

## EINLEITUNG: ROHSTOFFE, WERKSTOFFE, POLITIK

### 1.1 GRUNDLEGENDES ZUM STOFFBEGRIFF

Seit Jahrtausenden entnimmt die Menschheit der Natur alle lebensnotwendigen Stoffe. Sie gewinnt aus Rohstoffen Nahrungsmittel, Energieträger, verschiedene Grund- und Hilfsstoffe sowie Werkstoffe. Die vorliegende Studie beschränkt sich auf das Gebiet der Werkstoffe. Innerhalb dieser Stoffgruppe konzentriert sie sich überwiegend auf die metallischen Werkstoffe als die wichtigste Stoffgruppe des Industriezeitalters.

Werkstoffe sind „für die Konstruktion geeignete feste Stoffe“. Diese können natürlichen, rohstoffnahen Ursprungs sein (z. B. Holz oder Kupfer) oder in weiterverarbeiteter Form Verwendung finden (z. B. als furnierte Spanplatte oder Kupferkabel).<sup>1</sup> Werkstofftechnik ist die funktionsgemäße und formgebende Gestaltung (Konstruktion, Fertigung) von Materie in Form von Werkstoffen zu Produkten.<sup>2</sup> Das dabei eingesetzte Instrumentarium der verschiedenen Wissensbestandteile und Wissensformen und der damit verbundenen Fertigkeiten wurde stets weiterentwickelt.

Aufgrund entsprechender Bodenfunde wurden Zeitalter nach jeweils innovativen Werkstoffen benannt (Steinzeit, Bronzezeit usw.). In einer Reihe miteinander verketteter Raffinations-, Veredelungs- und Verarbeitungsprozesse wurden und werden diese Stoffe, manchmal in Verbindung mit anderen Stoffen, selbst wieder zu Ausgangsstoffen für weitere Materialien und schließlich zu Fertigprodukten. Aus Getreide wird Brot, aus Erdöl Benzin, aus Natriumnitrat enthaltenden Sanden werden Düngemittel, aus Baumwolle Baumwollgarn, gefärbtes oder bedrucktes Kattungewebe und Uniformen, aus Metallen verschiedene Legierungen, Halbzeuge, Maschinenbauteile oder chemische Katalysatoren. Werkstoffe sind Teil einer langen gesellschaftlichen Wertschöpfungskette. Diese Wertschöpfungskette ist in Industriegesellschaften stark verzweigt und komplex. Der Grund dafür liegt in der großen Zahl ihrer Einsatzgebiete, die auf ihre vielen verschiedenen Stoffeigenschaften zurückzuführen ist. Physiker und Chemiker erforschen diese einzelnen Eigenschaften, sie beschreiben, definieren, messen sie und sie versuchen, die Ursachen für ihr Zustandekommen bis in die kleinsten Zusammenhänge hinein materialwissenschaftlich, etwa mit Hilfe des Mikroskops, zu ergründen. Ingenieure nehmen derartige Details zwar interessiert zur Kenntnis, sie liegen jedoch nicht direkt im Fokus ihres Schaffens, denn ihr Interesse gilt

1 Hornbogen/Eggeler/Werner, Werkstoffe, S. 3.

2 Bergmann, Werkstofftechnik, Teil 2, Vorwort.

vorrangig der Werkstofftechnik. Sie konzentrieren sich auf ganz bestimmte makroskopisch wirkende Eigenschaften und Eigenschaftskombinationen, die für ihre eigentliche Aufgabe, das Gestalten, von zentraler Bedeutung sind. Denn jeder Werkstoff ist – je nach Produkt – einem anderen Kollektiv unterschiedlicher Belastungen ausgesetzt. Physiker, Chemiker und Techniker kennen heute hunderttausende Werkstoffe und tausende verschiedene Eigenschaften von Werkstoffen, die sich zu sehr vielen Kombinationen verbinden.

Die Erforschung all dieser Eigenschaften und miteinander verbundenen Eigenschaftskombinationen oder Eigenschaftsprofilen geht seit Menschengedenken vor sich.<sup>3</sup> Sie orientierte sich in erster Linie an der Funktionalität der Materialien für einen ganz bestimmten Zweck. Seit etwa zweihundert Jahren gehen die Versuche, erwünschte Eigenschaften in Werkstoffe „hineinzuzüchten“ oder durch verschiedene Bearbeitungsverfahren in ihnen zum Vorschein zu bringen systematischer, erfolgreicher und wirkungsvoller vor sich. Eine Basis für diese Erfolge bildet die Schaffung von Übereinkünften, wie diese unterschiedlichen Eigenschaften zu beschreiben, definieren und zu messen sind. Ein weiterer Grund für die Erfolge ist in den fortgeschrittenen Bearbeitungsverfahren seit der neuzeitlichen Industrialisierung zu suchen. Bei all diesen materialkundlichen und technologischen Aspekten sollte aber stets in Erinnerung bleiben, dass der letzte Zweck eines Werkstoffes immer in der optimalen Gestaltung eines Fertigproduktes, eines Investitionsguts oder Konsumguts, besteht. Daher spielt die Stoffformungsmethodik und die geometrische Form von Bauteilen sowie deren Zusammenwirken mit benachbarten Bauteilen im Maschinenverbund eine zentrale Rolle. Erst beim Zusammenfügen des Produktes, eigentlich sogar erst gegen Ende der geplanten Nutzungsdauer, kann man ein Urteil über die Güte und Eignung der verschiedenen in dem Produkt verbauten Werkstoffe fällen.

Daneben existieren noch weitere Aspekte, von denen der Gebrauchswert eines Materials abhängt, darunter auch solche nichttechnischer Art wie etwa Kosten, Beschaffbarkeit, Transport, Gesundheit, Unfallschutz, Umwelt, Ästhetik u. a.

Es wurde bereits auf die Bezeichnungen für unterschiedliche Menschheitsalter hingewiesen. In diesen spiegeln sich jeweils das erstmalige Auftauchen und das Gemeinwerden eines bestimmten Werkstoffes wider. Gewisse Eigenschaften und vor allem Eigenschaftskombinationen eines neuartigen Werkstoffes ermöglichen im Produktverbund so große Gebrauchswertvorteile gegenüber altbekannten Werkstoffen, dass man dazu überging, diese Artefakte überwiegend aus dem neuartigen Werkstoff herzustellen. Dabei wird umgangssprachlich gerne davon gesprochen, dass ein Stoff einen anderen „ersetzt“. Diese Formulierung ist innovationstheoretisch nicht weniger problematisch wie jene, dass das Automobil im 20. Jahrhundert die Kutsche „ersetzte“, denn sie unterschlägt drei wesentliche Punkte.

