

Vom Konstruktions – zum Produktentwicklungsprozess – Epochenspezifische Lösungsansätze und Institutionalisierungsschritte – 75 Jahre WiGeP

*From Engineering to Product Design. Solutions as Signs of the Times and the
Corresponding Institutional Progress during 75 years of WiGeP*

Günther Luxbacher^{1*}, Dieter Krause²

¹ Priv. Doz. Dr. phil. habil. Freier Historiker

² Hamburg University of Technology, Institute of Product Development and Mechanical Engineering Design

* Korrespondierender Autor:

Dr. Günther Luxbacher

Blissestraße 63

10713 Berlin

Tel.: 0162-4634088

luxbacher.technikgeschichte@web.de

Abstract

The state of research in the history of science and technology on the science of product research in Germany deals exclusively with methodological items. This essay stresses the contrary side of the product development process for the first time. On the one hand it asks for the requirements for new products and the specific ways these were integrated into product design as a kind of time specific thing knowledge. On the other hand it analyzes, how these procedures were corresponding with institutional innovations apparent in the genesis of WiGeP.

Keywords

History of technology; Product development process; thing knowledge; institutional progress in Germany

1. Vorbemerkung

In ihrem Beitrag unterbreiten die Autoren den Vorschlag der Abfassung eines geschichtlichen Überblicks des Produktentwicklungsprozesses (PEP) in Deutschland. Als Anlass böte sich die 75jährige Geschichte der Wissenschaftlichen Gesellschaft für Produktentwicklung (WiGeP) an, die u.a. aus dem 1950/51 ins Leben gerufenen Freundeskreises der Professoren für Maschinenelemente und Konstruktion (WGMK) in Berlin hervorgegangen ist. Die Motivation für das angedachte Forschungsvorhaben und dessen Zuschnitt besteht in einer doppelten Wissenslücke, die vor dem aktuellen Stand der wissenschafts- und technikhistorischen Forschung im Folgenden genauer erläutert wird. Daraufaufgehend werden die beiden angepeilten Hauptuntersuchungsfelder systematisch und beispielhaft vorgestellt und am Schluss werden Methodik, historische Quellen und das Arbeitsprogramm des anvisierten Vorhabens kurz zusammengefasst.

2. Geschichte der Konstruktionslehre und der Produktentwicklung: Offene Fragen und zwei Thesen

Befasst man sich mit der Geschichte des Konstruierens als Wissenschaft, stößt man in erster Linie auf Darstellungen zur Genese der Methodologie des Faches. Aufsetzend auf die naturwissenschaftlichen Parameter mechanischer, chemischer und elektrischer Phänomene eroberte sich das Konstruieren ab Mitte des 19. Jahrhunderts einen anerkannten Platz an den Technischen Hochschulen. Zwischen den Polen Theorie und Praxis, Experiment, Systematisierung, Spezialisierung und Rationalisierung kristallisierte sich in Deutschland bis zu Beginn des 20. Jahrhunderts eine Konstruktionslehre mit großer Methodenvielfalt heraus [1]. Diese Vielfalt vergrößerte sich im 20. Jahrhundert weiter und kulminierte gegen Mitte des Jahrhunderts u.a. in der Frage, ob es eine erlernbare „Technik des Konstruierens“ gäbe [2]. An der Frage der Konstruktionssystematik und -methodik, am Antagonismus Kunst und Wissenschaft, etwa an der Frage der Bedeutung von Kreativität, arbeiteten sich noch die Ordinarien in der deutschen Systemkonkurrenz nach 1945 ab. Einflussgrößen wie Planung, Schematisierung, Theoretisierung, Digitalisierung, aber auch ein zunehmender Hang zur Generalisierung kennzeichneten die Fachdiskurse im letzten Drittel des 20. Jahrhunderts [3], das Lehrbücher wie jenes von den beiden Konstruktionswissenschaftlern Gerhard Pahl und Wolfgang Beitz „Konstruktionslehre“ hervorbrachte [4]. Später kamen noch Digitalisierung [5] und der CAD-Einsatz hinzu [6].

