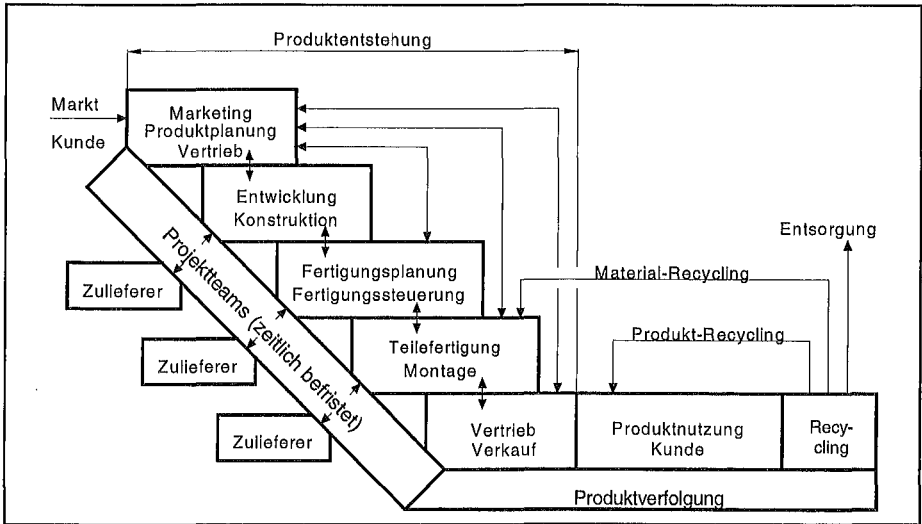


Abb. 1
Produktentstehungsprozeß mit Simultaneous Engineering [3]



Abb. 2
Wissensbereiche für das Entwickeln und Konstruieren
Technischer Produkte und Prozesse

für stofflich und informationstechnische Produkte ist das Konstruieren eine vielschichtige Tätigkeit mit unterschiedlichen Schwerpunkten.

Die *Konstruktionswissenschaft* (Design Science) strebt an, mit Hilfe wissenschaftlicher Methoden den Aufbau technischer Systeme und deren Beziehungen zu ihrem Umfeld so zu analysieren, daß aus den erkannten Zusammenhängen und Systemkomponenten Regeln zur Entwicklung neuer Systeme abgeleitet werden können. Man unterscheidet zwischen der *Theorie technischer Systeme* (Produkte und Prozesse) und der *Theorie der Konstruktionsprozesse* (Konstruktionstheorie) [1, 2].

Unter *Konstruktionstechnik/Konstruktionsmethodik* (Engineering Design Methodology) versteht man dagegen konkrete Handlungsanweisungen, die sich aus den Erkenntnissen der Konstruktionswissenschaft, aber auch aus Erfahrungen in unterschiedlichen Anwendungsfeldern ergeben haben [3]. Die Konstruktionsmethodik möchte das Entwickeln und Konstruieren branchenübergreifend unterstützen. Sie ist damit eine *Problemlösemethodik*, die in ihrer allgemeineren Form auch die Lösung nichttechnischer Probleme unterstützen kann.

2 Historischer Rückblick

Den Ursprung methodischen Konstruierens zu bestimmen, fällt schwer. War es Leonardo da Vinci (1452–1519), der ja bereits Lösungsmöglichkeiten systematisch nach erkennbaren Merkmalen und Gesichtspunkten variiert hat [4]? Im vorindustriellen Zeitalter war Konstruieren mit technischen Kunstwerken und dem Handwerk eng verknüpft.

Startet man bei Redtenbacher mit seinen „Prinzipien der Mechanik und des Maschinenbaus“ [5], so ist die Reihe der Konstruktionsmethodiker groß (Abb. 3). Zwischen dem Handbuch „Der Konstrukteur“ von Reuleaux [6] und der „Konstruktionslehre“ von Pahl/Beitz [3] liegen 100 Jahre Konstruktionsforschung und -lehre.

3 Heutige Methoden

Definiert man das Konstruieren als *Problemlösen*, so führen die dazu erforderlichen Fähigkeiten und Kenntnisse zu den Feldern der Konstruktionsforschung.

