

**Beiträge zur historischen und systematischen
Schulbuch- und Bildungsmedienforschung**

Anja Sauer

Materialwissenschaft im Schulbuch

**Eine Analyse materialwissenschaftlicher Inhalte
in Chemie-Schulbüchern mit einem Methodenvergleich
für die Frequenz- und Raumanalyse**

Sauer

Materialwissenschaft im Schulbuch

Beiträge zur historischen und systematischen Schulbuch- und Bildungsmedienforschung

herausgegeben von

Bente Aamotsbakken, Marc Depaepe, Carsten Heinze,
Eva Matthes, Sylvia Schütze und Werner Wiater

Anja Sauer

Materialwissenschaft im Schulbuch

Eine Analyse materialwissenschaftlicher Inhalte
in Chemie-Schulbüchern mit einem Methodenvergleich
für die Frequenz- und Raumanalyse

Verlag Julius Klinkhardt
Bad Heilbrunn • 2017

k

Die vorliegende Arbeit wurde von der Fakultät für Chemie und Biochemie der Ruhr-Universität Bochum unter dem Titel „Materialwissenschaft im Schulbuch – Eine Analyse materialwissenschaftlicher Inhalte in Chemie-Schulbüchern mit einem Methodenvergleich für die Frequenz- und Raumanalyse“ als Dissertation angenommen.

Gutachter: Prof. Dr. Katrin Sommer, Prof. Dr. Michael Pohl

Tag der Disputation: 12.02.2016

Dieser Titel wurde in das Programm des Verlages mittels eines Peer-Review-Verfahrens aufgenommen.
Für weitere Informationen siehe www.klinkhardt.de.

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek
Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation
in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten
sind im Internet abrufbar über <http://dnb.d-nb.de>.

2017.kg © by Julius Klinkhardt.

Das Werk ist einschließlich aller seiner Teile urheberrechtlich geschützt.

Jede Verwertung außerhalb der engen Grenzen des Urheberrechtsgesetzes ist ohne Zustimmung
des Verlages unzulässig und strafbar. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Übersetzungen,
Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

Satz: Kay Fretwurst, Spreeau.

Druck und Bindung: AZ Druck und Datentechnik, Kempten.

Printed in Germany 2017.

Gedruckt auf chlorfrei gebleichtem alterungsbeständigem Papier.

ISBN 978-3-7815-2153-7

Mein besonderer Dank gilt...

- Frau Prof. Dr. Katrin Sommer für die vielfältigen Erfahrungen, die ich durch die Promotion an ihrem Lehrstuhl sammeln durfte.
- Herrn Prof. Dr. Michael Pohl für die Übernahme des Zweitgutachtens, seine Mitwirkung während der Validierung der Methode und sein Interesse.
- Frau Prof. Dr. Eva Matthes und den Mitglieder der IGsBi für die hilfreichen Hinweise auf den Jahrestagungen.
- der Deutschen Gesellschaft für Materialkunde e.V. (DGM) für die zahlreichen Gelegenheiten, die Ergebnisse der Untersuchung vorzustellen und die Daten der Fragebogen-Studie zu erheben.
- Frau Dr. Kerstin Prokoph, für die stetige Ermutigung, diesen Weg zu verfolgen.
- meinen Kolleginnen und Kollegen für ein sehr freundschaftliches Miteinander und viele hilfreiche Gespräche.
- Magali und Jens, für ihre hilfreichen Erläuterungen zur Werkstoffprüfung.
- meinen fleißigen Korrektoren Alina, Annette, Helma und Philipp, die mich mit zahlreichen Hinweisen unterstützt haben.
- Aylin, Hannah, Lea und Katrin, die engagiert bei der Datenerhebung und Zweitkodierung mitwirkten.
- Daniel für seine Ruhe und seinen beständigen Zuspruch.
- meiner Familie für ihre dauerhafte Unterstützung in allen Lebenslagen.

Inhalt

1	Einleitung	11
2	Stoffe in der Chemie und der Materialwissenschaft	13
2.1	Materialwissenschaft – eine interdisziplinäre Ingenieurwissenschaft	13
2.2	Relevante Stoffklassen in der Materialwissenschaft	15
2.3	„Stoff“ und „Material“ – zwei Begriffe mit der gleichen Bedeutung?!	20
	Exkurs 1: Polytechnische Bildung	25
2.4	Teilgebiete der Materialwissenschaft	26
2.4.1	Fertigungstechniken	26
2.4.2	Chemische Methoden in der Werkstoffprüfung	29
	Exkurs 2: Analysemethoden der Chemie	31
3	Das Schulbuch – Gegenstand von Forschung	41
3.1	Entwicklung der Schulbuchforschung	42
3.2	Methoden der Schulbuchanalyse	45
3.3	Schulbücher im mathematisch-naturwissenschaftlichen Unterricht	49
	Exkurs 3: Chemie im Kontext	56
3.4	Strukturelemente in Schulbüchern	57
4	Forschungsziel und Forschungsfragen	65
5	Lehrplansynopse: Materialwissenschaftliche Inhalte in den Lehrplänen für den Chemieunterricht der Sekundarstufe I	69
5.1	Datenerhebung für die Lehrplansynopse	69
5.2	Ergebnisse der Lehrplansynopse	70
6	Untersuchungsdesign	73
6.1	Auswahl und Darstellung der untersuchten Chemie-Schulbücher	73
6.2	Datenerhebung	75
6.2.1	Bestimmung des Dictionärs – Festlegung der Kodiereinheiten	75
6.2.2	Erhebung von Daten mittels Frequenzanalyse	78
6.2.3	Erhebung von Daten mittels Raumanalyse	80
6.2.4	Explorative Fragebogenstudie zur Erhebung von praxisrelevanten Themen innerhalb der Materialwissenschaft	82
6.3	Instrumente zur Datenauswertung	84
6.3.1	Kategoriensystem zur Identifikation materialwissenschaftlicher Inhalte in Chemie-Schulbüchern	85
6.3.2	Unterkategoriensysteme zum „Kategoriensystem zur Identifikation materialwissenschaftlicher Inhalte in Chemie-Schulbüchern“	90
6.3.3	Kategoriensystem zur Klassifikation der Strukturelemente im Chemie-Schulbuch	93

6.4	Diskussion der Erhebungs- und Auswertungsinstrumente mit Experten der Materialwissenschaft	97
6.5	Gütekriterien	98
6.6	Statistische Auswertung der Daten	101
7	Ergebnisse	105
7.1	Ergebnisse zur Forschungsfrage 1	106
7.1.1	Forschungsfrage 1a	108
7.1.2	Forschungsfrage 1b	114
7.1.3	Forschungsfrage 1c	124
7.1.4	Forschungsfrage 1d	136
	Exkurs 4: Bestimmung der Kennwerte für die Korrosion anhand typischer Experimente aus Chemie-Schulbüchern	146
	Exkurs 5: Mikrophotographische Bestimmung der Korngröße für eine Eisenprobe	153
7.1.5	Zusammenfassung der Ergebnisse zur Forschungsfrage 1	156
7.2	Ergebnisse zur Forschungsfrage 2	158
7.2.1	Zusammenfassung der Ergebnisse zur Forschungsfrage 2	170
7.3	Ergebnisse zur Forschungsfrage 3	171
7.3.1	Forschungsfrage 3a	173
7.3.2	Forschungsfrage 3b	185
7.3.3	Zusammenfassung der Ergebnisse zur Forschungsfrage 3	189
7.4	Ergebnisse zur Forschungsfrage 4	189
7.4.1	Forschungsfrage 4a	190
7.4.2	Forschungsfrage 4b	198
7.4.3	Zusammenfassung der Ergebnisse zur Forschungsfrage 4	200
7.5	Ergebnisse zur Forschungsfrage 5	201
7.5.1	Zusammenfassung der Ergebnisse zur Forschungsfrage 5	217
8	Diskussion der Ergebnisse	219
9	Zusammenfassung und Ausblick	229
10	Verzeichnisse	239
10.1	Untersuchte Schulbücher	239
10.2	Sekundärliteratur	239
10.3	Abbildungsverzeichnis	247
10.4	Tabellenverzeichnis	249
11	Anhang	251

Abkürzungsverzeichnis

AOA	Apparat zur Organisation der Aneignung
h_n	Relative Häufigkeit
IM	Illustrationsmaterial
N	Stichprobenumfang
N	Umfang der Teilmenge
\bar{x}	arithmetisches Mittel
PP	Polypropylen
PS	Polystyrol
PVC	Polyvinylchlorid
PE	Polyethylen
PA	Polyamid
PAN	Polyacrylnitril
PET	Polyethylenterephthalat
PMMA	Polymethylmethacrylat
PTFE	Polytetrafluorethylen
PUR	Polyurethan
r	Korrelationskoeffizient nach Pearson
R	Interkoderreliabilität
S	Standardabweichung
SI	Silikon

1 Einleitung

Für die Bewältigung zukünftiger Herausforderungen im Bereich Energieversorgung, Medizin oder Mobilität werden Materialien mit spezifischen Eigenschaften benötigt (DGM 2012). Dieser großen gesellschaftlichen und wirtschaftlichen Bedeutung steht jedoch eine geringe öffentliche Wahrnehmung gegenüber (Höcker et al. 2008). Eine Forderung der acatech-Gruppe (2009) ist deshalb die Verankerung von technischen Themen in den naturwissenschaftlichen Unterrichtsfächern an weiterführenden Schulen.

Die Materialwissenschaft bietet sich für diese Verknüpfung an, denn sie „fasst diejenigen Erkenntnisse, Arbeitsmethoden und Denkansätze zusammen, welche zur wissenschaftlichen Beherrschung der Werkstoffe beitragen [...]“ (Gräfen 1992, 1137). Dabei bedient sie sich Komponenten aus Chemie, Maschinenbau, Bauingenieurwesen und neuerdings auch Biowissenschaften (Gräfen 1992).

Hier zeigt sich eine breite fachliche und methodische Verzahnung von Chemie und Materialwissenschaft. Durch die Nähe der beiden Wissenschaften ergeben sich vielfältige Möglichkeiten, technische Kontexte im Chemieunterricht zu betrachten und andererseits naturwissenschaftliche Gesetzmäßigkeiten am Beispiel der technischen Kontexte zu thematisieren.

Überlegungen zur Integration der Materialwissenschaft in den Chemieunterricht finden sich indirekt sowohl aus chemiedidaktischer als auch aus ingenieurwissenschaftlicher Perspektive. Zieffe und Jakobs (2009) konnten in einer acatech-Studie zeigen, dass Lernende und Eltern sich die Thematisierung von technischen Themen in der Schule wünschen. Ein weiterer Aspekt ist die zunehmende Kontextorientierung des Chemieunterrichtes, basierend auf den Ansätzen des Unterrichtskonzeptes „Chemie im Kontext“. Ausgangspunkt dieses Konzeptes sind Kontexte, welche den Lernenden Anknüpfungspunkte und damit nachvollziehbare Anlässe zur Beschäftigung mit der Chemie bieten. Sie nutzen dafür Themenbereiche, die für das alltägliche Leben der Lernenden von Bedeutung sind oder werden (Demuth et al. 2008). Hierzu konnte eine Studie von van Vorst (2012) belegen, dass nicht alle Kontexte die gleiche Motivation bei Lernenden hervorrufen. In ihrer Untersuchung zu Merkmalen von interessanten Kontexten konnte sie feststellen, dass ‚besondere Kontexte‘ eine deutlich höhere emotionale Valenz bei Lernenden beiderlei Geschlechts hervorrufen. ‚Besonderheit‘ zeichnet einen Kontext aus, wenn er eine lebensweltliche Relevanz besitzt und authentisch ist, aber außerhalb des unmittelbaren Zugangsbereiches der Lernenden liegt.

Diese Kriterien erfüllen die Materialwissenschaft bzw. materialwissenschaftliche Kontexte. Damit lässt sich festhalten, dass sich die Materialwissenschaft für eine Betrachtung in der Chemie durch ihre gemeinsame methodische Schnittmenge anbietet.

Dieser scheinbar natürlichen Symbiose aus Materialwissenschaft und Chemie stehen jedoch Forderungen über eine Verstärkung der Werkstoffwissenschaften in der Schule gegenüber. Aufgrund der wahrgenommenen mangelnden Berücksichtigung fordern Höcker et al. (2008) in ihrem Positionspapier eine Stärkung des Themenfeldes Werkstoffe im Unterricht der weiterführenden Schule. Außerdem wird der Wunsch nach spezifischen Schulbüchern und Unterrichtsmaterialien geäußert, um die technikbezogenen Themen im naturwissenschaftlichen Unterricht stärker zu verankern (Milberg 2009).