Doch die bisherigen wissenschafts- und technikhistorischen Untersuchungen hinterlassen ein großes Defizit. Die Ergebnisse dieser divergierenden Konstruktionsmethoden, die technischen Produkte und die ihnen eingeschriebenen zeittypischen Konstruktionsprinzipien, das Produktdesign, kommen darin kaum vor. Auch wenn es zwischen Lösungsalgorithmus und Lösungsvergegenständlichung (engl. „thing know-ledge“) häufig einen engen Zusammenhang gibt, so setzten sich die bisherigen Untersuchungen nur pauschal mit den mannigfachen Aspekten der Produktentwicklung auseinander [7]. Damit fehlen zwei Faktoren, die für den Erfolg von Produkten in einer Marktwirtschaft grundlegend sind: Die gegenständlichen Lösungen der gesellschaftlichen Anforderungen an die Technik und deren Bewährung bei der Nutzung.

Dabei verdiente – und das wäre die erste These dieses Beitrages – gerade die Untersuchung der epochentypischen Ausprägungen von Fabrikaten als die dominante technikwissenschaftliche Signifikante der Zeit große Aufmerksamkeit. Vor allem die Untersuchung des „Design for X“ im historischen Längsschnitt und im diachronen Vergleich wäre in der Lage, dem fachlichen Selbstreflexionsprozess eine neue heuristisch zu verstehende Perspektive zu eröffnen und vielleicht die eine oder andere ältere Lösungsidee wieder in Erinnerung zu rufen.

Die zweite These bezieht sich auf den damit verbundenen Wandel des institutionellen Gefüges, das mit einem veränderten Selbstverständnis des Faches einherging. Erste durchgeführte Recherchen in der Zeitschrift „Konstruktion“ legen nahe, dass es die 1990er Jahre waren, in denen der Begriff der Produktentwicklung den älteren Begriff der Konstruktionslehre / Konstruktionswissenschaft endgültig verdrängte. Der Beitrag setzt also auf die wissenschafts- und technikhistorischen Vorarbeiten auf und erweitert diese gezielt um die Perspektiven der Produktentwicklung und die damit korrespondierenden fachlichen Institutionen.

3. Produktdesign als historische Leitlinie der Konstruktionslehre

Gerade die an den Produkten ablesbaren zeittypischen Leitideen, die gelegentlich mit kontroversen Debatten verknüpft waren, taugen zur Lokalisierung der Meilensteine des Wandels von der Konstruktionslehre hin zum umfassenden PEP mit all seinen Facetten. Der Bogen reicht dabei von den ersten Leitbildern wie dem Baukastensystem und dem Austauschbau („American System of Manufactures“), über normengerechtes Konstruieren, Fertigungsgerechte Gestaltung, Werkstoffauswahl, Geplante Obsoleszenz, dem Produktlebenszyklus, der Produktentwicklung, der Nachhaltigen Produktentstehung bis hin zu Lebensdauer, Reparatur und Wiederverwertung. Bislang hat die wissenschafts- und technikhistorische Forschung derartige Paradigmen noch nie in einem systematischen Zusammenhang dargestellt. Diese Lücke gilt es zu füllen.

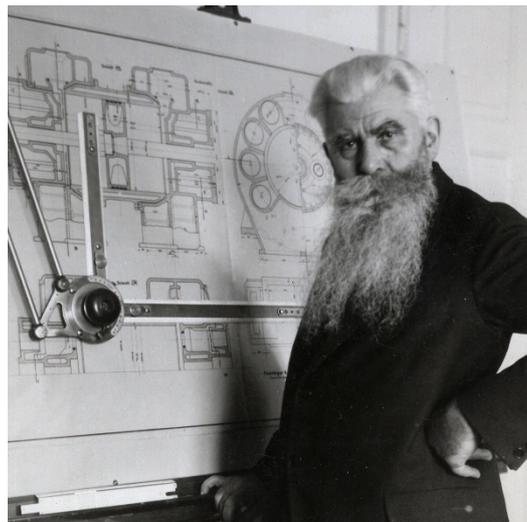


Abbildung 1: Der Maschinenkonstrukteur Johann Hörbiger (1860-1931) vor dem Reißbrett in seinem Wiener Konstruktionsbüro. Die Zeichnung zeigt eine Version des von ihm patentierten Hörbiger-Ventils, ein reibungslos geführtes Ringklappenventil. [Quelle: Wien Geschichte Wiki, Zugriff am 24.7.23]

