

Materialprüfung in Wechselwirkung zur technisch-industriellen Entwicklung : dargestellt am Beispiel von Carl Bach

Autor(en): **Zweckbronner, Gerhard**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Ferrum : Nachrichten aus der Eisenbibliothek, Stiftung der Georg Fischer AG**

Band (Jahr): **56 (1985)**

PDF erstellt am: **19.09.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-378182>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Materialprüfung in Wechselwirkung zur technisch-industriellen Entwicklung – dargestellt am Beispiel von Carl Bach



Dr. Gerhard Zweckbronner,
Stuttgart

Carl Bach (1847–1931) wirkte von 1878 bis 1922 an der Technischen Hochschule Stuttgart als Professor für Maschinenbau.¹ Er war Nachfolger des Redtenbacher-Schülers Christian Müller, des ersten Vertreters dieses Faches in Stuttgart seit seiner Einrichtung 1847. Doch Nachfolge bedeutete keineswegs kontinuierliche Fortführung dessen, was Redtenbacher von Karlsruhe aus, vermittelt durch Müller, als Pionier des deutschen wissenschaftlichen Maschinenbaus in Stuttgart bewirkt hatte. Vielmehr begründete Bach eine eigene, in das 20. Jahrhundert weiterführende Schule der Maschinenwissenschaft, die theoretischen Ansprüchen und praktischen Erfordernissen durch ein systematisches Versuchswesen gleichermaßen gerecht zu werden trachtete.² Dass er damit zuallererst die TH Stuttgart fachlich und institutionell prägte, liegt auf der Hand.³

Deshalb bietet sich an, von einem Überblick über die institutions- und disziplingeschichtliche Entwicklung in Stuttgart auszugehen unter Berücksichtigung des wirtschaftlichen und hochschulpolitischen Umfeldes. Daran schliesst sich eine knappe Beschreibung von Bachs technisch-wissenschaftlichen Betätigungsfeldern an und von den Möglichkeiten, die er hatte, über Organisationen auf die Entwicklung des Materialprüfungswesens Einfluss zu nehmen. Ein Blick auf die Ziele, die er als Hochschullehrer verfolgte, und auf seine Untersuchungs- und Darstellungsprinzipien leitet über zur abschliessenden Frage nach Bachs Wissenschaftsverständnis, genauer: nach seiner Auffassung vom Verhältnis zwischen Theorie und Praxis, wie er sie selbst formulierte, wie sie sich aber auch aus seinem Vorgehen bei der wissenschaftlichen Untersuchung technisch-industriell bedeutsamer Gegenstände erschliessen lässt.

Vertreter der Stuttgarter Professorschenschaft und württembergische Indu-

strielle setzten 1893 alle Hebel in Bewegung, um Bach in Stuttgart zu halten, nachdem er einen Ruf an die ETH Zürich bekommen hatte. Die Argumente, die für seine Erhaltung sprachen, zeigten, wie hoch sein Wirken an der Hochschule selbst und im industriellen Leben des Landes eingeschätzt wurde.

Auf dem Lehrgebiet des Maschineningenieurwesens galt er «in gewissem Betracht als bahnbrechend und als Begründer einer eigenen Schule», deren Methode sich auch andere Technische Hochschulen zuwandten. Seine Schüler, so hiess es, würden immer mehr von der Maschinenindustrie gesucht.

Der Vorstand des württembergischen Bezirksvereins im Verein deutscher Ingenieure bat den Minister des Kirchen- und Schulwesens, «im Interesse auch der württembergischen Industrie» nichts zu versäumen, was nötig sei, um Bach zu halten. Aufgeschlossen reagierte der Minister dabei auf die Befürchtung, «dass für die württembergische Industrie der Verlust des Professors Bach an die Schweiz doppelt schwer in das Gewicht fallen würde, weil er gleichzeitig einen ebenso grossen Gewinn für die Schweiz bedeute, mit welcher die württembergische Industrie ohnehin schon in einem schwierigen Wettkampf stehe».⁴

Wodurch hatte sich Bach dieses Vertrauen der Industriellen erworben? Was zeichnete die Methode der Bachschen Schule aus? Werfen wir einen raschen Blick auf die Gesamtsituation der industriellen Praxis.