Faktenwissen

Branchenübergreifendes Faktenwissen betrifft vor allem die ingenieurwissenschaftlichen Grundlagen, insbesondere die Maschinenelemente (mechanische und elektronische Konstruktionskomponenten), die Werkstoffe sowie die Prinzipien der Mechanik [7]. Innovationsfaktoren und damit auch Forschungsgegenstände sind heute die Ent-

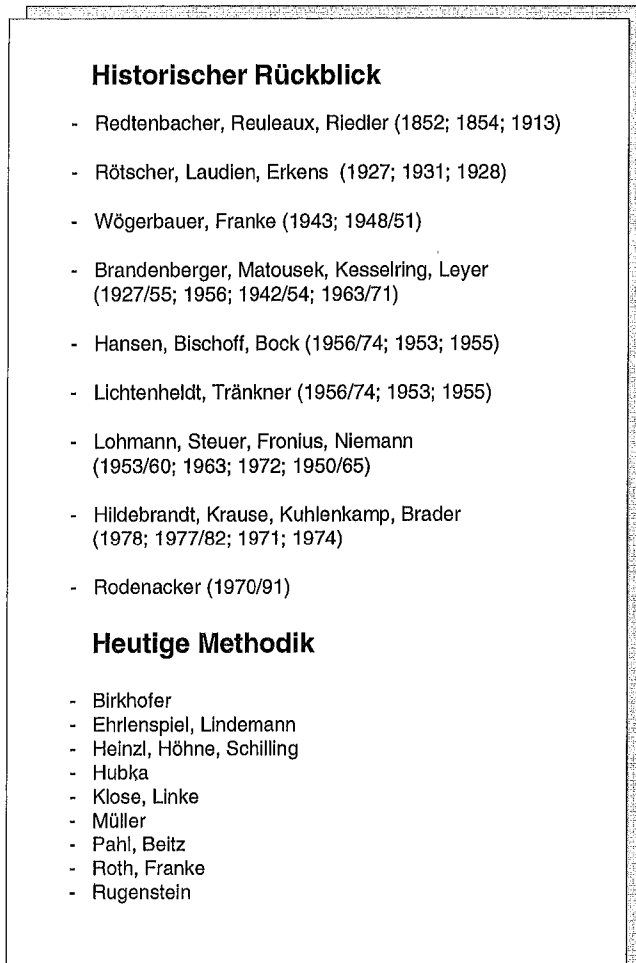


Abb. 3

Stationen zur Konstruktionsmethodik

(deutschsprachige Auswahl, Jahreszahlen sind Erscheinungsdaten bekannter Werke)

wicklung neuer Werkstoffe, mechatronische Lösungen, verbesserte Auslegungs- und Optimierungsverfahren, Baureihen- und Baukastenstrukturen sowie die Komponentenstandardisierung. Forschungs- und Entwicklungsziele sind die Steigerung der Tragfähigkeit, der Dauerfestigkeit und der Lebensdauer, die Erhöhung der Arbeitsgeschwindigkeiten und die Verbesserung der Funktionseigenschaften sowie Qualitäts- und Kostenverbesserungen.

Allgemeine Hilfsmittel

- Literatur, Kataloge, Datenbanken, Patente
- Analyse der Natur
- Analyse bekannter Lösungen
- Experimente an Modellen und Baumustern
- Heuristische Operationen:
Abstrahieren, Verallgemeinern, Analysieren,
Definieren, Zergliedern, Ordnen, Kombinieren,
Schematisieren, Konkretisieren, Detaillieren,
Iterieren, Darstellen,.....
Bewerten, Auswählen, Vergleichen

Intuitiv betonte Methoden

- Brainstorming
- Synektik
- Galeriemethode
- Delphi - Methode
- Design - Methoden

Diskursiv betonte Methoden

- Systematische Problemstrukturierung
- Systematische Variation von
Lösungsmerkmalen
- Systematische Lösungskombination
- Mathematisch - numerische Methoden
- Szenario - Analyse / Prognostik

Baustrukturen, Bauweisen

- Baureihenprinzip
- Baukastenprinzip
- Differentialbauweise
- Integralbauweise
- Verbundbauweise

