Sitzungsberichte der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften zu Berlin *99(2008), 181-200*

Heinrich Parthey

Theorie der Technikwissenschaften

1 Problemstellung

Technikwissenschaften entwickeln sich sowohl in Formen des theoretischen Denkens zum weiteren Erkenntnisfortschritt als auch in Formen von Tätigkeiten zur Gewinnung, Vermittlung und Anwendung technikwissenschaftlicher Erkenntnisse und in Formen ihrer sozialen Institutionalisierung. Auf der ersten Ebene entwickeln sich Technikwissenschaften in Form von Hypothesen. Auf der zweitgenannten Ebene lassen sich technikwissenschaftliche Forschungssituationen als Zusammenhänge zwischen Problem und Methode belegen.

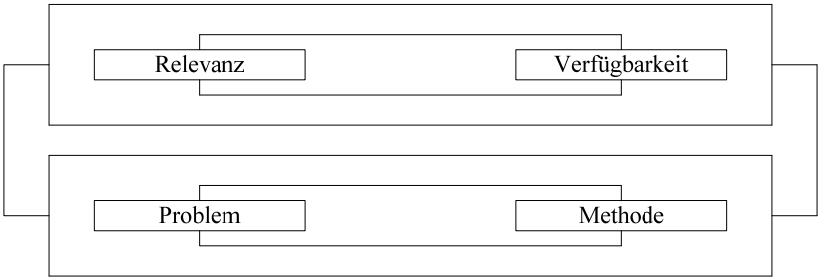
Eine Theorie der Technikwissenschaften sollte vor allem von der Analyse der technikwissenschaftlichen Forschungssituation und Studiensituation ausgehen (vgl. Parthey 2007).

In zunehmendem Maße beeinflussen Technik und Technikwissenschaften alle Bereiche des gesellschaftlichen Lebens. Mit fortschreitender Automatisierung tritt der Mensch immer mehr aus dem unmittelbaren Fertigungsprozess materieller Güter heraus und bereitet diesen Prozess als Entwickler von Verfahren, als Konstrukteur oder als Technologe vor. Er entwickelt, betreibt und kontrolliert Maschinen und Maschinensysteme, hält diese instand und bringt so in die technische Tätigkeit in immer umfangreicherem Maße geistig schöpferische Potenzen ein.

Kreative Wissenschaftler müssen sowohl ein Gefühl für wirklich entscheidende Fragen als auch das richtige Gespür dafür haben, inwieweit es beim gegebenen Stand der Forschungstechnologie überhaupt möglich sein wird, die Probleme mit dem zur Verfügung stehenden oder zu entwickelnden Instrumentarium wirklich bewältigen zu können. Demnach können unter einer Forschungssituation solche Zusammenhänge zwischen Problemfeldern und Methodengefüge verstanden werden, die es dem Wissenschaftler gestatten, die Problemfelder mittels tatsächlicher Verfügbarkeit an Wissen und Forschungstechnik methodisch zu bearbeiten. Die Bewertung der Probleme nach dem Beitrag ihrer möglichen Lösung sowohl für den Erkenntnisfort-

schritt als auch für die Lösung von gesellschaftlichen Praxisproblemen, reguliert letztlich die tatsächliche Verfügbarkeit an Wissen und gerätemäßigen Voraussetzungen zur Problembearbeitung (siehe Abbildung 1). Zu den Besonderheiten der technikwissenschaftlichen Forschungssituation gehören deshalb die den Technikwissenschaften eigenen Problemtypen und die den Technikwissenschaften eigene forschungstechnische Situation. Im Weiteren ist im Sinne der wissenschaftlichen Integrität technikwissenschaftlicher Forschungssituationen sowohl eine Angemessenheit klassifikatorischer, komparativer und messender Methoden zur Problembearbeitung als auch eine Disziplinierung der Interdisziplinarität von Problem und Methode zu fordern.

Abbildung 1 Methodologische Struktur der Forschungssituation



Quelle: Parthey 2006, S. 78

In analoger Art und Weise kann die Spezifikation der technikwissenschaftlichen Studiensituation diskutiert werden, wenn neben der technikwissenschaftliche Fach- und Lehrkompetenz des Dozenten und dem Vorwissen der Studierenden vor allem die den Technikwissenschaften eigenen Typen von Lehrveranstaltungen und Rahmenbedingungen für den Studienerfolg berücksichtigt werden.

2 Besonderheiten technikwissenschaftlicher Forschungssituation

Unsere Überlegungen begründen sich auf Besonderheiten der wissenschaftlichen Tätigkeit, insbesondere auf denen der Forschung, und gehen deshalb von folgenden Prämissen aus:

- *Erstens* ist Wissenschaft ein auf Wissenszuwachs gerichtetes methodisches Problemlösen, das schriftlich publiziert werden muss.
- *Zweitens* bezieht sich dieser neue Wissenszuwachs immer auf den vorher methodisch erreichten Wissenszuwachs, der in der Publikation durch Zitation auszuweisen ist. Ein Anspruch auf Neues kann nur durch Zitation einschlägiger Publikationen des bisherigen auf Wissenszuwachs gerichteten methodischen Problemlösens dokumentiert werden.

Probleme sind gedankliche Gebilde, die sich stets in unserem Bewusstsein bilden, wenn wir auf der Grundlage unseres bisherigen Wissens weiterführende Fragen stellen, die zwar auf der Grundlage des bisherigen Wissens plausibel gestellt, aber auf der Grundlage dieses bisherigen Wissens nicht beantwortet werden können. Erkenntnisprobleme sind der ideelle Ausgangspunkt einer jeden Forschung. Beim wissenschaftlichen Problem sind die Fragen durch das vorhandene wissenschaftliche Wissen begründet, aber nicht beantwortet. Jedes Problem ist ein Wissen über Situationen in der Tätigkeit, in denen das verfügbare Wissen nicht genügt, Ziele erreichen zu können, und deshalb entsprechend zu erweitern ist. Im engeren Sinne wird die Kenntnis eines derartigen Wissensmangels nur dann Problem genannt, wenn das fehlende Wissen nirgends verfügbar ist, sondern neu gewonnen werden muss. Ein Problem löst sich in dem Maße auf, wie neues Wissen als begründete Informationen die Fragen, die ein wissenschaftliches Problem repräsentieren, beantwortet.