Sie hatte den traditionellen handwerklichen Bereich verlassen und forderte neue grundlegende Untersuchungen gerade auf dem Gebiet der Werkstoffherstellung, -verarbeitung und -festigkeit. Unfälle wegen Materialversagen im Eisenbahn-, Dampfkessel- oder Bauwesen unterstrichen die Notwendigkeit, neue Grundlagen

und Orientierungshilfen für die Lösung praktisch-konstruktiver Probleme zu schaffen, wie sie bei Dauerbelastungen, dynamischen Massenwirkungen oder in Bereichen hoher Temperaturen und Drücke auftraten.⁵

Wer als Konstrukteur bisher an den Rand des gewohnten Bereiches gehen und beispielsweise von statisch begründeten Resultaten auf die Lösung dynamischer Probleme schliessen wollte, fand etwa in der Vorrede zur ersten Auflage von Ferdinand Redtenbachers «Resultaten für den Maschinenbau» (1848) folgenden Hinweis:

«Wenn Massenwirkungen ins Spiel kommen, braucht man nur gleich von vorneherein die Zapfen und Wellen hinreichend stark, zum Beispiel um ein Drittel oder um die Hälfte stärker als gewöhnlich zu nehmen, und dann werden auch alle anderen Dimensionen, wenn man dieselben mit den Verhältniszahlen bestimmt, hinreichend stark. Wenn Stösse vorkommen, muss man noch überdies die gegen einander stossenden Theile mit Masse versehen, damit sie eine bedeutende lebendige Kraft in sich aufnehmen können, ohne dass die Molekularvibrationen zu heftig werden.»⁶

Solche zweckmässigen, einfachen, wenn auch unvollkommenen Regeln, wie Redtenbacher sie nannte, ermöglichten es kaum, von einfacheren bekannten Fällen auf technisches Neuland zu schliessen, wo noch jede Erfahrung fehlte.⁷

Den Kontrast zwischen der von Redtenbacher bevorzugten Methode der Verhältniszahlen und dem Vorgehen Bachs machen die Worte Rudolf Diesels besonders deutlich:

«Als ich anfangs der neunziger Jahre an die Konstruktion meines Motors herantrat, versagte diese Methode vollständig. Die enormen Drucke, welche in meiner Maschine auftraten, die in solcher Grösse bisher noch unbekanntes Reibungsarbeiten in den gleitenden Teilen zwangen mich dazu, die Beanspruchung jedes einzelnen Organes auf das genaueste zu untersuchen und die Materialfrage selbst eingehend zu prüfen. Auch nicht die nebensächlichste Einzelheit durfte dem Zufall der ‚Verhältniszahl‘ oder der ‚Sicherheitskoeffizienten‘ ausgeliefert werden. Es beschlich mich das beschämende und entmuti-

gende Gefühl, dass ich der mir gestellten Aufgabe nicht gewachsen sei.

Als ich mich in meiner Hilflosigkeit in der damaligen Literatur umsah, stiess ich auf die eben erschienene 2. Auflage von C. Bach «Die Maschinenelemente», die mich so begeisterte, dass ich kurz entschlossen meinen Motor liegen liess und mit Heissunger Bachs Buch von der ersten bis zur letzten Seite studierte, eine Arbeit, die mich – bei meiner sonstigen angestrengten praktischen Tätigkeit – fast ein Jahr in Anspruch nahm.

Diese Zeit war aber nicht verloren, denn dann konnte ich – so glaube ich wenigstens – konstruieren; ich hatte aus dem Buche gelernt, förmlich mitzufühlen, was in jedem Maschinorgan vor sich geht, wie ein Turner bei seinen Übungen fühlt, wie seine Glieder gedehnt, gedrückt, gebogen werden; die Maschine war mir ein lebendes Wesen geworden, das ich ganz verstand und mit dem ich mich eins fühlte.