Auswahl- und Bewertungsmethoden

- VDI - Richtlinie 2225
- Nutzwertanalyse
- Auswahllisten
- Wertanalyse

Methoden zur Qualitätssicherung

- Fehlerbaumanalyse
- Fehler- Möglichkeits- und
Einflußanalyse (FMEA)
- Risikogerechte Gestaltung
- Quality Function Deployment (QFD)
- House of Quality Management (HoQ)
- Total Quality Management (TQM)

Methoden zur Kostenerkennung

- Materialkosten
- Relativkosten
- Regressionsanalysen
- Ähnlichkeitsbeziehungen
- Kostenstrukturen
- Wertanalyse

Abb. 4

Allgemeine Lösungsmethoden [3]

Abb. 6

Integrierte Konstruktionsmethoden [3]

Grundregeln zur Gestaltung

- Eindeutig
- Einfach
- Sicher

Gestaltungsprinzipien

- Prinzipien der Kraftleitung
- Gleiche Gestaltfestigkeit
- Kurze Kraftleitung
- Ausgenutzte Verformung
- Abgestimmte Verformung
- Kraftausgleich
- Prinzip der Aufgabenteilung
(Funktionstrennung, Differential-
bauweise, Verbundbauweise)
- Prinzip der Funktionsintegration
(Integralbauweise)
- Prinzip der Selbsthilfe
- Prinzip der Stabilität und Bistabilität
- Prinzip der fehlerarmen Gestaltung

**Gestaltungsrichtlinien hinsichtlich
Beanspruchung**

- Festigkeitsgerecht
- Formänderungsgerecht
- Ausdehnungsgerecht
- Stabilitätsgerecht
- Kriech- und relaxationsgerecht
- Korrosionsgerecht
- Verschleißgerecht

**Gestaltungsrichtlinien hinsichtlich
Fertigung und Gebrauch**

- Fertigungsgerecht
- Montagegerecht
- Prüfgerecht
- Transportgerecht
- Ergonomiegerecht
- Formgebungsgerecht (Industrie Design)
- Gebrauchsgerecht
- Instandhaltungsgerecht
- Recyclinggerecht

Abb. 5

Entwurfsmethoden [3]

Methodenwissen

Die Konstruktionsforschung hat in den letzten 30 Jahren eine Vielfalt von Lösungs- und Entwurfsmethoden entwickelt, die allgemeiner einsetzbar sind und die die speziellen Methoden der Mechanik, Thermodynamik und Werkstofftechnik sowie auch produktspezifische Methoden ergänzen (Abb. 4 bis 6) [3, 7].

Darüber hinaus wurden Ablaufpläne für den Entwicklungs- und Konstruktionsprozeß entwickelt, die die erforderlichen Phasen und Arbeitsschritte nach grundlegenden technischen und logischen Zusammenhängen (vom Abstrakten zum Konkreten) verknüpfen [3, 8]. Diese Ablaufpläne sind auch Grundlage für rechnerintegrierte Entwicklungs- und Konstruktionsleitsysteme, u. a. mit neuen Ablaufstrukturen wie Simultaneous Engineering (Abb. 1) und Projektorganisation [3, 9]. Ein weiteres Forschungsfeld ist die ganzheitliche Berücksichtigung und Bewertung unterschiedlicher Anforderungsbereiche bei der Lösungsauswahl sowie eine stärkere Kundenintegration in die Produktplanung und -entwicklung (Abb. 7).

Denkpsychologische Erkenntnisse

Da der Entwicklungs- und Konstruktionsprozeß vor allem ein schöpferisch-geistiger Prozeß des Menschen ist, lag es nahe, die sich bei diesem abspielenden Zusammenhänge durch Psychologieforschung untersuchen zu lassen. Weitere Gründe für diese denkpsychologische Forschung waren die nur zögerliche Akzeptanz der

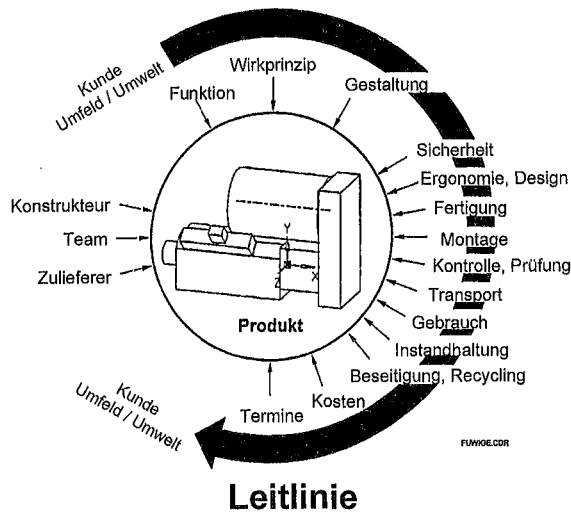


Abb. 7

Einflußgrößen und Bedingungen beim Entwickeln und Konstruieren [3]