Auch in Lehrbüchern der Wissenschaftstheorie der letzten Jahrzehnte (vgl. z.B. Balzer 1997, S. 20-23) wird der Grundbegriff „Problem“ nach wie vor stiefmütterlich behandelt. Im Unterschied dazu ist das Problem bereits bei antiken Philosophen wie Plato (vgl. Plato 1914, S. 81) und Aristoteles (vgl. Aristoteles 1960, S. 21, 54) ein wichtiger Begriff, wo er ein Wissen über ein Nichtwissen bezeichnet. Nach Aristoteles müssen erst alle Schwierigkeiten im Problem in Betracht gezogen werden, weil man sonst nicht weiß, was man sucht und ob das Gesuchte jeweils schon gefunden wurde oder nicht. Aristoteles entwickelte dafür eigens eine Lehre von den Schwierigkeiten, eine Aporetik. In der neueren Philosophie haben sich unter anderen René Descartes, Gottfried Wilhelm Leibniz und Immanuel Kant mit einer Problemtheorie beschäftigt. Descartes forderte wie Aristoteles, ein Problem selbst vollkommen einzusehen, wenngleich man seine Lösung noch nicht weiß; vor allem muss man sich hüten, nicht mehr oder nichts Bestimmteres, als gegeben ist, vorauszusetzen (vgl. Descartes 1972). Leibniz zufolge

sind technisches Erfinden und Gewinnen neuer Erkenntnisse analoge Seiten einer ars inveniendi: dem kombinierenden Teil, der die Probleme ausfindig macht und den Plan zu ihrer Lösung entwirft, folgt der analytische Teil, der die Lösung bringt (vgl. Leibniz 1972, S. 1980).

Unter einem Problem versteht Leibniz „die Fragen, die einen Teil des Satzes unausgefüllt lassen“ (Leibniz 1961, S. 255). Für Kant sind „Probleme demonstrable, einer Weisung bedürftige Sätze, oder solche, die eine Handlung aussagen, deren Art der Ausführung nicht unmittelbar gewiss ist. Zum Problem gehört erstens die Quästition, die das enthält, was geleistet werden soll, zweitens die Resolution, die die Art und Weise enthält, wie das zu Leistende könne ausgeführt werden, und drittens die Demonstration, daß, wenn ich so werde verfahren haben, das Geforderte geschehen werde“ (Kant 1923, S. 112). Im 20. Jh. sind verschiedene Ansätze einer Problemtheorie vorgestellt worden. Waren es bis in die fünfziger Jahre unter anderem Untersuchungen zum Problembewusstsein (vgl. Hartmann 1921, S. 70ff.; Wein 1937) und Analysen der Strukturformen der Probleme (vgl. Hartkopf 1958), so häufen sich seit den sechziger Jahren Arbeiten zu Struktur und Funktion des Problems in der Wissenschaft (vgl. Bunge 1967; Kleiner 1985; Laudan 1977; Nickles 1981; Parthey/Vogel/Wächter 1966; Popper 1972; Sharikow 1965, 1969; Weiß 1979), in denen Forschung zunehmend als Erkennen von Problemsituationen und Bearbeiten sowie Lösen von Problemen methodologisch modelliert wird. Für Kant besteht der Erkenntnisfortschritt im wesentlichen in einem Fortschreiten von Problemen zu tieferen Problemen, denn „wir mögen es anfangen, wie wir wollen, eine jede nach Erfahrungsgrundsätzen gegebene Antwort [gebiert] immer eine neue Frage […], die eben sowohl beantwortet sein will“ (Kant 1920, S. 123). Bei einem wissenschaftlichen Erkenntnisproblem liegen die Problemformulierungen in einem solchen Reifegrad vor, dass einerseits alle Bezüge auf das bisher vorhandene Wissen nachweisbar nicht ausreichen, um ein wissenschaftliches Erkenntnisziel zu erreichen, und dass andererseits der Problemformulierung ein methodisches Vorgehen zur Gewinnung des fehlenden Wissens zugeordnet werden kann. In jedem Fall erfordert die Lösung eines Forschungsproblems die methodische Gewinnung von Wissen, und zwar so lange, bis die im Problem enthaltenen Fragen beantwortet sind, damit sich die für das gestellte Problem charakteristische Verbindung von Fragen und Aussagen auflöst.

Technische Tätigkeiten führen zu technischen Problemen, die je nach Systemgröße offensichtlich dann auftreten, wenn das technische Wissen

nicht ausreicht, um ein bestimmtes Ziel technischer Tätigkeit zu erreichen. Aufgaben liegen dann vor, wenn die Methoden und Verfahren zur Erreichung technischer Zielstellungen eindeutig bekannt sind. Während die im Problem enthaltenen Aussagen nicht alle Bedingungen angeben, die zur Zielerreichung notwendig sind, erfassen die in Aufgaben enthaltenen Aussagen alle Bedingungen zur Zielerreichung

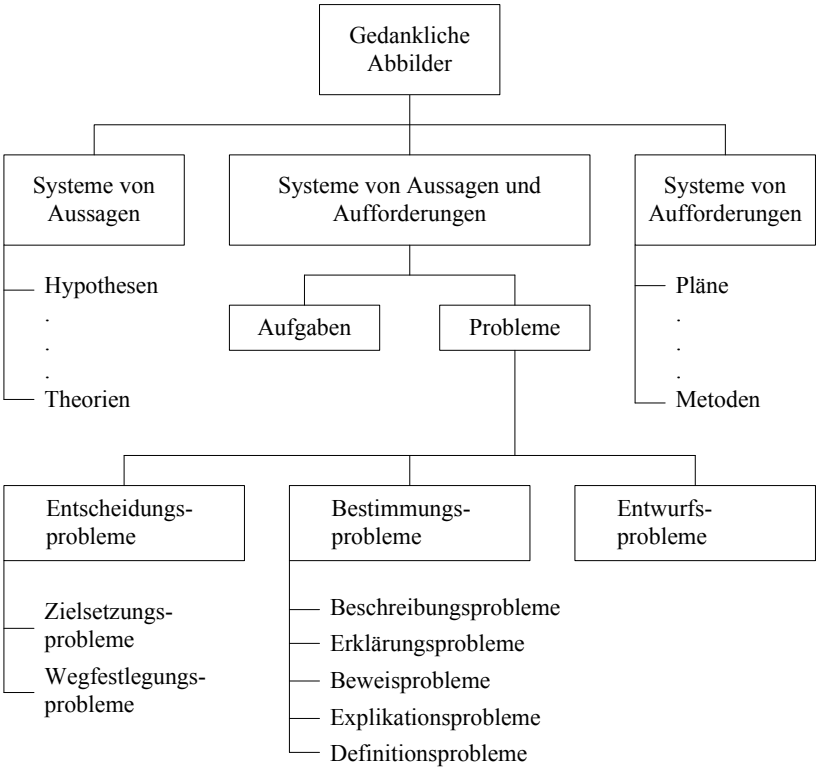
Beim wissenschaftlichen Problem sind die Fragen durch das vorhandene Wissen begründet, aber nicht beantwortet. Ein Problem löst sich in dem Maße auf, wie neues Wissen als begründete Informationen die Fragen, die ein wissenschaftliches Problem repräsentieren, beantwortet. Zwischen dem Auftreten einer Problemsituation, die von dem Forscher im Problem erfasst und dargestellt wird, und dem Gegebensein einer Forschungssituation besteht ein wichtiger Unterschied. Zu den Besonderheiten der technikwissenschaftlichen Forschungssituation gehören deshalb die den Technikwissenschaften eigenen Problemtypen und die den Technikwissenschaften eigene forschungstechnische Situation.

