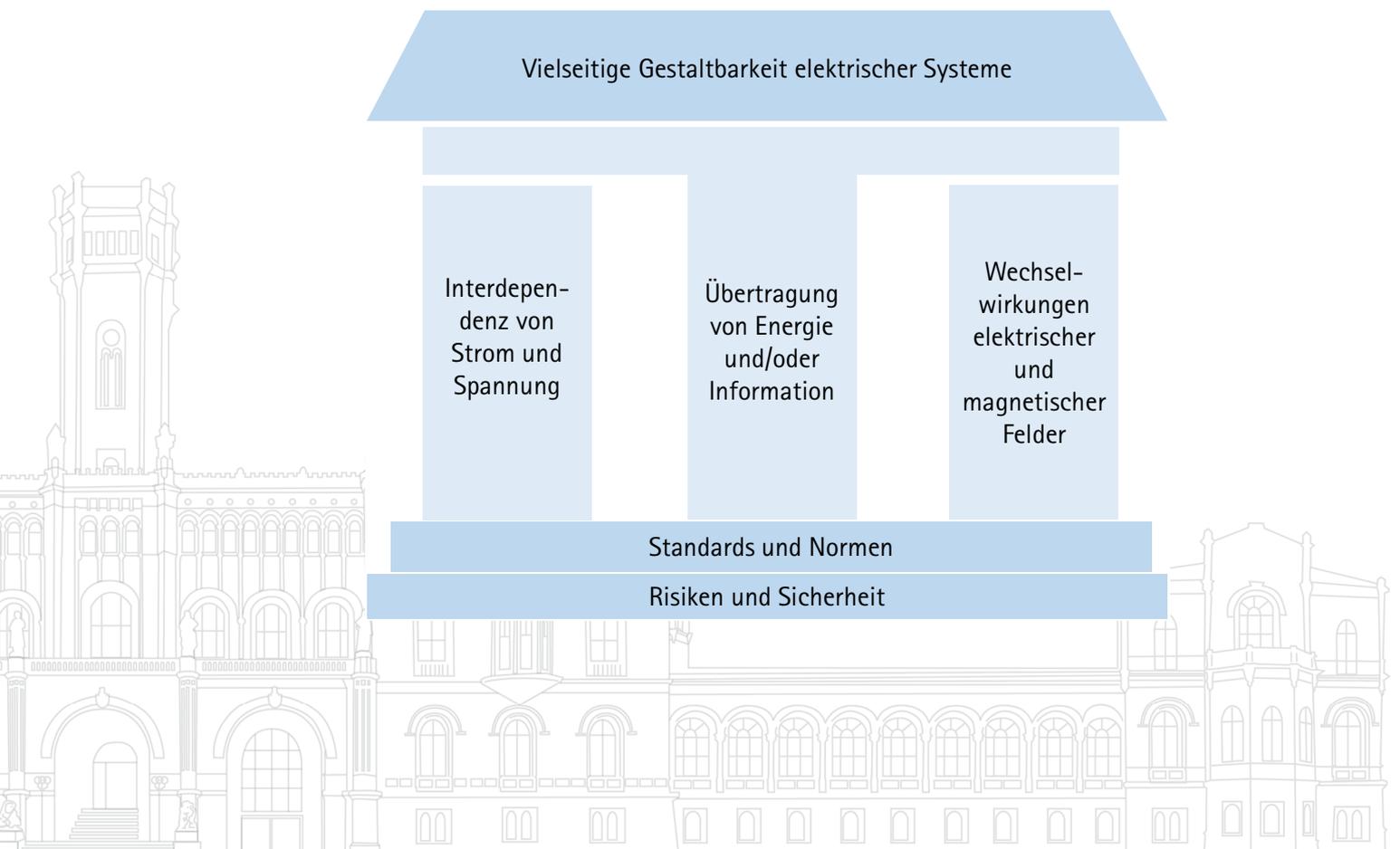


Fundamentale Ideen in der beruflichen Lehrkräftebildung – eine fachdidaktische Analyse am Beispiel der Elektrotechnik und ihre Potenziale für die Berufspädagogik

Birga Stender



**Fundamentale Ideen in der beruflichen Lehrkräftebildung –
eine fachdidaktische Analyse am Beispiel der Elektrotechnik
und ihre Potenziale für die Berufspädagogik**

Von der Philosophischen Fakultät
der Gottfried Wilhelm Leibniz Universität Hannover
zur Erlangung des Grades einer Doktorin der Philosophie (Dr. phil.)
genehmigte Dissertation

von Dipl.-Päd. Birga Stender, MBA

2024

Referentin: Prof. Dr. Julia Gillen
Institut für Berufspädagogik und Erwachsenenbildung (IfBE)
Leibniz Universität Hannover

Korreferent: Prof. Dr. Johannes Krugel
Didaktik der Elektrotechnik und Informatik (DEI)
Leibniz Universität Hannover

Tag der mündlichen Prüfung: 10. April 2024

Kurzfassung

Die Kompetenzentwicklung im beruflichen Lehramt ist komplex und herausfordernd. Die Dissertation trägt durch die Untersuchung des didaktischen Ansatzes der Fundamentalen Ideen zur Diskussion bei, wie der fachliche Kompetenzerwerb von berufsbildenden Lehramtsstudierenden sowie Auszubildenden unterstützt werden kann. Erstmals wird der strukturorientierte Ansatz auf die berufliche Bildung übertragen, exemplarisch für die gewerblich-technische Fachrichtung Elektrotechnik. An der Schnittstelle von Fachdidaktik und Berufspädagogik leistet die vorliegende Arbeit einen Beitrag für die Theoriebildung in der Fachdidaktik der Elektrotechnik und für die Gestaltung der berufsbildenden Lehrkräftebildung allgemein.

Im Fokus steht die Fragestellung, wie der Ansatz der Fundamentalen Ideen auf die berufliche Fachrichtung Elektrotechnik übertragen werden kann und welche Fundamentalen Ideen sich für diese entwickeln lassen. Elektrotechnische Grundlagenlehrbücher werden mittels Grounded Theory auf zentrale fachliche Konzepte, Prinzipien und Ideen analysiert, die potenzielle Fundamentale Ideen darstellen können. Die potenziellen Ideen werden mit etablierten und für die Berufsbildung adaptierten Kriterien daraufhin überprüft, ob sie als fundamental gelten können. Ihre fachliche Relevanz wird durch Experteninterviews validiert.

Als Ergebnis werden sechs Fundamentale Ideen vorgeschlagen, die grundlegende fachliche Strukturen und Zusammenhänge in der beruflichen Fachrichtung Elektrotechnik abbilden. Die Ideen werden zu einem fachdidaktischen Gesamtmodell zusammengefasst, das eine übergeordnete Zweck-Mittel-Perspektive auf elektrische Systeme, eine physikalisch-technische Perspektive sowie eine an den situativen Bedingungen orientierte Implementierungsperspektive umfasst. Die Fundamentalen Ideen knüpfen über handlungsleitende Momente an die allgemeine Zielsetzung der beruflichen Bildung an, umfassende Handlungskompetenz zu fördern.

Mit den entwickelten Fundamentalen Ideen wird ein neues fachdidaktisches Instrument vorgelegt. Wirkung kann es entfalten, wenn die Ideen in Lernprozessen immer wieder explizit gemacht werden. Es werden Vorschläge skizziert, wie die Ideen zur Förderung universitärer, berufsschulischer und selbstgesteuerter fachbezogener Lernprozesse eingesetzt werden könnten. Das vorgeschlagene Gesamtmodell möchte einen Beitrag leisten, wie berufsbildende Lehrkräfte und berufliche Fachkräfte in einem technischen Umfeld mit hoher Veränderungsdynamik ihr fachliches Wissen über das Berufsleben hinweg aktualisieren und anschlussfähig halten können. Für angehende Lehrkräfte könnte zudem die fachdidaktische Kompetenzentwicklung unterstützt werden. Der erprobte methodische Ansatz bietet Übertragungsmöglichkeiten auf andere berufliche Fachrichtungen.

Schlagnworte: Basiskonzepte, Fachdidaktik, PCK, Hochschuldidaktik, berufliche Bildung, gewerblich-technische Fachrichtungen

Abstract

Competence development in vocational teaching is complex and challenging. By examining the didactic approach of the fundamental ideas, the dissertation contributes to the discussion on how to support the professional competence acquisition of vocational teacher training students as well as trainees. For the first time, this structure-oriented approach is transferred to vocational education, exemplarily for the vocational discipline of electrical engineering. At the intersection of subject didactics and vocational education, this thesis contributes to theory-building in the subject didactics of electrical engineering and to the design of vocational teacher training in general.

The focus is on the question of how to adapt the approach of fundamental ideas to the vocational discipline of electrical engineering and which fundamental ideas can be developed for it. Electrical engineering textbooks are analysed using a grounded theory approach to identify essential technical concepts, principles and ideas that can represent potential fundamental ideas. The potential ideas are further reviewed using established criteria adapted for vocational education to determine whether they can be considered fundamental. Their professional relevance is validated through expert interviews.

As a result, six fundamental ideas are proposed that represent basic subject-related structures and interrelations in the vocational discipline of electrical engineering. The ideas are summarized in an overarching subject didactic model, which comprises three perspectives: a superordinate purpose-means perspective on electrical systems, a physical-technical perspective, and an implementation perspective aligned with situational conditions. The fundamental ideas include action-oriented aspects. Thus they are linked to the general objective of vocational education and training to promote comprehensive action competence.

The development of these fundamental ideas introduces a new didactic instrument, which can be effective when the ideas are consistently emphasized within the learning process. Initial suggestions are outlined as to how the fundamental ideas could be used to enhance subject-based learning processes in teacher training, in vocational school teaching and in self-organised learning. The proposed comprehensive model is intended to help vocational teachers and professionals working in a technical environment with high dynamics of change to continuously update and adapt their technical knowledge. Furthermore, it could also support the development of subject-specific didactic competencies for prospective teachers. The developed methodological approach offers potential for adaptation to other vocational disciplines.

Keywords: Fundamental Ideas, Core Concepts, Electrical Engineering, Didactics, PCK, Teacher Training, Vocational Education

Danksagung

Ich danke Prof. Julia Gillen für die vielen Anregungen und Ideen sowie den fachlichen Austausch und die Unterstützung beim Knüpfen weiterer Kontakte für das Gelingen dieser Arbeit. Deine wertschätzende Begleitung und das Interesse an dem Konzept der Fundamentalen Ideen waren sehr motivierend auf dem langen Weg zum Ziel. Eine bessere Betreuerin für meine Promotion hätte ich mir nicht wünschen können.

Prof. Johannes Krugel hat mich offen und herzlich in seine neu entstehende Didaktik-Arbeitsgruppe aufgenommen. Dafür sowie für inhaltliche Anregungen, methodische Diskussionen und jederzeit ein offenes Ohr für die Herausforderungen bei der Übertragung des verwendeten didaktischen Ansatzes in die berufliche Bildung bin ich sehr dankbar.

Mein großer Dank gilt zudem Prof. Bernardo Wagner und Prof. Stefan Zimmermann für das Ermöglichen der strukturellen Rahmenbedingungen, ohne die das ganze aufregende Unterfangen meiner Promotion nicht möglich gewesen wäre.

Prof. Andreas Schwill, dem „Godfather“ der Fundamentalen Ideen, danke ich herzlich für die Möglichkeit, mein Vorhaben in seiner Forschungsgruppe vorzustellen, und für die konstruktiven Fragen und wertvollen Hinweise, die ich in diesem Rahmen erhalten habe.

Den Interviewpartnern danke ich für das Interesse an meiner Fragestellung und die Bereitschaft, ihre Fachexpertise in die empirische Untersuchung einzubringen. Sie haben dazu beigetragen, die vorgeschlagenen Fundamentalen Ideen fachlich und fachdidaktisch auf Herz und Nieren zu prüfen.