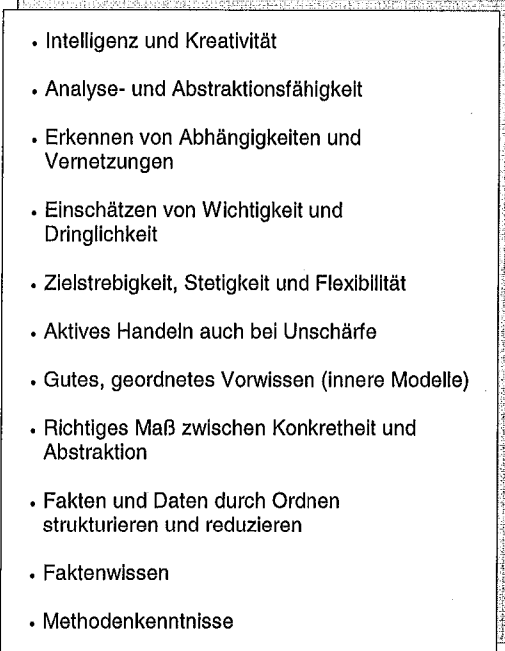
- 
- Intelligenz und Kreativität
 - Analyse- und Abstraktionsfähigkeit
 - Erkennen von Abhängigkeiten und Vernetzungen
 - Einschätzen von Wichtigkeit und Dringlichkeit
 - Zielstrebigkeit, Stetigkeit und Flexibilität
 - Aktives Handeln auch bei Unschärfe
 - Gutes, geordnetes Vorwissen (innere Modelle)
 - Richtiges Maß zwischen Konkretheit und Abstraktion
 - Fakten und Daten durch Ordnen strukturieren und reduzieren
 - Faktenwissen
 - Methodenkenntnisse

Abb. 8

Kennzeichen guter Problemlöser [3, 9, 12 bis 15]

Konstruktionsmethodik in der Industriepraxis und die zunehmende Integration der elektronischen Datenverarbeitung. Insbesondere für letztere ist es notwendig, die Rolle und die Fähigkeiten des Menschen für diesen Prozeß zu analysieren [10, 11]. Ein interessantes Ergebnis ist in Abb. 8 zusammengestellt: Was macht gute Problemlöser aus [12 bis 15]?

4 Eigener Beitrag zur Konstruktionsforschung

Die eigene Forschung hat seit der Berufung 1968 zunächst die Themen des Vorgängers – Verbindungstechnik und Kunststoff-Zahnräder – fortgesetzt und ausgebaut. Neben den vielseitig eingesetzten Schrauben- und Welle-Nabe-Verbindungen wurde dabei die gesamte Verbindungsvielfalt aufgegriffen, insbesondere schnell lösbare Verbindungen, die auch Gegenstand des Teilprojekts „Auswahl, Gestaltung und Anordnung von Verbindungen“ des Sonderforschungsbereichs 281 „Demontagefabriken zur Rückgewinnung von Ressourcen in Produkt- und Mate-

rialkreisläufen“ sind [16]. Seit 1968 wurden in diesem Forschungsfeld 26 Dissertationen erarbeitet.

Die Erforschung des Tragverhaltens, der Lebensdauer und der Verlustleistungen von Kunststoffzahnradern mit dem Ziel, diese mit ihren günstigen Geräuscheigenschaften und ihrer Trockenlauffähigkeit auch für Leistungsgetriebe einsetzen zu können, ist ein weiterer Schwerpunkt der eigenen Forschung (seit 1968 5 Dissertationen).