2.1 Problemtypen in den Technikwissenschaften

Forschungsprobleme als wissenschaftlich formulierte Erkenntnisprobleme sind, aber nicht jedes wissenschaftlich formulierte Problem etwa beim Entwickeln und Betreiben von Technik enthält die Zielstellung, neue wissenschaftliche Erkenntnisse zu gewinnen. Nur in dem Fall, dass eine wissenschaftlich formulierte Problemstellung das Ziel enthält, neue wissenschaftliche Erkenntnisse zu gewinnen, liegt ein Forschungsproblem vor. Forschungsprobleme können wiederum je nach der in ihnen enthaltenen Zielsetzung in zwei Haupttypen unterteilt werden: erstens Bestimmungsprobleme zur Gewinnung neuer wissenschaftlicher Erkenntnisse in Form von Aussagen bzw. Aussagesystemen; zweitens Entscheidungsprobleme zur Beherrschung des methodischen Vorgehens in der Forschung in der Form von neuen methodischen Regeln und Prinzipien und deren Systeme (Methoden, Methodiken, Programme) – siehe Abbildung 2.

Wenn kein Algorithmus bekannt ist, aber existiert und entdeckt werden kann, dann liegen Probleme des erstgenannten Typs vor. Existiert ein Algorithmus nicht, kann er auch nicht entdeckt, sondern höchstens erfunden werden. Wird das Problem auf diese Weise gestellt, dann liegen Entwurfsprobleme als ein dritter Problemtyp vor, dem in den Technikwissenschaften eine besondere Rolle zukommt.

Abbildung 2: Aufgliederung gedanklicher Gebilde



Quelle: Nach Parthey/Schlottman 1986, S. 50

Auf der Suche nach Problemlösungen kommt dem Entdecken von Algorithmen eine wesentliche Bedeutung zu. Können Algorithmen nicht abgehoben werden, so entsteht die Problemsituation, Algorithmen zu entwerfen.

In der Kopplung mit Bestimmungs- und Entscheidungsproblemen treten Entwurfsprobleme in allen Teilstrecken der technischen Produktionsverarbeitung, also der Verfahrensentwicklung, der konstruktiven Entwicklung, der technologischen Entwicklung und teilweise auch beim Betreiben von Technik auf (vgl. Parthey/Schlottmann 1986).

Ein Entwurfsproblem liegt immer dann vor, wenn bekannten Funktionen funktionserfüllende Strukturen zuzuordnen sind. Am sinnfälligsten tritt dieser Problemtyp im konstruktiven Prozess hervor, wenn zu einer technischen Funktion ein entsprechendes Element gesucht wird. Als Denkmodell erweist sich hierbei die Blackbox-Darstellung der Systemtheorie für zweckmäßig. Abhängig vom Fachgebiet (Maschinenbau, Elektrotechnik usw.) werden in der Regel mehrere mögliche Inhalte des black-box, d. h. mehrere bekannte Strukturen als funktionserfüllend bezüglich der Eingangs- und Ausgangsgrößen des Systems angebbar sein. Diese Mehrdeutigkeit mit dem Rückgriff auf bekannte Strukturen reduziert das Entwurfsproblem auf ein Entscheidungsproblem.

Ein echtes Entwurfsproblem liegt dann vor, wenn im technischen Abbildbereich keine funktionserfüllende Struktur bekannt ist. Eine direkte Lösung des Entwurfsproblems lässt sich durch den Obergang auf analoge Strukturen im natürlichen Bereich der objektiven Realität (zum Beispiel Lösung technischer Informationsprobleme durch Ausnutzung der Gen-Verschlüsselung in Eiweißstrukturen) erzielen. Derartige Lösungen von Entwurfsproblemen sind bei entsprechendem Erkenntnisvorlauf der Naturwissenschaften möglich.

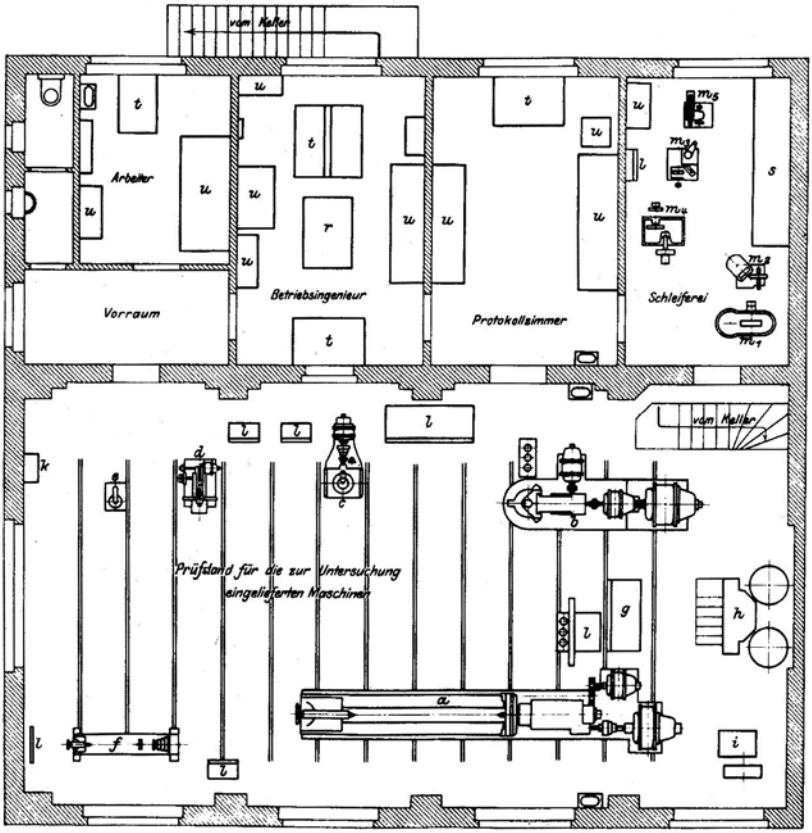
Beim heutigen Entwicklungstempo und Niveau der Technik wird die Lösung des Entwurfsproblems zunehmend abstrakt vollzogen. Der Intuition und dem Zufall gedanklicher Kombinationen ist dabei ein erheblicher zahlenmäßiger Anteil der Lösung von Entwurfsproblemen zuzuschreiben. In dem Maß, in welchem Gesetzmäßigkeiten des menschlichen Denkens erforscht sind, werden auch für das Entwurfsproblem Algorithmen angebbar sein.