Erst dann ging ich wieder an meinen Motor und hatte nach kurzer Zeit das schöne Gefühl, dass alles klappen würde.»⁸

Wesentliche Voraussetzung für solche technisch-wissenschaftliche Wirksamkeit waren Bachs organisatorische Fähigkeiten, denen die TH Stuttgart zwei weithin anerkannte Forschungsstätten verdankte: die Materialprüfungsanstalt und das Ingenieurlaboratorium.

Nach Vorgängen an den Schulen in München, Wien, Berlin und Zürich konnte Bach 1884, im Jahr der ersten Konferenz zur Vereinbarung einheitlicher Prüfungsmethoden für Bau- und Konstruktionsmaterialien in München,⁹ die Stuttgarter Materialprüfungsanstalt eröffnen gemäss ihrer Bestimmung, den «Interessen der Industrie, wie auch denjenigen des Unterrichts» zu dienen.¹⁰

Die Untersuchungen umfassten alle Konstruktionsmaterialien, «welche für den Hochbau, den Brücken-, Strassen-, Eisenbahn- und Wasserbau sowie für den Maschinenbau in seinen verschiedenen Zweigen in Betracht kommen», also alle Materialien des Bau- und Maschinenwesens.¹¹

Einen Grossteil der anfallenden Versuchskosten konnte die Material-

prüfungsanstalt durch Untersuchungsgebühren decken. Weitere Gelder erhielt sie beispielsweise für Untersuchungen über die Widerstandsfähigkeit von Kesselwandungen ab den 90er Jahren von Vereinen und Privaten aus ganz Deutschland, vom württembergischen Innenministerium, vom Verein deutscher Ingenieure, vom Verband deutscher Walzwerke, vom Verband der Dampfkesselüberwachungsvereine. Für Versuche über die Widerstandsfähigkeit von Dampfkolben stellte der Verein deutscher Ingenieure kurz nach der Jahrhundertwende ebenfalls Mittel zur Verfügung. Arbeiten über den zweckmässigen Wasserzusatz bei der Betonherstellung wurden finanziell unterstützt vom Innenministerium, vor allem aber von den Interessenten der Zement- und Betonindustrie.¹²

Diese Beispiele zeigen nicht nur, welche technischen Probleme um die Jahrhundertwende experimentelle Untersuchungen notwendig machten; sie zeigen auch die Wertschätzung, die Industrie und Behörden der Stuttgarter Materialprüfungsanstalt und ihrem Leiter Bach entgegenbrachten.

Zu dieser Wertschätzung trat die Bedeutung, die man im Stuttgarter Landtag der Technischen Hochschule als ganzer im industriellen Konkurrenzkampf mit anderen Staaten beimass.¹³ Und all dies zusammen bewirkte, dass 1903 die Mittel zum Neubau der Materialprüfungsanstalt bewilligt wurden und dass 1906 im neuen grosszügig ausgestatteten Gebäude die Arbeiten in vermehrtem Umfang fortgeführt werden konnten.¹⁴

Laufend erweiterte Bach durch seine Untersuchungen die wissenschaftlichen Erkenntnisse auf dem Gebiete der Elastizitäts- und Festigkeitslehre und machte die Ergebnisse in einer Vielzahl von Aufsätzen und Forschungsberichten und in den jeweils neuesten Auflagen seiner Bücher über «Maschinenelemente» und «Elastizität und Festigkeit» der Fachwelt zugänglich.¹⁵

Er widmete sich, wie bereits erwähnt, der Untersuchung aller im Bau- und Maschinenwesen verwendeten Materialien. Er untersuchte Schweis-, Löt- und Nietverbindungen und prüfte den Einfluss der Formgebung,

zum Beispiel die Wirkung scharfer Übergänge, auf die Widerstandsfähigkeit von Bauteilen.¹⁶

Die Forderungen aus dem Kraftmaschinenbau nach besserer Wärmenutzung stellten das Materialprüfungswesen vor Aufgaben, denen Bach ebenfalls nachging: Im «Zeitalter des überhitzten Dampfes» und der «rasch weiter schreitenden Entwicklung der Verbrennungsmotoren» erachtete er es für notwendig, auch mit den Festigkeitseigenschaften bei höheren Temperaturen und mit dem Einfluss der Belastungsdauer vertraut zu sein.¹⁷