Selbstverständlich kann ein derartiges Vorhaben nur beispielhaft durchgeführt werden – etwa anhand ausgewählter technischer Konsumgüter. Doch bietet ein solcher Ansatz den Vorteil, für ein breiteres akademisches Publikum anschaulich und leicht verständlich zu sein. Dabei ist klarerweise auch die abweichende Verwendung des schillernden Begriffes des Produktdesigns – fluktuierend zwischen Ästhetik und Funktionalität – kritisch zu analysieren. Immerhin wurde in den 1950er Jahren innerhalb der Konstruktionslehre eine Arbeitsgemeinschaft gegründet, die sich mit dem ästhetischen Teil des Produktdesigns befasst [8].

Erste größere Debatten zur Produktgestaltung riefen die Arbeiten des 1917 gegründeten „Normalienausschusses für den Allgemeinen Maschinenbau“ hervor (dem späteren DIN). Das normengerechte Konstruieren technischer Konsumgüter wurde anfangs von nicht wenigen

Technikern und Unternehmern als „Normenfanatismus“ und „Typisierungsfieber“ abgelehnt, bevor es im Laufe der 1930er Jahre als unerlässliche Grundlage für den Maschinenbau akzeptiert und bei der Entwicklung von Produkten angewandt wurde [9].

Frühe Beispiele für an Produkteigenschaften geschulten Entwicklungsroutinen verraten auch die frühen Arbeiten von Hugo Wögerbauer, TH München vor 1945. Damals standen Produktentwicklungs-Paradigmen wie Leichtbau, Miniaturisierung oder Werkstoffauswahlverfahren, vorrangig im Kontext der nationalsozialistischen Autarkiepolitik. Wögerbauers Arbeiten wurden erst durch Friedrich Sass, TH Berlin, nach 1945 wieder paraphrasiert: „Das Konstruieren ist erlernbar; man kann es ebenso lernen wie andere Disziplinen“, Aussagen, die noch längere Zeit für Debatten sorgten [10].

Gleichzeitig sah sich die Fachgemeinschaft einer lawinenartig anwachsenden Zahl von Anforderungen an Konstruktions„gerechtigkeiten“ gegenüber. Diese sind im Zusammenhang mit der Rekonstruktion des deutschen industriellen Korporatismus nach 1945 („Wirtschaftswunder“) zu interpretieren: „Optimale Konstruktion“, „Schöne Konstruktion“, „Fertigungsgerechte Konstruktion“, „Wirtschaftliches und schweißgerechtes Konstruieren“, „Werkstattgerechtes Konstruieren“ oder „recyclinggerechte Konstruktion“.

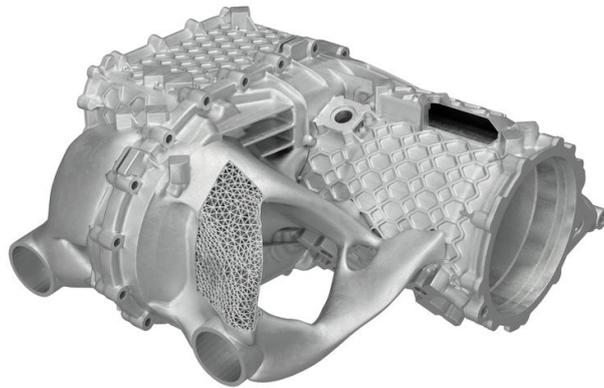


Abbildung 2: CAD-Grafik eines Elektromotor-Leichtmetallgehäuses, hergestellt im 3 D-Drucker durch additives Laserschmelz-Verfahren bei Porsche. Erreicht wurden: Gewichtsverringern, verdoppelte Steifigkeit, erhöhte Bauteilintegration, gesenkter Montageaufwand [Quelle: additive. Plattform für additive Fertigung: <https://additive.industrie.de/news/porsche-e-antrieb-gehaeuse-aus-dem-3d-drucker/#slider-intro-3>, Zugriff am 25.7.23].