Erstens verhindert sie jede Einsicht in die große Vielfalt der stofflichen Welt. Es gibt keinen Werkstoff, der einen anderen bloß ersetzt. Vielmehr weist jeder

3 Das Eigenschaftsprofil von Werkstoffen wird definiert als der zu maximierende Wert aus der Summe der Gebrauchseigenschaften und der Fertigungseigenschaften gebrochen durch den Preis. Vgl. Hornbogen/Eggeler/Werner, *Werkstoffe*, S. 3.

Stoff unterschiedliche Eigenschaften auf, bekannte wie unbekannte, erwünschte wie unerwünschte.

Zweitens hängt dieser Faktor einzig und allein von dem Produkt ab, in welchem der Werkstoff verbaut wird. Nicht der Naturwissenschaftler, sondern der Ingenieur hat dabei das letzte Wort, da er es ist, der den Werkstoff auswählt.

Drittens unterschlägt die genannte unglückliche Formulierung des „Ersetzens“, dass Werkstoffe wichtige Innovationstreiber derartellen konnten und können. Dabei ist es nicht alleine eine neuartige Struktur oder der spezielle innere Bau eines Materials, das es zu einem Neuen Werkstoff qualifiziert. Häufig ist es alleine der Einsatz eines altbekannten Materials in einem neuen Produktkontext. Entscheidend für das Wesen Neuer Werkstoffe<sup>4</sup> ist, dass sie bestimmte Technologien<sup>5</sup>, oder aber leistungsfähigere, sichere oder kostengünstigere Konstruktionen und damit bessere Wirkungsgrade überhaupt erst ermöglichen. Ihre Hauptfunktion besteht also nicht im „Ersetzen“ von Eigenschaften, sondern in der Realisierung neuer Technologien oder aber auch die Erschließung neuer Leistungsdimensionen bestehender Technologien.<sup>6</sup> Damit stellt sich die Frage, welche Stellung altbekannte Werkstoffe einnehmen, die als tauglich für ein neues technisches Einsatzfeld erkannt wurden, wie am Beginn der Elektrifizierung z. B. Glas oder Porzellan für elektrische Isolatoren. In ihrer physikalisch-chemischen Substanz stellten sie für Physiker und Chemiker nichts Neues dar, aber für die Elektrotechniker des 19. Jahrhunderts handelte es sich aufgrund ihrer beobachteten elektrischen Isoliereigenschaften, ihrer leichten Bearbeitbarkeit und Verfügbarkeit um eine Werkstoffinnovation.<sup>7</sup> Dem entsprechend wird Werkstofftechnik in heutigen Lehrbüchern als „hochinnovatives Gebiet“ betrachtet, das „eine Schlüsselrolle im Spektrum der Technologien“<sup>8</sup> einnimmt. Neue Werkstoffe sind „ein wesentlicher Bestandteil hochinnovativer Technologiefelder“<sup>9</sup>, technischer Fortschritt ist nur „mit den dafür geeigneten Materialien möglich“<sup>10</sup>, und „zwischen dem Fortschreiten der Technik und der Fortentwicklung der Werkstoffe besteht ein Kausalzusammenhang im Sinne einer ständigen Wechselwirkung“<sup>11</sup>. In der neueren Literatur kann man sogar lesen, dass das Konzept der Neuen Werkstoffe eine „neue Entwicklungsstufe in der Werkstoffgeschichte“ darstelle. Begründet wird das damit, dass früher Produkte konstruktiv den vorhandenen Werkstoffen angepasst werden mussten („werkstoffgerechte Konstruktion“), während heute sich die Werkstoffeigenschaften den Konstruktionen anzupassen hätten („Ingenieur-Werkstoff“).<sup>12</sup>

4 Es gibt heute keine allgemein akzeptierte Definition des Begriffes „Neue Werkstoffe“, vgl. Hornbogen/Eggeler/Werner, S. 3.

5 Siehe beispielsweise als Funktionswerkstoffe bei der Halbleitertechnologie oder der Flüssigkristall-Technologie für Bildschirme.

6 Also auch sog. Strukturwerkstoffe.

7 Socher/Rieke/Baumer, TA-Projekt, S. 11.

8 Kretschmer/Kohlhoff, S. 2 f.

9 Socher/Rieke/Baumer, TA-Projekt, S. 2.

10 VDI-Gesellschaft Werkstofftechnik, Vorwort.

11 Weber, Neue Werkstoffe, Vorwort.

12 Kretschmer/Kohlhoff, Neue Werkstoffe, S. 2 f.

Als Fazit ist festzuhalten: Nicht jeder Stoff, der einen anderen ablöst, ist ein Ersatzstoff.

Wie aber lässt sich ein Ersatzstoff dann definieren? Es handelt sich nach dem zuvor Gesagten um einen Stoff, der über einige, aber längst nicht alle Eigenschaften des zu ersetzenden Stoffes verfügt, über nicht durch technische Faktoren bedingte Vorteile verfügt und wider besseres Technikwissen, quasi als „Notlösung“<sup>13</sup>, verbaut wird. Die Artefakte, in denen er eingesetzt wird, verfügen daher über andere Eigenschaften (z. B. bezüglich ihrer Lebensdauer).

Kann sich ein Ersatzstoff zu einem Neuen Werkstoff wandeln? Die Chancen dafür standen, wie noch zu zeigen ist, zumindest in den ersten beiden Dritteln des 20. Jahrhunderts außerordentlich schlecht. Denn es fehlte dafür sowohl am nötigen chemischen, physikalischen als auch am technischen Wissen, insbesondere an den Kenntnissen des Zusammenhangs von Werkstoff und Konstruktion, etwa unter den Prämissen der Belastbarkeit und Festigkeit. Erst im letzten Drittel des 20. Jahrhunderts wurde dabei ein Wissensstand erreicht, der umfassende systematische Aussagen über die Werkstoffauswahl ermöglichte. Ein Ergebnis davon war, dass die verwendeten Werkstoffe zunehmend „in ihrem oberen Grenzbe-  
reich beansprucht“ werden und dadurch der Grad der „Werkstoffausnutzung“ stieg.<sup>14</sup> Umgekehrt musste eine Industriegesellschaft, die nicht über den Zugriff auf das vollständige Repertoire aller Werkstoffe verfügte, einen wesentlichen Teil ihrer Innovationskraft einbüßen.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die Auswahl eines Werkstoffes von der Art, der Konstruktion und dem Verwendungszusammenhang eines Artefakts abhängt. Denn diese Parameter sind es, die ein ganz bestimmtes Werkstoffeigenchaftsprofil erfordern. Dieses Profil zu erkennen, ist ein wesentlicher Bestandteil werkstofftechnischen und generell technikwissenschaftlichen Wissens. Etwas überspitzt könnte man aus technikwissenschaftlicher Sicht sogar formulieren, dass es die spezifische Verwendung in einem Produkt ist, die aus einem Stoff überhaupt erst einen Werkstoff macht.