Gleich zu Beginn seiner Lehr- und Forschungstätigkeit hatte er versucht, «mehr Ordnung in die grosse Masse der zulässigen Belastungen zu bringen»¹⁸, indem er, gestützt auf die Dauerfestigkeitsversuche von August Wöhler¹⁹, drei Hauptbelastungsfälle (ruhend, schwellend, wechselnd) unterschied und die jeweils zulässigen Beanspruchungen wie 3:2:1 zueinander ins Verhältnis setzte. In seinem Nachruf heisst es dazu: «So entstand die berühmte *Bachsche Belastungstafel*, ganz gegen den Willen ihres Urhebers meist viel zu schematisch angewandt.»²⁰

Im folgenden soll nicht die Rede sein von einzelnen Untersuchungen, auch nicht von Bachs Einfluss auf das gesamte Fachgebiet durch seine Aktivitäten in Gremien wie dem Kuratorium der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt, dem Deutschen Eisen-Beton-Ausschuss, dem Ausschuss des Vereines deutscher Brücken- und Eisenbau-Fabriken, dem württembergischen Dampfkessel-Revisions-Verein, dem Vorstand des Vereines deutscher Ingenieure und des württembergischen Bezirksvereins, dem Internationalen Verband der Dampfkessel-Überwachungsvereine oder wie dem Deutschen Verband für die Materialprüfungen der Technik.²¹

Vielmehr soll es um die Ziele des Hochschullehrers Bach gehen, um seine Untersuchungs- und Darstellungsprinzipien und um sein Wissenschaftsverständnis.

«Heranbildung selbständig denkender und selbständig schaffender Ingenieure auf Grund dessen, was die Tatsachen und das Leben lehren»:

So umriss Bach seine Aufgabe als Hochschullehrer. Klarheit über Tatsachen und Voraussetzungen wollte er schaffen, denn «der Ingenieur muss bei der grossen Verantwortlichkeit, die er nicht bloss in wirtschaftlicher, sondern auch in strafrechtlicher Hinsicht hat, ein ausreichendes Urteil darüber haben, wie sicher oder unsicher die Grundlagen seiner Rechnungen und damit auch diejenigen seiner Arbeiten sind.»²²

Angesichts der «unmittelbaren und oft recht weitgehenden Verantwortlichkeit, welche die ausführende Technik zu tragen hat», hob Bach hervor: «Jeder Verstoß, den der Ingenieur gegen die Wirklichkeit begeht, pflegt bei der Ausführung seines Werkes als Fehler an das Tageslicht zu treten und in irgendeiner Form Strafe nach sich zu ziehen.»²³

Um möglichst wirklichkeitsnahes Tatsachenwissen vermitteln zu können, wählte Bach, wie die Worte Diesels bereits vermuten lassen, den Weg der anschaulichen Darstellung und der Verwendung anschaulicher Begriffe.

Deshalb vermied er beispielsweise den Begriff des Elastizitätsmoduls:

«Selbst wenn man von der verbreiteten und angesichts des wirklichen Verhaltens der Stoffe höchst bedenklichen Begriffsbestimmung absieht, nach der unter Elastizitätsmodul diejenige Kraft zu verstehen ist, welche ein Prisma vom Querschnitt 1 cm seine eigene Länge ausdehnen würde, falls dies ohne Überschreitung der Elastizitätsgrenze möglich wäre, so erweist sich der Umstand, dass der als Mass der Elastizität für die Betrachtungen und Rechnungen geschaffene Elastizitätsmodul *umgekehrt* proportional der Elastizität ist, als ausserordentlich störend. Durch Einführung des *Dehnungskoeffizienten*, dessen Grösse in *geradem* Verhältnisse zur Formänderung steht, lässt sich dieser Übelstand auf einfache Weise beseitigen.»²⁴

Spannung σ und Dehnung ϵ waren bei Bach also nicht durch den Elastizitätsmodul E miteinander verknüpft ($\sigma = E \cdot \epsilon$), sondern durch den Dehnungskoeffizienten α in der Beziehung $\epsilon = \alpha \cdot \sigma$. Analog verfuhr Bach mit dem Schubmodul, indem er den Schubkoeffizienten einführte.