2.2 Forschungstechnische Situation in den Technikwissenschaften

Bereits 1893 hatte Ernst Hartig (seit 1865 Professor am Königlichen Polytechnikum beziehungsweise an der Technischen Hochschule Dresden) den Einsatz des Experiments in der Forschung und Lehre der Technikwissenschaft gefordert: „Die Industrie erhält zuverlässige Informationen von technischem und wirtschaftlichem Wert und von gleichmäßiger Genauigkeit, die Lehranstalt gewinnt eine erwünschte Fühlung mit dem praktischen Leben, für das sie ihre Schüler heranzubilden gedenkt, und eine erwünschte Gelegenheit, sie in den Methoden des technischen Experiments zu unterweisen: ich habe gefunden, dass diejenigen Studierenden der mechanischen Technik, welche eine Versuchskampagne solcher Art in einer größeren Fabrik mit-

machten […] von einer Überschätzung der Theorie, die unseren Schülern so häufig vorgeworfen wird, zurückkamen und jene gleichmäßige Wertschätzung der intellektuellen und der empirischen Quellen unserer Erkenntnis zu erwerben wussten, welche den besonnenen und in allen Unternehmungen sicheren Leiter der modernen Fabriken charakterisiert“ (Hartig 1893, S. 304).

Abbildung 3: Grundriss technikwissenschaftliches Versuchsfeld



Quelle: Schlesinger 1912, S. 273

Versuchsfelder und Prüffelder für die zur Untersuchung eingelieferte Technik (zum Beispiel Maschinen) sowie entsprechende Bearbeitungsmittel (zum Beispiel eine Schleiferei) und ein Protokollraum sind Besonderheiten der technikwissenschaftlichen Forschungssituation (siehe Abbildung 3). So hob Georg Schlesinger (Professor an der Technischen Hochschule Berlin-Charlottenburg von 1904 bis 1933) 1915 in seiner Publikation „Forschung und Werkstatt" vor allem die Bedeutung genauer Messverfahren hervor: „Die Vielseitigkeit der Werkstattsanforderungen verhindert von vornherein die Schematisierung der Untersuchungsverfahren und zwingt den Versuchsansteller der Untersuchungsverfahren, sich von Fall zu Fall die vier Hauptgesetze jedes Messens:

- Wahl des richtigen Maßstabes (zum Beispiel mkg),
- Festsetzung des grundlegenden Verfahrens (zum Beispiel mechanisch),
- Herstellung der Meßgeräte (zum Beispiel Dynamometer),
  Durchbildung des Eichverfahrens (zum Beispiel Auswiegen)

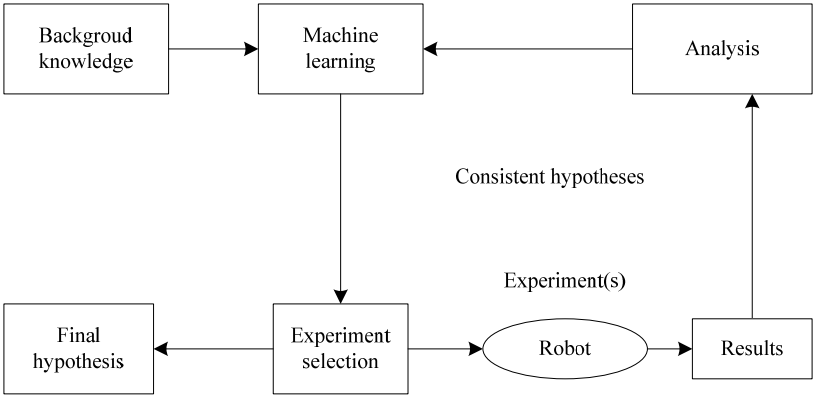
klar zu machen und die wechselnden Aufgaben mit möglichst einfachen, dem wechselnden Zweck gut angepaßten Mitteln zu lösen. Die Hauptschwierigkeit liegt aber bei allen Versuchen in der vollen Erkenntnis des erreichten Genauigkeitsgrades und der gemachten, oft unvermeidlichen Fehler, über deren Zulässigkeit und Berücksichtigung bei Aufstellung des Schlußergebnisses rücksichtslose Klarheit geschaffen werden muß" (Schlesinger 1915, S. 34).

3 Automatisierung experimenteller Forschungssituationen

Schon vor vier Jahrzehnten „zeichnet sich ab, daß durch die wissenschaftlich technische Revolution die Technik des Experimentierens in allen Wissenschaftszweigen grundsätzlich neue Möglichkeiten erhält. Die Automatisierung eröffnet der experimentellen Methode neue Wege. Automaten können gleichzeitig und mit hoher Exaktheit verschiedene experimentellen Einwirkungen auf Objekte ausüben und regeln. Sie können die Einhaltung der experimentellen Bedingungen sichern. Gleichzeitig vermögen sie eine Vielzahl von experimentellen Veränderungen in einem System zu registrieren. Mit Hilfe von Automaten können die Ergebnisse von Experimenten nach verschiedenen Gesichtspunkten ausgewertet und aufbereitet werden" (Parthey/Wahl 1966, S. 229). In den folgenden drei Jahrzehnten wurde eine Reihe von wissensbasierten Systemen in der experimentellen Forschung

entwickelt (vgl. Langley 2000; Langley et al. 1990; Muggleton/Srinivasan/ Sternberg 1996; Valdes-Perez 1999). Ein Durchbruch in der Verwendung wissensbasierter Systeme in der experimentellen Forschung gelang britischen Ingenieuren im Jahre 2004 mit der Entwicklung einer weitgehend automatisch arbeitenden experimentellen Anlage zur Entschlüsselung der Gen-Funktionen eines Hefepilzes (vgl. King et al. 2004; siehe Abbildung 4).