Einen sich außerordentlich langfristig herausbildenden konstruktionstechnischen Aspekt stellten die Werkstoffauswahlverfahren dar, welche ebenfalls multiperspektivische Aspekte – zwischen West und Ost freilich in unterschiedlicher Weise – zu integrieren hatten [11]. Als weitere Beispiele für neue Ansätze beim Produktdesign böten sich Untersuchungen zu Konvergenzen an, etwa am Beispiel der Mechatronik [12] oder den Zusammenhang zwischen Werkstoff, Gestaltung und Fertigungstechnik durch die Sintertechnik bzw. aktuell durch additive Laserschmelzverfahren im 3D-Druck [13].

4. Institutionengeschichte der Wissenschaften des Konstruierens und Produktentwickelns

Die zunehmende Komplexität zeitspezifischer Anforderungen an Produkte forderte die Produktentwickler gleich mehrfach heraus. Zunächst mussten sie Wissen für die stetig steigenden Leistungsanforderungen von Maschinen, Geräten und Apparaten generieren. Dann galt es, die vielfältigen Chancen technischer Konvergenz zu bewältigen [14]. Gleichzeitig hatten sie in immer stärkerem Maße multidisziplinäres Wissen auch außerhalb des

„klassischen“ Industriekontextes zu akquirieren und Wege zu finden, dieses sachproblemorientiert zu generieren und in Produkte zu integrieren. Darüber hinaus musste das dabei entstandene Wissen disziplinar organisiert, aufbereitet, eingeordnet und modelliert werden. Dieser Prozess schlug sich in (gut erforschten) Lösungsalgorithmen, aber auch in (noch zu erforschenden) ganz bestimmten Lösungsfestlegungen nieder. Damit einher ging ein grundlegender institutioneller Wandel.

Vor allem nach 1945 äußerte sich das massiv vergrößerte Aufgabenfeld ebenso in einer zunehmenden Selbstreflexion innerhalb des Faches wie auch in einer Neuverteilung und kooperativen Festschreibung formaler Kompetenzen. Über Jahrzehnte hinweg ist so eine ständige Neuausrichtung der Disziplin Konstruktionslehre zu beobachten, die Gründung neuer Organisationen, sowie letztendlich konsequenterweise auch die institutionenübergreifende Verständigung auf eine Umbenennung des Faches selbst. Der beständige Umbau deutet auf eine massive Bedeutungsverschiebung des Faches im gesamtgesellschaftlichen Zusammenhang hin. Das bevorstehende 75-Jahr-Jubiläum der WiGeP 2025/26 bildet einen guten Anlass, die Entwicklung des Fachgebietes der Produktentwicklung institutionenhistorisch auf professionelle Weise und doch allgemeinverständlich zu analysieren und zu reflektieren.

Bereits 1928 fanden im Kontext der ersten Rationalisierungsbewegung neue gesellschaftliche Anforderungen ihren Niederschlag in der Gründung der Gruppe „Konstruktion“ innerhalb der Arbeitsgemeinschaft Deutscher Betriebsingenieure (ADB). 1937 ging daraus die selbständige (und nach 1945 wiedergegründete) Arbeitsgemeinschaft Deutscher Konstruktions-Ingenieure (ADKI) hervor. Beide Organisationen sind bis heute kaum erforscht, bilden aber doch so etwas wie die „Vorgeschichte“ zum Berliner Kreis, der WGMK und der WiGeP.