## 1.2 STAND DER FORSCHUNG

Die vorliegende Arbeit widmet sich also der Geschichte der Werkstofftechnik der Metalle im 20. Jahrhundert mit besonderem Augenmerk auf die Rolle und das Verhältnis von Neuen Werkstoffen und Ersatzstoffen. Die beiden Begriffe sind weder natur- und technikwissenschaftlich noch historisch klar definiert. Es gilt also, sie einigermaßen quellengesättigt empirisch mit Leben zu füllen und so Kriterien für ihre Unterscheidung zu finden.

Da das Auftauchen von Ersatzstoffen in der Regel mit einer Knappheit an bestimmten Stoffen verbunden ist, müssen nicht nur deren wissenschaftliche und technische, sondern auch deren politische, soziale und wirtschaftliche Dimensio-

13 Vgl. den Begriff in der Überschrift eines Panels auf der 39. Technikgeschichtlichen Tagung der Eisenbibliothek Schaffhausen 2016.

14 Bergmann, Werkstofftechnik, Teil 2, Vorwort, S. 289.

nen berücksichtigt werden. Damit geraten vor allem die Phasen der beiden Weltkriege mit ihren besonders ausgeprägten Verknappungen materieller Ressourcen in den Blick. Die neuere Wissenschafts- und Technikgeschichtsschreibung hat sich dieser Thematik bereits angenommen. Ausgehend von der deutschen „Sonderwegs-These“ des Historikers Fritz Fischer von 1961 wurde die Auffassung vertreten, dass Deutschland aufgrund der verfolgten Großmachtspolitik vor, während und nach dem Ersten Weltkrieg ein ausgeprägtes Bewusstsein für seine Rohstoffbasis ausgebildet hätte und bereits vor diesem Krieg „autarkistisch“ ausgerichtet gewesen sei. Fischer selbst untermauerte seine Behauptung jedoch kaum empirisch.<sup>15</sup>

Auch in der angloamerikanischen Welt galt Deutschland, vermutlich aufgrund seiner starken chemischen Industrie, spätestens aber seit dem Zweiten Weltkrieg als Land der „Ersatzstoffe“. Der Begriff wurde als Lehnwort ins Englische<sup>16</sup> und zeitweise sogar ins Französische<sup>17</sup> übernommen. Aufgegriffen wurde es etwa in einer historisch angelegten Studie des US- und NATO-Diplomaten Ian O. Lesser.<sup>18</sup> Er beschrieb eine von den Napoleonischen Kriegen bis zum Deutschen Kaiserreich des Ersten Weltkrieges reichende deutsche „Ersatzstoffkultur“ (Begriff im Original deutsch).<sup>19</sup> Nach dem Ersten Weltkrieg sei diese Kultur verworfen, doch während des Zweiten Weltkrieges wieder aufgenommen worden.<sup>20</sup>

Anders als bei Lesser rückte bei neueren Arbeiten die Kontinuität deutscher Roh- und Werkstoffgeschichte ins Zentrum der Aufmerksamkeit. So befasste sich der Historiker Ulrich Marsch 2000 mit der Frage der deutschen Ersatzstoffforschung. Ganz anders als Lesser behauptete er, diese hätte vor 1914 kaum eine Rolle gespielt, danach aber umso mehr. Dabei verweist er auf die 1916 gegründete Kaiser-Wilhelm-Stiftung für Kriegstechnische Wissenschaft (KWKW). Marsch vertritt die Auffassung, dass die Stiftung, aber auch viele Institute der 1911 gegründeten Kaiser-Wilhelm-Gesellschaft (KWG) mit ihren Ersatzstoffforschungen während des Krieges erfolgreich gewesen seien. Da sie u. a. mit diesem Argument auch nach 1918 weiter staatliche Gelder erhielten, vermutete er, dass sie diese Forschungen nach dem Krieg fortsetzten. In Deutschland, so Marsch, sorgte die im Krieg geborene „Idee der Selbstversorgung“ für die „Ausarbeitung neuer Ersatzverfahren“ auch in der Zwischenkriegszeit. Er ging sogar so weit zu behaupten, dass die „Ersatzwirtschaft“ (gemeint ist wohl „Ersatzstoff-Wirtschaft“) „seit der Jahrhundertwende ein Antrieb war, das deutsche Forschungssystem auszubauen und auf diese Ziele hin zu lenken“. Der in dieser Aussage enthaltene Widerspruch zu seiner eigenen Aussage, Ersatzstoffforschung hätte vor 1914 kaum eine Rolle gespielt, fiel ihm dabei nicht auf. Gleichzeitig konstatierte er eine Kontinuität zum Nationalsozialismus: „Diese Politik, die im Ersten Weltkrieg for-

15 Fischer, Griff, S. 22 f., 75–82, vor allem S. 77; Siehe allg. auch Fischer, Bündnis.

16 Massey, Ersatz.

17 Maier, Forschung, S. 366.

18 Lesser war Senior Transatlantic Fellow bei dem German Marshall Fund of the United States.

19 Lesser, Resources, S. 36; die zugrundeliegende Basisinnovation der Kunstseide im 19. Jahrhundert wurde von dem Engländer Joseph Wilson Swan gemacht.

20 Lesser, Resources, S. 52–58. Zit. S. 55.

ciert und danach beibehalten wurde, sollte mit der Kohleverflüssigung und der Synthese von künstlichem Kautschuk aus heimischer Kohle einen industriellen Höhepunkt erreichen. Sie kulminierte im Autarkieprogramm des NS-Regimes ab 1936. „Im England der Zwischenkriegszeit hingegen sah er nur Forschungen für eine „Friedenszeit“.“<sup>21</sup>

Seine Befunde belegt Marsch an vier Fallbeispielen aus dem Bereich der KWG.<sup>22</sup> Doch weder für das Kaiser-Wilhelm-Institut (KWI) für Eisenforschung<sup>23</sup>, das KWI für Metallforschung<sup>24</sup>, das KWI für Faserstoffchemie<sup>25</sup> noch für das KWI für Lederforschung<sup>26</sup> bringt er, ähnlich wie Fritz Fischer, einen Beleg für die behauptete Kontinuität. Marschs Beispiele beziehen sich allesamt ausschließlich auf die Kriegszeit<sup>27</sup>. Das einzig wirklich aussichtsreiche Beispiel eines Belegs für seine These, die Arbeiten Fritz Hofmanns zu Synthesekautschuk am KWI für Kohlenforschung in Breslau, untersuchte er hingegen nicht.<sup>28</sup>