Die kollegiale Unterstützung der Fachgruppe *Didaktik der Elektrotechnik und Informatik* und im Projekt *Leibniz works 4.0* war toll! Ann-Christin, Fritz, Heike, Johannes D., Johannes P., Janine, Judith, Kathrin, Levin, Metty, Natalie, Tanja, Tim, Tobias und Yousif – ich danke euch sehr für die Bereitschaft zum Testen meiner Ideen, spannende Diskussionen verschiedener Zwischenstände, gute Laune, Korrekturlesen und motivationalen Support!

Ohne Christel Tschernitschek und Maik Jablonski wäre diese Arbeit nicht geworden, was sie ist. Ihr habt sie (und mich) von den ersten Ideen bis zur Vorbereitung der Disputation mit euren klugen Ideen, kritischen Fragen, dem sokratischen Herauspräparieren des roten Fadens, freundlichem Nachdruck, emotionaler Unterstützung bei den Tiefs und dem Feiern der Hochs mit dem einen oder anderem Glas Rotwein maßgeblich begleitet. Für die vielen inhaltlichen und konzeptionellen Diskussionen und das Ringen um bestmögliche Formulierungen kann ich euch nicht genug danken.

Besonderer Dank gilt meinen Eltern! Ihr hattet von Anfang bis Ende einen unerschütterlichen Glauben in mich und das erfolgreiche Ende meines Promotionsvorhabens. Dafür und fürs Mitfiebern, Mitleiden und Mitfreuen auf dem Weg dahin danke ich euch ganz, ganz herzlich – und für den perfekten Ort zum Arbeiten mit Blick aufs Meer!

Inhalt

1. Einführung.....	11
1.1 Fachlicher Kompetenzerwerb in der Elektrotechnik: eine Herausforderung für Studierende des berufsbildenden Lehramts.....	11
1.2 Zielstellung und Forschungsfragen	22
1.3 Methodisches Vorgehen und Aufbau der Arbeit.....	24
2. Theoretischer Rahmen	27
2.1 Fundamentale Ideen als fachdidaktisches Instrument.....	28
2.1.1 Der fachdidaktische Grundansatz von Basiskonzepten bzw. Fundamentalen Ideen.	28
2.1.2 Fachdidaktische Nutzung von Basiskonzepten bzw. Fundamentalen Ideen.....	32
2.1.3 Kriterien zur Identifizierung von Fundamentalen Ideen.....	36
2.1.4 Methodische Ansätze zur Entwicklung von Fundamentalen Ideen	39
2.2 Pädagogisch-didaktische Grundlagen	44
2.2.1 Fachkompetenz als Teil beruflicher Handlungskompetenz.....	44
2.2.2 Fachbezogene Kompetenzentwicklung.....	48
2.2.3 Lerntheoretische Hintergründe konzeptorientierten Lernens.....	54
2.2.4 Anwendung von Fachkompetenz und Wissenstransfer in der beruflichen Bildung..	60
2.3 Didaktische Ausgangspunkte für die berufliche Fachrichtung Elektrotechnik.....	62
2.3.1 Der Ansatz des „Engineering Design“	64
2.3.2 Der Ansatz über „Berufliche Handlungen“	66
2.3.3 Der Ansatz über „Inventories“	68
2.3.4 Der Ansatz „Wesentlicher Elemente und Strukturen“	69
2.4 Zwischenergebnisse und Ableitungen für die weitere Arbeit.....	70
2.4.1 Begriffsverwendung und Kriterienauswahl.....	70
2.4.2 Anpassung der Kriterien für den berufsbildenden Bereich	72
2.4.3 Ableitungen zu den pädagogisch-didaktischen Wirkzusammenhängen.....	78
2.4.4 Ableitungen aus den fach- oder technikedidaktischen Vorarbeiten	79
3. Forschungsansatz und Methoden.....	81
3.1 Begründung des forschungsmethodischen Ansatzes.....	82
3.2 Einführung in den Forschungsansatz der Grounded Theory.....	84

3.2.1	Datenbasierte Theorieentwicklung mit Hilfe der Grounded Theory.....	84
3.2.2	Kodieren als Instrumentarium zur Datenauswertung und -analyse.....	86
3.2.3	Theoretisches Sampling.....	90
3.2.4	Dokumentation des Forschungsprozesses.....	92
3.2.5	Qualitätssicherung in Grounded-Theory-Studien.....	93
3.3	Methodisches Vorgehen im Forschungsprozess dieser Arbeit.....	94
3.3.1	Iteratives Vorgehen im Forschungsprozess.....	95
3.3.2	Forschungsperspektive und theoretische Sensibilität.....	95
3.3.3	Datenauswahl.....	97
3.3.4	Datenauswertung und -analyse.....	101
3.4	Validierung der Ergebnisse aus der Grounded-Theory-Analyse.....	105
3.4.1	Fundamentalitätsnachweis anhand der angepassten Kriterien.....	106
3.4.2	Fachliche Validierung mit Expert(inn)eninterviews.....	109
4.	Fundamentale Ideen für die berufliche Fachrichtung Elektrotechnik.....	119
4.1	Übertragung von Energie und/oder Information.....	123
4.1.1	Beschreibung der Idee und Herleitung.....	123
4.1.2	Resultat der Validierung.....	128
4.2	Vielseitige Gestaltbarkeit elektrischer Systeme.....	135
4.2.1	Beschreibung der Idee und Herleitung.....	135
4.2.2	Resultat der Validierung.....	141
4.3	Interdependenz von Strom und Spannung.....	146
4.3.1	Beschreibung der Idee und Herleitung.....	146
4.3.2	Resultat der Validierung.....	152
4.4	Wechselwirkungen elektrischer und magnetischer Felder.....	156
4.4.1	Beschreibung der Idee und Herleitung.....	156
4.4.2	Resultat der Validierung.....	161
4.5	Risiken und Sicherheit.....	166
4.5.1	Beschreibung der Idee und Herleitung.....	166
4.5.2	Resultat der Validierung.....	171
4.6	Standards und Normen.....	176
4.6.1	Beschreibung der Idee und Herleitung.....	176
4.6.2	Resultat der Validierung.....	182

4.7 Entwurf eines fachdidaktischen Modells.....	187
4.7.1 Beziehungen zwischen den Fundamentalen Ideen	188
4.7.2 Eine Concept Map der Fundamentalen Ideen	202
4.7.3 Fachdidaktisches Gesamtmodell für die berufliche Fachrichtung Elektrotechnik... 205	
4.8 Zusammenfassung der entwickelten Fundamentalen Ideen.....	210
5. Ergebnisdiskussion und Ausblick	217
5.1 Forschungsmethodische Reflexion	217
5.2 Forschungsergebnisse für die Fachdidaktik der Elektrotechnik.....	221
5.3 Forschungsergebnisse in der Berufspädagogik.....	229
5.4 Ausblick	235
6. Literaturverzeichnis.....	238
7. Anhang	250
7.1 Liste der recherchierten Lehrwerke	250
7.2 Interviewleitfaden	251
7.3 Transkriptionsbeispiel	252
7.4 Weitere elektronische Anlagen	254
Publikationen im Kontext der Forschungsarbeit.....	255

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Struktur des beruflichen Bildungswesens in Deutschland von der Sekundarstufe I bis zum Tertiärbereich (Auszug aus „Grundstruktur des Bildungswesens in der Bundesrepublik Deutschland“ mit Stand 2019, Diagramm der KMK).....	17
Abbildung 2: Auszug aus dem Fachprofil „Elektrotechnik“ mit Fokus auf Fachkompetenz (Kultusministerkonferenz 2008 i.d.F. von 2019, 80–82).....	18
Abbildung 3: Übersicht über den Aufbau der Arbeit	26
Abbildung 4: Masteridee „Algorithmisierung“ aus der Informatik und untergeordnete weitere Prinzipien und Fundamentale Ideen (Schwill 1993, 29, eigene Darstellung).....	33
Abbildung 5: Übersichtsposter für in den Sekundarstufen I und II genutzte Basiskonzepte der Biologie (© Neue Wege des Lernens e. V. 2017)	34
Abbildung 6: Vorschlag für Basiskonzepte der Politischen Bildung (graue Felder) (Sander 2009, 9), © Forum Politische Bildung	35
Abbildung 7: Stufen der Kompetenzentwicklung nach dem Novizen-Experten-Modell von Dreyfus/Dreyfus in Verbindung mit fachlichen Lernbereichen (im Original von Rauner 2002, Darstellung aus Jenewein und Pfützner 2012, 142), © Bertelsmann W. Verlag	51
Abbildung 8: Lernbereiche entsprechend der beruflichen Arbeitserfahrung (eigene Darstellung, angelehnt an Rauner 2002, 122).....	52
Abbildung 9: Fachlich-methodische Kompetenzen als Grundlage für variables Handeln (siehe Tenberg et al. 2019, 109; eigene Darstellung)	61
Abbildung 10: Forschungsdesign und methodische Gestaltung der empirischen Untersuchung	81
Abbildung 11: Angepasstes Kodierparadigma nach Strauss und Corbin.....	104
Abbildung 12: Fundamentale Ideen der beruflichen Fachrichtung Elektrotechnik	119
Abbildung 13: Vorgehen zur Darstellung und Begründung der Fundamentalen Ideen im Ergebnisteil	121
Abbildung 14: Übersicht der Beziehungen zwischen den Fundamentalen Ideen.....	188
Abbildung 15: Beziehung zwischen <i>Übertragung von Energie/Information</i> und <i>Vielseitiger Gestaltbarkeit</i>	189
Abbildung 16: Beziehung zwischen <i>Vielseitiger Gestaltbarkeit</i> und <i>Risiken und Sicherheit</i>	190

Abbildung 17: Beziehung zwischen <i>Risiken und Sicherheit</i> und <i>Standards und Normen</i>	191
Abbildung 18: Beziehung zwischen <i>Standards und Normen</i> und <i>Interdependenz von Strom und Spannung</i> (4) bzw. <i>Wechselwirkungen elektrischer und magnetischer Felder</i> (14).....	192
Abbildung 19: Beziehung zwischen <i>Interdependenz von Strom und Spannung</i> und <i>Wechselwirkungen elektrischer und magnetischer Felder</i> (5).....	194
Abbildung 20: Beziehung zwischen <i>Übertragung von Energie/Information</i> und <i>Wechselwirkungen elektrischer und magnetischer Felder</i> (6) bzw. <i>Interdependenz von Strom und Spannung</i> (7).....	195
Abbildung 21: Beziehung zwischen <i>Vielseitiger Gestaltbarkeit</i> und <i>Standards und Normen</i>	196
Abbildung 22: Beziehung zwischen <i>Risiken und Sicherheit</i> und <i>Wechselwirkungen elektrischer und magnetischer Felder</i> (9) bzw. <i>Interdependenz von Strom und Spannung</i> (15).....	198
Abbildung 23: Beziehung zwischen <i>Übertragung von Energie/Information</i> und <i>Risiken und Sicherheit</i>	199
Abbildung 24: Beziehung zwischen <i>Übertragung von Energie/Information</i> und <i>Standards und Normen</i>	200
Abbildung 25: Beziehung zwischen <i>Vielseitiger Gestaltbarkeit</i> und <i>Wechselwirkungen elektrischer und magnetischer Felder</i> (12) bzw. <i>Interdependenz von Strom und Spannung</i> (13).....	201
Abbildung 26: Concept Map der Fundamentalen Ideen und ihrer Beziehungen.....	204
Abbildung 27: Gesamtmodell der Fundamentalen Ideen für die berufliche Fachrichtung Elektrotechnik.....	206
Abbildung 28: Gesamtmodell der Fundamentalen Ideen für die berufliche Fachrichtung Elektrotechnik.....	216
Abbildung 29: Ausbildungsleitbild: Prozessorientierung mit fachsystematischer Reflexion (Howe und Knutzen 2022b, 17).....	231

1. Einführung

Etwa ein Sechstel aller Lehrkräfte in Deutschland arbeitet an berufsbildenden Schulen¹. Ihre möglichen Arbeitsfelder sind vielfältig und werden von technologischem Wandel und Digitalisierung beeinflusst. Daraus ergeben sich Herausforderungen an die fachbezogene Kompetenzentwicklung der (angehenden) Lehrerinnen und Lehrer² bereits im Studium. Die vorliegende Studie ist im Kontext dieser Herausforderung der beruflichen Lehrkräftebildung entstanden. An der Schnittstelle von Fachdidaktik und Berufspädagogik wird der didaktische Ansatz der „Fundamentalen Ideen“ daraufhin untersucht, wie er die fachliche Kompetenzentwicklung von berufsbildenden Lehramtsstudierenden sowie von Auszubildenden unterstützen kann. Dies erfolgt auf einer theoretisch-konzeptionellen Ebene. Exemplarisch an der Fachrichtung Elektrotechnik wird ein fachdidaktisches Modell entwickelt und es werden erstmals Fundamentale Ideen für die berufliche Fachrichtung Elektrotechnik präsentiert. Die Arbeit leistet damit einen Beitrag zur fachdidaktischen Theoriebildung in der Elektrotechnik. Sie eröffnet zudem Möglichkeiten, den erprobten Ansatz auch auf andere berufliche Fachrichtungen zu übertragen.