Abbildung 4: The robot scientific hypothesis-generation and experimentation loop



Quelle: Nach King et al. 2004, p. 248

Nun werden elektronische Laborjournale auch im Fall der Automatisierung von Experimenten analog dazu angelegt, wie auch nach jeder Beendigung eines Experiments bekanntlich das Laborjournal vom Experimentator und einem Zeugen unterschrieben wird. Der Wissenschaftler beginnt seine Dokumentation mit dem Anlegen eines neuen Versuchs oder Projekts. Anschließend dokumentiert er die durchgeführten Arbeiten in Laborjournal-Einträgen, die an das Experiment angefügt werden. Sobald ein Arbeitsschritt beendet ist, wird der jeweilige Eintrag abgeschlossen, ausgedruckt und unterschrieben. Die Unterschrift unter den Ausdruck sichert die Authentizität. Ein Benutzer kann Instituts- bzw. unternehmensweit die elektronischen Laborjournale aller Mitarbeiter durchsuchen. Der Zugriff kann dabei individuell durch Sicherheitsrichtlinien angepasst werden. In einem zunehmend vernetzten Arbeitsumfeld ist der Austausch von Wissen eine unabdingbare Voraussetzung für den Erfolg eines Forschungs- oder Entwicklungsprojek-

tes. Erst die umfassende Dokumentation von Experimenten bietet die Grundlage für diesen Wissenstransfer. Die Dokumentation stellt dabei einen wichtigen Schritt zum Schutz des geistigen Eigentums einer Firma in Form von Patenten dar. Die Verknüpfungen aller Datei-Anhänge mit dem jeweiligen Laborjournal-Eintrag gewährleisten, dass die Dokumentation eines Experimentes und die zugehörigen Anhänge jederzeit verknüpft bleiben und ihre Verwaltung zentral erfolgt.

4 Wissenschaftliche Integrität von Forschungssituationen

Wissenschaft als publiziertes methodisches Problemlösen verfügt heute dazu über drei große Methodengefüge: die experimentelle, die mathematische und die historische Methode. Bei der Geburt der Wissenschaft wurden vor allem die bloße Beobachtungsmethode, die mathematische und die historische Methode verwendet, denn es wurde zwischen Epistemologischem und Technologischem so streng unterschieden, dass das Experiment zur Wahrheitsfindung abgelehnt und nur die bloße Beobachtung ohne Experiment bevorzugt wurde. Das Experiment wurde in der Geburt der Wissenschaft mit dem Argument der Sicherung der wissenschaftlichen Integrität im methodischen Vorgehen der Forschung ausgeschlossen. Und das hat für die Wissenschaft einundeinhalb Jahrtausend gegolten. Erst mit Galileo Galilei kam der experimentell bedingten Beobachtung die Funktion zu, in all den Fällen, wo der Wahrheitswert von Aussagen nicht direkt durch bloße Beobachtung festgestellt werden kann, zu versuchen, die hypothetisch behaupteten Sachverhalte durch Experimente hervorzurufen, das bedeutete für Galilei die gesuchten Zusammenhänge durch experimentelle Anordnungen der Beobachtung stärker in Erscheinung treten zu lassen. Die Durchführung von Experimenten ist nur ein Schritt in der experimentellen Methode. Ihm geht voraus, dass Folgerungen aus der zu überprüfenden Hypothese gezogen werden, deren behauptete Sachverhalte im Experiment beobachtet werden können. Der Durchführung eines Experiments folgt die Deutung experimenteller Ergebnisse in Bezug auf die Hypothese nach. Deshalb können Experiment und experimentelle Methode nicht gleichgesetzt werden. Während die experimentelle Methode durch bestimmte Schritte und bestimmte logische Strukturen gekennzeichnet ist, sind dem Experiment bestimmte Merkmale eigen, und es kann in verschiedenen Arten auftreten. Inwiefern einige mögliche Arten von Experimenten der gesellschaftlichen Integrität nicht genügen, ist

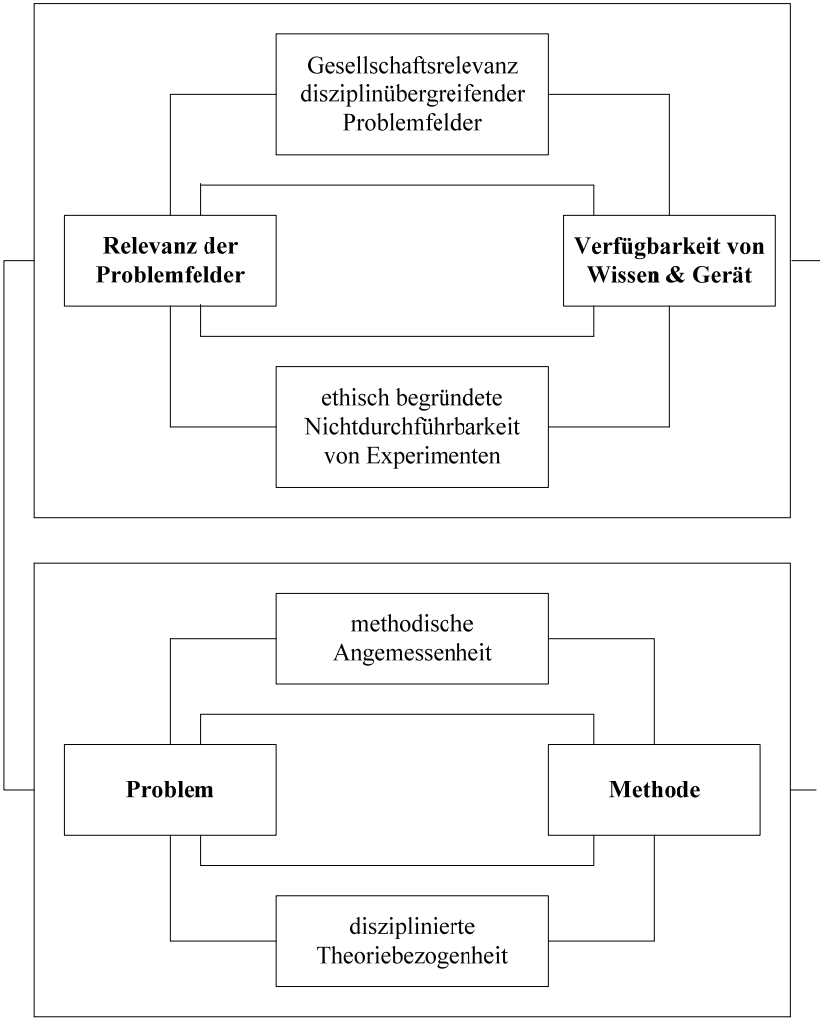
eine weitere Entscheidung, die sich in Abhängigkeit von gesellschaftlichen Tabus und ihrer historischen Veränderung stellt.