Es stellt sich daher die Frage, wie Marsch zu seiner Aussage über eine epochenübergreifende kontinuierliche deutsche Ersatzstoffforschung kommt. Auch bleibt unklar, wieso er diese ausgerechnet an den vorrangig an Grundlagenforschung orientierten Instituten der KWG sucht. Eine Antwort auf diese Fragen findet man schließlich in seiner Einschätzung der Bedeutung der chemischen Konstitutionsaufklärung. Marsch interpretiert diese als ein einziges Ersatzstoff-Forschungsprogramm.<sup>29</sup> So schreibt er: „Die deutschen Fragen mussten deshalb Themen der Konstitutionsforschung beinhalten, wenn Metalle durch andere ersetzt oder an andere angeglichen werden sollten. In England waren alle Metalle verfügbar, deswegen wurden solche Fragen nicht gestellt und andere Forschungsmethoden angewendet. (...) Dazu mussten keine Untersuchungen über Raumgitter angestellt werden, sondern Gusstechniken verbessert, Legierungen reihenweise erprobt und Bleche bearbeitet werden.“ Man staunt darüber, dass

21 Marsch, *Wissenschaft*, S. 328–331, 335, 386, Zit. 337 f., 426 und 501.

22 Marsch äußert sich nicht dazu, wieso er gerade anhand der stark physikochemisch und analytisch ausgerichteten Kaiser-Wilhelm-Instituten den Beweis für eine kontinuierliche Forschung an Ersatzstoffen im Bereich der Werkstoffe erbringen will.

23 Marsch, *Wissenschaft*, S. 339–364, S. 368–370.

24 Marsch, *Wissenschaft*, S. 410–415.

25 Das Institut befasste sich mit der Verbesserung von Herstellungsverfahren und Eigenschaften für verschiedene Kunstseiden, die in England erfunden worden waren. Aufgrund vorteilhafter Eigenschaften waren diese damals bereits weltweit in Gebrauch. Zudem schreibt Marsch: „Völlige Neuentwicklungen konnte er [Institutsleiter Herzog] nicht verfolgen.“, vgl. Marsch, *Wissenschaft*, S. 449 f., Zit. 450. Das KWI für Faserstoffchemie führte also in der Zwischenkriegszeit keinerlei Ersatzstoffforschungen für Baumwolle durch. Dasselbe Ergebnis vgl. Luxbacher, *Roh- und Werkstoffe*, S. 10–13.

26 Auch hier ging es, ganz dem KWG-Auftrag entsprechend, um die physikochemische Analyse aller möglichen Zustände und Vorgänge, aber keineswegs um die Schaffung von Ersatzstoffen, vgl. Marsch, *Wissenschaft*, S. 487–490.

27 Marsch, *Wissenschaft*, S. 387–415. An einer Stelle bezeichnet Marsch „Aluminium-Legierungen“ sogar pauschal als „Ersatzmetalle“! Vgl. Marsch, *Wissenschaft*, S. 414.

28 Marsch, *Wissenschaft*, S. 336.

29 Man müsste etwa bezüglich der Rüstungsforschung vor 1914 nur einen Blick auf die Arbeiten etwa des Militärversuchsamtes werfen, siehe Ruske u. a., *Chronik*, S. 232–276).

derartige Forschungen in Deutschland offenbar nicht nötig gewesen sein sollen. Und weiter bezogen auf England schreibt Marsch: „Fragen, welches seltene und teure Metall durch ein billigeres ersetzt werden könnte, tauchten nicht auf. Entsprechend gab es keine Überlegungen, Ersatzmetalle auf Festigkeitswerte oder Korrosionsbeständigkeit hin zu prüfen und zu verbessern.“ Man staunt erneut über die Vorstellung, dass die Erforschung von Festigkeitswerten und Korrosion nur der Entwicklung von Ersatzstoffen dienen sollte.

Es bleibt also erstens festzuhalten, dass Marsch in der Grundlagenforschung der Metallphysik wie auch der Synthesechemie pauschal ein Ersatzstoffforschungsprogramm sieht!<sup>30</sup> Zweitens bezeichnet er unterschiedslos sämtliche neu entwickelten Werkstoffe und Betriebsstoffe, ja sogar Grundstoffe der chemischen Industrie prinzipiell als „Ersatzstoffe“. Alleine aus diesen Interpretationen leitet er drittens eine „Ersatzstoffwirtschaft“ ab. Viertens postuliert er eine zeitliche Kontinuität, deren Endzweck er in einer Ex-post-Perspektive im Nationalsozialismus sieht. Fünftens ist sein Blick ausschließlich auf Grundstoffe und Halbzeuge gerichtet, die Frage nach dem Endzweck derartiger Forschungen, die Werkstoffverwendung in Fertigprodukten, stellt er erst gar nicht. Stillschweigend geht er dabei von der idealtypischen Vorstellung des „Fließbandprinzips“ aus, dass nämlich zuerst ein Werkstoff oder Ersatzstoff entwickelt wird und anschließend dessen Einsatz in einem Artefakt erfolgt. Es wird noch zu zeigen sein, dass ein solches Vorgehen eher die Ausnahme denn die Regel darstellt.

In seiner Studie über Rüstungsforschung zwischen 1900 und dem Ende des Zweiten Weltkrieges schreibt der Technik- und Umwelthistoriker Helmut Maier der chemischen und physikalischen Grundlagenforschung eine Rolle zu, die der Sichtweise von Marsch teilweise ähnelt. Auch er konzentriert sich dabei auf die Kaiser-Wilhelm-Institute. Die metallphysikalische und metallchemische Grundlagenforschung des KWI für Metallforschung bezeichnet er als „rüstungsrelevante Grundlagenforschung“. Die Beobachtung einer solchen „Finalisierung der Grundlagenforschung“ (Maier) für Rüstungszwecke hat in der Zeit des Nationalsozialismus – abgesehen von der darin implizierten Betrachtungsweise, dass Technik angewandte Naturwissenschaft sei – einiges für sich.<sup>31</sup> So war in der NS-Zeit ein deutlich größerer Teil der Metallforschung mit stärker produktorientierten Fragestellungen befasst als zuvor. Metallographische Grundlagenforschung und Rüstungsgüterproduktion rückten in Form von Forschungsverbänden organisatorisch zusammen. Maier meint dadurch einen gezielten und koordinierten, erfolgreichen Wissenstransfer zwischen metallographischer Grundlagenforschung und Werkstofftechnik bis hin zum fertigen Produkt beobachten zu können. Es ist aber zu hinterfragen, ob die methodologischen, analytischen und nur teilweise werkstofftechnisch verwertbaren Ergebnisse metallographischer Grundlagenforschung für die Metallhersteller tatsächlich von so großer Bedeutung bei der Entwicklung und Herstellung von brauchbaren Ersatzstoffen waren, wie von Maier

30 Marsch, *Wissenschaft*, S. 197. So bezeichnet er nichtrostende Stähle oder bestimmte Legierungen als „neue Produkte“. Es erschließt sich nicht, was für ihn ein Ersatzstoff und was ein neues Produkt sein soll. Vgl. Marsch, *Wissenschaft*, Zit. S. 198, S. 426.