Eine Einführung in die Problemstellung und ihren Kontext erfolgt in Unterkapitel 1.1. Im Anschluss wird die Zielsetzung der Arbeit formuliert (siehe Unterkap. 1.2) und ein Überblick über ihren Aufbau gegeben (Unterkap. 1.3).

1.1 Fachlicher Kompetenzerwerb in der Elektrotechnik: eine Herausforderung für Studierende des berufsbildenden Lehramts

Veränderte Berufswelten verändern die berufliche Ausbildung in den Elektroberufen

Technisch-industrielle Umwälzungen und gesellschaftliche Entwicklungen wie beispielsweise die digitale Transformation haben die Berufsfelder in Industrie und Handwerk sowie den Arbeitsalltag gewerblich-technischer Fachkräfte in den letzten 20 Jahren stark verändert und dynamisiert. Die Digitalisierung nahezu aller gesellschaftlicher Teilbereiche hat die Anforderungen an die Produkte, Lösungen und Dienstleistungen, aber auch die Arbeitsprozesse erheblich beeinflusst (z.B. vernetzte Produktion/ Industrie 4.0). Informations- und Kommunikationstechnik durchdringt heute alle Industriezweige und Lebens-

¹ In den verschiedenen Bundesländern werden die Schulen im berufsbildenden Bereich teils als berufliche, teils als berufsbildende Schulen bezeichnet. Das entsprechende Lehramtsstudium heißt entsprechend dann ebenfalls Lehramt an beruflichen Schulen oder Lehramt an berufsbildenden Schulen. In dieser Arbeit werden die beiden Begriffe mit gleicher Bedeutung verwendet.

² Genderbezogene Formulierungen werden in dieser Arbeit jeweils so gewählt, dass sie möglichst viele Personen inkludieren und zugleich grammatikalisch passend und gut lesbar sind.

bereiche, sodass berufliche Fachkräfte dies in viel stärkerem Maße in ihren jeweiligen Tätigkeitsfeldern mitdenken und z.B. ihre Lösungen miteinander vernetzen müssen (Bundesinstitut für Berufsbildung 2021, 5).

Die Aufgabengebiete sind heute zwischen den einzelnen Berufen weniger abgegrenzt und viele Fachkräfte haben durch schlanke Organisationsstrukturen Schnittstellen zur Kundenseite, sodass Unternehmen erwarten, dass die einzelne Fachkraft selbstständig im Sinne des Unternehmens agiert und kompetent mit unvorhergesehenen Situationen umgehen und diese mitgestalten kann. Die Fachkräfte benötigen geeignete Kompetenzen dafür, die sie auch an Veränderungen in ihrem beruflichen Umfeld anpassen und weiterentwickeln müssen (Röben 2018, 385–386; Euler 2020, 206; Howe und Knutzen 2022a, 13).

Diese allgemeinen Veränderungen sind auch im Bereich der Elektroindustrie bzw. des Elektrohandwerks zu erkennen. Sie haben hier ebenfalls den Arbeitsalltag in den Elektroberufen teils stark verändert, z.B. durch Gebäudeautomatisierung/Smart Buildings, eine vernetzte, sensorgesteuerte Produktion und vorbeugende Instandhaltung oder die schnelle Veränderung von Arbeitsmitteln wie Mess- und Prüfgeräten (Zinke und Felkl 2021, 59–60).

Strukturelle Reaktionen der Bildungspolitik

Aus den Veränderungen der beruflichen Handlungsfelder ergibt sich, dass Fachkräfte anderes Wissen und andere Kompetenzen als bisher benötigen. Es werden deshalb in regelmäßigen Abständen (ca. alle 15–20 Jahre) umfassende Neuordnungsprozesse der Berufe und Ausbildungsgänge durchgeführt, um den neuen und veränderten Anforderungen bereits bei der beruflichen Ausbildung von Fachkräften Rechnung tragen zu können (in der Elektrotechnik z.B. zuletzt 2003 und 2018/2021). Dabei werden Ausbildungsgänge umstrukturiert, neu zugeschnitten und es können ganz neue Ausbildungsgänge entstehen (z.B. die IT-Berufe und der Mechatroniker/die Mechatronikerin Ende der 1990er Jahre) (Jenewein 2010, 416).

Borch und Weissmann fassen die Gründe und Ergebnisse für die Neuordnung 2003 wie folgt zusammen (Borch und Weissmann 2003): Die Ausbildungszahlen in den Elektroberufen waren zuvor über viele Jahre lang gesunken. Neue IT-Berufe oder breit einsetzbare Mechatroniker/-innen waren für Betriebe als Ausbildungsberufe attraktiver geworden. Mit der Neuordnung wurden die Elektroberufe deshalb durch die Einführung gemeinsamer, berufsübergreifender Kernqualifikationen flexibilisiert, um die Durchlässigkeit zwischen Berufen und Wirtschaftszweigen zu verbessern und diese Berufe wieder attraktiver zu machen. Die industriellen Elektroberufe wurden nach Einsatzbereichen neu gegliedert, die handwerklichen Berufe wurden an die 1998 veränderten Handwerksordnung angepasst, mit der verschiedene Handwerke zusammengelegt wurden. Die Neuordnung der Berufe im Elektrohandwerk 2021 hatte andere Treiber, wie Zinke und Felkl zusammenfassen (Zinke

und Felkl 2021): Hier war es v.a. die eingangs bereits beschriebene zunehmende Digitalisierung nahezu aller Wirtschaftsbereiche und die schnellen technologischen Veränderungen, die große Auswirkungen auf die Halbwertszeit von Wissen und Erfahrungen der beruflichen Fachkräfte gezeigt haben. Neue, digitalisierungsbezogene Kompetenzfelder (z.B. "Digitalisierte Arbeit" und das "Analysieren technischer Systeme") wurden in alle Berufe aufgenommen und die ersten vier Lernfelder für alle Berufe angeglichen, sodass berufsübergreifender ortsnaher Unterricht in den Berufsschulen möglich ist. Mit dem bzw. der „Elektroniker/-in für Gebäudesystemintegration“ wurde zudem ein neuer Beruf geschaffen, dessen Schwerpunkt bereits vollständig auf digitalisierte Arbeitsprozesse, Dienstleistungen und Produkte ausgerichtet wurde.

Aber auch das berufsbildende Ausbildungssystem insgesamt wird strukturell und inhaltlich weiterentwickelt. Dadurch sollen die angehenden Fachkräfte so ausgebildet werden, dass sie auch mit zukünftigen weiteren Veränderungen, die im Laufe ihres Berufslebens zu erwarten sind, kompetent umgehen können und Technik einsetzen, um die Umwelt damit zu gestalten (Kultusministerkonferenz Juni 2021, 29). Ein kompetenztheoretischer Bildungsansatz ist in der beruflichen Bildung seit langem breit etabliert (Röben 2018, 384). Die Entwicklung beruflicher Handlungskompetenz wurde Ende der 1980er Jahre zum didaktischen Leitbegriff für die Berufsschule (Euler 2020, 206). Die Anforderungen beruflichen Handelns sollten mit diesem Bildungsansatz insgesamt besser beschrieben werden können als vormals v.a. über Fachwissen oder formale Qualifikationen, weil auch Fertigkeiten und Erfahrungen einbezogen werden (Dick 2018, 381).

Als zentrales, übergreifendes Bildungsziel der beruflichen Ausbildung ist heute definiert, eine **umfassende berufliche Handlungskompetenz** bei den Auszubildenden aufzubauen. Diese bildungspolitische Vorgabe hat die Kultusministerkonferenz (KMK) in den 1990er Jahren getroffen (Jenewein 2010, 420–421; Röben 2018, 384; Lehberger 2018, 475). Sie ist in der Handreichung der KMK für die Erarbeitung von Rahmenlehrplänen für die Ausbildungsberufe festgelegt und findet sich in allen Rahmenlehrpläne wieder:

„Zentrales Ziel von Berufsschule ist es, die Entwicklung umfassender Handlungskompetenz zu fördern. Handlungskompetenz wird verstanden als die Bereitschaft und Befähigung des Einzelnen, sich in beruflichen, gesellschaftlichen und privaten Situationen sachgerecht durchdacht sowie individuell und sozial verantwortlich zu verhalten. Handlungskompetenz entfaltet sich in den Dimensionen von Fachkompetenz, Selbstkompetenz und Sozialkompetenz. (...) Methodenkompetenz, kommunikative Kompetenz und Lernkompetenz sind immanenter Bestandteil von Fachkompetenz, Selbstkompetenz und Sozialkompetenz.“ (Kultusministerkonferenz Juni 2021, 15–16)

Um dieses übergreifende Ausbildungsziel zu erreichen, sind die Ausbildungsgänge auf der Basis typischer beruflicher Handlungsfelder und Arbeitsprozesse kompetenzorientiert strukturiert worden. 1996 wurde durch die KMK das **Lernfeldkonzept** eingeführt und damit die Entwicklungen der Jahre davor in einen grundlegend neuen ordnungspolitischen

und curricularen Rahmen umgesetzt. Die Rahmenlehrpläne der einzelnen Ausbildungsberufe sind nach Lernfeldern gegliedert. Aus beruflichen Handlungsfeldern werden mit Hilfe berufstypischer Arbeitsprozesse Lernsituationen entwickelt, die dann exemplarische Ausgangspunkte des berufsschulischen Unterrichts in den Lernfeldern sind.

Dies stellte einen grundlegenden Perspektivwechsel dar: Ein handlungssystematisch strukturiertes Vorgehen erhält gegenüber dem fachsystematisch strukturierten Vorrang, und das berufliche Lernen wird stärker mit Bezug auf eine entwicklungslogische Strukturierung und eine Subjektperspektive konzipiert. Daraus ergibt sich die Herausforderung, wie die Fachwissenschaften und ihre Systematik sinnvoll mit dem handlungsorientierten Vorgehen verbunden werden können. Mit der Formulierung von jeweils notwendigem Arbeitsprozesswissen wurde eine neue Verknüpfung von fachlichem Wissen mit dem handlungsorientierten Vorgehen konzeptionell gefasst. Für die fachdidaktische und berufswissenschaftliche Forschung bleibt jedoch weiterhin die Fragestellung relevant, welches fachliche Wissen berufliche Fachkräfte benötigen und wie sie dieses in handlungssystematisch aufgebauten Curricula erwerben (Lehberger 2018, 475–476; Achtenhagen und Pätzold 2010, 140; Howe und Knutzen 2022a, 14–15).

Resultierende Anforderungen an die berufsbildenden Lehrkräfte

Die beschriebenen Rahmenbedingungen der beruflichen Ausbildung definieren den strukturellen Rahmen, in dem berufliche Lehrkräfte pädagogisch handeln (Howe und Knutzen 2022a, 15). Zudem bedeutet die Tätigkeit als berufsbildende Lehrkraft, „sich an einem komplexen Lernprozess zu beteiligen, welcher im Zusammenwirken von zwei Lernorten über sehr unterschiedliche Lernsituationen erfolgt und in jedem Falle eine Integrationsleistung der Lernenden voraussetzt“ (Tenberg 2006, 107). Daraus resultieren Ziele und Anforderungen an die beruflichen Lehrkräfte und ihre Ausbildung, damit sie diese didaktischen Vorgaben umsetzen und ihren Unterricht handlungsorientiert gestalten können. Der berufsschulische Unterricht soll anhand realitätsnaher Problemstellungen handlungsorientiert aufgebaut werden, um den Auszubildenden die Anwendung des Gelernten in der beruflichen Praxis zu erleichtern. Dafür sollen berufstypische Arbeitsprozesse die Grundlage bilden. Den Lernenden soll im Sinne vollständiger Handlung eine umfassende Bearbeitung der Problemstellungen ermöglicht werden, in den gewerblich-technischen Berufen insbesondere von der Auftragsklärung bis zur Evaluation der Ausführung (Kultusministerkonferenz Juni 2021, 17).