Dabei kommt den Schulbüchern eine besondere Bedeutung zu, denn die Schulbuchforschung konnte zeigen, dass Schulbücher einen Überblick über das gesellschaftlich relevante Wissen enthalten (Lässig 2010). Quantitative Aussagen stützen sich hierbei auf Daten, die mittels Frequenz- und Raumanalyse gewonnen wurden (Pingel 2010). Es findet sich jedoch keine Aussage in der Literatur über die Vergleichbarkeit der beiden Methoden.

Es stellt sich jedoch die Frage, ob die Schulbücher das Thema Werkstoffe aufgreifen und der großen gesellschaftlichen Bedeutung der Materialwissenschaft gerecht werden.

Ziel der Arbeit ist es deshalb, eine Aussage über die Präsentation und das Bild von materialwissenschaftlichen Themen in Chemie-Schulbüchern zu treffen. Zu diesem Zweck wurde eine Schulbuch-Analyse von aktuellen und historischen Schulbüchern durchgeführt. Die Daten der Untersuchung bilden außerdem die Grundlage für einen Methoden-Vergleich der Frequenz- und Raumanalyse.

2 Stoffe in der Chemie und der Materialwissenschaft

2.1 Materialwissenschaft – eine interdisziplinäre Ingenieurwissenschaft

Die Material- oder Werkstoffwissenschaft¹ ist ein interdisziplinäres Fachgebiet der Ingenieurwissenschaften, welche das Ziel verfolgt, Werkstoffe² wissenschaftlich zu beschreiben (Gräfen 1991). Dazu werden Erkenntnisse, Arbeitsmethoden und Denkansätze aus den Ingenieur- und Naturwissenschaften genutzt, die auf dem Zusammenhang zwischen Strukturen und Eigenschaften basieren (Gräfen 1991). Forschungsgegenstand der Materialwissenschaft ist die Beziehung zwischen dem Aufbau der Materie und den physikalischen und technischen Eigenschaften, die der Werkstoff makroskopisch zeigt (Hornbogen 2006). Diese Grundkenntnisse werden auf technische Anwendungen von Werkstoffen übertragen. Dazu werden Erkenntnisse aus den Bereichen Festkörperphysik, physikalische Chemie sowie Elektrochemie genutzt.

Die gewonnenen Erkenntnisse bilden die Grundlage, um geeignete Werkstoffe herzustellen und zu verarbeiten. Die große gesellschaftliche Bedeutung der Materialwissenschaft zeigt sich an der engen Verknüpfung der Materialien mit der Entwicklungsgeschichte der Menschheit und führte zu einer epochengebenden Bezeichnung (Höcker 2008). Erste Materialien, die als Werkzeuge eingesetzt wurden, waren aus dem leicht zugänglichen Material Stein. Durch sich ändernde Lebens- und Umweltbedingungen wurde dieser Werkstoff in den folgenden Jahrhunderten durch besser geeignete Materialien abgelöst. Das gediegene Metall Kupfer sowie die durch Zufall entwickelten Materialien Bronze und Stahl prägten die Anwendungen sowie die Verfahren zur Gewinnung dieser Legierungen, was sich auch in der Bezeichnung der Epochen widerspiegelt (Kaiser & König 2006). Bedingt durch die sich ändernden Lebensbedingungen einer Gesellschaft ergaben sich neben der Befriedigung von Grundbedürfnissen auch immer aktuellere Anforderungen an Werkstoffe. Aktuelle Entwicklungsschwerpunkte werden als Megatrends zusammengefasst (Heinrich 2007; DGM 2012). Die Themen „Gesundheit“, „Umwelttechnologie“ und „Freiheit/Sicherheit = Kommunikation und Mobilität“ spielen hierbei eine zentrale Rolle in den Erwartungen der Gesellschaft an einen Werkstoffeinsatz. Für diese Megatrends werden in weltweit aufgestellten Entwicklungszentren schwerpunktmäßig Materialien und daraus hergestellte Produkte konzipiert, produziert und vertrieben (Heinrich 2007).

1 Im deutschsprachigen Raum wird an einigen Lehrstühlen die Unterteilung nach Werkstoffen für den Maschinenbau und Baustoffen für den Bereich Bauingenieurwesen praktiziert. Dies schafft jedoch eine Einteilung, die sich im Chemie-Schulbuch nicht wiederfindet. Deshalb wird in der folgenden Untersuchung der Begriff „materials“ aus dem englischsprachigen Raum zugrunde gelegt, der diese Unterteilung nicht vornimmt.

2 Die Werkstoffkunde umfasst die Bereiche der Werkstoffwissenschaft und Werkstofftechnik (Gräfen 1991). Allerdings findet man in der Literatur auch Autoren, die diese Themen unter dem Begriff „Werkstofftechnik“ zusammenfassen (Seidel & Hahn 2012) oder die Bezeichnung „Materialwissenschaft“ verwenden (Askeland 2010). Aktuell gibt es Bestrebungen, die Materialwissenschaft und Werkstofftechnik zu einer gemeinsamen Fachbezeichnung „Mat-Werk“ zu kombinieren (DGM-Tag in Bochum, 23.05.2013). In der vorliegenden Untersuchung wird der Begriff Materialwissenschaft genutzt, wobei auch Themengebiete der Werkstofftechnik mit eingeschlossen sind.

In deutschsprachigen Literaturquellen wird die Werkstoffwissenschaft häufig der Werkstoffkunde³ untergeordnet. Diese Disziplin umfasst neben der Werkstoffwissenschaft auch die Werkstofftechnik (Gräfen 1991; Hornbogen 2006). Werkstoff- und Fertigungstechnik umfassen Vorgänge der Umwandlung von Rohstoffen mit Hilfe verschiedener Prozesse und Methoden in Produkte (Kalpakjian, Schmid & Werner 2011). Diese Techniken verfolgen das Ziel, durch Verknüpfung der theoretischen und praktischen Teilschritte einen Werkstoff mit den erforderlichen Eigenschaften für spezielle Anwendungsgebiete zu erzielen und geeignete Werkstoffe für neue Einsatzfälle (neue Technologien) bereitzustellen (Gräfen 1991). Damit stellen die Werkstoff- und Fertigungstechnik Schlüsseltechnologien für viele Bereiche der Technik dar (Kalpakjian, Schmid & Werner 2011). Die Werkstoffkunde enthält außerdem Aspekte der Werkstoffherstellung, der Normung und Bezeichnung. In Abb. 2-1 sind die verschiedenen Teilgebiete der Werkstoffkunde dargestellt.



Abb. 2-1: Teilgebiete der Werkstoffkunde (Hornbogen 2006, 3.).

Für die vorliegende Arbeit wurde eine Auswahl der materialwissenschaftlichen Aspekte getroffen, deren Vorhandensein im Chemie-Schulbuch analysiert wird. Im ersten Schritt wurden die Normung und Bezeichnung ausgeschlossen, da diese Inhalte in einem Chemie-Schulbuch für die Sekundarstufe I nicht zu erwarten sind. Für die übrigen Teilbereiche wurde eine Auswahl in einer Diskussion mit Experten aus der Materialwissenschaft (vgl. Kapitel 6.4) getroffen. Hierbei wurden die Werkstoffanwendung, Werkstoffprüfungen und Fertigung von Werkstoffen als zentrale Teilgebiete der Materialwissenschaft hervorgehoben und als grundlegende Aspekte für die Schulbuch-Analyse bestätigt, die Prozesse der Werkstoffherstellung hingegen wurden ausgeschlossen.

3 Die Werkstoffkunde umfasst die Bereiche der Werkstoffwissenschaft und Werkstofftechnik (Gräfen, 1991). Allerdings findet man in der Literatur auch Autoren, die diese Themen unter dem Begriff „Werkstofftechnik“ zusammenfassen (Seidel, Hahn, 2012) oder die Bezeichnung „Materialwissenschaft“ verwenden (Askeland, 2010). Aktuell gibt es Bestrebungen, die Materialwissenschaft und Werkstofftechnik zu einer gemeinsamen Fachbezeichnung „Mat-Werk“ zu kombinieren (DGM-Tag in Bochum, 23.05.2013). In der vorliegenden Untersuchung wird der Begriff Materialwissenschaft genutzt, wobei auch Themengebiete der Werkstofftechnik mit eingeschlossen sind.

2.2 Relevante Stoffklassen in der Materialwissenschaft

In der Materialwissenschaft existiert eine Vielzahl von Verfahren, die sich für verschiedene Materialien eignen und dabei die unterschiedlichen Eigenschaften nutzen, wie das vorangegangene Kapitel zeigte. Einige Werkstoffe wurden bereits angesprochen, allerdings fand noch keine vollständige Darstellung der Stoffklassen statt. Das folgende Kapitel fasst die in der Materialwissenschaft relevanten Stoffklassen zusammen. Hierbei wird eine chronologische Darstellung gewählt, um eventuelle Verschiebungen der Schwerpunkte zu identifizieren.

In Abhängigkeit von der Schwerpunktsetzung der Literaturquellen⁴ zeigen sich schon auf den ersten Blick Unterschiede in der Einteilung der Stoffklassen. Die verschiedenen Autoren nutzen in ihren Arbeiten eine Kombination aus dem strukturellen Aufbau, den Eigenschaften oder der späteren Anwendung als Grundlage ihrer Einteilung.

Eine traditionelle Einteilung, basierend auf den Eigenschaften, nahm Domke (1973) vor. Er teilte Werkstoffe in metallische und nichtmetallische Werkstoffe ein. Für ihn sind Metalle Stoffe, die typische charakteristische Eigenschaften wie Festigkeit, Bildungsamkeit, Verfestigungsvermögen, kristalliner Aufbau, elektrische und Wärmeleitfähigkeit, metallischer Glanz bei Lichtreflexion sowie Auflösung in Säuren unter Bildung von Salzen zeigen. Alle Stoffe, die diese Eigenschaften nicht besitzen, wurden von Domke (1973) den Nichtmetallen zugeordnet. Es ergaben sich zwei Stoffklassen (Tab. 2-1):

Tab. 2-1: Einteilung der Werkstoffe nach Domke (1973).

Metallische Werkstoffe	Nichtmetallische Werkstoffe
Eisen und Stahl	Kunststoffe
Nichteisenmetalle	Holz, Papier, Leder, u.a.
Metallkeramische Werkstoffe	Glas, keramische Werkstoffe
	Hilfsstoffe: Lack, Leim, u.a.

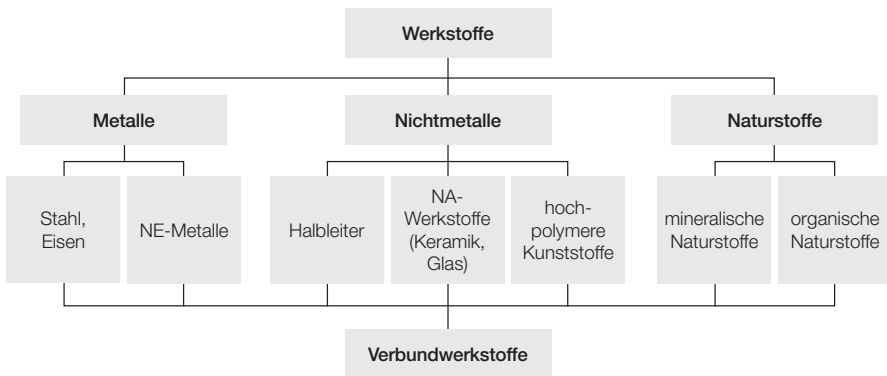
Domke (1973) weist durch diese Unterteilung den Metallen eine zentrale Stellung innerhalb der Materialwissenschaft zu, da er das Vorhandensein von typischen metallischen Eigenschaften als Unterscheidungskriterium in seiner Einteilung wählt. Diese Position wird noch einmal unterstützt durch die fehlende Differenzierung der Nichtmetalle. Dabei zeigt die Auflistung der Materialien in der obigen Tabelle, welche große Bandbreite an Stoffen hier unter der Kategorie „Nichtmetallische Werkstoffe“ zusammengefasst wurde. Diese Materialien zeichnen sich durch unterschiedliche physikalische und chemische Eigenschaften aus. So werden die Keramiken innerhalb der Chemie zumeist der anorganischen Chemie zugeordnet, während die Kunststoffe⁵ zum Gebiet der organischen Chemie zählen (Domke 1973).

Diese Vorgehensweise findet sich auch in späteren Einteilungen. Gräfen (1991) nennt die elektrische Leitfähigkeit als den entscheidenden Faktor, um seine Einteilung in Metalle und Nichtmetalle vorzunehmen. Zu den Nichtmetallen zählt er anschließend die Halbleiter, die eine

⁴ Für die folgende Zusammenstellung wurden ausschließlich Werke zum Thema „Werkstoffkunde“ oder „Werkstofftechnik“ verwendet.

⁵ Domke spricht hier von Kunststoffen, seiner Erläuterung jedoch ist zu entnehmen, dass er die Stoffklasse der Polymere damit beschreibt.