Im Unterschied zur Diskussion über die Sicherung der wissenschaftlichen Integrität beim Publikationsverhalten möchten wir folgende Merkmale der wissenschaftlichen Integrität von Forschungssituationen erörtern: Erstens die Angemessenheit klassifikatorischer, komparativer und messender Methoden zur Problembearbeitung bei Vermeidung einer Problemverschiebung im methodischen Problembearbeiten – auch eingedenk der bereits 1915 von Georg Schlesinger hervorgehobenen Bedeutung genauer Messverfahren in den Technikwissenschaften (siehe oben, vgl. Schlesinger 1915, S. 34) – und zweitens die Disziplinierung auftretender Interdisziplinarität von Problem und Methode in der Forschung (siehe Abbildung 5).

4.1 Angemessenheit klassifikatorischer, komparativer und messender Methoden zur Problembearbeitung

Methodisches Problembearbeiten verwendet in jeder der drei genannten mathematischen, historischen und experimentellen Methoden drei zur empirischen Unterscheidung von Sachverhalten wichtige Arten von Begriffen: klassifikatorische, komparative und metrische Begriffe (vgl. Hempel 1974), die zur Konstituierung von drei weiteren, – mit den erstgenannten drei kombinierten – Methoden der Klassifikation, der Komparation und der Messung führt. Das Kriterium der Messbarkeit mit Hilfe metrischer Skalen beruht auf einer im speziellen Wissenschaftsgebiet definierten und einer objektiv reproduzierbaren Maßeinheit. Das führt zur Herausbildung – wie es Albert Einstein am Beispiel der Physik formulierte – derjenigen „Gruppe von Erfahrungswissenschaften, die ihre Begriffe auf das Messen gründet, und deren Begriffe und Sätze sich mathematisch konstruieren lassen. Ihr Bereich ist also durch die Methode gegeben, als der Inbegriff der Erfahrungsinhalte, die sich mathematisch erfassen lassen“ (Einstein 1984 [1940], S. 107). Die Angemessenheit messender Möglichkeiten zur methodischen Bearbeitung des gestellten Problems gehört zu einem ersten Merkmal der wissenschaftlichen Integrität von Forschungssituationen. Der Grund für das historische Aufkommen solcher Merkmale der wissenschaftlichen Integrität von Forschungssituationen liegt darin, dass funktionale Abhängigkeiten, insbesondere diejenigen, die drei und mehr Variable enthalten, nur mit Hilfe metrischer Begriffe wiedergegeben werden können.

Abbildung 5: Struktur wissenschaftlicher und gesellschaftlicher Integrität von Forschungssituationen



Quelle: Nach Parthey 2006, S. 79

Kriterien der Metrisierung sind ohne Zweifel für das Formulieren von Forschungsproblemen von Bedeutung, denn ein gut formuliertes Forschungsproblem sollte für alle Bestandteile entweder nur klassifikatorische oder nur komparative oder nur metrische Ausdrücke verwenden (vgl. Parthey 1974). Daraus ergibt sich vor allem die Forderung nach einer durch Messverfahren gesicherten Konsistenz metrischer Ausdrücke, denn die zur Definition der Begriffe einer Theorie verwendeten Messverfahren müssen auch bei ihrer Überprüfung Verwendung finden. Anderenfalls besteht die Möglichkeit, dass die bei der Überprüfung angewandten Messverfahren zur Definition von metrischen Begriffen verwendet werden, die nicht mit denen der zu überprüfenden Hypothese übereinstimmen. Ein Scheinpluralismus metrisch formulierter Theorien wäre die Folge und würde dem nicht Rechnung tragen, dass die Bestätigung neugewonnener Theorien allein von der Feststellung der in ihnen behaupteter Sachverhalte abhängt und nicht durch eine Neudefinition ihrer Begriffe ersetzt werden kann, die den bei ihrer Überprüfung angewandten Messverfahren entsprechen. Die Forderung nach Konsistenz metrischer Ausdrücke sowohl bei der Formulierung von Forschungsproblemen als auch bei ihrer methodischen Bearbeitung, d.h. bei der Aufstellung und Überprüfung von Hypothesen zur Problemlösung, richtet sich gegen das Aufkommen eines solchen Scheinpluralismus von Theorien. In jedem Fall sollte eine Problemverschiebung im methodischen Problembearbeiten vermieden werden.

Wenn Kriterien zur Sicherung der weiterführenden Problematisierung, nach denen sich vor allem die Frage stellt, ob eine vorgeschlagene Lösungsvariante gleichzeitig zu neuen Forschungsproblemen führt (progressive Problemverschiebung) oder ob eine Hypothese lediglich Probleme auflöst ohne weitere aufzuwerfen (degenerative Problemverschiebung), eine eigenständige Klasse von Kriterien der Wissenschaftlichkeit darstellen (vgl. Lakatos 1971), und zwar neben der Klasse von Kriterien der Wahrheit und neben der Klasse von Kriterien der Erklärungsleistung, dann darf es aber im methodischen Problembearbeiten keine Problemverschiebung geben, denn sonst würde ein anderes Problem gelöst als das vorgegebene.

Seit langem werden in Forschungssituationen mathematische Methoden mit der experimentellen und historischen Methode kombiniert, und das vor allem über die genannte Einführung metrischer Begriffe in Problem und Methode der Forschung, gestatten doch fachlich korrekt eingeführte metrische Begriffe eine Verwendung der Ergebnisse der metrischen Mathematik zur weitreichenden Erfassung funktionaler Abhängigkeiten mit bedeutender