Um die Prozessorientierung im Unterricht umsetzen zu können, benötigen die beruflichen Lehrkräfte ein profundes Verständnis der Berufe und Ausbildungsgänge, in denen sie unterrichten. Dies gilt insbesondere für die typischen Arbeitsprozesse und konkreten Problemstellungen sowie die fachlichen, methodischen und prozessbezogenen Anforderungen, die sich für die Lernenden daraus ergeben. Die Lehrkräfte benötigen eine umfassende Kompetenz in ihrer beruflichen Fachrichtung, um fachliche Grundlagen und Zusammen-

hänge entsprechend der ausgewählten Fragestellungen zusammenzustellen und im Lernfeldkonzept zu vermitteln (auch bei neuen Technologien). Zudem brauchen sie methodisches und fachdidaktisches Handwerkzeug, wie sie sich ihnen unbekannte oder neue Berufe erschließen, deren fachliche Inhalte und Prozesse analysieren und auf dieser Basis gehaltvolle Lern-Arrangements für ihre konkreten Lernendengruppen gestalten können.

Hier wird der doppelte Berufsbezug sichtbar, der typisch für das berufsbildende Lehramt ist und bereits im Lehramtsstudium Herausforderungen mit sich bringt, weil der Kompetenzerwerb unter zwei Perspektiven gleichzeitig erfolgt. Eine wesentliche Referenz für die individuelle Professionalisierung als berufliche Lehrkraft bildet die Orientierung an den zugehörigen Ausbildungsberufen, die die Zielrichtung des eigenen pädagogischen Handelns darstellen. Dies prägt die fachliche und fachdidaktische Perspektive in der beruflichen Lehrkräftebildung: Zum einen eignen sich die Studierenden im Studium ihre eigenen fachlichen Grundlagen für die geplante Tätigkeit als Lehrkraft für eine bestimmte berufliche Fachrichtung an, zum anderen benötigen sie immer auch schon einen Blick darauf, welche fachlichen Kompetenzen ihre Schülerinnen und Schüler später in den Berufen benötigen und wie dieser Kompetenzerwerb didaktisch unterstützt werden kann (Vollmer 2012, 212–215).

Verschiedene empirische Untersuchungen zeigen, dass die Fachkompetenz – und auch die fachdidaktische Kompetenz – von Lehrkräften eine hohe Bedeutung für die Unterrichtsgestaltung haben und sich bis auf die Leistungen von Schülerinnen und Schülern auswirken (vgl. Baumert und Kunter 2006). „Die Anforderungen an das Fachwissen von Lehrkräften sind also keineswegs geringer als an jenes der nicht-pädagogischen Fachleute. Vor allem braucht tiefes Verstehen, wer anderen beim Verstehen helfen will“ (Neuweg 2010, 28; vgl. hierzu auch Shulman 1986, 9). Pädagogisch wirksam wird das Fachwissen von Lehrkräften jedoch erst in Verbindung mit fachdidaktischer Kompetenz, welche die fachliche und die pädagogische Perspektive als ein besonderes Merkmal der Professionalität von Lehrkräften quasi als Schnittmenge verbindet. Shulman bezeichnet dies in seinem grundlegenden Modell zum Professionswissen von Lehrkräften als „Pedagogical Content Knowledge“ (Shulman 1986, 9–10; siehe auch Abschnitt 2.2.1 dieser Arbeit).

Das Studium stellt die erste grundlegende Phase der Kompetenzentwicklung von Lehrkräften dar (bevor Vorbereitungsdienst und Fort- und Weiterbildung als weitere Phasen folgen). Die KMK hat für das berufliche Lehramt festgelegt, dass in dieser Phase schwerpunktmäßig anschlussfähiges Fachwissen, Erkenntnis- und Arbeitsmethoden der Fächer bzw. beruflichen Fachrichtungen sowie anschlussfähiges fachdidaktisches Wissen erworben werden sollen (Kultusministerkonferenz 2008 i.d.F. von 2019, 3–4). Im nächsten Abschnitt wird erläutert, wie dieser Kompetenzerwerb im Studium angelegt wird.

Struktur des beruflichen Schulsystems und Organisation des Lehramtsstudiums

Eine entsprechende Gestaltung des Studiums, die diese fachliche und fachdidaktische Kompetenzentwicklung leisten kann, ist im berufsbildenden Lehramt auch mit Blick auf die späteren beruflichen Einsatzfelder besonders anspruchsvoll. Durch die starke Differenzierung und Heterogenität des beruflichen Bildungssystems (siehe Abbildung 1) kann das Studium einer beruflichen Fachrichtung auf ganz unterschiedliche Tätigkeiten im berufsbildenden Schulsystem hinführen³. Es gibt unterschiedliche Schulformen (z.B. Berufsschule, Berufliches Gymnasium oder Fachoberschule) und innerhalb jedes Berufsfelds verschiedene (korrespondierende) duale Ausbildungsgänge, schulische Ausbildungsgänge und weiteren berufsvorbereitenden Bildungsgänge (Kultusministerkonferenz 2008 i.d.F. von 2019, 6). Dies ist auch in der Elektrotechnik stark ausgeprägt. Hier gibt es aktuell ca. 20 duale Ausbildungsberufe in Handwerk und Industrie⁴. Dabei machen einzelne Berufe einen sehr hohen Anteil aus (bspw. der Handwerksberuf Elektroniker/-in, Fachrichtung Energie- und Gebäudetechnik oder der Industrieberuf Elektroniker/-in für Betriebstechnik), andere nur einen kleinen (z.B. Informationselektroniker/-in) (zu den neu abgeschlossenen Ausbildungsverträgen siehe Tabelle in Bundesinstitut für Berufsbildung 2022; Jenewein 2010, 426–427). Daneben gibt es weitere Ausbildungsgänge, die fachlich ebenfalls elektrotechnische Inhalte umfassen, aber eher benachbarten Berufsfeldern wie der Metalltechnik oder der Informationstechnik/Informatik zugeordnet werden (z.B. Mechatroniker/-in oder IT-System-Elektroniker/-in).

Aus diesem Grund kann eine berufliche Fachrichtung nicht spezifisch, sondern nur allgemein auf die verschiedenen möglichen späteren Tätigkeiten als berufliche Lehrkraft vorbereiten. Dies ist zwar organisationstheoretisch im Sinne einer losen Kopplung bzw. als „offenes Referenzsystem“ (siehe Pahl und Herkner 2010, 197) sinnvoll, denn eine eher allgemeine Studiengestaltung und breit angelegte Studieninhalte können diese Ambiguität besser aufgreifen und eine möglichst breite Abdeckung potenzieller späterer beruflicher Anforderungen ermöglichen. Die Kehrseite ist allerdings, dass die Akteure, die sich zwischen beiden Systemen bewegen – hier die Studierenden – mit dieser strukturellen Ambiguität individuell umgehen (lernen) müssen. Dies macht das Studium des berufsbildenden Lehramtes komplex und anspruchsvoll.

³ Dies unterscheidet das berufsbildende deutlich vom allgemeinbildenden Lehramt, da bei jenem das spätere Tätigkeitsfeld für die Studierenden klarer ist und weniger Vielfalt zu erwarten ist.

⁴ siehe https://de.wikipedia.org/wiki/Liste_der_Ausbildungsberufe_in_der_Elektrotechnik (aufgerufen am 25.10.2023)

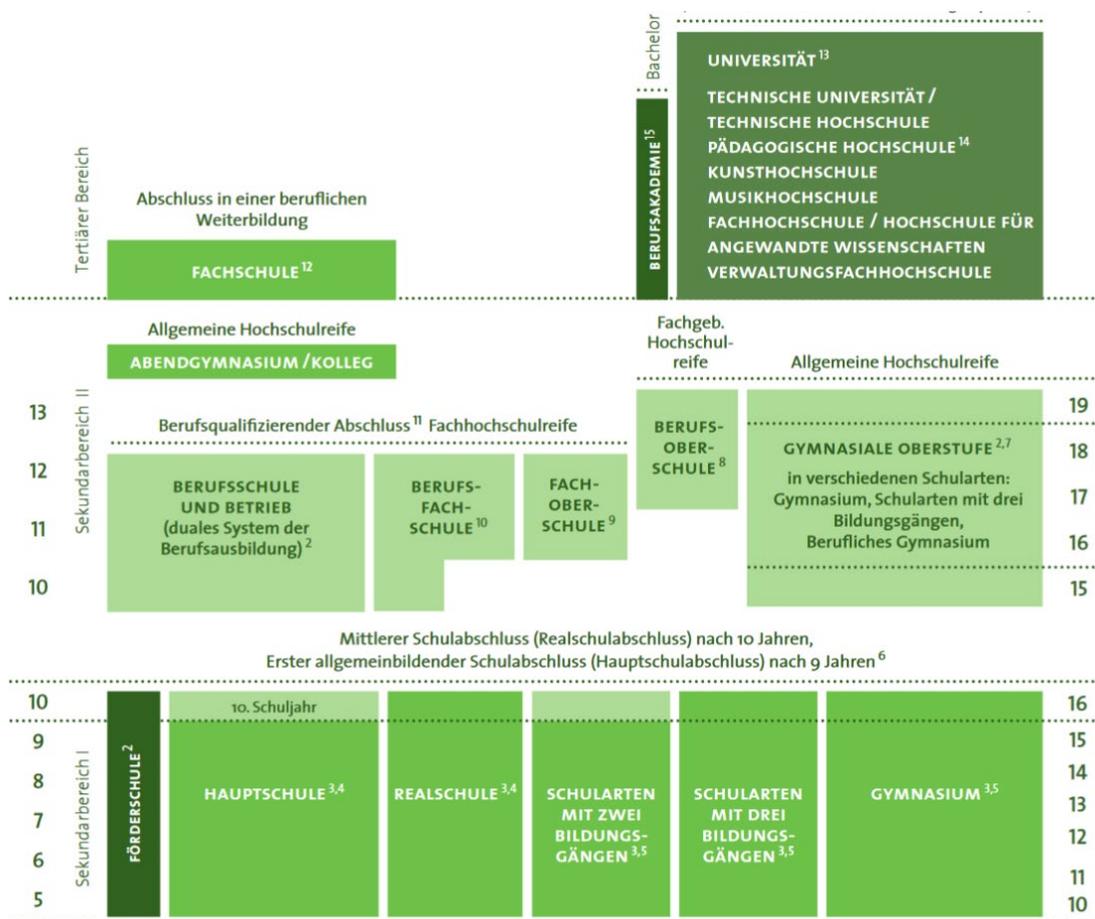


Abbildung 1: Struktur des beruflichen Bildungswesens in Deutschland von der Sekundarstufe I bis zum Tertiärbereich (Auszug aus „Grundstruktur des Bildungswesens in der Bundesrepublik Deutschland“ mit Stand 2019, Diagramm der KMK⁵)

Die KMK hat für die einzelnen beruflichen Fachrichtungen und Fächer Fachprofile definiert. Das Fachprofil für die berufliche Fachrichtung Elektrotechnik wird hier als ein Beispiel für die gewerblich-technischen Fachrichtungen auszugsweise dargestellt (siehe Abbildung 2). Der Fokus liegt auf den darin geforderten elektrotechnischen Fachinhalten. Berufswissenschaftliche Inhalte oder Querschnittsthemen wie Projektmanagement, die auch in das Fachprofil einbezogen sind, werden in der Darstellung nicht berücksichtigt.