Übergangsstellung zwischen Metallen und Nichtmetallen einnehmen. Allerdings nutzt er die Bezeichnung „Nichtmetallisch-anorganische Werkstoffe“⁶, die zum Zeitpunkt der Buchveröffentlichung relativ neu ist. Zusätzlich zur elektrischen Leitfähigkeit als Entscheidungskriterium nimmt Gräfen eine Unterteilung der Nichtmetalle vor, wobei er keine halbquantitative Aussage über die elektrische Leitfähigkeit dieser Nichtmetalle untereinander trifft. Im Gegensatz zu Domke (1973) verwendet Gräfen explizit die chemische Bezeichnung Polymere. Die dritte Hauptgruppe sind die Naturstoffe, die sowohl organisch als auch mineralisch sein können. Diese Überlegung leitet sich aus der Trennung von Kunststoffen und Naturstoffen ab. Naturstoffe sind alle in der Natur vorhandenen Materialien (Naturstein, Diamant, Holz), die in dieser Form genutzt werden können. Damit sind alle durch eine Fertigungstechnik veränderten Werkstoffe – also auch Legierungen, die künstlich zusammengestellt werden – Kunststoffe. Dies wird jedoch aus Gräfens Abbildung (Abb. 2-2) nicht ersichtlich. Stattdessen werden in der Gruppe der Nichtmetalle die hochpolymeren Kunststoffe aufgezählt. Dies erweckt den Eindruck, als ob nur diese Materialien Kunststoffe sind. Die vorgenommene Einteilung birgt jedoch die Unschärfe, dass diese Unterteilung nach künstlichen und natürlichen Materialien im ersten Schritt hätte vorgenommen werden müssen, bevor die künstlichen Materialien hinsichtlich ihrer elektrischen Leitfähigkeit eingeteilt werden. Auch die Verwendung des Begriffes „Kunststoffe“ bei den Nichtmetallen schafft eine zusätzliche Unschärfe. Denn auch hier ist davon auszugehen, dass Polymere betrachtet werden. Die Einteilung von Gräfen (1991) findet sich trotz dieser Ungenauigkeit auch in anderen Quellen wieder, u.a. bei Ilschner und Singer (2010).



Werkstoffgruppen: Das Werkstoffschema wird durch die naturstoffe vervollständigt. Aus Metallen, Nichtmetallen und Naturstoffen lassen sich – im Prinzip – Verbundwerkstoffe aufbauen.

Abb. 2-2: Werkstoffgruppen nach Gräfen (1991, S. 1133).

Auch eine Einteilung hinsichtlich der Struktur findet sich in der Literatur. Ruge und Wohlfahrt (2003) nehmen eine Unterscheidung in kristalline und amorphe Werkstoffe vor. Dabei werden im Folgenden die Metalle als die Hauptvertreter der kristallinen Werkstoffe gekennzeichnet, während keramische Werkstoffe sowohl amorphe als auch kristalline Strukturen aufweisen kön-

⁶ In der vorliegenden Arbeit wird gezeigt, dass die Nutzung der Bezeichnung „Nichtmetallisch-anorganische Werkstoffe“ nicht durchgehend erfolgt.

nen. Die Polymere als dritte betrachtete Stoffklasse können je nach Verknüpfung der Kohlenstoffketten sowohl eine geordnete Struktur als auch amorphe Bereiche aufweisen. Damit zeigt sich eine große Unschärfe dieser Einteilung hinsichtlich amorpher oder kristalliner Kristalle, die keine eindeutige Trennung zwischen Polymeren und Keramiken ermöglicht.

Diese Einteilung scheint sich jedoch innerhalb der Materialwissenschaft nicht durchgesetzt zu haben, da sich keine weiteren Quellen finden, die auf diese Klassifikation verweisen.

Stattdessen finden sich weitere Einteilungen, welche die Eigenschaften explizit in den Mittelpunkt rücken, wie schon bei Domke (1973) und Gräfen (1991). Hornbogen (2004) nutzt die unterschiedlichen Eigenschaften, um die Materialien in drei große Stoffklassen einzuteilen: Metalle, keramische Stoffe und Kunststoffe. Dabei sind für ihn die elektrische Leitfähigkeit, die Lichtreflexion und die Verformbarkeit bei verschiedenen Temperaturen als Kriterium für seine Einteilung ausschlaggebend. Eine Erweiterung der bisherigen Klassifikationen liegt durch eine vierte Stoffklasse vor. Die Verbundwerkstoffe zeichnen sich durch eine Kombination von mindestens zwei Materialien mit unterschiedlichen Eigenschaften aus. Damit sind die Verbundmaterialien eine eigene Stoffklasse, obwohl sie als Kombination von Materialien gebildet werden, deren Eigenschaften durch gezielte Auswahl der Ausgangsstoffe erreicht werden. Dies greift die Darstellung von Gräfen (1991) auf, der die Kombination verschiedener Stoffe zu den Verbundmaterialien bereits beschreibt. Ein großer Unterschied hingegen ist die Zuordnung von chemischen Bindungen bei Hornbogen (2004) (metallische Bindung bei Metallen, kovalente Bindung bei Keramiken, Kettenmoleküle bei Polymeren⁷) zu den verschiedenen Stoffklassen. Diese Unterscheidung der Bindungen für die Polymere und Keramiken – im Gegensatz zu Wohlfahrt (2003) – ermöglicht eine eindeutige Zuordnung der Materialien. Eine weitere Änderung zu den obigen Darstellungen (Domke 1973; Gräfen 1991; Ruge & Wohlfahrt 2003) ist die Einordnung von Materialien, die einen Übergang zwischen den Metallen, Keramiken und Polymeren darstellen, z.B. leitfähige Polymere (vgl. Abb. 2-3). Damit lassen sich weitere Stoffe aufgrund ihrer Eigenschaften und der Nah- bzw. Fernordnung in diese Einteilung einordnen.

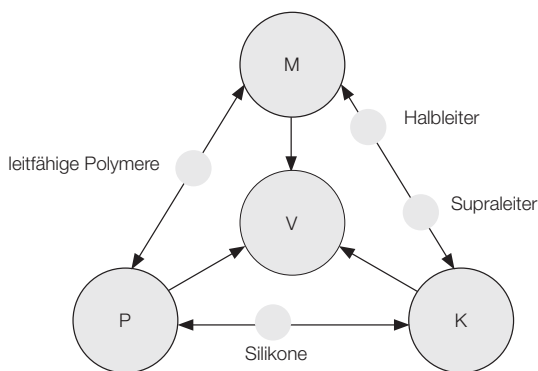


Abb. 2-3: Die vier Werkstoffgruppen nach Hornbogen (2004, S. 6), M – Metalle, K – Keramiken, P – Polymere, V – Verbunde.

⁷ Die Zuordnung der Bindungen bei Hornbogen lässt unberücksichtigt, dass Kettenmoleküle eine Vielzahl von kovalenten Bindungen sind, die durch intermolekulare Kräfte eine großflächige Struktur erhalten. Im Gegensatz dazu gibt es auch Keramiken – insbesondere die Oxidkeramiken – die sich durch kovalente Bindungen auszeichnen. Damit zeigt sich, dass die Einteilung von Hornbogen sehr grob gefasst ist.

Die Einteilung, wie sie bei Hornbogen (2004) dargestellt ist, scheint sich in der Materialwissenschaft etabliert zu haben. Es finden sich unterschiedliche Publikationen, die eine Einteilung in Metalle, Keramiken, Polymere und Verbundmaterialien erkennen lassen (vgl. Reissner 2010: Einteilung in Metalle, Keramiken, Polymere und Verbundwerkstoffe; Askeland 2010: Einteilung in Metalle, Keramiken, Polymere, Halbleiter und Verbundwerkstoffe; Bergmann 2009: Einteilung in Metalle, Polymere und nichtmetallisch-anorganische Werkstoffe). Weißbach (2010) hingegen legt die submikroskopische Struktur als Entscheidungskriterium seiner Einteilung zugrunde (vgl. Abb. 2-4). So werden die Werkstoffe anhand ihrer kleinsten Teilchen und Bindungsarten aufgeteilt. Diese Darstellung zeigt jedoch große Parallelen zu der von Hornbogen (2004). Ein wesentlicher Unterschied ergibt sich jedoch durch die Einordnung der Naturstoffe (Holz) bei Weißbach, die Hornbogen (2004) in seiner Darstellung nicht aufführt. Allerdings verwendet Weißbach (2010) in seinem Kategoriensystem nicht die Bezeichnung „Naturstoff“, sondern nennt verschiedene Beispiele wie Holz oder Kautschuk.

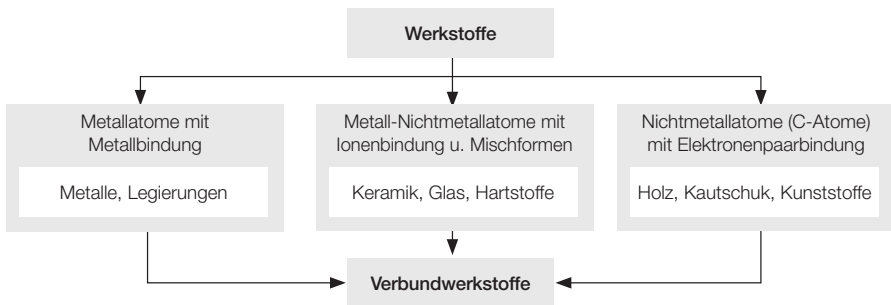


Abb. 2-4: Aufteilung der Werkstoffe nach Bindungsarten (Weißbach 2010, 2).

In der Literatur (u.a. Gottstein 2007; Askeland 2010; Hornbogen 2006) finden sich insbesondere zu den Metallen zahlreiche Beschreibungen der Kristallstrukturen, mögliche Fehlerordnungen und ihre Auswirkungen auf das mechanische und physikalische Verhalten sowie die Vorgänge bei Diffusionsprozessen. Auch für Keramiken und Polymere lassen sich in den genannten Quellen Hinweise zum amorphen und kristallinen Aufbau finden. Außerdem wird das Zusammenspiel der unterschiedlichen Strukturen in Verbundwerkstoffen immer wieder thematisiert (Weißbach 2010; Gottstein 2007). Der Grundgedanke ist dabei, einen Werkstoff zu schaffen, der sowohl höhere Leistungen bzw. bessere Funktionen unter Material- und Energieeinsparungen sowie Kosteneinsparungen zeigt. Diese Materialkombinationen werden so gestaltet, dass jeder Stoff in seinen speziellen und für den vorliegenden Fall benötigten Eigenschaften beansprucht wird (Weißbach 2010).

An dieser Stelle lässt sich ein Trend innerhalb der Materialwissenschaft für die Relevanz der Nichtmetalle ablesen. Während Domke (1973) alle Nichtmetalle undifferenziert in einer Gruppe zusammenfasste, werden die Keramiken und Polymere in aktuellen Einteilungen (u.a. Hornbogen 2006; Weißbach 2010) separat thematisiert und mit ihren Eigenschaften vorgestellt. Damit zeigt sich auch auf dieser Ebene ein deutlich erhöhter Bedeutungszuwachs der Nichtmetalle in den letzten fünf Jahrzehnten. Außerdem kann festgestellt werden, dass die Verbundmaterialien, die in der Einteilung von Domke (1973) noch keine Erwähnung fanden, in den aktuellen Einteilungen immer erwähnt sind und mitunter eine zentrale Rolle einnehmen (Hornbogen 2006). Dabei

nimmt die Thematisierung von Eigenschaftskombinationen für mögliche Verbundmaterialien unter Beachtung der späteren Anwendung eine immer größere Rolle innerhalb der Literatur ein (Weißbach 2010; Gottstein 2007). Hier kann also eine enorme Bedeutungszunahme festgestellt werden, obwohl die Nutzung von Verbundmaterialien, beispielsweise die Nutzung von Lehmziegeln mit Stroh im Bauwesen, bereits seit Jahrtausenden genutzt wird (Hornbogen 2006). Auch für die Metalle lässt sich eine Aussage treffen. Diese finden sich in jeder Einteilung als eigene Stoffklasse wieder. Hier zeigt sich, dass diese unbestritten eine wichtige und eigene Stoffklasse darstellen. Hingegen hat sich die Basis dieser Einteilungen – die Nutzung von Eigenschaften als Resultat ihrer submikroskopischen Struktur bzw. die Strukturmerkmale an sich – in den fünf betrachteten Jahrzehnten nicht verändert. Hier ist allerdings festzustellen, dass in den aktuelleren Literaturquellen (Weißbach 2010) eine exaktere Darstellung der submikroskopischen Strukturen – auch in Anlehnung an die Chemie – vorgenommen wird.