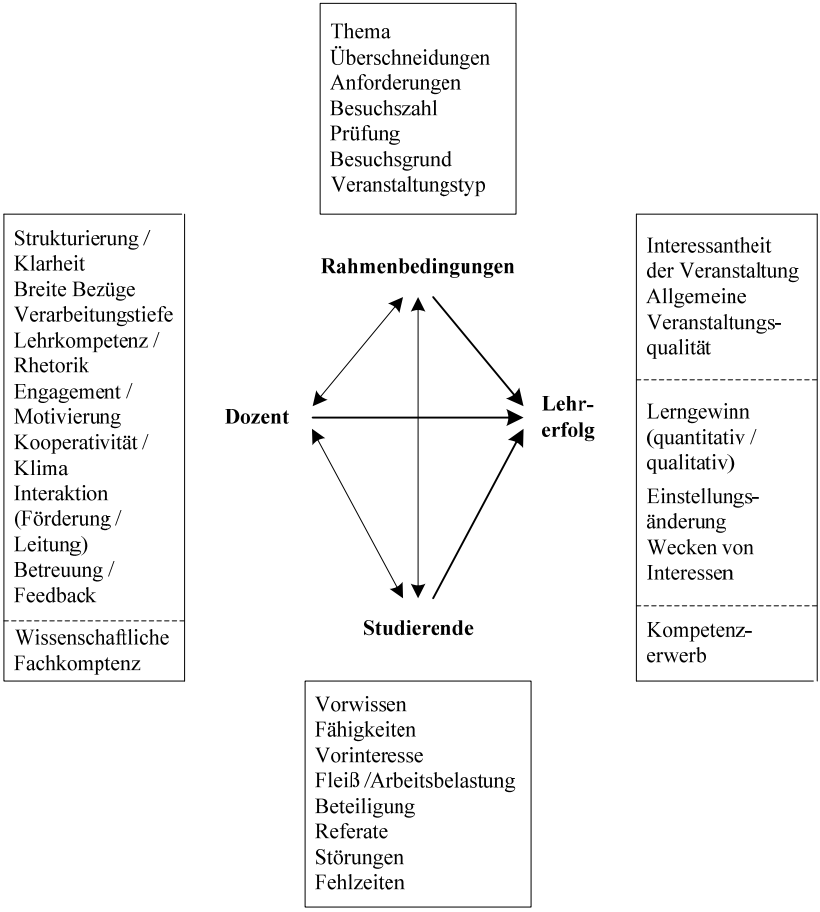
Erkenntnis- und Gesellschaftsrelevanz. Bei der Problemformulierung, hauptsächlich in neuartig interessanten Forschungssituationen, wird die Eingrenzung des Gegenstandsbereiches oft nicht gegeben sein. Aus diesem Grund wird oft das Problem umformuliert, damit erstens geklärt wird, mit welcher der genannten Begriffsklassen es möglich ist, den Kern des Problems zu formulieren, und zweitens, ob man sie als metrische Begriffe auffassen kann. Durch diese Transformation, die sinngemäß der ursprünglichen Formulierung entsprechen muss, wird die Grundlage für die Entscheidung gegeben, ob das gestellte Problem in ein Messproblem umformuliert werden kann. Nur unter diesen Umständen ist es möglich, zu untersuchen, ob die Bedingungen der Metrisierung erfüllt sind. Für die Problemformulierung genügt es, die theoretischen und methodologischen Aspekte der Metrisierung als konzeptionelle Basis des Messens in Erwägung zu ziehen. Erst bei der Problembearbeitung zeigt sich die Bedeutung des Messens. Ohne praktisch durchführbare Messungen, die zu empirisch signifikanten, operationell realisierbaren und statistisch relevanten Messergebnissen führen, wäre eine Metrisierung der Problemformulierung mindestens fragwürdig. Eine Metrisierung der Problemformulierung, die sich nur als ein mathematisches Modellieren versteht, kann vom mathematischen Standpunkt interessant sein, ist aber vom Standpunkt der konkreten Wissenschaft weniger von Belang. Problemverschiebungen dieser Art sind in Forschungssituationen im Sinne ihrer wissenschaftlichen Integrität zu vermeiden.

4.2 Disziplinierung der Interdisziplinarität von Problem und Methode

Wissenschaftsdisziplinen unterscheiden sich durch ihre Art und Weise, nach weiteren Erkenntnissen zu fragen, Probleme zu stellen und Methoden zu ihrer Bearbeitung zu bevorzugen, die auf Grund disziplinärer Forschungssituationen als bewährt angesehen werden. In diesem Sinne ist eine Forschungssituation disziplinär, wenn sowohl Problem als auch Methode in Bezug auf dieselbe Theorie formuliert bzw. begründet werden können. In allen anderen Fällen liegen disziplinübergreifende – in Kurzform als interdisziplinär bezeichnete – Forschungssituationen vor, die insgesamt wissenschaftlich schwerlich beherrschbar sind, letztlich erst wieder dann, wenn Problem und Methode durch Bezug auf erweiterte bzw. neu aufgestellte Theorien in genannter disziplinärer Forschungssituation formuliert und begründet werden können. Dies möchten wir mit Disziplinierung der Interdis-

ziplinarität bzw. disziplinierte Theoriebezogenheit bezeichnen – einem zweiten Merkmal der wissenschaftlichen Integrität von Forschungssituationen (vgl. Parthey 1996).

Abbildung 6: Modell der Bedingungen für den Lehrerfolg



Quelle: Nach Rindermann 2001, S. 22

5 Studiumssituation in den Technikwissenschaften

In analoger Art und Weise zu Besonderheiten der technikwissenschaftlichen Forschungssituation kann die Spezifikation der technikwissenschaftlichen Studiumssituation diskutiert werden, wenn neben der technikwissenschaftliche Fach- und Lehrkompetenz des Dozenten und dem Vorwissen der Studierenden vor allem die den Technikwissenschaften eigenen Typen von Lehrveranstaltungen und Rahmenbedingungen für den Studienerfolg berücksichtigt werden (siehe Abbildung 6). Versuchsfelder und Prüffelder für die zur Untersuchung eingelieferte Technik sowie entsprechende Bearbeitungsmittel und ein Protokollraum sind auch Besonderheiten der technikwissenschaftlichen Studiumssituation. Dies führt heute zu einem technikwissenschaftlichen Veranstaltungstyp im System von Bedingungen für den Lehrerfolg in Form von Übungen in einem mehr oder weniger großzügig angelegten Produktionstechnischen Zentrum an Technischen Universitäten wie an der Technischen Universität in Berlin-Charlottenburg.