Unter der Obmannschaft des Leiters des AEG-Konstruktionsabteilung, Karl Bobek, wurde 1949 schließlich auch die ADKI-Zeitschrift „Konstruktion“ gegründet, die sich explizit der Frage widmete, wie eine neue Konstruktionslehre aussehen könnte. Die Antworten auf diese Frage kann man nicht zuletzt an der Gründung von Ausschüssen wie „Gestaltung von Lagerungen“ und „Technische Formgebung“ ablesen.

Den Wandel verdeutlicht schließlich der „in den 50er Jahren“ [15], mutmaßlich 1951, gegründete informelle „Freundeskreis der Professoren für Maschinenelemente und Konstruktion“. Einer dessen „Gründungsväter“ war der Ordinarius für Maschinenelemente an der TU Berlin, der ehemalige Leiter der Torpedo-Forschergruppe „Arbeitsgruppe Cornelius“, Ernst August Cornelius. Zu Beginn waren acht Technische Hochschulen im Freundeskreis vertreten. 1975 wurde der Freundeskreis formal als „Wissenschaftliche Gesellschaft für Maschinenelemente und Konstruktionsforschung e.V.“ (WGMK) ins Vereinsregister eingetragen [16].

Ihr Anliegen war die Weiterentwicklung eines systematischen Vorgehens bei der Entwicklung und Optimierung von Elementen des Maschinenbaus und dessen Integration in die Lehre für Maschinenbaustudenten. Der Kreis wurde zum ersten Kristallisationspunkt eines neuen fachlichen Selbstverständnisses. 1968 (andere sprechen von 1969) rückte Beitz als Nachfolger seines ehemaligen Chefs Cornelius am Forschungs- und Lehrgebiet Maschinenelemente und Konstruktionstechnik an der damaligen Technische Hochschule zu Berlin auf. 1970 wurde er das zwölfte Mitglied dieser Gesellschaft. Nicht zuletzt seinem auch politisch gut vernetzten Wirken war es zu verdanken, dass die Konstruktionslehre Eingang in das Förderspektrum der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) fand. 1985 war Beitz Präsident der WGMK und von 1996 bis zu seinem Tod 1998 fungierte er als Vizepräsident [17].

In diesen Jahren gelang es der akademischen Konstruktionslehre, ihr Fach im Rahmen der Technikwissenschaften dauerhaft innerhalb der DFG zu verankern. Ein wichtiges Signal dafür sandte das DFG-Schwerpunktprogramm „Konstruktionsforschung“ (1969 – 1977) unter Wolfgang Beitz [18].

Den zweiten Kristallisationskeim bildete der am 11. Juni 1993, also vor etwas mehr als dreißig Jahren, ins Leben gerufene „Berliner Kreis für industrielle Produktentwicklung“ (später Berliner Kreis – Wissenschaftliches Forum für Produktentwicklung). Vorausgegangen war das Treffen einer Gruppe von Professoren aus den Bereichen Konstruktionsmethodik und Rechnerunterstütztes Konstruieren im Dienstzimmer von Wolfgang Beitz. Die Initiative war vor dem Hintergrund der damaligen wirtschaftlichen Schwäche des deutschen Maschinenbaus gestartet worden und sollte der Stärkung der Innovationskraft der Maschinenbranche dienen. Als Schwerpunkte einigte man sich auf die besondere Förderung der frühen Phasen der Produktentwicklung unter Berücksichtigung der Möglichkeiten der Rechner und der Weiterentwicklung von einschlägigem technischen Führungspersonal insbesondere im Mittelstand. Die Interessierten kamen überein, sich regelmäßig unter der Kurzbezeichnung „Berliner Kreis“ zu treffen. Den fachlichen Notwendigkeiten entsprechend kooperierte der Kreis stets eng mit einem assoziierten Industriekreis. Zusätzlich ist die institutionelle Vernetzung des Berliner Kreises etwa mit der Fraunhofer-Gesellschaft, acatech, VDI, VDMA und der Wissenschaftlichen Gesellschaft für Produktionstechnik (WGP) zu berücksichtigen [19]. Neben vielen anderen Aktivitäten erarbeitete der Verein dann im Auftrag des Projektträgers des BMFT die Studie „Produktentwicklung als Schlüsselfunktion zur Standortsicherung“, aus welcher die Buchveröffentlichung „Neue Wege der Produktentwicklung“ entstanden ist [20].