Einen wichtigen Forschungsschwerpunkt betrifft die Entwicklung von generellen und speziellen Gestaltungsmethoden [3]. Im Vordergrund stehen dabei Regeln zur recycling- und demontagegünstigen Produktgestaltung, die auch zur VDI-Richtlinie 2243 [17] führten. Diese Arbeiten werden zur Zeit im Teilprojekt „Gestaltungsregeln für Baustruktur, Füge­teile und Demontagehilfen“ des SFB 281 [16] intensiv fortgesetzt. Auf diesem Gebiet wurden bereits 5 Dissertationen durchgeführt.

Im Rahmen eines interdisziplinären Forschungsprojekts, gemeinsam mit Arbeitswissenschaftlern und Psychologen, stand die Frage nach der „Wirksamkeit und Erlernbarkeit der Konstruktionsmethodik“ im Mittelpunkt der Betrachtung [18, 19]. In diesem Zusammenhang wurde auch die Beanspruchung während des Konstruierens untersucht und daraus Handlungsempfehlungen abgeleitet [20].

Schließlich werden seit langem die Möglichkeiten der Rechnerunterstützung für den Entwicklungs- und Konstruktionsprozeß untersucht. Schwerpunkte sind hierbei die Entwicklung von Berechnungsprogrammen, deren unmittelbare Kopplung mit Gestaltungsprogrammen (Geometriemodellierern), die Entwicklung von wissensbasierten Systemen für Gestaltungsaufgaben sowie der Aufbau rechnerintegrierter Entwicklungsleitsysteme. In diesem Forschungsbereich wurden seit 1968 24 Dissertationen abgeschlossen.

5 Internationale Situation

Konstruktionswissenschaft und Konstruktionstechnik werden in einem internationalen Vergleich vor allem bei den alle zwei Jahre stattfindenden ICED-Konferenzen behandelt [21]. Dabei konnte die deutsche Konstruktionsforschung ein hohes Niveau und eine große Breite nachweisen. Vor allem zeichnet die deutsche Forschung gegenüber Japan und den USA eine höhere Anwendungsnähe aus, was dazu geführt hat, daß auch die deutsche Ausbildung für Produktentwickler und Konstrukteure in besonderem Maße anerkannt ist. Trotzdem gibt es bei dieser auch Verbesserungsnotwendigkeiten, die aber in erster Linie im nichttechnischen Bereich liegen [22].

6 Ausblick

Zur Stärkung des Industriestandorts Deutschland ist die Erforschung und Anwendung einer rechnerintegrierten Produktentwicklungs- bzw. Konstruktionsmethodik zur Schaffung von weltmarktführenden Produktinnovationen mit hoher Qualität und in kurzen Entwicklungszeiten von großer Bedeutung [23, 24]. Hierzu wurde eine Initiative „Berliner Kreis – Wissenschaftliches Forum für Produktentwicklung e.V.“ gegründet, die maßgeblich die Forschungsschwerpunkte definieren und koordinieren und auch neue Förderprogramme vorschlagen will (Vorsitzender: W. Beitz). Das Fachgebiet Konstruktionstechnik ist heute durch die Erkenntnisse der Informations- und Kommunikationstechnik, der Arbeitswissenschaft und der Denk-, Arbeits- und Organisationspsychologie mit entsprechender Interdisziplinarität wissenschaftlich anspruchsvoll und für die industrielle Anwendung von höchster Bedeutung. Es ist deshalb eine Herausforderung, auf diesem Gebiet zu lehren und zu forschen.