Eine weitere Einteilung, die in der Chemie nicht vorgenommen wird, aber in der Materialwissenschaft üblich ist, stellt Weißbach (2010) vor. Hierbei steht der Verwendungsaspekt im Vordergrund und es wird in Strukturwerkstoff und Funktionswerkstoff unterteilt. Strukturwerkstoffe werden genutzt, um dem Bauteil die äußere geometrische Form und Steifigkeit gegenüber angreifenden Kräften zu geben, während Funktionswerkstoffe spezielle Aufgaben aufgrund ihrer chemisch-physikalischen Eigenschaften übernehmen. Diese Einteilung wird auch in anderen Literaturquellen (u.a. Weitze & Berger 2013; Hornbogen 2006) angegeben.

Es zeigt sich, dass eine etablierte und damit allgemein verwendete Einteilung der Stoffklassen in der Materialwissenschaft nicht vorhanden ist. Stattdessen werden je nach Fokus verschiedene Aspekte berücksichtigt (Weißbach 2010). Allerdings können verschiedene Stoffgruppen ausgemacht werden, die in den meisten Einteilungen auftreten. Hierzu zählen eindeutig die Metalle mit ihren Legierungen, die sich in allen gesichteten Quellen finden. Auch die Polymere und Keramiken sind von Bedeutung, in Relation zu den Metallen jedoch weniger relevant (u.a. Domke 1973; Gräfen 1991). Die Bezeichnung „Nichtmetallisch-anorganische Werkstoffe“ scheint sich in der Literatur nicht durchgesetzt zu haben, da sie nicht konsequent verwendet wird. Aus diesem Grund spielt diese Bezeichnung für die vorliegende Arbeit keine Rolle. Auch die Einteilung in Kunststoffe und Naturstoffe wird nur in einigen Quellen vorgenommen, aber nicht durchgehend weiterverfolgt. Hier würde sich jedoch auch sprachlich die Gelegenheit bieten, die Rolle der Legierungen als ein gezieltes Produkt eines Fertigungsprozesses kenntlich zu machen. Stattdessen wird die Fokussierung auf Strukturen bzw. Eigenschaften als das Resultat von submikroskopischen Strukturen oft als Grundlage der Einteilung gewählt (Domke 1973; Gräfen 1991; Hornbogen 2006; Weißbach 2010). Hier zeigt sich, dass die Nutzung von Strukturen und die sich daraus ableitenden Eigenschaften eine etablierte Grundlage innerhalb der Materialwissenschaft sind. Damit wird auch hier die methodische Nähe zur Chemie deutlich, da in beiden Disziplinen die Struktur-Eigenschafts-Beziehung eine große Bedeutung besitzt. Basierend auf diesen Darstellungen werden in der vorliegenden Arbeit die Metalle, Polymere und Keramiken in Chemie-Schulbüchern ausgewählt, da diese als Konsens aus den vorgestellten Literaturquellen betrachtet werden können. Durch die Diskontinuität in der Berücksichtigung der Naturstoffe werden diese Stoffe in der Schulbuch-Analyse vernachlässigt. Aufgrund der fehlenden methodischen Nähe zur Chemie eignet sich auch die Einteilung der Stoffe in „Strukturwerkstoff“ und „Funktionswerkstoff“ nicht für die Analyse der Chemie-Schulbücher und wird deshalb ebenfalls nicht betrachtet.

Die verschiedenen Aspekte eines Werkstoffes finden sich auch in der Definition für den Begriff „Werkstoff“ bzw. „Material“ wieder. Ein Werkstoff ist ein Stoff, der durch seine Struktur bestimmt ist, aus der sich verschiedene Eigenschaften ableiten, weshalb er für einen speziellen Anwendungskontext geeignet ist (Gräfen 1991).

Grundlage der Erkenntnisse innerhalb der Materialwissenschaft und, wie oben gezeigt, auch teilweise von Stoffklasseneinteilungen, bildet der strukturelle Aufbau von Materialien.

2.3 „Stoff“ und „Material“ – zwei Begriffe mit der gleichen Bedeutung?!

Das vorangegangene Kapitel konnte relevante Werkstoffe und ihre Bedeutungsentwicklung innerhalb der Materialwissenschaften zeigen. Auch wurde deutlich, dass die Nutzung der Struktur-Eigenschafts-Beziehung in der Materialwissenschaft Grundlage von Erkenntnissen ist. Hier findet sich das gleiche Vorgehen wie in der Chemie (Holleman & Wiberg 2007). Damit bildet der Stoffbegriff eine gemeinsame methodische Grundlage beider Disziplinen (Pfeifer & Sommer 2012). Allerdings ist im vorangegangenen Kapitel auch zu erkennen, dass in der Materialwissenschaft nur eine Auswahl von Stoffen intensiv betrachtet wird, die in der Wissenschaft Chemie analysiert und synthetisiert werden. Trotzdem werden die Begriffe „Material“ und „Stoff“ häufig synonym verwendet, wie Sieve und Rehm (2012) in einer Befragung von Lernenden⁸ der achten bis zehnten Jahrgangsstufe zeigen konnten. 26% der Befragten umschrieben den Stoffbegriff durch „Material“, „Materie“, „Chemikalie“ oder „Substanz“. Dies setzt jedoch eine Bedeutungskongruenz voraus, die sich aus dem vorangegangenen Kapitel für „Stoff“ und „Material“ nicht zwangsläufig erschließt. Ursache für den Einsatz als Synonym kann unter anderem die vielfältige Verwendung in der Alltagssprache sein, z.B. der Stoff für Textilien (Lechleiter 2002). Eine weitere Ursache könnte in der Gestaltung von Unterrichtsmaterial liegen. Denn Kienast, Witteck und Eilks (2007) wiesen in einer Untersuchung zum Stoffbegriff in Chemie-Schulbüchern nach, dass die Verwendung von Synonymen wie ‚Material‘ oder ‚Substanz‘ eine gängige Vorgehensweise ist, um den Stoffbegriff im Chemieunterricht einzuführen. Deshalb werden im Folgenden die Begriffe „Stoff“ und „Werkstoff“ bzw. „Material“ analysiert und anschließend gegeneinander abgegrenzt.

„Die Chemie ist die Lehre von Stoffen, von ihrem Aufbau, ihren Eigenschaften und von den Umsetzungen, die andere Stoffe entstehen lassen“ (Pauling 1973, 1). Dieses Zitat – trotz der Unschärfe hinsichtlich Weite und Enge der Definition, die Pauling (1973) selbst im Folgenden anmerkt – verdeutlicht, dass Stoffe die Grundlage aller chemischen Prozesse und Forschungen bilden und ebenso Basis von Erkenntnissen und Theorien sind. Dabei ist der Stoffbegriff ein elementarer Grundbaustein für das Verständnis der Chemie. Dies zeigt sich auch in der Verortung des Stoffbegriffes als einer der fünf Grundbegriffe der Chemie in Abb. 2-5 (Rehm & Stäudel 2012).

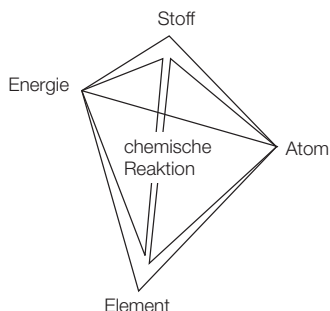


Abb. 2-5: Die fünf Grundbegriffe der Chemie (Rehm & Stäudel 2012, 5).

⁸ Für die Untersuchung zu Grundbegriffen der Chemie wurden 92 Schülerinnen und Schüler der Jahrgänge acht bis zehn eines niedersächsischen Gymnasiums befragt.

Der Stoffbegriff besitzt in der Chemie und insbesondere im Chemieunterricht – in dem die Lernenden das erste Mal bewussten Kontakt mit der Chemie haben – eine große Relevanz. Im Anfangsunterricht wird der Zusammenhang zwischen Stoffen und ihren spezifischen Eigenschaften thematisiert, um eine Einführung in die Chemie zu geben (Leerhoff, Kienast, Möllering & Eilks 2003). Die Eigenschaften werden genutzt, um die Trennung von homogenen Systemen zu beschreiben. Der Zusammenhang zwischen der submikroskopischen Struktur und den sich daraus ableitenden spezifischen Eigenschaften bildet die Basis, um Erkenntnisse über einen Stoff zu gewinnen. Hieraus lassen sich dann auch weitergehende Aussagen zu den Elementen und chemischen Verbindungen treffen. Dieser Zusammenhang bietet eine Möglichkeit – aufbauend auf dem Stoffbegriff – den Chemieunterricht zu strukturieren (Parchmann & Stäudel 2010). Damit zeigt sich die große Bedeutung des Reinstoffes für die Chemie und den Chemieunterricht, die in der didaktischen Leitlinie „Stoff-Struktur-Eigenschaft“ festgehalten wurde (Pfeifer, Lutz & Bader 2002). Diese beschreibt, dass die Gewinnung neuer Erkenntnisse auf den Informationen über Stoffe und ihre Eigenschaften, die durch unterschiedliche Strukturen bedingt sind, basiert.

Zum Stoffbegriff finden sich in der Literatur verschiedene Angaben: „Stoff ist alles, was eine Masse hat und ein gewisses Volumen einnimmt.“ (Atkins 2006, G6). Stoffe bestehen aus Teilchen und besitzen damit einen korpuskularen Charakter (Lautenschläger & Weber 2013). Außerdem ist eine Einteilung in Abhängigkeit vom physikalischen Zustand in fest, flüssig oder gasförmig möglich, welcher eine Unterscheidung der Zusammensetzung bedingt (Brown et al. 2011). Ebenso bestehen Körper aus verschiedenen Stoffen, die jeweils in ihren Eigenschaften übereinstimmen, wie ein Messer oder eine Schere aus Stahl (Holleman & Wiberg 2007). Die große Bedeutung der stoffspezifischen Eigenschaften für den Stoffbegriff zeigt sich auch in der Definition der IUPAC. Stoff ist eine „matter of constant composition best characterized by the entities (molecules, formula units, atoms) it is composed of. Physical properties such as density, refractive index, electric conductivity, melting point etc. characterize the chemical substance“ (IUPAC golden book 2014). Die IUPAC betont in dieser Beschreibung einerseits die submikroskopische Struktur und andererseits die sich daraus ableitenden Eigenschaften, die einen Stoff charakterisieren.

Je nach Anordnung und Zusammensetzung der Teilchen wird in der Chemie eine Einteilung der Stoffe vorgenommen. Im Folgenden werden drei Stoffhierarchien vorgestellt und diskutiert.

Holleman und Wiberg (2007) betrachten den chemischen Stoff, der in Abhängigkeit vom sichtbaren Charakter der einzelnen Bestandteile in heterogen und homogen unterteilt wird. Homogene Stoffe bzw. „homogene Systeme“ und heterogene Stoffe bzw. „heterogene Systeme“ lassen sich bereits mittels sensorischer Eigenschaften aufgrund ihres unterschiedlichen Aufbaus unterteilen. Homogene Systeme enthalten sowohl die Gruppe der Lösungen als auch reine Stoffe. Hier nehmen Holleman und Wiberg eine Unterteilung in Reinstoff und Stoffgemisch vor, ohne dass dies explizit thematisiert wird. Es findet sich allerdings in der Literatur die Anmerkung, dass Reinstoffe eindeutig durch ihre Siedetemperatur bei definiertem Druck und Dichte zugeordnet sowie umgekehrt durch die spezifischen Eigenschaften identifiziert werden können. In einem letzten Schritt werden die Reinen Stoffe in Verbindung und Element unterteilt. Damit setzen Holleman und Wiberg ein Verständnis des Konzeptes von Stoffgemischen und Reinstoffen voraus.

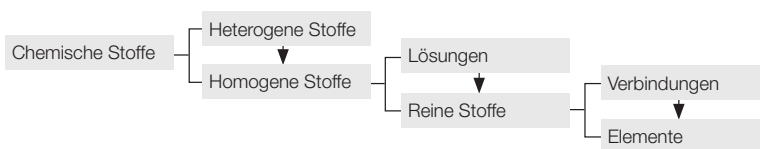


Abb. 2-6: Klassifikation der Stoffe (Holleman & Wiberg 2007, 14).