⁵ siehe <https://www.kmk.org/dokumentation-statistik/informationen-zum-deutschen-bildungssystem.html> (aufgerufen am 25.10.2023, © KMK 2023)

Fachprofil „Berufliche Fachrichtung Elektrotechnik“

Das Fachprofil für die berufliche Fachrichtung Elektrotechnik umfasst fach- und berufswissenschaftliche Inhalte und die zugehörige Fachdidaktik. Am Ende des Studiums sollen die Studierenden folgende Kompetenzen erworben haben (Kultusministerkonferenz 2008 i.d.F. von 2019, 80):

- grundlegendes Wissen zur Elektrotechnik und zum Berufsbereich Elektrotechnik
- fachwissenschaftliches sowie berufs- und fachdidaktisches Wissen zum Berufsbereich Elektrotechnik, welches an die dortigen dynamischen Entwicklungen anschlussfähig ist
- grundlegende Fähigkeiten, sich auf der Basis wissenschaftlicher und didaktischer Erkenntnisse in curriculare Gestaltungsprozesse im Berufsbereich Elektrotechnik einzubringen
- in ersten Ansätzen in der Lage sein, schulische Lehr-Lernprozesse im Rahmen elektrotechnischer Bildungsgänge zu analysieren, zu planen und durchzuführen sowie diese zu reflektieren und zu evaluieren.

Für die fachlichen/disziplinären Kompetenzen wird dies wie folgt spezifiziert: Mit Bezug zur Ingenieurwissenschaft Elektrotechnik sollen die Studierenden „ein fundiertes und breites elektrotechnisches Fachwissen“ erwerben und „dieses in unterschiedlichen beruflichen Anforderungskontexten flexibel anwenden“ können (Kultusministerkonferenz 2008 i.d.F. von 2019, 80). Zudem sollen sie gelernt haben, „sich auf der Basis der erworbenen Kenntnisse und Fertigkeiten Neuentwicklungen in der Elektrotechnik und der beruflichen Arbeit eigenständig [zu] erschließen“ (Kultusministerkonferenz 2008 i.d.F. von 2019, 81).

Das Studium der beruflichen Fachrichtung Elektrotechnik soll folgende elektrotechnische Fachinhalte umfassen:

- Grundlagen der Elektrotechnik
- Gebäude- und Infrastruktursysteme
- Grundlagen der Automatisierungstechnik
- Sicherheitstechnik und -vorschriften
- informationstechnische Grundlagen
- sowie eine Vertiefung in mind. einem der Bereiche „Technologie, Funktion und Betrieb von Anlagen der Energietechnik“, „Prozesse, Technologien und Systeme der Informations- und Kommunikationstechnik“ oder „Aufbau, Funktion und Betrieb von Anlagen der Automatisierungstechnik“ (Kultusministerkonferenz 2008 i.d.F. von 2019, 81).

Abbildung 2: Auszug aus dem Fachprofil „Elektrotechnik“ mit Fokus auf Fachkompetenz (Kultusministerkonferenz 2008 i.d.F. von 2019, 80–82)

An dem Fachprofil ist der Unterschied der beruflichen Fachrichtung zur Ingenieurwissenschaft Elektrotechnik deutlich zu erkennen: Einerseits umfasst sie nur einen bestimmten fachlichen Teil der Ingenieurwissenschaft, der mit Blick auf die Elektroberufe besonders relevant ist. Andererseits kommen weitere fachwissenschaftliche Studienanteile hinzu, die aber nicht aus der Ingenieurwissenschaft Elektrotechnik, sondern anderen Bezugsdisziplinen wie der Berufswissenschaft, der Arbeitswissenschaft, der BWL oder der Fachdidaktik stammen. Weiterhin umfassen die Fachprofile auch fachdidaktische Inhalte, die im Studium vermittelt werden sollen. Diese reichen von der didaktischen Analyse und der Analyse von Berufsfeldern (curriculare Fragestellung der Fachdidaktik) über die Unterrichtsplanung, -durchführung und -evaluation bis hin zur Leistungsbeurteilung und individueller Förderung (unterrichtsmethodische Fragestellung der Fachdidaktik) (Pätzold und Reinisch 2010, 162–166).

Die Umsetzung der Fachprofile erfolgt in den Bundesländern und an den Hochschulen mit unterschiedlichen Studienmodellen bzw. Studienstrukturen. Für die gewerblich-technischen Fachrichtungen, zu denen die Elektrotechnik zählt, sind dies z.B. das Studienmodell der korrespondierenden Ingenieurwissenschaft oder das einer eigenständigen gewerblich-technischen Wissenschaft. Die Studienmodelle bringen jeweils unterschiedliche Vor- und Nachteile für die Studierenden sowie für die Organisation der Lehramtsstudiengänge an den Hochschulen mit sich. Das am häufigsten umgesetzte Modell für das Studium der beruflichen Fachrichtung Elektrotechnik ist das der korrespondierenden Ingenieurwissenschaft, bei dem sich der fachliche Kompetenzerwerb an der Ingenieurwissenschaft Elektrotechnik als primärer Bezugsdisziplin orientiert. Der Vorteil dieses Modells ist, dass es bei kleinen Studierendengruppen mit vertretbarem organisatorischem und ressourcenbezogenem Aufwand umgesetzt werden kann und den Studierenden – zumindest in der Theorie – eine Polyvalenz zu Handlungsfeldern in den Ingenieurwissenschaften ermöglicht (Jenewein 2010, 417–420; Faßheuer 2010, 243–244).

In diesem Studienmodell sind die Themenbereiche und Inhalte des Lehramtsstudiums für die berufliche Fachrichtung zu großen Anteilen die gleichen wie für diejenigen Studierenden, die einen Studienabschluss als Ingenieur/-in anstreben. Dies führt zu weiteren Herausforderungen für die Lehramtsstudierenden, da die Wissensbestände einer Fachwissenschaft, die darauf bezogenen Wissensbestände eines Berufsfeldes und das Wissen, das berufliche Expert(inn)en ausmacht, zwar zusammenhängen, aber nicht gleich und auch nicht gleich strukturiert sind. Die Verbindung bzw. Übersetzungsleistung zwischen der fachsystematischen ingenieurwissenschaftlichen Studienstruktur und der Perspektive auf die berufliche Praxis in den Elektroberufen muss in diesem Studienmodell von der Fachdidaktik bzw. den Lernenden selbst geleistet werden (Jenewein, 418–419; Pätzold und Reinisch 2010, 166; Röben 2018, 392). Fachliche Inhalte wie z.B. die Installationstechnik, die in vielen Ausbildungsgängen hochrelevant sind, finden sich teilweise gar nicht im hochschulischen Curriculum. Andere Inhalte sind von den Anwendungsfeldern und von

der theoretischen Ausrichtung her auf andere Tätigkeiten ausgerichtet als die einer Lehrkraft (z.B. die einer Entwicklungsingenieurin/eines Entwicklungsingenieurs). Wenngleich die Ursachen dieser Situation teils in nachvollziehbaren praktischen Gründen wie der kleinen Studierendenzahl im beruflichen Lehramt (siehe unten) liegen, für die schon aus Ressourcengründen schwerlich eigene Lehrveranstaltungen angeboten werden können, erschwert es für die beruflichen Lehramtsstudierenden dennoch den Anwendungsbezug für ihr späteres Tätigkeitsfeld und die Entwicklung einer berufsbezogenen Fachkompetenz.

Das ingenieurwissenschaftliche Fach und die späteren Anforderungen als berufliche Lehrkraft stellen also einerseits hohe Anforderungen an die aufzubauende fachliche Kompetenz. Allerdings sieht die Studienstruktur aufgrund der üblichen Struktur des Lehramtsstudiums (mit einem weiteren Unterrichtsfach und Bildungswissenschaften) einen deutlich geringeren zeitlichen Umfang für fachliche Studieninhalte im Lehramt vor. Zusammen mit der oben beschriebenen Ungewissheit über die konkreten zukünftigen Anforderungen/Einsatzfelder wird deutlich, dass ein Studium des berufsbildenden Lehramts in den technisch-gewerblichen Fachrichtungen wie der Elektrotechnik bereits einige strukturelle und inhaltliche Herausforderungen für die Studierenden bereithält. Hinzu treten teilweise weitere Hürden, die sich aus der individuellen Situation der Studierenden ergeben können.

Die Studierenden der beruflichen Fachrichtung Elektrotechnik

An den Universitäten gehört die berufliche Fachrichtung Elektrotechnik regelmäßig zu den kleinen Fachrichtungen mit oftmals nur wenigen Studierenden. Dem gegenüber steht die Situation an den berufsbildenden Schulen, dass die Elektrotechnik zugleich eine ausgeprägte Mangelfachrichtung darstellt (Müller und Kooij 2023, 53). Aus berufspädagogischer Sicht ist deshalb das Interesse groß, möglichst viele Studierende für das berufliche Lehramt zu gewinnen und möglichst wenige von ihnen im Studium zu verlieren. Zusätzlich zum regulären Lehramtsstudium gibt es seit langem unterschiedliche Formen des Quer- und Seiteneinstiegs, um den Lehrkräftebedarf an den berufsbildenden Schulen überhaupt decken zu können (Faßheuer 2012, 287–290).

Als Illustration mögen die Zahlen der Leibniz Universität Hannover (LUH) dienen: An der LUH beträgt die Gesamtanzahl der Studierenden im Bachelor-Studiengang Lehramt Elektrotechnik in den letzten 10 Jahren durchschnittlich über alle Semester hinweg zwischen 25 und 35. Im Schnitt nehmen ca. 10 Studierende pro Jahr ein Bachelorstudium des beruflichen Lehramts mit der Fachrichtung Elektrotechnik neu auf. Über alle Abschlussarten hinweg (Bachelor Technical Education, Master of Education und Quereinstiegs-Master LbS-Sprint) studieren an der LUH durchschnittlich 40–50 Personen im beruflichen Lehramt Elektrotechnik. Längst nicht alle Studierenden des berufsbildenden Lehramts schließen ihr Studium auch ab und gehen in den Vorbereitungsdienst. Die kohortenbezogenen Studienverlaufsanalysen der LUH zeigen beispielsweise für die Anfängerkohorten von 2016/17, 2017/18 und 2018/19 einen Austritt oder Wechsel aus dem Elektrotechnik-Lehramtsstu-

dium von 60–90 %. Pro Studienjahr schließen nur ca. 5 Studierende ihr Studium erfolgreich ab (über alle Abschlussarten) (eigene Berechnungen aus den Daten der Studierendenstatistik und der Prüfungsstatistik der LUH⁶ sowie der internen Lehrberichte der entsprechenden Lehreinheiten der LUH).

Die Gruppe der beruflichen Lehramtsstudierenden besteht zu einem hohen Anteil aus Personen, die selbst eine Ausbildung gemacht haben, vielleicht bereits einige Zeit im erlernten Beruf praktisch tätig waren und nun in das stärker theorieorientierte Bildungssystem Universität einsteigen wollen, um in ihrer beruflichen Karriere einen nächsten Schritt zu machen (Müller und Kooij 2023, 53, 66). Eine aktuelle Studie zu den beiden gewerblich-technischen Fachrichtungen Elektrotechnik und Metalltechnik hilft bei der statistischen Charakterisierung der Studierendengruppe: In den beiden Fachrichtungen sind die Absolvierenden zu knapp 80 % männlich und haben ebenfalls zu knapp 80 % eine abgeschlossene Berufsausbildung. Beides unterscheidet sie deutlich von den Absolvierenden anderen Lehrämter, aber auch von denen anderer beruflicher Fachrichtungen des berufsbildenden Lehramtes. Mit fast 40 % ist der Anteil ohne reguläres Abitur in diesen beiden Fachrichtungen deutlich höher als in allen anderen (auch beruflichen) Lehramtsstudiengängen. (alle Daten siehe Müller und Kooij 2023, 58). Dies und die ungewohnte Lernkultur im Studium sowie eine durch ein bereits etwas höheres Lebensalter bedingte andere persönliche Situation mit teils paralleler Berufstätigkeit und Familie unterscheidet diese Gruppe von den üblichen Studienanfänger(inne)n.