31 Maier, *Forschung*, S. 191–196, 364–376, 670–675, Zit. S. 670.

angenommen. Schließlich beruht die gelungene Verwendung von Ersatzstoffen – wie bereits eingangs geschildert – im Wesentlichen auf produktionstechnischen und konstruktionstechnischen Faktoren, insbesondere auf einem entsprechenden Werkstoffauswahlprozess. Anders als bei Marsch und Maier wird dieser in der vorliegenden Studie gründlicher untersucht.<sup>32</sup>

2010 widmete sich Maier im Kontext der Erforschung der Rolle wissenschaftlich-technischer Vereine nochmals der Frage der Ersatzstoffforschung auf dem Gebiet der Metalle in Deutschland im 20. Jahrhundert. Zunächst sieht er 1914 eine „Paradigmenwechsel in der Materialforschung“ hin zur Ersatzstoffforschung. Davon vermochte sich – so Maier – die deutsche Forschergemeinde auch nach 1918 „nicht freizumachen“. Sie hätte sich auch nach dem Ersten Weltkrieg in einer „Ersatzstoff-Psychose“ befunden. Maier kommt trotz dieses von ihm konstatierten bedenklichen Geisteszustandes der deutschen Wissenschaftler zu dem erstaunlichen Schluss, dass „sich die Ersatzstoffe spätestens ab den 1920er Jahren als echte Alternativen“ entpuppten. Maier fokussierte dabei allerdings nur auf die Entwicklung der Materialwissenschaft und innerhalb dieser nur bis Mitte der 1920er Jahre. Die hier vorliegende Studie widmet sich hingegen dem gesamten 20. Jahrhundert und verfolgt darüber hinaus auch die Gegenstandsbereiche der Werkstofftechnik, Werkstoffauswahl und der Produktentwicklung. Dem entsprechend kommt sie zu anderen Ergebnissen.<sup>33</sup>

Eine weitere These Maiers lautet, dass nach 1933 ein „goldenes Zeitalter“ der Ersatzstoffforschung begonnen hätte. Wie dies mit seinem vorangegangenen Befund zusammengeht, dass nämlich bereits in den Jahren zuvor mit Besessenheit an Ersatzstoffen geforscht worden sein soll, bleibt im Unklaren. War das Zeitalter zuvor weniger „golden“ gewesen und wenn ja, warum? Zuzustimmen ist aber seinem Befund, dass während der NS-Autarkiepolitik einschlägige Forschungen stark intensiviert wurden. Auch dieser Frage widmet sich die hier vorliegende Studie ausführlich.

Schließlich argumentiert Maier dafür, künstlich hergestellte Polymere bzw. Kunststoffe in Deutschland vor und nach 1945 als Kontinuitätslinie der Ersatzstoffforschung zu werten. Bei Kunststoffen handle es sich – so Maier – in erster Linie um die aus der NS-Zeit stammenden Ersatzstoffe, die verbessert und weiterentwickelt wurden. Er erwähnt jedoch nicht, dass die Technische Chemie, gerade jener der Kunststoffe sowie die Werkstoffverwendung in den 1950er Jahren weltweit jenseits aller Ersatzstoffdebatten neue Wege gingen. Auch erwähnt er nicht das grundlegend geänderte geopolitische und rohstoffwirtschaftliche Umfeld der Bundesrepublik Deutschland (BRD). Zudem führt er selbst Belege dafür an, dass Chemiker und Techniker sich weigerten, Kunststoffe als Ersatzstoffe gelten zu lassen und stattdessen Kunststoffe als Neue Werkstoffe betrachteten. Zudem fehlt bei Maier der internationale Vergleich, der verdeutlicht hätte, dass auch andere, nicht so stark autarkieorientiert forschende nationale Innovationssysteme genau

32 Maier, *Forschung*, z. B. S. 784–799.

33 Maier, „Rettungsmetalle“, S. 153, 166, 169.



dieselben Wege gingen. Genau betrachtet kann Maier für das Beispiel der Kunststoffe nur personelle Kontinuitäten anführen, um seine These zu belegen.<sup>34</sup>

Es bleibt festzuhalten, dass Lesser eine deutsche Kontinuität von der Kontinentalersperre bis zum Ersten Weltkrieg und Marsch eine Kontinuität vom Ersten Weltkrieg bis zum Zweiten Weltkrieg konstatiert. Maier und Marsch meinen darüber hinaus nachweisen zu können, dass ohne eine einschlägig ausgerichtete materialwissenschaftliche Grundlagenforschung wesentliche Ersatzstoffe gar nicht zustande gekommen wären.

2002 schließlich erschien eine Schrift, die noch einen Schritt weiter ging, indem sie die Ersatzstoffforschung sogar zu einer großen deutschen Kontinuitätslinie des 20. Jahrhunderts stilisierte. Der Wissenschafts- und Technikhistoriker Ulrich Wengenroth sieht die deutsche Materialwissenschaft und Werkstofftechnik während des gesamten 20. Jahrhunderts bis in seine Gegenwart in einer Art „Wagenburg“, in einem „selbstgebauten Käfig“, in „Selbstisolation“ mit dem Ziel „größtmöglicher Autarkie“ verharren.<sup>35</sup> Dies gelte für Physik und Chemie ebenso wie für Gewerbe und Industrie. Deutscher Sonderweg in Verbindung mit deutscher Rohstoffarmut, so Wengenroth, hätten eine starke Orientierung auf die Ersatzstoffforschung, ja sogar eine ganze „Ersatzstoffkultur“ herausgebildet: „Ressourcenknappheit und Reichtum an wissenschaftlich-technischer Intelligenz verbanden sich zur Ersatzstoffkultur, die als spezifisch deutscher Beitrag in die Technikgeschichte des 20. Jahrhunderts einging.“ Wie Lesser und Marsch geht auch Wengenroth von der Synthesechemie aus. Dabei schreibt er der „Stickstoffsynthese“<sup>36</sup> eine Schlüsselstellung zu, ohne zu erwähnen, dass die Synthesechemie ein zentrales Tätigkeitsfeld der Chemie weltweit darstellte.<sup>37</sup> Wengenroth konzentriert sich zur Stützung seiner These auf die 1910 patentierte Haber-Bosch- bzw. Ammoniaksynthese bzw. die „Ammoniakverbrennung“ zur Herstellung von Salpetersäure, mit der Sprengstoffe aus Rohstoffen hergestellt werden konnten, die beide im Inland ausreichend vorhanden waren. Als zweites Beispiel führt Wengenroth mit Marsch das Verfahren der Kohleverflüssigung an, mit dem der Weg zum „deutschen Benzin“ frei wurde. Dabei habe „der Rest der Welt“, gerade als das Deutsche Reich mit der IG Farben im Dezember 1933 den „Benzinvertrag“ abschloss, den Autarkiepfad<sup>38</sup> wieder verlassen.