Eine weitere Einteilung geht vom Begriff der „Materie“ aus – damit findet sich auch in der fachwissenschaftlichen Literatur ein Zugang zum Stoffbegriff über Synonyme, wie es Kienast, Witteck und Eilks (2007) für die Schulbücher nachweisen. Mortimer (2001) betrachtet heterogene und homogene Stoffe bzw. Systeme. Durch dieses Vorgehen nimmt er im ersten Schritt die gleiche Einteilung wie Holleman und Wiberg (2007) vor. Er beschreibt, dass homogene Stoffe scheinbar eine gleichmäßige Zusammensetzung besitzen, da sie aus einer einzigen Phase bestehen. Hierbei zeigt sich jedoch, dass einige homogene Stoffe durch physikalische Verfahren aufgetrennt werden können. Diese Stoffe werden als Lösungen bezeichnet. Homogene Stoffe, die ihre äußere Gestalt und Eigenschaften durch diese Vorgänge nicht verändern, sind reine Stoffe. Damit besitzen beide Einteilungen (Abb. 2-6; Abb. 2-7) die gleichen Hierarchie-Ebenen, sie unterscheiden sich jedoch in der Bezeichnung der heterogenen Systeme. Während Holleman und Wiberg von „heterogene Stoffe“ sprechen, verwendet Mortimer die Formulierung „heterogene Gemische“. Damit wird auch sprachlich in dieser Systematik deutlich, dass heterogene Systeme immer Stoffgemische sind. Dies ermöglicht bereits eine Abgrenzung zu den chemischen Verbindungen. Diese weisen, im Gegensatz zu den Stoffgemischen, kein beliebiges Verhältnis der Atome auf, sondern besitzen eine definierte Zusammensetzung (Gesetz der konstanten Proportionen). Auch für die Reinen Stoffe zeigt sich, dass Mortimer die gleiche Einteilung angibt wie Holleman und Wiberg.

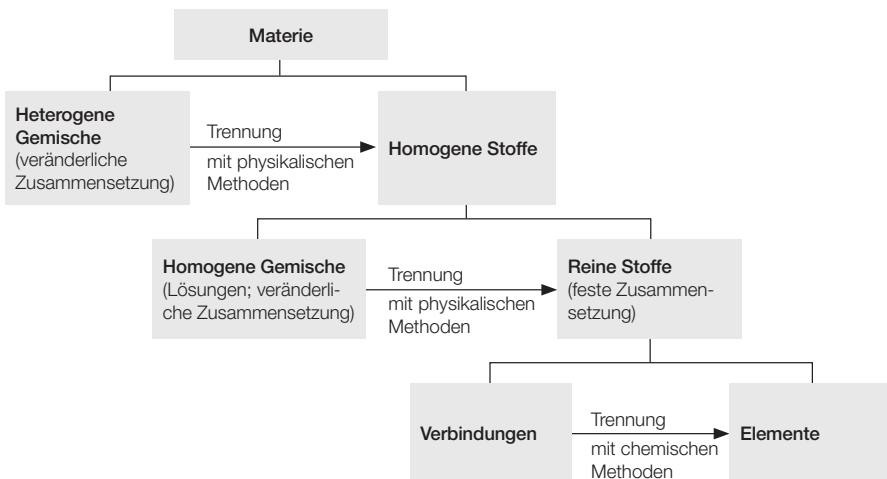


Abb. 2-7: Klassifikation der Stoffe (Mortimer 2001, 7).

Eine verkürzte Darstellung des Stoffbegriffes präsentieren Kurzweil und Scheipers (2012). Hier wird bereits im ersten Schritt zwischen Stoffgemisch und Reinstoff unterschieden. Damit wird die Einteilung in homogene und heterogene Systeme nur für Stoffgemische betrachtet. Dadurch wird die Information, dass Reinstoffe ebenfalls homogen sind, nicht auf den ersten Blick erschlossen. Allerdings ist die sich anschließende Unterteilung für Reinstoffe in Elemente und Verbindungen ebenfalls identisch zu den Einteilungen von Holleman und Wiberg sowie Mortimer.

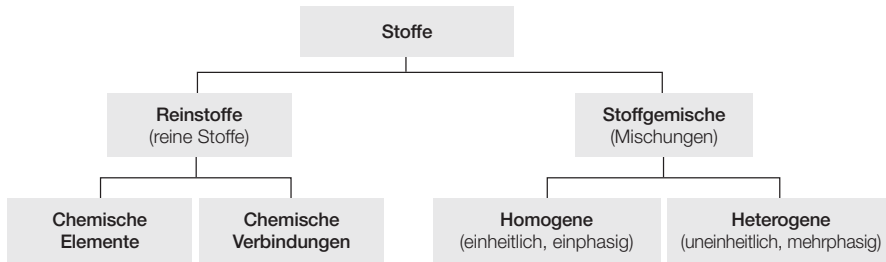


Abb. 2-8: Klassifikation der Stoffe (Kurzweil & Scheipers 2012, 4).

Die drei Abbildungen zeigen eine große Kohärenz. Es werden die gleichen Begriffe verwendet und es werden dieselben Hierarchien gebildet. Dies kann auch für weitere Einteilungen (u.a. Brown et al. 2011; Lautenschläger & Weber 2013) festgestellt werden, weshalb hier keine weiteren Darstellungen diskutiert werden. Für die drei ausgewählten Darstellungen kann jedoch festgehalten werden, dass sie sich in der Thematisierung von homogenen Systemen unterscheiden. Dabei ist diese Problematik notwendig, um die große Bedeutung der Eigenschaften zu verstehen. Denn während ein Reinstoff spezifische Eigenschaften besitzt, durch die er identifiziert werden kann, zeigt ein homogenes Stoffgemisch ein Intervall, in dem die spezifischen Eigenschaften liegen, bedingt durch die im Stoffgemisch enthaltenen Reinstoffe (Lautenschläger & Weber 2013). Damit eignet sich das System von Kurzweil und Scheipers nicht, um die Besonderheit der homogenen Systeme zu verdeutlichen. Diese sind aber, wie die folgenden Absätze zeigen werden, unverzichtbar, um den Materialbegriff in seiner Gänze zu erfassen. Deshalb wird im Folgenden die Einteilung von Holleman und Wiberg (2007) verwendet. Die Einteilung von Mortimer (2001) wird ebenfalls vernachlässigt. Zwar sind die Hierarchie-Ebenen identisch mit Holleman und Wiberg, allerdings verwendet Mortimer den Begriff „Materie“. Ziel dieses Kapitels ist jedoch eine Definition des Stoffbegriffes, weshalb weitere Synonyme nicht berücksichtigt werden, da hier eine Kongruenz erst noch zu zeigen wäre.

Die Beziehung zwischen Reinstoffen und ihren Eigenschaften wird jedoch nicht nur in den Naturwissenschaften genutzt. Ingenieurwissenschaftliche Disziplinen wie die Materialwissenschaft nutzen den beidseitigen Transfer von Wissen über Strukturen und die sich daraus ergebenden Eigenschaften ebenso, um neue Erkenntnisse zu gewinnen und damit im Weiteren, um diese Eigenschaften in einem späteren Anwendungsbezug technisch zu nutzen (Hornbogen 2006). Hier liegt eine anwendungsbezogene Vorstellung von „Stoff“ vor (Pfeifer & Sommer 2012). Dies zeigt sich in der Materialwissenschaft auch sprachlich. Es wird von „Werkstoff“ oder „Material“ gesprochen, wobei ein „Werkstoff“ ein Stoff ist, dessen fester Zustand spezielle Eigenschaften zeigt, die technologisch nutzbar gemacht werden können (Gräfen 1991). Diese Definition schließt einige in der Chemie relevante Reinstoffe wie Gase aus, da hier keine Verknüpfung eines Reinstoffes in seiner festen Form mit einer Anwendung erzielt wird. Dies findet sich auch bei den in Kapitel 2.2 betrachteten Stoffklassen wieder.

Für den Reinstoffbegriff im Speziellen – der basierend auf seinen spezifischen Eigenschaften Grundlage der Erkenntnisse in der Chemie ist, zeigen sich jedoch noch weitere Unterschiede zum Materialbegriff. Die Einteilungen bei Kurzweil und Scheipers (2012), Mortimer (2001) sowie Holleman und Wiberg (2007) beschreiben Reinstoffe als Substanzen, die aus einer Atomsorte aufgebaut sind. Nach dieser Definition sind gängige Materialien wie Stahl oder Bronze, typische Legierungen, keine Reinstoffe, sondern Stoffgemische (Hornbogen 2006). Die Polymere hinge-

gen sind ebenfalls relevant für die Materialwissenschaft, werden aber nach den obigen Darstellungen den chemischen Verbindungen und damit den Reinstoffen zugeordnet. Diese Beispiele lassen vermuten, dass der Materialbegriff mit dem homogenen Stoffsystem identisch ist (vgl. Abb. 2-6 und Abb. 2-8). In der Materialwissenschaft werden allerdings auch Verbundmaterialien, z.B. Stahlbeton, eingesetzt. Diese zeichnen sich durch eine Kombination verschiedener Reinstoffe oder Stoffgemische aus und nutzen dabei die Kombination der verschiedenen Materialien. In der Klassifikation der Chemie liegt übertragend ein heterogenes Stoffsystem vor (Abb. 2-8).

Es zeigt sich, dass der Begriff „Material“ keinem Begriff innerhalb der chemischen Stoffsystematik eindeutig zugeordnet werden kann. Er ist jedoch mit dem allgemeinen Stoffbegriff auch nicht gleichzusetzen, da er, aufgrund seines Anwendungsbezuges im festen Zustand, Stoffe wie Gase oder Lösungen ausschließt. Damit lässt sich festhalten, dass die in der Schulbuchliteratur dargestellte Kongruenz der Begriffe „Stoff“ und „Material“ (Kienast, Witteck & Eilks 2007) nicht vorhanden und somit strenggenommen nicht zulässig ist.

Unter Beachtung der dargelegten Einschränkungen für den Materialbegriff lässt sich die didaktische Leitlinie „Stoff-Struktur-Eigenschaft“ verändern. Konzepte zur Integration der ingenieurwissenschaftlichen Inhaltsfelder in den naturwissenschaftlichen Unterricht finden sich bereits in den 50er Jahren in dem Konzept der Polytechnischen Bildung (vgl. Exkurs 1). Ein aktuelles Konzept für den Chemieunterricht wird in der Literatur für Aluminium beschrieben (vgl. Abb. 2-9). Dabei wurde der Anwendungsbezug bereits in die Leitlinie integriert. Auch das Recycling wurde als wichtiger ökonomischer Faktor berücksichtigt, der sich aus den Eigenschaften des Aluminiums ergibt (Sommer & Aufdemkamp 2009).

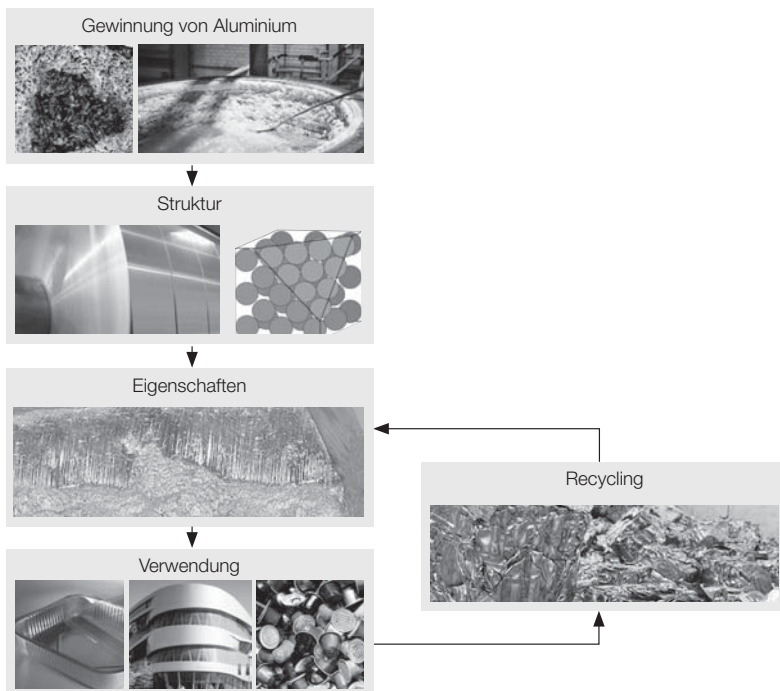


Abb. 2-9: Didaktisches Konzept des Projekts „Rund ums Aluminium“ (Sommer & Aufdemkamp 2009).

Lediglich die Werkstoffprüfungen und Fertigungstechniken – die eine zentrale Rolle innerhalb der Materialwissenschaft einnehmen – sind in diesem Konzept noch nicht enthalten. Basierend auf den Überlegungen von Sommer und Aufdemkamp (2009) wurde ein Konzept (Abb. 2-10) entwickelt, in welches die Werkstoffprüfungen integriert wurden (Sommer & Sauer 2013). Dabei orientiert sich die Konzeption am Vorgehen der Materialwissenschaften zur Auswahl eines geeigneten Werkstoffes. Ein Werkstoff ist aufgrund seiner Eigenschaften einsetzbar, wenn er mittels einer Fertigungstechnik in die benötigte Form gebracht werden kann und gegen die äußeren Faktoren (z.B. mechanische Belastung, korrosive Bedingungen, Temperaturschwankungen) der späteren Anwendung ohne qualitätsminderndes Verhalten besteht (Hornbogen 2004).