Knapp 20 % der Absolvierenden haben in der Studie angegeben, während des Studiums über einen Studienabbruch nachgedacht zu haben. Dies ist ein deutlich höherer Anteil als in den anderen Lehrämtern und zudem auch innerhalb des beruflichen Lehramts noch ein leicht höherer Anteil als in den anderen beruflichen Fachrichtungen (Müller und Kooij 2023, 58). Ca. 42,5 % dieser Subgruppe haben Leistungsprobleme als einen Grund für die Abbruchneigung angegeben (Müller und Kooij 2023, 64). Auch die vergleichsweise schlechten Abschlussnoten stärken das Bild, dass Leistungsprobleme bei dieser Gruppe von Lehramtsstudierenden häufiger auftreten (Müller und Kooij 2023, 60). Die Autoren sehen insbesondere den Bildungsverlauf und den Einstieg in das Studium ohne reguläres Abitur als eine wesentliche Ursache dafür an, dass viele Studierende Leistungsprobleme haben und ggf. ihr Studium nicht abschließen. Der Wissenserwerb und die Lernkultur im beruflichen Ausbildungssystem und dem akademischen System seien zu wenig aufeinander abgestimmt. Die Studierenden benötigen deshalb Unterstützungsmaßnahmen, die ihre akademische Integration und fachliche Leistungsfähigkeit verbessern (Müller und Kooij 2023, 64–66).

⁶ Studierendenstatistik siehe <https://www.uni-hannover.de/de/universitaet/profil/zahlen/studierendenstatistik/> und Prüfungsstatistik siehe <https://www.uni-hannover.de/de/universitaet/profil/zahlen/pruefungsstatistik/> (beide aufgerufen am 25.10.2023)

1.2 Zielstellung und Forschungsfragen

Aus dieser komplexen Gemengelage von vielfältigen Anforderungen im beruflichen Lehramtsstudium insgesamt, den hohen fachlich-inhaltlichen Anforderungen in der Elektrotechnik, den ungünstigen Studienbedingungen in der Fachrichtung sowie den charakteristischen Ausgangsbedingungen der Studierendengruppe ergibt sich die Problemstellung, an der diese Dissertation ansetzt. Das leitende Forschungsinteresse ist, wie fachliche Inhalte und lehramtsbezogene berufliche Orientierung im Studium der beruflichen Fachrichtung Elektrotechnik stärker in Einklang gebracht werden können – und zwar ausdrücklich auch in dem Studienmodell der „korrespondierenden Ingenieurwissenschaft“, da dieses häufig an den Hochschulen vorzufinden ist. Die Fragestellung wird aus einer fachdidaktischen bzw. berufspädagogischen Perspektive heraus untersucht.

Aus Sicht der Lehrkräftebildung sollen die Studierenden zum einen ihr anspruchsvolles Studium erfolgreich bewältigen und sich zügig eine breite, sichere fachliche Orientierung in der Elektrotechnik und ein tiefes Verständnis ihrer beruflichen Fachrichtung schaffen können (die Ebene von „Content Knowledge“ in Shulmans Modell, siehe Abschnitt 2.2.1). Zum anderen sollen sie bereits während des Studium gut darauf vorbereitet werden, den komplexen Anforderungen als berufliche Lehrkraft kompetent und gestaltend begegnen zu können. Dieser zweite Aspekt umfasst die Anforderung, wie fachbezogene Lernprozesse für die Auszubildenden möglichst gut geplant, umgesetzt und immer wieder auch angepasst werden können (die fachdidaktische Ebene des „Pedagogical Content Knowledge“ in Shulmans Modell). Dazu gehört, dass die Lehramtsstudierenden sich auch zukünftige (fachliche) Veränderungen in den Berufsfeldern oder den Ausbildungsgängen, die in ihrem Berufsleben als Lehrer/-in auftreten werden, erschließen und in ihren Unterricht integrieren können.

In einigen allgemeinbildenden Fächern besteht ein fachdidaktischer Ansatzpunkt, um dieser Fragestellung zu begegnen und fachliche Orientierung und fachliches Verständnis mit Hilfe von grundlegenden Strukturen und Prinzipien, die den Kern eines Faches abbilden, zu fördern. Über „Fundamentale Ideen“ oder „Basiskonzepte“ werden diese wesentlichen Strukturen, Grundprinzipien oder leitende Ideen eines Faches formuliert. Die Fundamentalen Ideen oder Basiskonzepte sollen Lernprozesse unterstützen, indem Lernenden mit ihrer Hilfe gleichzeitig mental fachbezogene Strukturen aufbauen und das fachbezogene Wissen spiralförmig über die gesamte Schulzeit hinweg in Beziehung bringen und miteinander verknüpfen können. Dieser didaktische Grundansatz stellt den Ausgangspunkt für das Forschungsinteresse dieser Arbeit dar, um die in Unterkapitel 1.1 beschriebenen Hürden im beruflichen Lehramtsstudium der Elektrotechnik zu reduzieren.

Zielsetzung der Arbeit ist, den fachdidaktischen Ansatz der „Fundamentalen Ideen“ bzw. „Basiskonzepte“ auf den berufsbildenden Bereich zu übertragen und ihn konkret auf die berufliche Fachrichtung Elektrotechnik anzuwenden. Ausgehend vom beruflichen Alltag

und den Anforderungen an berufliche Fachkräfte in den Elektroberufen sollen exemplarisch für diese Fachrichtung mögliche Fundamentale Ideen erarbeitet werden. Die Elektrotechnik ist als berufliche Fachrichtung interessant, weil die fachliche Domäne sehr abstrakt und dadurch für Lernende nicht leicht zugänglich ist. Die Elektrotechnik wird (als Forschungsgegenstand) mit dem Fokus auf ihre grundlegenden fachlichen Kerne, Prinzipien und Strukturen betrachtet, um die ingenieurwissenschaftliche Disziplin einer Nutzung in berufsbildenden Kontexten besser zugänglich zu machen.

Damit sollen mit dieser Dissertation zwei Forschungsbeiträge auf theoretisch-konzeptioneller Ebene geleistet werden, die der fachdidaktischen Grundlagenforschung zugeordnet werden:

- Für die **Fachdidaktik der Elektrotechnik** sollen Fundamentalen Ideen der beruflichen Fachrichtung Elektrotechnik erarbeitet werden. Damit soll eine neue Möglichkeit geschaffen werden, die fachlich-methodische Kompetenzentwicklung beruflicher Lehramtsstudierender im Studium (sowie Auszubildender in den Elektroberufen) zu fördern. Zudem soll damit ein fachdidaktisches Werkzeug entstehen, welches die Studierenden später in ihrem Berufsalltag als Lehrkräfte für die Auswahl von Lerngegenständen und die Gestaltung fachlicher Lernprozesse der Auszubildenden einsetzen können.
- Für die **Berufspädagogik** sollen mit dieser exemplarischen Untersuchung in der beruflichen Fachrichtung Elektrotechnik Hinweise dazu gewonnen werden, ob und wie sich der fachdidaktische Grundansatz der „Fundamentalen Ideen“ bzw. „Basiskonzepte“ auf den berufsbildenden Bereich übertragen lässt, um ihn für die berufliche Lehrkräftebildung zu nutzen und ggf. auch auf andere berufliche Fachrichtungen zu übertragen.

Daraus ergibt sich die zweiteilige **übergeordnete Fragestellung** für die Arbeit:

Wie lässt sich der Grundansatz der Fundamentalen Ideen (bzw. Basiskonzepte) auf die berufliche Fachrichtung Elektrotechnik übertragen?

Und darauf aufbauend: Welche Fundamentalen Ideen sind es, die diese Fachrichtung strukturieren?

Um die Forschungsfragen beantworten zu können, müssen zunächst einige Unterfragen geklärt werden:

- Entfaltung des Grundansatzes: Was sind Fundamentale Ideen bzw. Basiskonzepte eigentlich und was können sie leisten? Wie werden sie (fach-)didaktisch eingesetzt?
- Pädagogisch-didaktische Fundierung: Wie kann der Nutzen von Fundamentalen Ideen theoretisch-konzeptionell begründet werden? Wie können mit diesem An-

satz Lernprozesse unterstützt bzw. verbessert werden? Und wie erfolgt die fachliche Kompetenzentwicklung bei beruflichen Lehramtsstudierenden und bei Auszubildenden?

- Klärung der Kontextbedingungen: Welche Gemeinsamkeiten und Unterschiede sind bei Fundamentalen Ideen für eine berufliche Fachrichtung im Vergleich zu Fundamentalen Ideen in allgemeinbildenden Fächern zu erwarten? Welche konzeptionellen Anpassungen oder Änderungen am Grundansatz sind ggf. erforderlich?
- Methodisches Vorgehen: Welches Vorgehen eignet sich, um Fundamentale Ideen für die berufliche Fachrichtung Elektrotechnik zu erarbeiten? Können bisherige methodische Ansätze zur Entwicklung Fundamentalener Ideen oder Basiskonzepte genutzt werden oder muss ein spezifischer Forschungsansatz neu entwickelt werden? Wie kann ein erster Validierungsschritt für die Fundamentalener Ideen aussehen, die dieser Arbeit erarbeitet werden sollen?

Auf dieser Basis erfolgt dann die eigene Untersuchung zur Beantwortung der übergeordneten Forschungsfragen.

1.3 Methodisches Vorgehen und Aufbau der Arbeit

Der Theoretische Rahmen für diese Arbeit wird in drei Unterkapiteln entfaltet. Um die Forschungsfrage zu bearbeiten, wird im Unterkapitel 2.1 zunächst der (fach-)didaktische Grundansatz von Basiskonzepten und Fundamentalener Ideen eingeführt. In Abschnitt 2.1.1 wird der Forschungsstand in Bezug auf Fundamentale Ideen bzw. Basiskonzepte als ein fachdidaktischer Grundansatz analysiert. Es wird dargestellt, zu welchen Zwecken und in welchen Fächern sie bisher fachdidaktisch eingesetzt werden (Abschnitt 2.1.2). Methodische Verfahren, die bereits für die Entwicklung von Fundamentalener Ideen bzw. Basiskonzepten und zum Nachweis ihrer Fundamentalität eingesetzt worden sind, werden vorgestellt (Abschnitte 2.1.3 und 2.1.4). Der Nutzen Fundamentalener Ideen bzw. Basiskonzepte wird lerntheoretisch begründet und in Beziehung zur fachlichen Kompetenzentwicklung von Lehramtsstudierenden und beruflichen Fachkräften gesetzt (Unterkap. 2.2).

Im nächsten Schritt wird die Ausgangssituation in der Elektrotechnik dargestellt. Es werden Ansätze für Fundamentale Ideen bzw. Basiskonzepte ausgewertet, die sich in bestehenden Forschungsarbeiten oder Konzepten der Fachdidaktik der Elektrotechnik oder allgemeiner der Technikdidaktik bereits finden lassen (Unterkap. 2.3). Daraus werden erste Überlegungen abgeleitet, welche Aspekte für eine Übertragung des fachdidaktischen Grundansatzes in den berufspädagogischen Bereich und auf die berufliche Fachrichtung Elektrotechnik (als exemplarisch untersuchte gewerblich-technische Fachrichtung) wichtig sein könnten. Es werden Kriterien formuliert, die eine Fundamentale Ideen im berufsbildenden Bereich erfüllen soll, um als solche gelten zu können (Unterkap. 2.4).