Zur Verstetigung und Systematisierung des Informationsflusses zwischen Forschung und Lehre auf der einen und Industrie und Praxis auf der anderen Seite, richtete der Verein ein „Berliner Kreis Kompetenz Netzwerk“ ein. Dieses widmete sich vor allem dem digitalen, aber auch dem persönlichen Austausch zwischen den Universitäten, der Industrie und der von Beitz herausgegebenen Zeitschrift „Konstruktion“ [21].

1994 organisierte der Kreis mit Industrieunternehmen ein erstes Symposium auf Einladung von Krupp-Hoesch in der Villa Hügel in Essen. Beitz machte sich für eine weitere universitätsübergreifende, aber doch praxisnahe Zusammenarbeit stark. Im Anschluss an die Veranstaltung erschienen eine Denkschrift und ein Maßnahmenkatalog. Im Sommer 1994 wurde dann an der TU Hamburg-Harburg die formelle Gründung des gemeinnützigen Vereins „Berliner Kreis- Wissenschaftliches Forum für Industrielle Produktentwicklung“ vorgenommen und Beitz als dessen Erster Vorsitzender ausgewählt.

Hilfreich dabei war, dass Beitz 1987 – 1989 als Staatssekretär beim Berliner Senator für Wissenschaft und Forschung tätig war. Er war auch federführend an der 1992 erfolgten Gründung der Berlin-Brandenburgischen Akademie der Wissenschaften (BBAW) beteiligt, die neben anderen Klassen nun auch eine eigene „Technikwissenschaftliche Klasse“ erhielt, ein weiterer Erfolg für das Fach. Beitz vertrat innerhalb der Klasse das Fachgebiet Maschinenkonstruktion. Auch in dieser Funktion konzentrierte er sich auf die Erhaltung und Stärkung der deutschen Wettbewerbsfähigkeit dieser Branche sowie der Produktionswirtschaft. Einen Schwerpunkt setzte Beitz damals auf das Gebiet Rohstoffe und Nachhaltigkeit, sowie damit zusammenhängend auf Werkstoffauswahlverfahren, (De-) Montage, Bauteilgestaltung und Fügetechnik unter besonderer Berücksichtigung umweltgerechter bzw. recyclinggerechter Produktgestaltung. Ein weiterer Arbeitsschwerpunkt lag auf der „methodischen Entwicklung der Konstruktionstechnik“, und der CAD-Technik.

Der Technikwissenschaftlichen Klasse der BBAW gelang in nationaler Zusammenarbeit mit anderen Institutionen noch in den 1990er Jahren die Gründung eines Konvents für Technikwissenschaften (später acatech) und dessen Eingliederung in EuroCASE, den europaweiten Zusammenschluss der nationalen Technik-Akademien [22].

Auf Beitz' und andere Vorarbeiten aufbauend erfolgte dann im frühen 21. Jahrhundert die endgültige Konsolidierung des Faches als Wissenschaft der Produktentwicklung, was sich auch in der Namensgebung einer neuen Institution äußerte: 2011 fusionierten die WGMK und der Berliner Kreis zur Wissenschaftlichen Gesellschaft für Produktentwicklung (WiGeP).

Sie definiert sich als Kompetenznetzwerk zur Förderung von Produktinnovationen im Maschinenbau und verwandten Branchen, sie will die Generierung neuer Produkte stimulieren

und allgemein Innovationskraft stärken, vor dem Hintergrund aktueller Krisenszenarien von besonderer Bedeutung. Innerhalb der WIGEP sind an die 1200 wissenschaftliche Mitarbeiter tätig und werden an die 90 Mio. Euro Drittmittel bewegt, ein Faktor, an dem kaum eine gesellschaftliche Kraft vorbeikommt. Neben dem Vorstandssprecher vertreten weitere Sprecher die Fachgruppen „Methoden und Prozesse“, „Maschinenelemente und -systeme“, „Virtuelle Produktentwicklung“ sowie die Querschnittgruppe „Lehre und Weiterbildung“ [23]. Auch die WiGeP, deren Wurzeln auf den Freundeskreis bis in die 1950er Jahre zurückreichen, ist eng eingebunden in Kooperationen mit thematisch benachbarten Institutionen wie z.B. der WGP.