Die Rolle der Mathematik in Bachs erfahrungswissenschaftlichem Ansatz wird deutlich in seiner Kritik am Hookeschen Gesetz:

«Ausgehend von dem Satze der Proportionalität zwischen Dehnung und Spannung, den man als allgemein gültiges Gesetz für das Material annahm und diese Annahme der heranwachsenden Jugend durch Worte, wie «Hookesches Gesetz: *ut tensio sic vis*» als ein Naturgesetz hinstellte, während es in Wirklichkeit nur eine Minderzahl von Stoffen ist, für welche diese Proportionalität gilt», – ausgehend also von diesem Gesetz sei die Elastizitäts- und Festigkeitslehre mathematisch entwickelt worden. Und er, Bach, war bestrebt, «diesem für die ausführende Technik, namentlich für die Industrie, unhaltbaren Zustand ein Ende zu machen.»

1917 glaubte er, «dass das zu einem grossen Teile gelungen ist und dass man heute das Material, mit dem sich die Elastizitäts- und Festigkeitslehre befasst, mindestens ebenso als eine Hauptsache ansieht, wie die Entwicklung der mathematischen und zeichnerischen Methoden.»²⁵

Einerseits wollte Bach die Elastizitätslehre, die «vorher eine fast reine Geisteswissenschaft» gewesen sei, zu einer «Erfahrungswissenschaft» machen;²⁶ andererseits wollte er aber auch, dass der auf Erfahrung – oder vielleicht eher: Routine – gestützten «Methode der Verhältniszahlen der Boden entzogen werde.»²⁷

Welche Auffassung von Wissenschaft vertrat also Bach? Wie sah er das Verhältnis zwischen Theorie und Praxis? Zwischen den «wissenschaftlichen Grundlagen eines Gebietes», wie er sie verstand, und der Praxis, den «tatsächlichen Verhältnissen» konnte für ihn kein Gegensatz bestehen. Denn Wissenschaft war für ihn «die systematische Anordnung aller Erkenntnisse, die wir über einen Gegenstand besitzen.»²⁸

Dieses pragmatische Wissenschaftsverständnis spricht beispielsweise aus seinen Äusserungen zur «Gesetzmässigkeit der elastischen Dehnungen»: Aufgrund langjähriger Versuche war er, wie schon erwähnt, zu der Erkenntnis gekommen, dass das Hookesche Gesetz $\epsilon = \alpha \cdot \sigma$ «nur für eine Minderzahl der Baustoffe des Inge-

nieurwesens als zutreffend angesehen werden kann.» Das «thatsächliche Verhalten der Stoffe»²⁹ sah er besser beschrieben durch die Beziehung $\epsilon = \alpha \cdot \sigma^m$, die als Potenzgesetz von Bach und Schüle, wenn auch nicht ohne Kritik, in die Fachliteratur eingegangen ist.³⁰

In den Augen Bachs war diese Beziehung «nichts weiter» als «eine Gesetzmässigkeit, durch welche sich die bis dahin über den Zusammenhang zwischen Dehnungen und Spannungen vorliegenden Versuchsergebnisse innerhalb gewisser Grenzen mit Ausnahme von Marmor und Kautschuk befriedigend zum Ausdruck bringen liessen.»

Als Sonderfall (Exponent $m = 1$) war das Hooksche Gesetz in dieser Beziehung enthalten, die Bach insofern als das «allgemeinere Gesetz der elastischen Dehnung» bezeichnen konnte. «Aber», so Bach, «weder das eine noch das andere ‚Gesetz‘ kann verlangen, mehr zu sein als eine *angenommene*, für eine mehr oder minder grosse Anzahl von Versuchsergebnissen ausreichend passende Gesetzmässigkeit, deren Gültigkeit demgemäss beschränkt ist.»