Doch Wengenroth führt nicht nur Roh-, Betriebs- und Energiestoffe der Groß- und Synthesechemie als Beleg für seine Schlussfolgerungen an. Er schließt explizit auch das Feld der Werkstoffe mit ein. Es widmete, so Wengenroth „der national gesonnene Dr. rer. nat. sein Leben der Herstellung von Zellwolle, statt

34 Maier, „Rettungsmetalle“, S. 153, 166, 169, 153.

35 Wengenroth, *Flucht*. Wengenroth beruft sich dort allerdings nicht auf Marsch.

36 Gemeint ist die Ammoniaksynthese durch den Stickstoff aus der Luft und Wasserstoff sowie vor allem die daran anknüpfende „Ammoniakverbrennung“, mit welcher Salpetersäure gewonnen wird, die den Grundstoff für die Herstellung von Schieß- und Sprengstoffen bildet.

37 Vgl. die Ausführungen von Reinhardt zum „technologischen Paradigma“ bzw. zu Hughes „Momentum“ in Reinhardt, *Forschung*, S. 24–26.

38 Dadurch schwächt Wengenroth die von ihm vertretene deutsche Sonderwegsthese, da er damit zugibt, dass auch anderen Ländern Autarkiebestrebungen nicht fremd waren.

den Kaufmann Baumwolle importieren zu lassen“. Noch einen Schritt weiter geht er, indem er die angeblich typisch deutsche Zuwendung zu Ersatzstoffen auch auf die weiterverarbeitende Industrie ausdehnt: „Die Kreativität der Labors und Werkstätten konzentrierte sich immer mehr auf den selbstgewählten Sonderweg, dessen Rationalität alleine in der gewollten Absonderung Deutschlands lag.“ Auch in der Weimarer Republik hätte das Programm, „in größtmöglicher Autarkie alle Rohstoffe aus dem eigenen Hof erwirtschaften zu wollen“, vorgeherrscht. Das Ergebnis wäre „die überdurchschnittlich entwickelte Fähigkeit, aus ungeeigneten Ressourcen mit hohem Aufwand Zweitklassiges herzustellen“ gewesen. Weltwirtschaftliches Denken und entsprechende wissenschaftliche Arbeit seien, folgt man Wengenroth, durch nationale „Einigelung und Abgrenzung“ ins Hintertreffen geraten und so für die NS-Bewegung anschlussfähig geworden.<sup>39</sup> Durch diese erlebte das deutsche Wissenschaftssystem seine Zerschlagung: „Die Reste [des Wissenschaftssystems] wurden schwerpunktmäßig dem Ausbau der Ersatzstoffkultur gewidmet, in deren technischen Sackgassen ein großer Teil der verbliebenen Kreativität verbrannt wurde.“<sup>40</sup> Als Beispiel nennt er abermals die Kohlehydrierung, aber auch die Verarbeitung inländischer Eisenerze mit niedrigem Metallgehalt zu Walzstahl. Zwar konstatiert Wengenroth den deutschen Forschern nach 1945 einen an den USA orientierten Umlernprozess, doch dadurch sei „die Integration der zweiten in Deutschland aufgebauten Werkzeug- und Ersatzstoffkultur in die Bundesrepublik vor neue Herausforderungen gestellt“ worden.<sup>41</sup>

Fasst man die Thesen der drei genannten Autoren zusammen, so kommt man zu dem Schluss, dass die deutsche Wirtschaftspolitik und das deutsche wissenschaftlich-technische Innovationssystem<sup>42</sup> von der Napoleonischen Kontinentalsperre an, zumindest aber seit dem späten Kaiserreich bis heute durchgängig geprägt war von Autarkiedenken und Forschungen zu Ersatzstoffen und zwar in sämtlichen Bereichen der Großchemie, Materialwissenschaft und Werkstofftechnik. Gestützt werden diese Aussagen auf Beispiele aus der chemischen Industrie (Synthesechemie, vor allem Hochdrucksynthesen), aber auch aus den werkstoffherstellenden Industrien (Eisen- und Stahlindustrie, Zellwolle, Kunststoffe).<sup>43</sup> Zudem findet sich gelegentlich die Behauptung, dass einige in den Autarkiephasen entwickelte Ersatzstoffe auch in Friedensphasen erfolgreich als Werkstoffe genutzt worden seien.

Vorweg sollen einige wirtschaftspolitische Faktoren aus der Perspektive der chemischen Industrie – die in dieser Studie ausgeklammert bleibt – kurz angerissen werden. Die geschilderten naturräumlichen, wissenschaftlichen und technischen

39 Wengenroth, *Flucht*, alle Zit. S. 55.

40 Es bleibt an dieser Stelle die Frage, wieso das NS-Wissenschaftssystem das vorherige Wissenschaftssystem zerschlagen musste, wo es doch angeblich ohnehin so stark auf Ersatzstoffforschung ausgerichtet war.

41 Wengenroth, *Flucht*, S. 59.

42 Lundvall, *Introduction*, S. 2–8.

43 In der wirtschaftswissenschaftlichen Literatur nach 1945 überwiegen ebenfalls Beispiele der Substitution bei chemischen und Energie-Rohstoffen. Typisch etwa der Sammelband Siebert, *Ressourcen*, darin insbes. Florian Sauter-Servaes, *Übergang*, S. 245–257.