In Kapitel 3 werden das forschungsmethodische Vorgehen und die einzelnen Arbeitsschritte erläutert, die zur Entwicklung Fundamentaler Ideen für die berufliche Fachrichtung Elektrotechnik und zu ihrer Validierung gewählt werden. Die eigene Untersuchung erfolgt in Form einer qualitativ angelegten Grounded-Theory-Studie von elektrotechnischen Lehrwerken. Zunächst wird begründet, wieso dieses Vorgehen und diese Methodik für geeignet erachtet wird, um Prinzipien, Ideen und Konzepte herauszuarbeiten, die als potenzielle Fundamentale Ideen gelten könnten (Unterkap. 3.1). Es erfolgt eine allgemeine Einführung in die Forschungsstrategie und die Methoden der Grounded Theory (Unterkap. 3.2). Im Anschluss daran wird die konkrete methodische Umsetzung im Forschungsprozess dieser Arbeit dargestellt (Unterkap. 3.3). Die in der Grounded-Theory-Analyse erarbeiteten Ideen werden anschließend in zwei methodischen Schritten validiert, ob sie tatsächlich als Fundamentale Ideen in der untersuchten Fachrichtung gelten können. Dafür werden die zuvor festgelegten Kriterien überprüft. Experteninterviews werden genutzt, um die fachliche Relevanz der Ideen für die berufliche Fachrichtung einzuschätzen. In diese beiden Validierungsschritte wird methodisch in Unterkapitel 3.4 eingeführt.

In Kapitel 4 werden alle Ergebnisse der empirischen Untersuchung dargestellt. Als Hauptergebnis werden sechs Fundamentale Ideen für die berufliche Fachrichtung Elektrotechnik vorgeschlagen, die in den Unterkapiteln 4.1 bis 4.6 präsentiert werden. In jedem Unterkapitel wird eine Idee vorgestellt, begründet und anhand der Daten aus der Grounded-Theory-Analyse sowie der beiden Validierungsschritte belegt. Im Unterkapitel 4.7 werden die vorgeschlagenen Ideen miteinander verknüpft und es werden die Ergebnisse vorgestellt, die über eine Betrachtung einer einzelnen Idee hinausgehen (z.B. die Beziehungen, die die verschiedenen Fundamentalen Ideen untereinander aufweisen). Als Aggregation der Einzelergebnisse wird ein fachdidaktisches Gesamtmodell Fundamentaler Ideen der beruflichen Fachrichtung Elektrotechnik vorgeschlagen (Abschnitt 4.7.3). In Unterkapitel 4.8 sind die Forschungsergebnisse zu den Fundamentalen Ideen zusammengefasst.

Eine Diskussion der erzielten Ergebnisse, ihre Grenzen und ihre Einordnung in die bestehende Forschung erfolgt in Kapitel 5. Die Forschungsergebnisse und der Forschungsprozess werden reflektiert und ihre mögliche Nutzung im Rahmen des beruflichen Lehramtsstudiums und der beruflichen Ausbildung diskutiert. Es erfolgt zunächst eine Reflexion des methodischen Vorgehens und der forschungsmethodischen Erkenntnisse (Unterkap. 0). Danach werden die Ergebnisse für die Fachdidaktik der Elektrotechnik (Unterkap. 5.2) und die Berufspädagogik (Unterkap. 5.3) diskutiert. Die Arbeit schließt mit einem Ausblick auf mögliche Folgeforschung (Unterkap. 5.4).

In Abbildung 3 ist die Struktur der Arbeit noch einmal grafisch dargestellt.

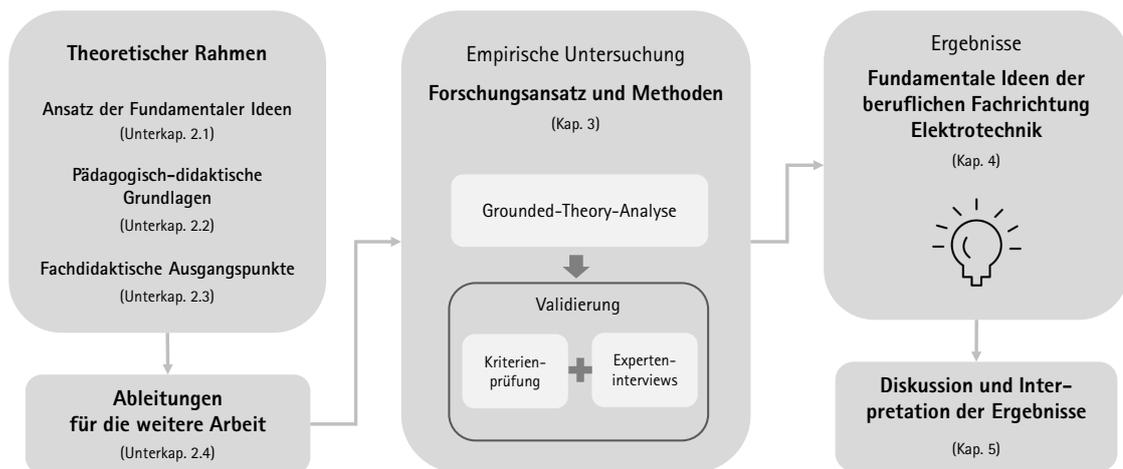


Abbildung 3: Übersicht über den Aufbau der Arbeit

2. Theoretischer Rahmen

Der theoretische Rahmen für die Bearbeitung der Fragestellung setzt sich aus mehreren Teilen zusammen, die gemeinsam die wissenschaftliche Basis für die geplante Entwicklung fundamentaler Ideen für die berufliche Fachrichtung Elektrotechnik schaffen:

Zunächst erfolgt eine **Einführung in den Grundansatz der „Fundamentalen Ideen“ und vergleichbarer Konzepte** (Unterkap. 2.1), der den fachdidaktischen Ansatzpunkt dieser Arbeit bildet. Die inhaltlichen Grundüberlegungen des Ansatzes und verschiedene Ausprägungen werden vorgestellt (Abschnitt 2.1.1) und die damit jeweils verbundenen Verwendungsmöglichkeiten der Konzepte in Forschung und Bildungspraxis (Abschnitt 2.1.2). In Abschnitt 2.1.3 wird erläutert, wie fundamentale Ideen bzw. Basiskonzepte bestimmt werden können. Bereits erprobte und beschriebene methodische Ansätze für ihre Entwicklung werden in Abschnitt 2.1.4 beschrieben.

Im zweiten Schritt wird mit Hilfe verschiedener **pädagogisch-didaktischer Grundlagen** begründet, an welchen Stellen der Ansatz der Fundamentalen Ideen in Lehr-Lernprozessen ansetzt und es werden mögliche Wirkungsweisen dargelegt (Unterkap. 2.2). Dafür wird zuerst dargelegt, welche Bedeutung fachbezogener Kompetenz als ein Aspekt der gesamten beruflichen Kompetenzentwicklung von Auszubildenden wie auch von berufsbildenden Lehramtsstudierenden ausmacht (Abschnitt 2.2.1). Es wird erläutert, wie Kompetenzentwicklung als ein stufenförmiger Prozess verstanden werden kann (Abschnitt 2.2.2), der sich unter Rückgriff auch kognitivistische und konstruktivistische Lernmodelle erschließt (Abschnitt 2.2.3). Von besonderer Bedeutung sind im Kontext dieser Arbeit Theorien zur konzeptuellen Entwicklung, die wichtig dafür sind, wie Lernende Vorstellungen und Konzepte herausbilden und sich mit deren Hilfe selbstständig neues Wissen erschließen können (Abschnitt 2.2.4).

Im dritten Schritt erfolgt die Annäherung an die betrachtete fachliche Domäne, die berufliche Fachrichtung Elektrotechnik. In Unterkapitel 2.3 werden vier für die Fachrichtung einschlägige **fach- und technikdidaktische Ausgangspunkte** ausgewertet (Abschnitte 2.3.1 - 2.3.4). Ihr Potenzial und ihre Grenzen für das Vorhaben dieser Arbeit wird herausgearbeitet.

Alle Folgerungen für das weitere Vorgehen aus diesen drei Diskussionssträngen werden in Unterkapitel 2.4 gebündelt.

2.1 Fundamentale Ideen als fachdidaktisches Instrument

2.1.1 Der fachdidaktische Grundansatz von Basiskonzepten bzw. Fundamentalen Ideen

Einige Fachdidaktiken identifizieren grundlegende Prinzipien und fachliche Kerne in den jeweiligen Fächern, die dann beispielsweise „Basiskonzepte“ (z.B. Biologie, Chemie, Physik, Politische Bildung) oder „Fundamentale Ideen“ (Informatik, Mathematik) genannt werden. Sie geben Lehrkräften an Schulen und Lehrenden an Hochschulen damit ein fachdidaktisches Instrument an die Hand, das diese zur Auswahl von Inhalten aus der Fülle fachlicher Gegenstände und deren Relevanzbewertung in Unterricht und Lehre einsetzen können. Trotz unterschiedlicher Bezeichnungen und verschiedener methodischer Ansätze zur Identifizierung werden mit diesen Ansätzen ähnliche pädagogisch-didaktische Ziele angestrebt (Demuth et al. 2005, 57–58; Harms et al. 2004; Lichtner 2004; Modrow und Streckler 2016; Sander 2009, 58–59; Schubert und Schwill 2011):

1. Lernende sollen Zusammenhänge zwischen Inhalten und Lerngegenständen erkennen, Wissensbestände sollen mit Hilfe der Basiskonzepte oder Fundamentalen Ideen geordnet und Strukturwissen aufgebaut werden.
2. Der nicht-spezifische Transfer von Wissen soll dadurch gefördert werden, dass sich Lernende neue Lerngegenstände auf der Basis bekannter Basiskonzepte oder Fundamentalener Ideen selbst erschließen können und ihre Wissensbestände vernetzen.
3. Lehrkräften bzw. Lehrenden bieten die Basiskonzepte oder Fundamentalener Ideen einen Filter bei der Auswahl von Lerngegenständen sowie die Möglichkeit, diese Konzepte in verschiedenen Altersstufen aufzugreifen und längerfristige spiralförmige Lernprozesse zu fördern.

Basiskonzepte bzw. Fundamentale Ideen zielen auf fachliche bzw. fachlich-methodische Kompetenzen. Sie bilden jedoch keine Fachsystematik grundlegender Gegenstände des Faches ab. Sie stellen vielmehr Prinzipien, grundlegende Konzepte und Ideen eines Faches dar, die vielfältige Einzelphänomene verbinden und auf unterschiedlichen fachbezogenen Strukturebenen sichtbar werden. Mit ihnen kann Lernenden der Kern und die Denkweise eines Faches verdeutlicht werden. Basiskonzepte bzw. Fundamentale Ideen sind insofern ein fachdidaktisches als auch ein lerntheoretisches Konstrukt. Ihre fachdidaktische Funktion steht in diesem Abschnitt im Vordergrund, der lerntheoretische Hintergrund wird in Abschnitt 2.2.3 weiter ausgeführt.

Eine häufig zitierte **Grundlage Fundamentalener Ideen** und Ausgangspunkt dieser Arbeit stellt die programmatische Schrift „The Process of Education“ von Jerome Bruner dar (Bruner 1980, Original von 1960). Bruner hebt den Wert allgemeiner Prinzipien und Grundstrukturen von Lerngegenständen bei der Gestaltung von Lernprozessen hervor. Sein Ausgangspunkt ist die Wahrnehmung lernpsychologischer Forschung, dass Schülerinnen und Schüler am Ende ihrer Schulzeit zwar eine Vielzahl von Gegenständen und fachlichen Einzelheiten kennengelernt haben, diese aber oft unverbunden bleiben und somit schnell

wieder vergessen werden. Zusammenhängendes, aufeinander bezogenes Wissen entsteht wenig, wenn die Wissensbestände beim Lernen nicht durch aktive Beteiligung der Lernenden mit Vorwissen verknüpft und in größere mentale Strukturen eingebettet werden, sodass Lernende (durch die organisierte Schulbildung) zu wenig gerüstet sind, spätere Lernprozesse auf einer grundlegenden stabilen Wissensbasis aufzubauen (Bruner 1980, 43).

Bruner sieht einen wichtigen Lösungsansatz für dieses Problem darin, Strukturen wie Grundprinzipien und Fundamentale Ideen eines Faches („fundamental ideas of a discipline“) für die Lernenden in den Vordergrund zu stellen. „[D]ie Struktur lernen heißt lernen, wie die Dinge aufeinander bezogen sind“ (Bruner 1980, 22). Lernende sollen von Lehrenden dabei unterstützt werden, ihre vorhandenen Wissensbestände wie auch neue Informationen miteinander zu verknüpfen und in eine „sinnvolle Beziehung“ zueinander zu bringen (ebd.). Schülerinnen und Schüler sollen angeleitet werden, „die grundlegende Struktur oder Signifikanz komplexen Wissens zu begreifen“ (Bruner 1980, 20), um Beziehungen zwischen bereits Gelerntem und Gegenständen erkennen zu können, die den Menschen später im Leben begegnen – eine entscheidende Grundlage für erfolgreichen Wissenstransfer. Bruner hat damit das didaktische Konzept der Fundamentalen Ideen eingeführt, auch wenn er keine explizite Begriffsdefinition vornimmt.