Also auch die Gültigkeit der allgemeineren Beziehung $\epsilon = \alpha \cdot \sigma^m$ war beschränkt, und zwar «auf das Gebiet, welches durch das vorgelegte Versuchsmaterial gedeckt wird, und auf solche Verhältnisse, welche Spannungen liefern, die innerhalb der für die ausübende Technik in Betracht kommenden Grenzen liegen.» Gewählt wurde die erweiterte Gesetzmässigkeit zur «Befriedigung der Bedürfnisse des Ingenieurwesens», denen «das aus der Physik übernommene «Hookesche Gesetz» vielfach nicht mehr zu genügen vermochte.»³¹

Soviel zur Illustration eines Wissenschaftsansatzes, der auf Beschreibung und Ordnung phänomenologischer, durch Messreihen ermittelter Befunde abzielt und somit Wissenschaft auffasst «als systematische Anordnung aller Erkenntnisse, die wir über einen Gegenstand besitzen.»³² Dabei strebte Bach «möglichste Einfachheit des rechnerischen Apparates» an,³³ was bei der Besprechung seiner Werke neben der Anschaulichkeit lobend erwähnt wurde.³⁴ Vom tatsächlichen Verhalten der Materialien, wie er es nennt, ging er aus mit dem Ziel, praktisch verwertbares Tatsachenwissen zu schaffen.

In diesem Sinne kann man Bachs pragmatisches Wissenschaftsverständnis auch positivistisch nennen. Denn der erkenntnistheoretische Positivismus bemisst den Wert wissenschaftlicher Aussagen nach dem Grad ihrer Übereinstimmung mit den beobachteten Phänomenen und ihren Beziehungen untereinander und sieht den Endzweck wissenschaftlicher Erkenntnis in der rationalen Voraussesbarkeit und Steuerbarkeit künftiger Ereignisse.³⁵

Mit Hilfe der neuzeitlichen Naturwissenschaft, also mit Hilfe von Verfügungswissen über die Natur³⁶, gelang es dem Menschen, sich die Natur mittels ihrer eigenen Gesetze dienst-

bar zu machen, aus seiner unmittelbaren Naturabhängigkeit herauszutreten und sich in Form einer technisierten Lebenswelt eine «Zweite Natur»³⁷ zu schaffen. Damit ging er neue Abhängigkeitsverhältnisse ein: Die Unbilden der Natur waren gemildert; dafür wurden die Gefährdungen von Leib und Leben durch die in alle Lebensbereiche eindringende Technik immer spürbarer. Das Problem der technischen Sicherheit rückte ins Bewusstsein.³⁸

Im Rahmen der Sicherheitstechnik, im Materialprüfungswesen, im Forschungsansatz eines Carl Bach fand der positivistische Wahlspruch «Wissen, um vorherzusehen, um vorzu-

sorgen»³⁹ einen sinnfälligen Ausdruck.

Dass bei Bach dieses positivistische Wissenschaftsverständnis eine besonders pragmatische, holzschnittartige Ausprägung bekommen hatte, mag zu der Beurteilung geführt haben, wie sie ihm 1931 in seinem Nachruf zuteil wurde:

«Seine Erfolge verdankte er nicht geistreichen Einfällen, sondern gründlicher Arbeit und Ausdauer sowie dem Mut, für seine von den herrschenden Meinungen oft abweichende Überzeugung einzutreten. Er war eine Kampfnatur von überragender Arbeitskraft und unbeugsamem Zielbewusstsein.»⁴⁰

Literatur:

¹ Zu Bachs Leben und Werk siehe Arnold Keller: *Bach*, in: *Neue Deutsche Biographie*, Bd. 1, Berlin 1953, S. 491–492; Heinz Balmer: *Ingenieur in zwei Jahrhunderten, Zur Erinnerung an den grossen Maschineningenieur Carl Bach (1847 bis 1931)*, in: *VDI-Nachrichten* 23 (1969), Nr. 47, S. 35; Carl Bach: *Mein Lebensweg und meine Tätigkeit*, Berlin 1926