5. Methodik, Quellen, Arbeitsprogramm

Methodisch liegt der Fokus der vorgeschlagenen Untersuchung einerseits auf der Genese ausgewählten Produktdesigns und den Rahmenbedingungen dessen Zustandekommens sowie andererseits des institutionellen fachlichen Gefüges im Zusammenhang von Branchen und – wo nötig – vor der Folie internationaler Kontakte. Der zeitliche Rahmen dieser Untersuchung soll sich vom Ende des ersten Drittels des 20. Jahrhunderts über etwa hundert Jahre bis heute erstrecken, im Schwerpunkt aber auf die 75jährige Geschichte der WiGeP. Ausgewählte fachliche Paradigmen werden i.d.R. im diachronen Vergleich betrachtet.

Neben der Darstellung der Genese der Fachdisziplin bestünde die Chance, im Rahmen eines derartigen Projektes aus der historischen Betrachtung heraus möglicherweise die eine oder andere ältere Produktlösung wieder zu entdecken. Vielleicht könnte manche für die kommende Entwicklung im Fachgebiet antizipiert werden und somit die zukünftige Forschung der Produktentwicklung anregen.

Die Basis zur Erarbeitung der für das hier angepeilte Forschungsvorhaben nötigen Wissensbestände bildet – neben der genannten technikhistorischen Literatur – die systematische Recherche und erkenntnisleitende Auswertung von Fach- und Lehrbüchern sowie einschlägigen Zeitschriften. Im Zentrum stehen dabei die bis ins 19. Jahrhundert zurückreichende Zeitschrift „Der Mechaniker“, die spätere „Zeitschrift für Feinmechanik“ bzw. „Mechatronik“ und natürlich die Periodika „Konstruktion“, „Maschinenbau“ und „Maschinenbau-Technik (DDR)“. Ergänzend werden Zeitschriften wie die VDI-Z, die ETZ oder die älteren „Mitteilungen über Forschungsarbeiten auf dem Gebiete des Ingenieurwesens“ herangezogen.

Archivrecherchen zu Institutionen wären zunächst im Vereinsregister anzustellen. Hinzu kämen Vereins-, Hochschul- und Unternehmensarchive, fallweise auch Landesarchive sowie in Einzelfällen technische Sammlungen. Im Universitätsarchiv der TU Berlin befinden sich neben dem Nachlass Günter Spur auch der Teilnachlass Beitz, aussagekräftiges Material befindet sich auch an der TU Darmstadt und der TU Dresden, aber auch an anderen benachbarten Einrichtungen.

Zur Genese spezifischer konstruktionstechnischer Forschungsschwerpunkte hält die DFG in Bonn ein umfangreiches Archiv vor. Soweit vorhanden sind Registraturen technisch-wissenschaftlicher Vereine wie des VDI oder des VDE zu kontaktieren.

Danksagung

Die Autoren danken den Herren Emil Heyden und Sebastian Schwoch für ihre freundliche Unterstützung.