Dimensionen einer Roh- und Werkstoffpolitik sind teilweise eng mit politischen und militärischen Faktoren verknüpft. Lieferboykotte und Embargos stellten im 20. Jahrhundert wichtige machtpolitische Werkzeuge dar. Heute wird das Thema vermehrt unter dem Begriff der „Rohstoffsicherheit“ diskutiert. Nationalökonomien unterscheiden dabei physische und wirtschaftliche Verknappung, ohne dass die beiden einander ausschließen. Erstere stellen das Ergebnis politischer, zweite von ökonomischen Prozessen (Teuerung, Nachfrageüberhang, Angebotsdefizit) dar. Es können aber auch Maßnahmen wie Hochzollpolitik (Erziehungszölle) oder Autarkie die Rohstoffmärkte beeinträchtigen. Alle diese Vorgänge zwingen, wenn die Produktion wichtiger Güter nicht stocken soll, zu wirtschaftspolitischen Maßnahmen, welche die Folgen dieser Strategien und Konflikte überwinden oder wenigstens mildern sollen. Die Entwicklung und Nutzung von Substituten bilden dabei nur eine von vielen wirtschaftspolitischen Maßnahmen. Diese wurden vor 1914 aber nur dort verfolgt, wo sie technische Verbesserungen nach sich zogen und/oder wirtschaftlich erfolgreich waren. Zu den älteren Beispielen hierfür zählten chemische Grundsubstanzen wie Soda, Chlor und Schwefelsäure. Diese Stoffe konnten aufgrund neuer chemischer Verfahren aus anderen Rohstoffen gewonnen werden, da die bisherigen Rohstoffe aufgrund großen Verbrauchs teilweise knapp geworden waren. Sie fanden etwa als Bleichmittel in der Textil- und Papierfabrikation verwendet.<sup>44</sup> Anstelle der Verwendung teuer importierter Pflanzenstoffe entwickelte die deutsche chemische Industrie ab dem 19. Jahrhundert Verfahren zur Gewinnung synthetischer Farbstoffe aus Steinkohleteer. Die damit erzielten weltweiten Absatzerfolge beflügelten die deutsche Synthesechemie, vor allem die Vorläuferunternehmen der IG Farben, zu internationalen Spitzenleistungen. Dieses Unternehmen finanzierte weitere Forschungsanstrengungen wie die bereits erwähnte, 1910 patentierte Haber-Bosch-Synthese, die den Stickstoff aus der Luft mit Wasserstoff unter hohem Druck und Katalysatorwirkung zu dem Grundstoff Ammoniak verband, der in der Düngemittel- bzw. Sprengstoffherstellung eine Schlüsselrolle spielen sollten und mühsam gewonnene Naturstoffe ablöste.<sup>45</sup> Ein weiteres Beispiel für eine gelungene Synthese bildete die 1923 bei der BASF durchgeführte, ebenfalls auf Braunkohle basierende Methanolsynthese, welche mühsame ältere Verfahren der Holzverkohlungen ablöste.<sup>46</sup> Im Rahmen der Umsetzung dieser Techniken gewann die BASF bzw. die IG Farben zahlreiche grundlegende Erkenntnisse, vor allem bei dem Einsatz von Autoklaven, Katalysatoren, elektrischen Strom und dem Ausgangsprodukt Synthesegas. So entsprach es einer gewissen Logik zu versuchen, mithilfe der Druckhydrierung von Kohlenstoff auch höherwertige Kohlenwasserstoffe zu gewinnen. Als derartiges Momentum seien die Forschungen von Friedrich Bergius zu Hydrierbenzin („Kohleverflüssigung“) in der Zwischenkriegszeit genannt, die während der NS-

44 Vgl. Osteroth, Soda.

45 Vgl. Szöllösi-Janze, Haber.

46 Vgl. Luxbacher, Methanolsynthese.

Zeit wieder aufgenommen wurden<sup>47</sup> sowie, wenn auch in anderen industriellen Zusammenhängen, die Fischer-Tropsch-Synthese („Synthesebenzin“)<sup>48</sup>.

Anzuführen ist auch die wichtigste gewerblich-industrielle Werkstoffgruppe der Metalle. In ihr wurden viele neuartige Legierungen entwickelt, die ältere obsolet werden ließen. Ersetzten all diese Stoffe wirklich die älteren Stoffe in einem derartigen Umfang und in einer Art und Weise, dass man sie wie die drei genannten Autoren als Ersatzstoffe bezeichnen kann?

### 1.3 FRAGESTELLUNG UND METHODISCHES VORGEHEN

Stimmt es, dass Deutschlands Forschung und Industrie im 20. Jahrhundert durchgängig von der Forschung an Ersatzstoffen geprägt war? Bot die chemische Industrie dafür so etwas wie eine Blaupause für andere Sektoren? Wie erfolgreich waren diese Stoffe in der Praxis, und wie lange und in welchen Kontexten? Beschriftet das von Kriegen besonders betroffene Deutschland dabei im internationalen Vergleich einen Sonderweg?

Wenn Ersatzstoffe tatsächlich solch eine dominante und epochenübergreifende Rolle in der Geschichte von Materialwissenschaft und Werkstofftechnik gespielt hätten, musste sich das deutlich in der staatlichen Forschungsförderung niederschlagen haben. Daher übernahm der Autor im Rahmen der Forschergruppe „Geschichte der Deutschen Forschungsgemeinschaft 1920 bis 1970“ die Beantwortung dieser Fragen und fasste seine vorläufigen Ergebnisse zusammen.<sup>49</sup> Dabei wurde deutlich, dass das gesamte Jahrhundert in den Blick genommen, ein internationaler Vergleich erreicht sowie auch der private Sektor mit analysiert werden musste. Außerdem musste zusätzlich zu den naturwissenschaftlichen, technikwissenschaftlichen und wirtschaftswissenschaftlichen Aspekten auch die Produktentwicklung samt ihrer Methodik der Werkstoffauswahl<sup>50</sup> sowie die Techniknutzung in der betrieblichen Praxis untersucht werden. Um einer Ausuferung der vorliegenden Studie durch diesen diachronen, internationalen und sektoralen Vergleich entgegenzuwirken, beschränkte sie sich die Untersuchung auf die wichtigste Werkstoffgruppe, die der Metalle. Leider existiert jedoch weder eine Geschichte der Ersatzstoffe noch eine umfassende Geschichte metallischer Werkstoffe.<sup>51</sup> Hans-Joachim Braun kennzeichnete 2002 die Werkstoffgeschichte generell als schlecht erforscht.<sup>52</sup> Immerhin gab es in den letzten Jahren einige Ansätze und Einzelstudien zu einer Geschichte der Materialwissenschaft und Werkstofftechnik.<sup>53</sup> Dabei wird deutlich, dass gewerb-

47 Plumpe, I. G. Farbenindustrie.

48 Luxbacher, Kohle.

49 Vgl. allg. Luxbacher, Werkstoff.

50 Vgl. das Beispiel der frühen Batterieentwicklung bei Mom, Fox Hunt, S. 147–154.

51 Siehe den Überblick bei Hentschel, Werkstoffforschung, insbes. S. 33–40.

52 Braun, Introduction, S. 7; einen Überblick über die wissenschaftshistorische Literatur mit Perspektive auf die Materialwissenschaft gab 2011 Hentschel, Geschichte.