² Dazu z.B. Hans-Joachim Braun: *Methodenprobleme der Ingenieurwissenschaft, 1850 bis 1900*, in: *Technikgeschichte* 44 (1977), S. 1–18, hier 9–11

³ Dazu Näheres bei Gerhard Zweckbronner: *Die Ingenieurwissenschaften im 19. Jahrhundert*, in: Johannes H. Voigt (Hg.): *Festschrift zum 150jährigen Bestehen der Universität Stuttgart, Beiträge zur Geschichte der Universität, Stuttgart 1979 (Die Universität Stuttgart, Bd. 2)*, S. 189–222, hier 206–214

⁴ *Hauptstaatsarchiv Stuttgart, E 14, Bü 1611, Minister des Kirchen- und Schulwesens an den König, 19.9.1893*

⁵ Siehe dazu Kurt Mauel: *Die Aufnahme naturwissenschaftlicher Erkenntnisse und Methoden durch die Ingenieure im 19. Jahrhundert*, in: Wilhelm Treue, Kurt Mauel (Hg.): *Naturwissenschaft, Technik und Wirtschaft im 19. Jahrhundert, Tl. 1, Göttingen 1976 (Studien zu Naturwissenschaft, Technik und Wirtschaft im neunzehnten Jahrhundert, Bd. 2)*, S. 330–350, hier 331

⁶ Ferdinand Redtenbacher: *Resultate für den Maschinenbau, Heidelberg 1869 (5. Aufl.)*, S. VIII (Vorrede zur 1. Aufl. 1848). Ähnliche Aussagen auch bei Franz Reuleaux: *Constructionslehre für den Maschinenbau, Bd. 1, Die Construction der Maschinenteile, Braunschweig 1862*, S. 116–118

⁷ Dazu auch R. Baumann: *Das Materialprüfungswesen und die Erweiterung der Erkenntnisse auf dem Gebiet der Elastizität und Festigkeit in Deutschland während der letzten vier Jahrzehnte*, in: *Beiträge zur Geschichte der Technik und Industrie* 4 (1912), S. 147–195, hier 155–157

⁸ Zit. nach Baumann, wie Anm. 7, S. 156–157

⁹ Ebd. S. 154; siehe auch Gernot Krankenhagen, Horst Laube: *Werkstoffprüfung, von Explosionen, Brüchen und Prüfungen*, Reinbek 1983, S. 74

¹⁰ *Jahresbericht des Polytechnikums Stuttgart 1883/84*, S. 8

¹¹ *Verhandlungen der württ. Kammer der Abgeordneten, Beilagen-Bd. 6, Heft 14, 24.4.1903, S. 15; siehe ausserdem Jahresbericht des Polytechnikums Stuttgart 1883/84, S. 8–9 und die folgenden Jahresberichte, jeweils unter der Rubrik «Materialprüfungsanstalt»*

¹² *Verhandlungen der württ. Kammer der Abgeordneten, Beilagen-Bd. 6, Heft 14, 24.4.1903, S. 16*

¹³ *Verhandlungen der württ. Kammer der Abgeordneten, Protokoll-Bd. 2, 26.6.1899, S. 1437*

¹⁴ *Jahresbericht der Technischen Hochschule Stuttgart 1906/07, Anhang: Die Materialprüfungsanstalt der K. Technischen Hochschule Stuttgart*, S. 38–39

¹⁵ Siehe dazu die Zusammenstellung der literarischen Arbeiten Bachs in: Carl Bach: *Mein Lebensweg und meine Tätigkeit*, Berlin 1926, S. 91–108

¹⁶ Dazu und zum folgenden siehe Baumann, wie Anm. 7, S. 158–195; Manfred Busch: *Der Aufbau der Materialprüfungsanstalt*, in: Wolfgang Leiner (Hg.): *Beiträge zur Technikgeschichte Württembergs, Industrialisierung in Württemberg und der Einfluss des Württembergischen Ingenieurvereins im VDI, Stuttgart 1978*, S. 87–102