Literatur

Aristoteles (1960): Metaphysik. Berlin

Balzer, W. (1997): Die Wissenschaft und ihre Methoden. Grundsätze der Wissenschaftstheorie. Ein Lehrbuch. Freiburg/München

Bunge, M. (1967): Scientific Research. Vol. I: The Search for System. Berlin/Heidelberg/New York

Descartes, R. (1972): Regeln zur Ausrichtung der Erkenntniskraft [um 1628]. Berlin

Einstein, A. (1940): Das Fundament der Physik. In: Science, May 24 (deutsch wiederabgedruckt in Einstein, A.: Aus meinen späten Jahren. Stuttgart 1984. S. 107)

Hartig, E. (1893): Das Experiment auf dem Gebiet der mechanischen Technik. In: Zeitschrift des Vereins Deutscher Ingenieure, Jg. 37, S. 302-307

Hartkopf, W. (1958): Die Strukturformen der Probleme. Berlin

Hartmann, N. (1921): Grundzüge einer Metaphysik der Erkenntnis. Berlin/ Leipzig

Hempel, C. (1974): Grundzüge der Begriffsbildung in der empirischen Wissenschaft. Braunschweig

Kant, I. (1920): Prolegomena zu einer jeden künftigen Metaphysik, die als Wissenschaft wird auftreten können [1783]. Leipzig

Kant, I. (1923): Logik. Ein Handbuch zu Vorlesungen [1800]. – In: Kant, I.: Gesammelte Schriften. Bd 9. Berlin/Leipzig

King, R. D.; Muggleton, S. H.; Srinivasan, A.; Sternberg, M. J. E. (1996): Structure-activiry relationships derived by machine learning: The use atoms and their bond connectivities to predict mutagenicity by inductive logic programming. In: Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA, vol. 93, pp. 438-442

King, R. D.; Whelan, K. E.; Jones, F. M.; Reiser, Ph. G. K.; Bryant, Ch. H.; Muggleton, St. H.; Kell, D. B.; Oliver, St. G. (2004): Functional genomic hypothesis generation and experimentation by a robot scientist. In: Nature, no. 15 (January), pp. 247-251

Kleiner, S. A. (1985): Interrogatives, Problems and Scientific Inquiry. In: Synthese, no. 3, pp. 365-428

Lakatos, I. (1971): Popper zum Abgrenzungs- und Induktionsproblem. In: Lenk, H. (Hg.): Neue Aspekte der Wissenschaftstheorie. Braunschweig, S. 75-128

Langley, P. (2000): The computational support of scientific discovery. In: International Journal Human-Computer Studios, no. 3, pp. 393-410

Langley, P.; Simon, H. A.; Bradshaw, G. L.; Zytkow, E. A. (1987): Scientific Discovery. Computational Explorations of the Creative Process. Cambridge, MA

Laudan, L. (1979): Progress and its problems. Toward a theory of scientific growth. Berkely/Los Angeles/London

Leibniz, G. W. (1961): Neue Abhandlungen über den menschlichen Verstand [1703/1705]. Zweiter Band. Frankfurt am Main

Leibniz, G. W. (1972): Dissertatio de arte combinatoria [1666]. In: Leibniz, G. W.: Sämtliche Schriften und Briefe. Sechste Reihe: Philosophische Schriften. Erster Band 1663 – 1672. Berlin, S. 163-230

Leibniz, G. W. (1980): De arte inveniendi [1675(?)]. In: Leibniz, G. W.: Sämtliche Schriften und Briefe. Sechste Reihe: Philosophische Schriften. Dritter Band 1672 – 1676. Berlin, S. 428-432

Nickles, Th. (1981): What is a Problem that we may solve it? In: Synthese, no. 3, pp. 85-118

Parthey, H.; Vogel, H.; Wächter, W. (Hg.) (1966): Problemstruktur und Problemverhalten in der wissenschaftlichen Forschung. Rostock (Universität Rostock) (Rostocker philosophische Manuskripte, H. 3)

Parthey, H.; Wahl, D. (1966): Die experimentelle Methode in Natur- und Gesellschaftswissenschaften. Berlin

Parthey, H. (1974): Struktur von Erklärungsproblemen bei metrischer Beschreibung des zu erklärenden Sachverhaltes. In: Zeitschrift für Psychologie, Jg. 4, S. 394-399

Parthey, H.; Schlottmann, D. (1986): Problemtypen in den Technikwissenschaften. In: Banse, G.; Wendt, H. (Hg.): Erkenntnismethoden in den Technikwissenschaften. Eine methodologische Analyse und philosophische Diskussion der Erkenntnisprozesse in den Technikwissenschaften. Berlin, S. 44-53

Parthey, H. (1996): Kriterien und Indikatoren interdisziplinären Arbeitens. In: Balsinger, Ph. W.; Defila, R.; Di Giulio, A. (Hg.): Ökologie und Interdisziplinarität – eine Beziehung mit Zukunft? Wissenschaftsforschung zur Verbesserung der fachübergreifenden Zusammenarbeit. Basel/ Boston/Berlin, S. 99-112

Parthey, H. (2006): Struktur wissenschaftlicher und gesellschaftlicher Integrität von Forschungssituationen. In: Fischer, K.; Parthey, H. (Hg.): Gesellschaftliche Integrität der Forschung. Berlin, S. 71-94 (Jahrbuch Wissenschaftsforschung 2005)

Parthey, H. (2007): Forschungssituation und Forschungsinstitut – Analyse ihrer Formen und Beziehungen. In: Parthey, H.; Spur, G. (Hg.): Wissenschaft und Technik in theoretischer Reflexion. Frankfurt am Main u.a., S. 9-30 (Jahrbuch Wissenschaftsforschung 2006)

Plato (1914): Dialog Politikos [zwischen 365 und 347 v.u.Z.]. Leipzig

Popper, K. R. (1972): Objective knowledge. Oxford

Rindermann, H. (2001): Lehrevaluation. Einführung und Überblick zu Forschung und Praxis der Lehrveranstaltungsevaluation an Hochschulen. Landau

Schlesinger, G. (1915): Forschung und Werkstatt. In: Werkstattstechnik, Jg. IX, S. 34-41

Sharikow, J. S. (1965): Naucnaja problema [Das wissenschaftliche Problem]. In: Kopnin, P. W.; Popowitsch, M. P. (red.): Logica naucnogo issledovanija [Logik der wissenschaftlichen Forschung]. Moskwa, S. 19-44 (russ.)

Sharikow, J. S. (1969): Das wissenschaftliche Problem. In: Kopnin, P. W.; Popowitsch, M. V. (Hg.): Logik der wissenschaftlichen Forschung. Berlin, S. 31-63

Wein, H. (1937): Untersuchungen über das Problembewußtsein. Berlin

Weiß, R. (1979): Die Leistungsfähigkeit kritisch-rationalistisch geleiteter Wissenschaft. Wissenschaft als Problemlösung und Problemproduktion. Freiburg

Valdes-Perez, R. E. (1999): Discovery tools for science applications. In: CACM – Communication of the ACM, vol. 42, pp. 37-41

Zytkow, M.; Zhu, J. M.; Hussam, A. (1990): Automated discovery in a chemistry laboratory. In: Dieterich, T.; Swartout, W. (eds.): Proceedings of the 8th National Conference of Artifical Intelligence. Cambridge, MA, pp. 889-894