Literaturverzeichnis und Referenzen

- [1] Wolfgang König: Künstler und Strichezieher. Konstruktions- und Technikkulturen im deutschen, britischen, amerikanischen und französischen Maschinenbau zwischen 1850 und 1930, Frankfurt/Main 1999, S.16-28, 32-35,91-96.
- [2] Hugo Wögerbauer: Die Technik des Konstruierens, München usw. 1943, S.18-20.
- [3] Matthias Heyman: „Kunst und Wissenschaft“ in der Technik des 20. Jahrhunderts. Zur Geschichte der Konstruktionswissenschaft Zürich 2005, S.160-165, 277-280, 272-275, 359-375.
- [4] G. Pahl/ W. Beitz: Engineering Design, London 1984; dt. als: Konstruktionslehre, Handbuch für Studium und Praxis, 2. Aufl., Berlin 1986.
- [5] Michael F. Ashby: Materials Selection in Mechanical Design, 1st ed. 1992 (Später mit Software mit dreidimensionaler Nutzeroberfläche).
- [6] R. Mackensen (Hg.): Konstruktionshandeln. Nicht-technische Determinanten des Konstruierens bei zunehmendem CAD-Einsatz, München 1997.
- [7] Hans Dieter Hellige: Leitbilder und historisch-gesellschaftlicher Kontext der frühen wissenschaftlichen Konstruktionsmethodik (=artec-Paper Nr. 8, Januar 1991), S. 9 f.
- [8] Zeitschrift „Konstruktion“, div. Jg.
- [9] Günther Luxbacher, DIN von 1917 bis 2027. Normung zwischen Konsens und Konkurrenz im Interesse der technisch-wirtschaftlichen Entwicklung, Berlin 2017, S. 103-118.
- [10] Zeitschrift „Konstruktion“, div. Jg.
- [11] Günther Luxbacher: Ersatzstoffe und Neue Werkstoffe: Metalle, Technik und Forschungspolitik in Deutschland im 20. Jahrhundert (=Studien zur Geschichte der DFG 11), Stuttgart 2020, S. 332-344.
- [12] Klaus Kornwachs, Strukturen technischen Wissens. Analytische Studien zu einer Wissenschaftstheorie der Technik, Berlin 2012, S. 150-162.
- [13] Bastian Leutenecker-Twelsieck: Additive Fertigung in der industriellen Serienproduktion. Bauteilidentifikation und Gestaltung, Diss. ETH Zürich 2019, S. 6-12.
- [14] Kornwachs, Strukturen, S. 150-156, wie Anm. 10.
- [15] G. Lechner: Wolfgang Beitz – Wissenschaftler in der WGMK und DFG, in: Gerhard Pahl (Hg.): Professor Dr.-ing. E.h. Dr.-ing. Wolfgang Beitz zum Gedenken: Sein Wirken und Schaffen, Heidelberg 1998, S. 74 f.
- [16] Wissenschaftliche Gesellschaft für Produktentwicklung: https://marjorie-wiki.de/wiki/Wissenschaftliche_Gesellschaft_f%C3%BCr_Produktentwicklung [Zugriff am 25.7.2023].
- [17] G. Lechner, Beitz, S. 74 f., wie Anm. [13].
- [18] Luxbacher, Ersatzstoffe, S. 353-381, wie Anm. [9].
- [19] Ulrich Sandler: Das PLM-Kompodium. Referenzbuch des Produkt-Lebenszyklus-Managements, Heidelberg 2009, S. 359 f.
- [20] Berliner Kreis, Jürgen Gausemeier (Hg.): Kurzbericht über die Untersuchung „Neue Wege zur Produktentwicklung. Eine Untersuchung im Rahmenkonzept „Produktion 2000“, 2. Aufl., Paderborn 1998.
- [21] H. Grabowski: Der Berliner Kreis, in: Gerhard Pahl (Hg.): Professor Dr.-ing. E.h. Dr.-ing. Wolfgang Beitz zum Gedenken: Sein Wirken und Schaffen, Heidelberg 1998, S. 75-78.
- [22] Günter Spur: Wolfgang Beitz – Gründungsmitglied der Berlin-Brandenburgischen Akademie der Wissenschaften, in: Gerhard Pahl (Hg.): Professor Dr.-ing. E.h. Dr.-ing. Wolfgang Beitz zum Gedenken: Sein Wirken und Schaffen, Heidelberg 1998, S. 79- 83.
- [23] Porträt. Perspektiven für die Produkte von morgen, WIGEP, Garbsen 2022, S. 7, siehe: https://b7s1f6.n3cdn1.secureserver.net/wp-content/uploads/2022/06/Portrait_WiGeP_Web.pdf. [Zugriff am 25.7.23]