¹⁷ Bach, wie Anm. 15, S. 56 (Vorwort 1903 zur 9. Aufl. seines Werkes über die «Maschinenelemente»)

¹⁸ Ebd. S. 43 (Vorwort 1880 zur 1. Aufl. seiner «Maschinenelemente»)

¹⁹ Zu Wöhler siehe R. Blaum: *August Wöhler (1819–1914)*, in: *Beiträge zur Geschichte der Technik und Industrie* 8 (1918), S. 35–55

²⁰ *Nachruf auf Carl Bach in: Zeitschrift des Vereines deutscher Ingenieure* 75 (1931), S. 1545–1547, hier 1546

²¹ Bach, wie Anm. 15, S. 34–35

²² Ebd. S. 29

²³ Carl Bach, R. Baumann: *Elastizität und Festigkeit*, Berlin 1924 (9. Aufl.), S. IX (Vorwort 1898 von Bach zur 3. Aufl.)

²⁴ Ebd. S. III (Vorwort 1889 von Bach zur 1. Aufl.)

²⁵ Ebd. S. XIII–XIV (Vorwort 1917 von Bach zur 7. Aufl.)

²⁶ Bach, wie Anm. 15, S. 32

²⁷ Ebd. S. 44 (Vorwort 1880 zur 1. Aufl. seiner «Maschinenelemente»)

²⁸ Ebd. S. 29

²⁹ Carl Bach: *Zur Gesetzmässigkeit der elastischen Dehnungen*, in: *Zeitschrift des Vereines deutscher Ingenieure* 46 (1902), S. 25–26, hier 25

³⁰ Siehe beispielsweise H. Dubbel: *Taschenbuch für den Maschinenbau, Bd. 1, Berlin 1935 (6. Aufl.)*, S. 413. Kritik an dieser Beziehung übt z.B. Hans Lorenz: *Lehrbuch der Technischen Physik, Bd. 4, Technische Elastizitätslehre, München u. Berlin 1913*, S. 8

³¹ Bach, wie Anm. 29, S. 26, als Antwort auf Kritik von Kohlrausch und Grüneisen von der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt

³² Bach, wie Anm. 28

³³ Bach, wie Anm. 15, S. 44 (Vorwort 1880 zur 1. Auflage seiner «Maschinenelemente»)

³⁴ Z.B. *Besprechung «Elastizität und Festigkeit» in: Zeitschrift des Vereines deutscher Ingenieure* 33 (1889), S. 706–710, 731–735, besonders 706, 733–735

³⁵ Vgl. Auguste Comte: *Rede über den Geist des Positivismus (franz.-deutsche Ausg., Übers. u. Hg. Iring Fetscher)*, Hamburg 1956, S. 25–41, (franz. Original 1844). Den positivistischen Standpunkt vertrat z.B. auch August Föppl, Nachfolger Bauschingers als Vorstand des mechanisch-technischen Laboratoriums der TH München, in der Einleitung zu seinen: *Vorlesungen über Technische Mechanik, Bd. 1, Einführung in die Mechanik, Leipzig 1905 (3. Aufl.)*, S. 1–12, wo er sich vor allem auf Kirchhoff, Mach und Hertz stützte

³⁶ Zum Begriff «Verfügungswissen» siehe Jürgen Mittelstrass: *Das Wirken der Natur, Materialien zur Geschichte des Naturbegriffs*, in: Friedrich Rapp (Hg.): *Naturverständnis und Naturbeherrschung, Philosophiegeschichtliche Entwicklung und gegenwärtiger Kontext*, München 1981 (*Kritische Information* 102), S. 36–69, hier 37

³⁷ Zum Begriff «Zweite Natur» siehe Hans Lenk: *Zur Sozialphilosophie der Technik*, Frankfurt a.M. 1982 (*suhrkamp taschenbuch wissenschaft* 414), S. 249–296

³⁸ Dazu Krankenhagen, wie Anm. 9, S. 17–23, 65–68

³⁹ Dazu Comte, wie Anm. 35, S. 228 (*Anmerkungen des Herausgebers*)

⁴⁰ *Nachruf*, wie Anm. 20, S. 1547