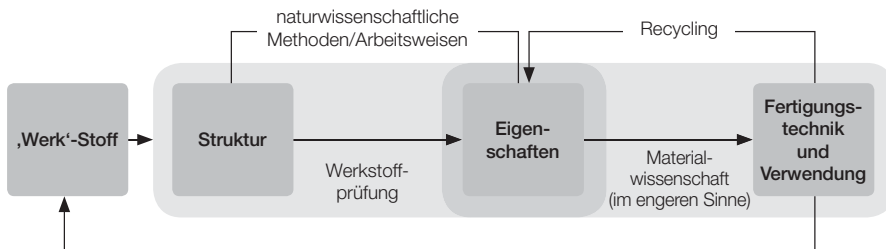


Abb. 2-10: Das didaktische Konzept zur Verknüpfung von Chemieunterricht und Materialwissenschaft (Sommer & Sauer 2013).

Auf Grundlage dieses Konzeptes lässt sich eine Behandlung von Inhaltsfeldern der Materialwissenschaft (Werkstoffanwendung, Fertigungstechnik und Werkstoffprüfung) – unter Nutzung der chemischen Fachmethoden und des Fachwissens – auch in den Chemieunterricht einbetten.

Exkurs 1: Polytechnische Bildung

Historische Konzepte, welche die Thematisierung von technischen Prozessen im naturwissenschaftlichen Unterricht aufgreifen, finden sich unter anderem in den Bildungsplänen der ehemaligen Sowjetunion. Die polytechnische Bildung hatte das Ziel, die heranwachsende Generation theoretisch und praktisch mit allen Hauptzweigen der Produktion vertraut zu machen. Hierbei galt das Interesse vorrangig den Verfahren im Bereich mechanische und chemische Produktion. Durch diese Fokussierung erklärt sich auch die außerordentliche Bedeutung der Naturwissenschaften und der Mathematik für das Verständnis dieser Prozesse (Sapovalenko 1959).

Zusätzlich zu den naturwissenschaftlichen Fächern wurden in den Bildungsplänen der ehemaligen DDR Unterrichtsfächer etabliert, um die polytechnische Bildung in unterschiedlichen Bereichen der Produktion zu betrachten. Hierzu zählt das Unterrichtsfach „Einführung in die sozialistische Produktion“. Dieses besitzt eine besondere Stellung zwischen den Naturwissenschaften und der praktischen Anwendung der Erkenntnisse in der produktiven Arbeit. Ziel des Unterrichtsfaches „Einführung in die sozialistische Produktion“ war die Befähigung zu schöpferischem technischen Arbeiten. Hauptmittel des Unterrichtes war deshalb problemorientiertes, experimentelles Arbeiten, wobei auf die Methoden der Naturwissenschaften zurückgegriffen wurde (Bode 1975).

Abb. 2-11 zeigt eine Übersicht zur Stellung der Chemie als Grundlagenfach für das Verständnis der speziellen Technologien (Bode 1975 nach Wittmers 1961).

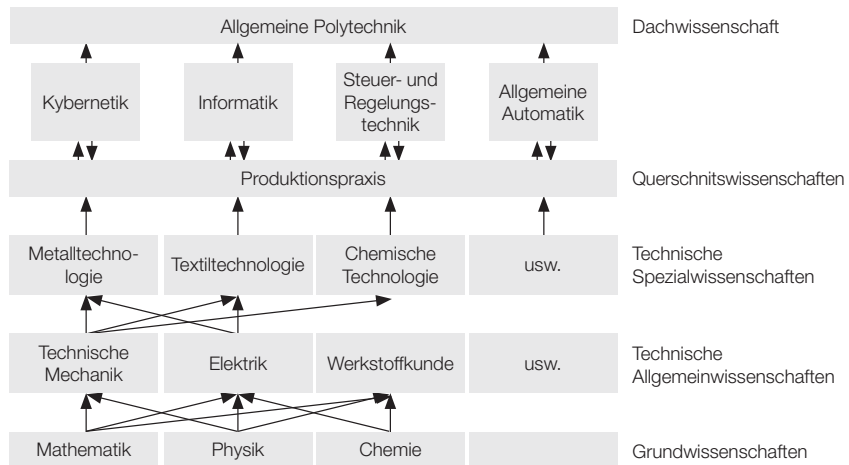


Abb. 2-11: Einordnung des Unterrichtsfaches „Einführung in die sozialistische Produktion“ innerhalb der speziellen und übergreifenden Technologien (Bode 1975, 281).

In den Bildungsplänen der Bundesrepublik Deutschland gab es diese zusätzlichen Unterrichtsfächer und explizite Betonung der polytechnischen Bildung jedoch nicht. Auch fand eine unterschiedliche Darstellung der Wirkungszusammenhänge von technischen Prozessen im naturwissenschaftlichen Unterricht abhängig von den gesellschaftlichen Verhältnissen statt. „Dies dokumentiert die jeweiligen curricularen Festlegungen, Lehrplanstrukturen, Chemie schulbücher, Handreichungen, Lehrmittel.“ (Becker & Hildebrandt 2011, 346).

2.4 Teilgebiete der Materialwissenschaft

2.4.1 Fertigungstechniken

Das Ziel der Materialwissenschaft ist, einen – unter fertigungstechnischen und ökonomischen Aspekten – optimalen Werkstoff für einen Anwendungsbezug zu erhalten. Dabei muss jeder Werkstoff zweierlei technische Eigenschaften besitzen: Er muss durch eine Fertigungstechnik in die gewünschte Form gebracht werden können und er muss die im Gebrauch gewünschten Eigenschaften besitzen. Dies gelingt durch die spezifischen submikroskopischen Strukturen der Werkstoffe (Hornbogen 2006).

Gemäß DIN 8580 haben die Fertigungstechniken das Ziel, einen geometrisch bestimmten Körper herzustellen. Die Körper können durch die verschiedenen Verfahren sowohl in ihrer Form als auch in ihren Eigenschaften verändert werden. Die Fertigungstechniken werden in verschiedene Hauptgruppen eingeteilt:

- Urformen
- Trennen
- Beschichten
- Umformen
- Fügen
- Stoffeigenschaftändern

Je nach Verfahren aus den verschiedenen Hauptgruppen werden unterschiedliche Strukturmerkmale verändert (Abb. 2-12).

		Zusammenhalt schaffen	Zusammenhalt beibehalten	Zusammenhalt vermindern	Zusammenhalt vermehren	
Änderung der	Form	Hauptgruppe 1	Hauptgruppe 2	Hauptgruppe 3	Hauptgruppe 4	Hauptgruppe 5
	Stoffeigenschaft	Urformen (Formschaffen)	Umformen	Trennen	Fügen	Beschichten
			Hauptgruppe 6			
			Stoffeigenschaftsändern durch			
		Umlagern von Stoffteilchen	Aussondern von Stoffteilchen	Einbringen von Stoffteilchen		

Abb. 2-12: Merkmale für die Hauptgruppen der Fertigungsverfahren (nach DIN 8580, 1).

Gemäß DIN 8580 lassen sich verschiedene Hauptgruppen und Untergruppen der Fertigungstechnik bestimmen. Diese sind in Tab. 11-1 dargestellt. Hier werden verschiedene Eigenschaften⁹ genutzt, um die gewünschte geometrische Form zu erhalten. Es lässt sich erkennen, dass die Fertigungstechniken überwiegend physikalische und im Speziellen mechanische Eigenschaften nutzen. Es zeigt sich jedoch, dass auch chemische Eigenschaften und Methoden, wie die Beschichtung durch elektrochemische Behandlung, zu den Fertigungstechniken zählen.

Im Folgenden werden die Hauptgruppen der Fertigungstechnik kurz charakterisiert und einige aktuelle Entwicklungstrends für die Verfahren aufgezählt. Die Urformverfahren verarbeiten den Werkstoff direkt in einer Form als Halbzeug¹⁰ oder Bauteil. Je nach Aggregatzustand und Form – Flüssigkeit, Pulver, Gas oder als Elektrolyt gelöst – handelt es sich um Gießen, Sintern, Aufdampfen oder galvanisches Formen. Diese Verfahren eignen sich für alle Werkstoffgruppen (Hornbogen 2006). Neben der Schmelzmetallurgie hat besonders die Pulvermetallurgie in den letzten Jahrzehnten an Bedeutung gewonnen. Mit diesem Vorgehen lässt sich ein Werkstoff mit nahezu isotropen Eigenschaften herstellen. Die Ausgangsstoffe liegen für dieses Verfahren pulverförmig vor. Im Fall der Herstellung von metallischen Pulvern findet das Gas- oder Wasserverdüsen Anwendung. Der Schmelzstrahl wird durch eine Düse mit Hilfe eines Prozessgases oder durch Wasser in feine Partikel zerteilt. Diese werden im nächsten Prozessschritt zu Bauteilen verdichtet, dazu wird häufig das Sintern mit oder ohne Druckunterstützung eingesetzt. Beim Sintern wird je nach Aggregatzustand der beteiligten Phasen zwischen dem Festphasensintern und dem Flüssigphasensintern unterschieden. Die so über die Pulvermetallurgie hergestellten Bauteile besitzen im Vergleich zu schmelzmetallurgisch gefertigten Produkten eine meist höhere Zähigkeit und Festigkeit (Schütte & Theisen 2011).

9 Atkins definiert chemische Eigenschaften als „Fähigkeit eines Stoffes, an einer bestimmten chemischen Reaktion teilzunehmen“ (Atkins 2009, 900). Dieser Gruppe ordnen Holleman und Wiberg (2007) das thermische Verhalten (Reaktion bei verschiedenen Temperaturen), die Säure-Base-Reaktion sowie das Redoxverhalten zu. Eine wesentlich größere Gruppe bilden die physikalischen Eigenschaften, denn diese sind ein „Merkmal, das wir beobachten oder messen, ohne die Identität des Stoffes zu ändern“ (Atkins 2003, 918). Hier zählen Holleman und Wiberg (2007) den Aggregatzustand, die Dehnbarkeit (Elastizität), die Dichte, das Diffusionsvermögen, die Farbe, die Flüchtigkeit, den Geschmack, den Geruch, die Härte, die Löslichkeit, den Magnetismus, die Modifikation bei Normaldruck, die Schmelz- und Siedetemperatur, Struktur- und Bindungsverhältnisse, die Viskosität, die Wasserstoffmobilität und die Wärmeleitfähigkeit.

10 Halbzeuge sind vorgefertigte Gegenstände, die während der ersten Schritte im Herstellungsprozess eines Produktes entstehen (Hornbogen 2006).

Die sich vielfach anschließenden Umformungsprozesse haben das Ziel, mittels von außen angelegter Beanspruchung ein Werkstück in eine gewünschte Form zu bringen. Dabei kann die Beanspruchung durch Druck, Zugdruck, Zug, Biegen oder Schub erfolgen (Bergmann 2009). Alle Verfahren nutzen die aus gleitfähigen Versetzungen resultierende Plastizität und das viskose Fließen der Werkstoffe (Hornbogen 2006).

Die zu erzielende Form des Werkstückes kann dann durch eine Kombination aus Fügen, Trennen oder Beschichten erreicht werden. Die Trennverfahren zeichnen sich durch eine örtliche Aufhebung des Zusammenhalts aus. Dabei ist die Endform des Werkstückes bereits in der Ausgangsform enthalten (DIN 8580). In der Literatur (Hornbogen 2006; Bergmann 2009) werden das Zerteilen und das Zerspanen als Trennverfahren am häufigsten beschrieben. Die Prozesse unterscheiden sich dadurch, dass bei letzterem formlose Stoffe (Späne)¹¹ auftreten (Theisen 2008). Fügeverfahren verfolgen das entgegengesetzte Ziel: das Zusammenbringen von zwei oder mehr Werkstoffen (DIN 8580). Dabei werden je nach Einsatz eines formlosen Stoffes zwei große Gruppen unterschieden. Der bekannteste Vertreter der ersten Variante ist das Schweißen, welches den Zusammenhalt von Werkstücken unter Anwendung von Kraft und/oder Wärme vorsieht. Dabei unterscheiden sich die einzelnen Schweiß-Methoden in der Vorgehensweise, die notwendige Wärme zu erzeugen (Schal 2000). Für Löt- und Klebprozesse werden hingegen zusätzliche Materialien benötigt. DIN 8593 Teil 7 teilt die Lötprozesse entsprechend ihrer gewählten Arbeitstemperatur in Weichlöten ($T < 450^{\circ}\text{C}$), Hartlöten ($T > 450^{\circ}\text{C}$) und Hochtemperaturlöten ($T > 900^{\circ}\text{C}$) ein. Es werden je nach Werkstück und Arbeitsbedingungen verschiedene Lötstoffe eingesetzt. Das Kleben nutzt ebenfalls zusätzliche Fügestoffe, die je nach Situation variieren können, und bietet außerdem den Vorteil, auch nichtmetallische Werkstücke zu fügen. Dazu nutzen die Klebstoffe Adhäsionskräfte aus, die sich zwischen Kleber und Werkstück oder den verschiedenen Kleberkomponenten ausbilden (Theisen 2008). Durch diese Vielfalt an Einsatzmöglichkeiten wächst die Bedeutung des Klebens als Fügeverfahren in allen Bereichen. Typische Probleme, wie die Spannungsrissbildung beim Schweißen, werden mit diesem Vorgehen vermieden (Stahlmerkblatt 382 2012). Aber auch Umform- oder Urformprozesse können genutzt werden, um Werkstücke zu fügen. Eine ausführliche Beschreibung findet sich bei Schal (2000).