Literatur

- [1] Beitz, W.: Design Science – The Need for a Scientific Basis for Engineering Design Methodology. *Journal of Engineering Design* 5 (1994), Nr. 2, 129-133.
- [2] Hubka, V., Eder, W. E.: *Theory of Technical Systems – A Total Concept Theory for Engineering Design*. Berlin: Springer 1988 (deutsche Ausgabe 1992).
- [3] Pahl, G., Beitz, W.: *Konstruktionslehre – Methoden und Anwendung*. Berlin: Springer 1977 (1. Aufl.), 1997 (4. Aufl.). Ausgaben in Englisch (2. Aufl.), Ungarisch, Polnisch, Finnisch, Japanisch, Koreanisch, Chinesisch.
- [4] Reti, L.: *Leonardo – Künstler, Forscher, Magier*. Frankfurt: Fischer 1974.
- [5] Redtenbacher, F.: *Prinzipien der Mechanik und des Maschinenbaus*. Mannheim: Bassermann 1852.
- [6] Reuleaux, F.: *Der Konstrukteur – Ein Handbuch zum Gebrauch beim Maschinen-Entwerfen*. Braunschweig: F. Vieweg u. Sohn 1882 (4. Aufl.).
- [7] Dubbel, H.: *Taschenbuch für den Maschinenbau* (Hg. W. Beitz, K.-H. Grote), 19. Aufl. Berlin: Springer 1997.
- [8] VDI-Richtlinie 2221 (Obmann: W. Beitz): *Methodik zum Entwickeln und Konstruieren technischer Systeme und Produkte*. Düsseldorf: VDI-EKV 1993.
- [9] Ehrlenspiel, K.: *Integrierte Produktentwicklung*. München: Hanser 1995.
- [10] Pahl, G. (Hg.): *Psychologische und pädagogische Fragen beim methodischen Konstruieren*. Ladenburger Diskurs. Köln: Verlag TÜV Rheinland 1994.
- [11] Mackensen, R. (Hg.): *Konstruktionshandeln – Nicht-technische Determinanten des Konstruierens bei zunehmendem CAD-Einsatz*. München: Hanser 1997.
- [12] Dörner, D.: *Gruppenverhalten im Konstruktionsprozeß*. VDI-Berichte 1120, Düsseldorf: VDI-Verlag 1994.

- [13] Dylla, N.: Denk- und Handlungsabläufe beim Konstruieren. München: Hanser, Dissertationsreihe 1991.
- [14] Fricke, G.: Konstruieren als flexibler Problemlöseprozeß – Empirische Untersuchung über erfolgreiche Strategien und methodische Vorgehensweisen. Fortschrittsberichte VDI-Reihe 1, Nr. 227, Diss. Darmstadt 1993.
- [15] Frankenberger, E.: Arbeitsteilige Produktentwicklung – Empirische Untersuchung und Empfehlungen zur Gruppenarbeit in der Konstruktion. Diss. TH Darmstadt 1997.
- [16] SFB 281 (gefördert durch die Deutsche Forschungsgemeinschaft): Demontagefabriken zur Rückgewinnung von Ressourcen in Produkt- und Materialkreisläufen. TU Berlin: Arbeits- und Ergebnisbericht 1995–97, Finanzierungsantrag 1998–2000.
- [17] VDI-Richtlinie 2243 (Obmann: W. Beitz): Konstruieren recyclinggerechter Produkte – Grundlagen und Gestaltungsregeln. Düsseldorf: VDI-EKV 1993.
- [18] Rückert, C.; Gaedeke, O.; Schroda, F.: Konstruktionsarbeit studentischer Übungsgruppen – Empfehlungen für die konstruktionsmethodische Ausbildung an Technischen Universitäten. Schriftenreihe Konstruktionstechnik (Hg. W. Beitz), H. 40, TU Berlin 1997.
- [19] Rückert, C.: Untersuchungen zur Konstruktionsmethodik – Ausbildung und Anwendung. Schriftenreihe Konstruktionstechnik (Hg. W. Beitz), Fortschrittsberichte VDI, Reihe 1, Nr. 293, Düsseldorf: VDI-Verlag, 1997 (Diss.).
- [20] Langner, Th.: Analyse der Einflußfaktoren beim rechnerunterstützten Konstruieren. Schriftenreihe Konstruktionstechnik (Hg. W. Beitz), H. 20, TU Berlin 1991 (Diss.).
- [21] Proceedings of ICED (International Conference on Engineering Design) 1981–1997 (ed. by V. Hubka and others), Schriftenreihe WDK 7, 10, 12, 13, 16, 18, 19, 20, 22, 23, 24. Zürich: HEURISTA 1981–1997.
- [22] Beitz, W., Helbig, D.: Neue Wege zur Produktentwicklung – Berufsfähigkeit und Weiterbildung. Schriftenreihe Konstruktionstechnik (Hg. W. Beitz) H. 37, TU Berlin 1997.
- [23] Berliner Kreis: Neue Wege zur Produktentwicklung. Kurzbericht (bearbeitet von J. Gausemeier und A. Fink), Paderborn: H. Nixdorf Institut 1997.
- [24] Grabowski, H., Geiger, K. (Hg.): Neue Wege zur Produktentwicklung, Stuttgart: RAABE, 1997.