53 Geschichte der Materialforschung, Themenheft der Zeitschrift Naturwissenschaft-Technik-Medizin (NTM) 19 von 2011; Strobach, Konstruktionswerkstoff.

lich-industrielle Roh- und Werkstoffe immer schon knappe, weil kostspielige Güter darstellten. Ingenieure und Konstrukteure waren daher prinzipiell immer bestrebt, Produkte mit möglichst wenig Materialaufwand, also möglichst sparsam herzustellen.<sup>54</sup> Nicht unerheblich war es auch, dass dadurch der Konstruktions- und Herstellungsaufwand sowie das Gewicht der Produkte minimiert werden konnten. So schrieb der Professor der Ingenieurwissenschaft am Eidgenössischen Polytechnikum Zürich, Karl Culmann, 1866 über den Brückenbau: „Der Zweck aller Stabilitätsuntersuchungen (...) ist: den beabsichtigten Bau mit einem Minimum an Material durchzuführen.“ Die englischen Ingenieure lebten dabei im Bewusstsein: „Ich bin im Besitz des Eisens und brauche mich nicht mit der Statik zu plagen“, weshalb ihre Brücken „wie gemästet aussehen“. Aber das „passt weniger für die armen Teufel des Continents, die müssen difteln und probiren, für jede zu bauende Bahn deren viele, viele abstecken und veranschlagen, um die billigste zu finden und für jede zu bauende Brücke verschiedene Kräftepläne zeichnen, um ja kein Material zu vergeuden und nur das nothwendigste zu verwenden“. Der US-amerikanische Ingenieur hingegen, so Culman, mache es vom nationalökonomischen Standpunkt aus gesehen am besten, wenngleich er es wieder in die andere Richtung übertriebe, denn „er wendet nie mehr als das absolut Nothwendige auf, oder lieber noch etwas weniger; das Bauwerk könnte vielleicht doch halten“. Culmans Fazit: „Wie in Allem, so ist auch hier die Mittelstrasse die beste (...)“.<sup>55</sup>

Das Zitat belegt nicht nur die Wichtigkeit des Zusammenspiels von Werkstoffauswahl und Konstruktionspraxis sondern generell die lange Wertschöpfungskette vom Eisen zum Fertigprodukt und verweist außerdem auch noch auf die damit verbundenen wirtschaftspolitischen Faktoren.

Um diese lange Wertschöpfungskette vom Rohstoff zum Werkstoff erfassen zu können, wurde sie in der hier vorliegenden Arbeit in die drei Gegenstandsbereiche der Materialwissenschaft, der Werkstoff- bzw. Materialprüfung und der Werkstoffauswahl eingeteilt, wobei letztere bereits einen Bestandteil des Konstruktionsprozesses darstellt.

Die Materialwissenschaft wird dabei als naturwissenschaftliche, überwiegend aus der Physik und Chemie gespeiste Disziplin verstanden. Die Materialwissenschaft entwickelt Methoden der Festkörperanalytik und dringt damit in das Innere nicht geometrisch sondern strukturell definierter Körper vor. Sie erscheint in der hier vorliegenden Studie vor allem in Gestalt des Disziplinbündels der Metallkunde, Metallforschung, Metallphysik, Metallchemie, Kristallographie usw.

Die Materialprüfung wird als technikwissenschaftliche Grundlagendisziplin gewertet. Zu ihr zählen sowohl die klassische zerstörende Materialprüfung mit dem genormten Prüfstab. Mit dieser Methode werden praxisbezogene Festkörpereigenschaften ermittelt. Erst nach und nach wurden auch geometrisch unterschiedlich geformte Bauteile zerstörend und immer häufiger auch nicht zerstörend geprüft.

54 Vgl. auch das Kapitel „Die Dynamik der Sparsamkeit“ in Radkau, Technik, S. 107–114.

55 Culmann, Statik, S. 527 f. Für diesen Hinweis danke ich Karl-Eugen Kurrer, Berlin.

Die Entwicklung von systematischen Werkstoffauswahlverfahren hingegen stellt einen Bestandteil der Konstruktionswissenschaft als Technikwissenschaft dar. Erst im Verbund einer Konstruktion erweist sich, ob ein Werkstoff in seiner Gestalt auch wirklich für den Zweck taugt, für den er entwickelt wurde.<sup>56</sup>

Neben dem wissenschaftlichen zeigt sich auch der institutionelle Aspekt in vielen Facetten. Die drei genannten Gegenstandsbereiche werden sowohl von staatlichen als auch von privaten Institutionen vorangetrieben, die häufig in bestimmten Konkurrenz- bzw. Kooperationsverhältnissen standen.<sup>57</sup> Eine Reihe von Institutionen der Staatsverwaltung, Hochschule und Industrie war involviert, die aufgrund ihrer gegenseitigen Umschlingung gelegentlich mit Hilfe eines „Triple-Helix“-Modells umrissen werden.<sup>58</sup> Sie lernten voneinander und begannen einander stellenweise immer mehr zu gleichen<sup>59</sup>, sie wurden zu einer Art Ressource füreinander<sup>60</sup>, ein Prozess, der sich in zunehmender Kooperation, etwa in großen Forschungseinrichtungen (etwa der Deutschen Forschungsgemeinschaft DFG, dessen Gemeinschaftsarbeiten Metall oder dessen Ausschuss für Angewandte Forschung usw.) sowie in zunehmender Verwissenschaftlichung der Forschungsmethoden niederschlug. Der Aufstieg der akademischen Technikwissenschaften ab dem späten 19. Jahrhundert ist undenkbar ohne derartige Einrichtungen in allen drei Teilsystemen der Triple Helix.<sup>61</sup> Daraus ist aber nicht abzuleiten, dass sich Produkte quasi durchgängig von der eher staatlich geförderten naturwissenschaftlichen Grundlagenforschung bis zum eher privatwirtschaftlich hergestellten marktfähigen Erzeugnis gewinnen ließen (Fließband-Prinzip bzw. „linear model“).<sup>62</sup> Vielmehr ist daran zu erinnern, dass der modernen Technik ganz andere Wissensformen, Erkenntnisssysteme und Methodenarsenale zugrunde liegen als den Naturwissenschaften.<sup>63</sup>

56 Die Unterscheidung zwischen den Gegenstandsbereichen Materialwissenschaft und Werkstofftechnik soll heute durch Kürzel wie „Matwerk“ oder durch einen an das Englische angelehnten Begriff der „Werkstoffwissenschaft“ versinnbildlicht werden, die manchmal auch „eines der Grundlagenfächer der Ingenieurwissenschaften“ darstellen soll. Vor allem im letzten Begriff kommen aber viele der hier angeschnittenen Aspekte, vor allem die technikwissenschaftlichen, gar nicht vor. Vgl. die Homepage der Bundesvereinigung Matwerk; vgl. Schatt/Worch, Werkstoffwissenschaft, Vorwort; vgl. Hornbogen, Werkstoffe, Vorwort.

57 Der Begriff „Materialwissenschaft“ war in Deutschland lange Zeit nicht üblich, wohl aber die Verfolgung des damit verbundenen Forschungs- und Erkenntnisansatzes, vgl. Hentschel, Geschichte, S. 17.

58 Etkowitz, Helix, S. 7–25.

59 Etkowitz, Helix, S. 9, 22 f.

60 Vgl. auch Ash, Wissenschaft.

61 König, Technikwissenschaften, S. 259–268, 324–344.

62 Für das „linear model“ und Beispiele siehe ITT Research Institute, Technology, S. 5, 16.

63 Grundlegend Müller, Arbeitsmethoden, insbes. S. 7–15; In historischer Perspektive siehe Hänsler, Konstruktion, S. 16–20.