Die Beschichtungsprozesse weisen eine große methodische Nähe zur Elektrolyse und den galvanischen Prozessen auf. Dabei wird unter Ausnutzung von unterschiedlichen Elektrodenpotentialen oder anderen erzwungenen Reaktionen auf ein Werkstück eine Schicht eines zweiten Werkstoffes aufgetragen. Die wichtigsten Beispiele sind das Verchromen, Lackieren und Bedampfen. Daneben werden in der Materialwissenschaft jedoch auch Verfahren genutzt, die eine Einlagerung von Atomen oder Ionen in einen Werkstoff nutzen. Die sogenannten Randschicht-Verfahren bauen keine neue Schicht auf, sondern verändern gezielt die Oberfläche des Werkstückes durch Diffusion von Atomen (Theisen 2008).

Kommt es zu einer gezielten Einlagerung von Atomen oder Ionen in die Kristallstruktur, so spricht man von einer Legierungsbildung. Dabei können die hinzugefügten Komponenten mittels Einlagerung oder Austausch von anderen Atomen in das Gefüge eingebaut werden. Je nach Zusammensetzung der Schmelze und den Bedingungen des Erstarrungsprozesses kann es zu einer Bildung von Kristallgemisch $\alpha + \beta$ oder zur Ausbildung reiner Kristalle kommen. Aussagen über die Zusammensetzung der Legierung sind den Phasendiagrammen zu entnehmen. Bedingt durch die unterschiedliche strukturelle Zusammensetzung ergeben sich spezifische Eigenschaften der Legierungen. Mit Hilfe der Wärmebehandlung können diese verändert werden. Durch

11 Beim Zerteilen werden mehrere Bauteile mit einer definierten Form produziert, während beim Zerspanen formlose Materialreste (Späne) erzeugt werden (Theisen 2008).

einen gezielten Temperatur-Zeit-Verlauf kommt es zu einer Rekristallisation und damit zu einer Neubildung des Gefüges (Seidel & Hahn 2012). Durch die Kombination von Legierungsbildung und Wärmebehandlung lassen sich die Eigenschaften von Werkstücken gezielt verändern. Diese beiden Verfahren bilden die Grundlage der Hauptgruppe Stoffeigenschaftändern.

2.4.2 Chemische Methoden in der Werkstoffprüfung

Die Werkstoffprüfung dient dem Ziel, die Werkstoffe theoretisch mittels Erforschung von Strukturen, Fehlern und Diffusionsprozessen zu erkunden und sie im Hinblick auf die spätere Anwendung experimentell zu beschreiben (Gräfen 1991). Mit den Verfahren der Werkstoffprüfung und -charakterisierung werden sowohl die Gefügestruktur von Werkstoffen als auch relevante Werkstoffeigenschaften bestimmt (Blumenauer 1989). Die ersten standardisierten Untersuchungen über die Eigenschaften von Werk- und Baustoffen sind seit dem Mittelalter bekannt. So beschrieb Leonardo da Vinci eine Maschine, welche die Zugfestigkeit eines Drahtes bestimmen konnte (Blumenauer 1989). Den Status einer objektiven und wissenschaftlichen Materialprüfung erlangte dieser Bereich der Werkstofftechnik mit Einsetzen der industriellen Revolution und der rasant steigenden Anzahl an Maschinen (Peiter 1986). Dabei spielte der fortschreitende Erkenntnisgewinn in den Naturwissenschaften – insbesondere in der Chemie und Physik – eine entscheidende Rolle (Blumenauer 1989). Denn für die Werkstoffprüfungen werden u.a. Methoden der Chemie verwendet, wie das folgende Kapitel zeigen wird. Eine Methode der Chemie beschreibt das „prinzipielle Vorgehen zur Lösung eines Problems“ (Sommer 2007 nach Pfeifer 2002). Allerdings werden in den Teildisziplinen der Chemie unterschiedliche Fachmethoden verwendet. Die Systematisierung dieser Methoden ermöglicht jedoch eine Unterteilung in drei Bereiche: Methoden zur Trennung von Stoffgemischen, Methoden der instrumentellen Analytik und Methoden auf Basis chemischer Reaktionen (Sommer 2007, 3). Basierend auf den die Teildisziplinen übergreifenden Gemeinsamkeiten können fachmethodische Leitlinien formuliert werden (Sommer 2007). Für die vorliegende Untersuchung ist hierbei die Einteilung nach physikalischer und chemischer Grundlage der Fachmethoden (Sommer 2007, 7) von besonderem Interesse, weil dies eine Einteilung in chemische Fachmethode im engeren und weiteren Sinne ermöglicht. Die Unterteilung basiert auf chemischen und physikalischen Eigenschaften. Atkins (2009) beschreibt eine chemische Eigenschaft als die „Fähigkeit eines Stoffes, an einer bestimmten chemischen Reaktion teilzunehmen“ (S. 900). Abgrenzend zu dieser Definition sind physikalische Eigenschaften „Merkmale, die wir beobachten oder messen, ohne die Identität des Stoffes zu ändern“ (Atkins 2009, 918). Holleman und Wiberg (2007) präzisieren diese Beschreibungen, indem sie chemische Eigenschaften benennen: thermisches Verhalten (Reaktion bei verschiedenen Temperaturen, endotherme und exotherme Reaktionen), Säure-Base-Verhalten und Redoxverhalten. Außerdem geben die beiden Autoren für die Elemente und Verbindungen der Chemie eine Vielzahl an physikalischen Eigenschaften¹² an. Schwerpunkte dieser Eigenschaften sind thermische, mechanische, optische und elektrische Verhalten sowie die Löslichkeit.

12 Holleman und Wiberg (2007) geben in ihrem Werk keine Übersicht für die betrachteten physikalischen Eigenschaften an, sondern ergänzen bei jedem Element des Periodensystems sowie bei ausgewählten Verbindungen dieser Elemente Eigenschaften, die nach ihrer Ansicht für diesen Stoff relevant sind. Es konnten folgende physikalische Eigenschaften identifiziert werden: Aggregatzustand bei Normaltemperatur, Dichte, Diffusionsvermögen, Dehnbarkeit (Elastizität), elektrische Leitfähigkeit, Farbe, Flüchtigkeit, Geruch, Geschmack, Härte, Löslichkeit in verschiedenen Medien, Magnetismus, Modifikation bei Normaldruck, Schmelz- und Siedetemperatur, Struktur- und Bindungsverhältnisse, Viskosität, Wärmekapazität, Wärmeleitfähigkeit und Wasserstoffmobilität.

Auch bei Werkstoffprüfungen ist es das Ziel der Verfahren die Eigenschaften zu charakterisieren und in Form von quantitativen Kennwerten zu belegen. Dabei sind der spätere Anwendungsbereich und die damit verbundenen Beanspruchungen die relevante Information für die Auswahl der Prüfverfahren (Blumenauer 1989).

Diese Einschränkung gibt jedoch noch keinen Hinweis auf die Eigenschaften, die überwiegend in Werkstoffprüfungen untersucht werden. Deshalb wurden Lehrbücher¹³ der Materialwissenschaft auf die Angabe von Werkstoffprüfungen und der zu prüfenden Eigenschaften analysiert. Um eine Betonung von aktuellen Trends zu vermeiden, wurden Bücher der letzten 50 Jahre ausgewählt. In Tab. 11-2 sind die identifizierten Werkstoffprüfungen und untersuchten Eigenschaften dargestellt. Es kann einerseits festgestellt werden, dass die Autoren unterschiedliche Schwerpunkte für die Auswahl von Eigenschaften und der damit verbundenen Prüfverfahren setzen, andererseits zeigt sich aber auch, dass sich über die Jahrzehnte hinweg einige Eigenschaften als sehr relevant herausgestellt haben, da sich in jeder Literaturquelle eine Nennung hierzu findet. Dazu zählen u.a. die Elastizität sowie die elektrische und thermische Leitfähigkeit. Durch die wiederkehrende Beschreibung von physikalischen und mechanischen¹⁴ Eigenschaften sowie ihre Prüfungen in den Literaturquellen werden diese auch in der folgenden Untersuchung berücksichtigt. Auffallend ist außerdem, dass in allen Literaturquellen das Korrosionsverhalten betrachtet wird. Dieses findet sich nicht nur als Eigenschaft wieder (Ilchner & Singer 2010; Hornbogen, Eggler & Werner 2011), sondern nimmt in einigen Literaturquellen sogar ein eigenes Kapitel ein (Askeland 2010; Bargel & Schulze 2013), um der immer wieder betonten wirtschaftlichen Bedeutung der Korrosion gerecht zu werden. Damit nehmen die Redoxreaktionen – als chemische Eigenschaft – auch in der Werkstoffprüfung eine zentrale Position ein. Das Säure-Base-Verhalten oder das thermische Verhalten (Holleman & Wiberg 2007) werden hingegen nicht explizit aufgeführt.

Trotzdem zeigt die Analyse der genutzten Eigenschaften eine hohe methodische Nähe zwischen Chemie und Materialwissenschaft. Dies bietet eine Möglichkeit zur Integration der Materialwissenschaft in den Chemieunterricht. Analog zum erweiterten didaktischen Konzept zur Verknüpfung von Chemie und Materialwissenschaft (vgl. Abb. 2-10) werden in der vorliegenden Arbeit zwei Werkstoffprüfungen dargestellt, die sich für dieses Vorgehen eignen: die Gefügeanalyse sowie die Korrosionsuntersuchung (vgl. Exkurs 4 und 5, Seite 155 ff.).

Die Methoden der Werkstoffprüfung ermöglichen eine quantitative Aussage über das Gefüge der Metallproben, die einen Rückschluss auf physikalische Eigenschaften sowie eine Beschreibung der Oberflächenveränderung ermöglichen. Damit unterscheiden sie sich von den Analysemethoden (vgl. Exkurs 2), die im Chemieunterricht bevorzugt verwendet werden. In der Sekundarstufe I wird die Korrosion vorrangig durch Betrachten, Beobachten und Experimentieren erschlossen, während in der gymnasialen Oberstufe die elektrochemischen Vorgänge mit Hilfe von Experimenten und Modellen erklärt werden (Duvinae 1996). Die Werkstoffprüfung bietet hingegen die Möglichkeit, die Veränderungen der Materialien durch die Korrosion mittels quantitativer Kennwerte zu verdeutlichen.

13 Es wurden Lehrbücher zur Werkstoffkunde mit Kapiteln zur Werkstoffprüfung sowie Lehrwerke zur Werkstoffprüfung ausgewählt.

14 Wie bereits beschrieben nehmen Atkins (2009) sowie Holleman und Wiberg (2007) in ihrer Einteilung der Eigenschaften eines Stoffes lediglich die Unterteilung nach chemischen und physikalischen Eigenschaften vor. In der Materialwissenschaft hat sich jedoch, wie in Tab. 11-2 deutlich wird, die Abgrenzung der mechanischen Eigenschaften von den physikalischen bewährt, weshalb diese Einteilung in der vorliegenden Arbeit beibehalten wird.

Exkurs 2: Analysemethoden der Chemie

Der sensorische Test beschreibt dabei die Prüfung eines Werkstückes durch Erfahrung mit den Sinnesorganen. Er liefert im Sinne einer (qualitativen) Identifizierung erste Hinweise (Sommer 2007). Werden weitere Aussagen über die Eigenschaften eines Stoff(gemisch)es benötigt, so werden qualitative und quantitative Methoden verwendet.

Beim qualitativen Nachweis strebt man in erster Linie eine möglichst niedrige Erfassungsgrenze an. Diese Grenze beschreibt dabei die geringste noch zu messende Menge eines Elements oder einer Verbindung (Götz 1983). Auch eine Identifikation über physikalische Eigenschaften wird in der Chemie vorgenommen, in diesen Fällen spricht man von physikalischer Analyse. Hierbei werden physikalische Eigenschaften, wie die Dichte, der Schmelzpunkt, der Siedepunkt, der Dampfdruck, die Grenzflächenspannung, die Viskosität (Viskosimetrie) oder die Brechzahl (Refraktometrie) bestimmt (Römpf 2014).

Für die Feststellung der Mengenanteile der bekannten – eventuell durch eine vorausgegangene qualitative Analyse ermittelten – Bestandteile (Römpf 2014), werden quantitative Methoden verwendet, die eine hohe Genauigkeit aufweisen (Götz 1983). Auch hier kann eine physikalische Analyse vorgenommen werden, mit der die für den Stoff möglichst spezifischen physikalischen bzw. physikalisch-chemischen Kriterien (z.B. Absorption oder Emission von Lichtstrahlen, Löslichkeits- und Verteilungsparameter, Potentialbildung an Elektroden und Widerstandsmessung zwischen Elektroden) bestimmt werden (Römpf 2014). Verfahren, deren Genauigkeit zwischen qualitativ und quantitativ eingestuft wird, werden außerdem als halbquantitativ bezeichnet (Römpf 2014).

a) Verfahren zur Gefügeuntersuchung

Da sich die Eigenschaften aus der Struktur ableiten, werden zunächst einige Bemerkungen zur Untersuchung des Gefüges – dem Verbund von Kristalliten (Kristallkörner) – getroffen. Je nach Informationsbedürfnis wird dieses mit verschiedenen Methoden untersucht. Die makroskopischen Methoden eignen sich dabei nur für große Fehler, wie Schlackeneinschlüsse und Seigerungszone¹⁵. Strukturen, die eine Größe von 0,01 μm bis 100 μm besitzen, können mikroskopisch betrachtet werden. Dies ermöglicht eine Aussage über Form und Größe der Kristallkörner. Aber auch Kristallfehler können durch diese Verfahren identifiziert werden. Hier sind jedoch nur Aussagen über die Oberfläche des Werkstückes möglich. Gitterstörungen und Spannungsfelder im Gitter können nicht mehr im lichtmikroskopischen Bereich betrachtet werden, hierfür werden elektronenmikroskopische Untersuchungsverfahren (REM, TEM) gewählt. Für die Prüfung des Werkstoffes mit einem Transmissions-Elektronenmikroskop (TEM) wird eine sehr dünne Probe benötigt, die das Durchdringen des Materials mit Elektronen ermöglicht. Eine weitere Möglichkeit, tiefer liegende Phasen zu erkennen, ist die Ultraschallmikroskopie. Hier sind Eindringtiefen bis zu 5 mm möglich (Weißbach 2010). Alle Verfahren setzen jedoch voraus, dass eine Vorbehandlung durch Schleifen, Polieren und Ätzen vorgenommen wird (Weißbach 2010). Ziel des Schleifvorganges ist es, die artfremde Oberflächenschicht durch unterschiedliche Körnungen des Schleifpapiere abzutragen. Im Anschluss werden die Proben durch die Oberflächenbehandlung mit 6, 3 und 1 μm groben Diamantsuspensionen bearbeitet. Dabei wird das Gefüge freigelegt. Zwischen diesen Schritten erfolgt eine regelmäßige Reini-

¹⁵ Eine Seigerung ist die Ausbildung von mikro- und makroskopischen Zusammensetzungsunterschieden in sonst homogen zusammengesetzten Körpern, die aus Mischphasen aufgebaut sind (Weißbach 2010).

gung im Ultraschallbad in Aceton bzw. Ethanol. Der Vorgang des Schleifens und Polierens kann unter Umständen auch durch elektrochemische Verfahren ersetzt werden (Schumann & Oettel 2007). Der Ablauf ist in Abb. 2-13¹⁶ dargestellt.

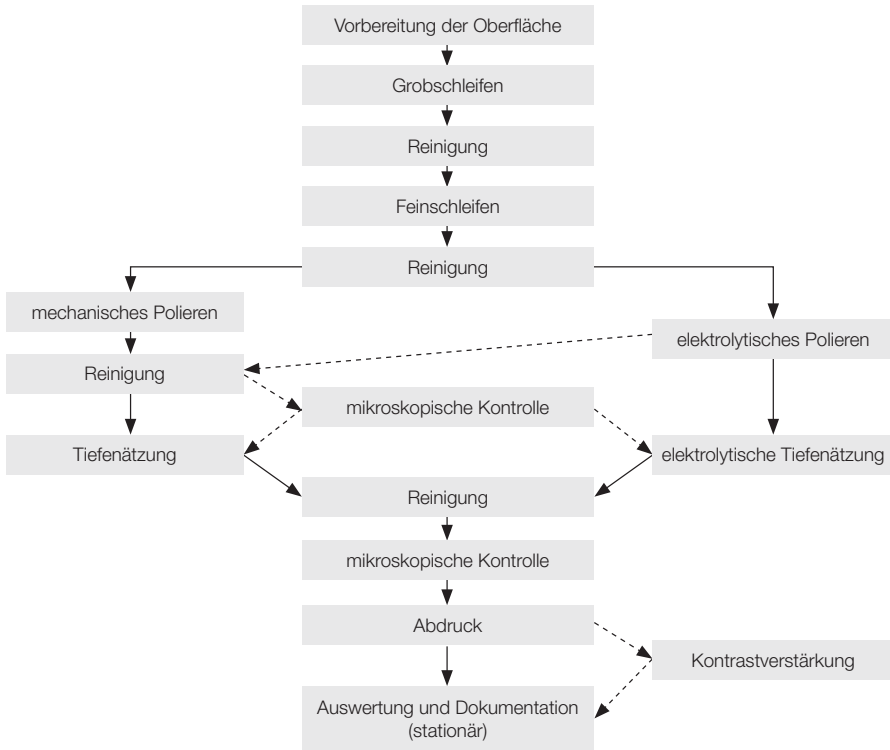


Abb. 2-13: Arbeitsschritte im Rahmen der Vor-Ort-Metallografie (Schumann & Oettel 2007, 223).

Mit der oberflächlichen Analyse des Gefüges mittels Lichtmikroskopie sind Aussagen wie „grob“, „fein“, „lamellar“ oder auch „gleich ausgerichtet“ möglich. Sie ist jedoch nur der erste Schritt der Analyse. Ziel dieses Verfahrens ist, eine Aussage über Art und Menge der durch Grenzflächen umrandeten und somit voneinander getrennten Gefügebestandteile zu treffen. Es ergibt sich jedoch das Problem, eine Vielzahl von Polygonen analytisch zu beschreiben. Deshalb wird nach der präparativen Vorbereitung mittels licht- oder elektronenmikroskopischer Methoden ein Abbild erzeugt. Die Hellfeld- und Dunkelfeldabbildung sind hier die Standardmethoden. Bei der Hellfeldabbildung wird das regulär reflektierte Licht und das innerhalb des Öffnungsbereiches des Objektes gebeugte bzw. diffus reflektierte Licht zur Abbildung genutzt. Da der Reflexionsgrad der Metalle sich nur gering unterscheidet, kann es insbesondere bei

¹⁶ Die Abbildung beschreibt zusätzlich den Schritt der „Ambulanten Metallografie“, wobei ein Abdruck des Gefüges genommen wird, um dies anschließend im Labor auszuwerten. Das Vorgehen bis zum Schritt der „mikroskopischen Kontrolle“ ist im Labor und „Vor-Ort“ identisch.

einphasigen Gefügen zu geringen Kontrasten kommen. Stets ist eine Behandlung durch ein geeignetes Kontrastierungsmittel, z.B. Ätzmittel, notwendig. Führt man den beleuchteten Strahlengang so, dass die regulär reflektierten Strahlen nicht mehr in das Objektiv gelangen, spricht man von einer Dunkelfeldabbildung.

Abb. 2-14 zeigt Aluminium im Hell- und Dunkelfeld. Es lässt sich erkennen, dass einige Körner durch ihre gleiche räumliche Orientierung nur durch den Vergleich der beiden Methoden identifiziert werden können (Schumann & Oettel 2007).

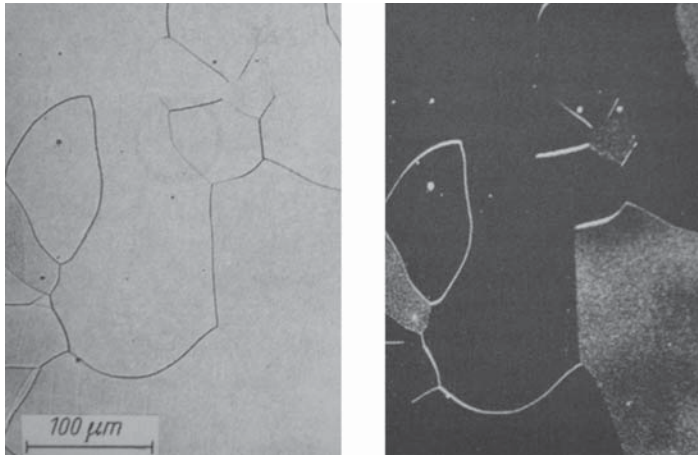


Abb. 2-14: Aufnahme einer Aluminiumprobe im Hell- und Dunkelfeld (Schumann & Oettel 2007, 82).

Um eine quantitative Aussage über die Gefügestruktur zu treffen, werden die Abbildungen mittels numerischer Verfahren ausgewertet (Ilscher & Singer 2010). Dazu können das Volumen, die Oberfläche und die Form einzelner Körner ermittelt und aus diesen Grundparametern weitere Kennwerte bestimmt werden. Das Linienschnittverfahren hat sich in der Metallografie für diese Bestimmung der Korngröße und die Anzahl der Körner etabliert. Dabei wird die Anzahl der Schnittpunkte gezählt, die zwischen einer Messlinie bekannter Länge und den Körnern oder Korngrenzen auftreten. Die Messlinie kann dabei geradlinig oder kreisförmig sein (DIN EN ISO 643).

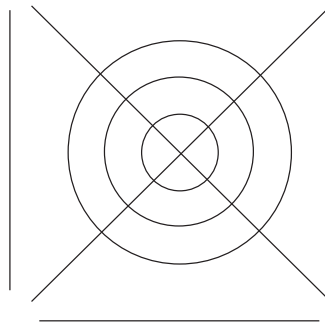


Abb. 2-15: Empfohlenes Messgitter für das Linienschnitt-Verfahren (DIN 643).

A) Bestimmung der mittleren Korngröße (DIN 643)

Es existieren in der DIN-Norm verschiedene Verfahren, um die mittlere Korngröße zu bestimmen und damit eine Aussage über das Werkstoffgefüge zu treffen.

a) Linienschnittsegment-Verfahren

Es werden ausgehend von den konzentrischen Kreisen zwei orthogonale und zwei diagonale Linien gezeichnet. Diese müssen mindestens 50 Körner im Bildausschnitt schneiden. Zur Verbesserung der Messstatistik sollten fünf Bildausschnitte gezählt werden.

b) Kreisschnitt-Verfahren

Es werden ein bis drei konzentrische Kreise mit dem Gesamtumfang 500 μm gezogen. Hier ist die Probenauswahl so zu gestalten, dass im Beobachtungsfeld 40 bis 50 Schnittpunkte der Körner mit den Kreislinien enthalten sind.

c) Auszählung der Körner

Ein Korn wird mit $N = 1$ gezählt, wenn die Messlinie das Korn vollständig durchzieht. Es erfolgt eine Zählung mit $N = 0,5$, wenn die Messlinie im Korn endet oder das Ende der Messlinie gerade das Korn erreicht. Tripelpunkte werden für das Linienschnittsegmentverfahren mit $N = 1,5$ und für das Kreissegmentverfahren mit $N = 2$ gezählt.

d) Bestimmung der mittleren Körnergröße

Aus der mittleren Anzahl der Schnittpunkte und der Länge der Messlinie lässt sich die mittlere Größe der Körner errechnen.

B) Bestimmung der Gesamtzahl der Körner (DIN 643)

In einem Beobachtungsfeld wird ein Kreis mit 79,88 μm Durchmesser gelegt. Die eingeschlossene Fläche sollte dabei mindestens 50 Körner enthalten. Es werden die vollständig (n_1) und teilweise eingeschlossenen (n_2) Körner ausgezählt. Die Gesamtzahl der Körner n berechnet sich mittels

$$n = n_1 + \frac{n_2}{2}$$

Mit Hilfe des Kreisradius wird die ausgezählte Fläche bestimmt. Damit lässt sich eine Aussage über die Körneranzahl m in Abhängigkeit der Fläche A treffen. Es bietet sich zur weiteren Berechnung an, die Beobachtungsfläche A in mm^2 umzurechnen.

$$m = \frac{n_{100}}{A}$$

Anschließend kann die mittlere Kornfläche in Quadratmillimeter \bar{a} und der mittlere Korndurchmesser \bar{d} berechnet werden.

$$\bar{a} = \frac{1}{m} \quad \bar{d} = \sqrt{\bar{a}}$$

Basierend auf diesen Ergebnissen kann eine Einteilung der Korngrößen nach ISO 643 vorgenommen werden (vgl. Tab. 11-3).

Die Beschreibung des Gefüges bietet erste Anhaltspunkte über die zu erwartenden mechanischen und physikalischen Eigenschaften. Dabei werden die folgenden Eigenschaften von der Gestalt der Körner beeinflusst:

- Zugfestigkeit
- Streckdehnung
- Bruchdehnung
- Leitfähigkeit für Wärme und Elektrizität