Um das beschriebene Ziel zu erreichen, schlägt er spiralförmige Curricula vor. Damit ist gemeint, dass im Verlauf der allgemeinen Schulbildung von den Lehrkräften wiederholt auf die fachbezogenen Grundstrukturen Bezug genommen werden soll; sie sollen an unterschiedlichen Gegenständen auf unterschiedlichen intellektuellen Niveaus thematisiert werden, damit Schülerinnen und Schüler ihr Verständnis dieser Strukturen immer weiter ausbauen und differenzieren können (Bruner 1980, 26–27). Bruners Überlegungen, dass die Gestaltung von Lehr-Lernprozessen sich an der kognitiven Entwicklung von Kindern und Jugendlichen orientieren soll, bauen auf der Forschung Piagets auf. Grundlegende Prinzipien und Ideen eines Faches können danach bereits jüngeren Lernenden eher intuitiv und konkret und ohne die Verwendung abstrakter Konzepte vermittelt werden. Mit den spiralförmigen Curricula können Lernende diese Grundprinzipien und Fundamentalen Ideen im Laufe der Zeit in aufeinander aufbauenden Lehr-Lernprozessen in verschiedenen Kontexten anwenden und damit ihr Verständnis vertiefen und den Gebrauch der zunehmend komplexeren fachlichen Strukturen und Kategorien einüben (Bruner 1980, 18–27). Eine wesentliche Aufgabe von Lehrenden ist dabei, genau diese grundlegenden Strukturen, Prinzipien und Ideen eines Faches in den Lehr-Lernprozessen für die Auswahl geeigneter Lerngegenstände zu (er)kennen und zu nutzen, sie für die Lernenden erkennbar zu machen und Lernprozesse so zu gestalten, dass die Lernenden aktiv, entdeckend und selbstwirksam lernen können (Bruner 1980, 33–34). Lerntheoretisch greift Bruner mit seinen Überlegungen zu Fundamentalen Ideen auf kognitivistische und konstruktivistische Ansätze (u.a. Piagets Theorie der Assimilation oder Akkommodation und den Ansatz des Conceptual Change) zurück (siehe Abschnitt 2.2.3). Er nimmt zudem Bezug auf Metakognition und ihre hohe Bedeutung für langfristig erfolgreiche Lehr-Lernprozesse.

Demuth, Ralle und Parchmann, die **Basiskonzepte** für das Schulfach Chemie entwickelt und untersucht haben, „verstehen unter einem naturwissenschaftlichen Basiskonzept die strukturierte Vernetzung aufeinander bezogener Begriffe, Theorien und erklärender Modellvorstellungen, die sich aus der Systematik eines Faches zur Beschreibung elementarer Prozesse und Phänomene historisch als relevant herausgebildet haben“ (Demuth et al. 2005, 57). Basiskonzepte können für Lernende eine tragfähige Strukturierung schaffen und Einblick in das Erklärungssystem des Faches schaffen. Zudem bieten sie Schülerinnen und Schülern eine spezifische fachliche Perspektive für die Betrachtung, Erklärung und Beeinflussung von Phänomenen und Prozessen ihrer Lebenswelt. Lehrkräfte können mit den Basiskonzepten für Schüler/-innen bedeutsame Gegenstände („Kontexte“) als Ausgangspunkte und Kernelemente für die Behandlung fachbezogener Fragen auswählen. Basiskonzepte können als heruntergebrochene Instanzen von „Big Ideas“ eines Faches für den Schulkontext verstanden werden, welche die konkreten schulischen Rahmenbedingungen und Umsetzungsmöglichkeiten berücksichtigen (Demuth et al. 2005, 56–58).

Sander formuliert dies für die politische Bildung ähnlich: "Mit Basiskonzepten wird nun in der Fachdidaktik versucht, jene grundlegenden Vorstellungsbereiche zu identifizieren, die für das Wissen in einem Fachgebiet prägend und strukturbildend sind" (Sander 2009, 58). Basiskonzepte bilden den fachlichen Kern, nicht den zu vermittelnden Lernstoff ab und wirken als Deutungen und Erklärungen von – in diesem Fall politischen – Phänomenen aus dem Erfahrungsbereich der Lernenden. Als metaphorische „Knotenpunkte“ in Wissensnetzen bilden sie die fundamentale Ebene des Wissens. Sander wählt seine Basiskonzepte so, dass sie gerade nicht eindeutig definierte wissenschaftliche Schlüsselbegriffe darstellen, sondern größere Vorstellungsräume, die es den Lernenden ermöglichen, darin unterschiedliche Konzepte bzw. Vorstellungen wiederzufinden und diese weiterzuentwickeln (Sander 2013, 98–102). An die Basiskonzepte knüpfen weitere konkrete Konzepte an, die dann hierarchisch geordnet, ineinander geschachtelt sein und verschiedene Konkretions-/Abstraktionsgrade aufweisen können. Die einzelnen Basiskonzepte bilden jeweils einen unterschiedlichen Aspekt der fachbezogenen Weltsicht ab, von denen keiner einfach weggelassen werden könnte, ohne dass ein substanzieller Aspekt der spezifischen fachlichen Perspektive fehlte. Die Basiskonzepte können sich jedoch überlappen. Wissenschaftlich sind Basiskonzepte ein Gegenstand fachdidaktischer Theoriebildung und Forschung, wengleich sie auch aus fachwissenschaftlicher Perspektive vertretbar sein müssen (Sander 2009, 57–58; Sander 2013, 95–104).

Modrow und Strecker verwenden für die Informatik das Konzept der Fundamentalen Ideen und betonen ebenfalls dessen fachdidaktische Funktion. An diese Ideen wird der Anspruch gestellt, dass sie aus der Lebenswelt der Lernenden heraus erkennbar oder erfahrbar sind. Daraus schöpfen sie ihren didaktischen Sinn, ermöglichen spiralförmige Lernprozesse und die Konstruktion von individuellen Wissensnetzen. Lerntheoretisch greift die Verwendung von Fundamentalen Ideen auf kognitivistische und konstruktivistische Ansätze zurück (Modrow 2003). Nach ihrer Einschätzung beschreiben Fundamentale Ideen den Blick in

das jeweilige Fach (bzw. auf die Welt) aus der Sicht des Faches. Die Fundamentalen Ideen zielen nicht auf eine vollständige Beschreibung der Disziplin, sondern ihre Auswahl dient jeweils dem didaktischen Zweck, Lernprozesse zu fördern. Modrow und Strecker betonen, dass die Auswahl der Fundamentalen Ideen deshalb zunächst die fachliche Betrachtung der Lehrenden widerspiegelt. Dies rührt u.a. daher, dass die schulische Sicht auf ein Fach beschränkt ist, da viele fachbezogene Fragen für eine Behandlung im Unterricht zu komplex oder sehr speziell sind bzw. Instrumente und Kenntnisse erfordern, die bei den Schüler(inne)n nicht vorhanden sind (Modrow und Strecker 2016, 20–24).

Eine Begriffsbestimmung Fundamentalener Ideen über definierende Kriterien legte erstmals Schwill 1993 vor, der sich dabei ausdrücklich auf Bruners Überlegungen bezieht. Schwill hat mit seinen Arbeiten den von Bruner bereits genutzte Begriff aus fachdidaktischer Perspektive geschärft und operationalisiert. Ähnlich wie Sander dies für Basiskonzepte formuliert, sollen Fundamentale Ideen auch für Schwill eine gewisse Weite und Fülle ausdrücken, damit sie verschiedene Wissensbestände aufnehmen können und für unterschiedliche Teilbereiche anpassungsfähig sind (Schwill 1993, 22).

Eine Fundamentale Idee in einem Bereich, einem Fach oder einer Wissenschaft ist danach ein Denk-, Handlungs-, Beschreibungs- oder Erklärungsschema, das die folgenden Kriterien erfüllt.

Eine Idee kann als fundamental gelten, wenn sie

„(1) in verschiedenen Bereichen (der Wissenschaft) vielfältig anwendbar oder erkennbar ist (Horizontalkriterium),

(2) auf jedem intellektuellen Niveau aufgezeigt und vermittelt werden kann (Vertikalkriterium),

(3) in der historischen Entwicklung (der Wissenschaft) deutlich wahrnehmbar ist und längerfristig relevant bleibt (Zeitkriterium),

(4) einen Bezug zu Sprache und Denken des Alltags und der Lebenswelt besitzt (Sinnkriterium).“ (Schwill 1993, 23)

Diese Definition beinhaltet verschiedene Facetten und ist dadurch umfassend. Sie ist deshalb für das Vorhaben dieser Arbeit besonders interessant. Zum einen formuliert sie, wann Ideen, Konzepte oder Prinzipien so bedeutsam und grundlegend für ein Fach sind, dass sie als fundamental bezeichnet werden können. Dies findet sich vor allem in dem Horizontal- und Vertikalkriterium sowie im Zeitkriterium wieder. Wenn eine Idee sich in vielen Bereichen des Faches erkennen lässt, über einen längeren Zeitraum hinweg relevant geblieben ist und wenn sie an Lernende verschiedener Altersstufen vermittelbar ist, dann kann sie nach der Definition als fundamental betrachtet werden. Zudem soll die Bedeutsamkeit einer Fundamentalener Idee für Lernende auch nachvollziehbar und in ihrer Lebenswelt er-

kennbar sein (Sinnkriterium). Durch die Verwendung von Kriterien gibt die Definition zugleich Hinweise zum Identifizieren möglicher Ideen. Dies wird in den Abschnitten 2.1.3 und 2.4.1 wieder aufgegriffen.

Schwill erweitert seine originale Definition später um zwei Aspekte (Schubert und Schwill 2011, 64–65): Dem Sinnkriterium fügt er auf Anregung von Modrow hinzu, dass eine Fundamentale Idee für das umfassende Verständnis eines Bereichs bzw. eines Faches notwendig sein soll (siehe Abschnitt 2.1.3). Zudem ergänzt er als weiteres Kriterium das **Zielkriterium**. Dieses hebt den Ideencharakter der Fundamentalen Ideen hervor. Damit sollte der Unterschied einer Idee im Vergleich zu Inhalten und Gegenständen verdeutlicht werden. Eine Fundamentale Idee beschreibt danach eine gewisse idealisierte Zielvorstellung, die die Erkenntnisprozesse und das Handeln in dem Fach leitet bzw. die als Orientierung dient – auch für die Lernenden und ihre Lernprozesse. Dieses Ideal lässt sich nicht unbedingt vollständig erreichen oder vollständig umgesetzt in der Realität wiederfinden.

2.1.2 Fachdidaktische Nutzung von Basiskonzepten bzw. Fundamentalen Ideen

Basiskonzepte oder Fundamentale Ideen werden in den Fachdidaktiken verschiedener Fächer theoretisch diskutiert, empirisch ermittelt und praktisch genutzt. Dies sind bislang vornehmlich Fächer aus dem allgemeinbildenden Schulbereich, insbesondere naturwissenschaftliche Fächer oder die politische Bildung. Zudem gibt es eine Reihe von Arbeiten in der Informatik als einem Fach, welches in den vergangenen Jahren stärker als allgemeines Unterrichtsfach etabliert worden ist. Es lassen sich über die Fächer hinweg einige größere Zweige der bisherigen Forschungs- und Anwendungsarbeiten ausmachen:

1. Zunächst gibt es Arbeiten, in denen Kollektionen von Fundamentalen Ideen oder Basiskonzepten erarbeitet werden. In der Fachdidaktik der Informatik gibt es mehrere konzeptionelle und empirische Forschungsarbeiten zu den Fundamentalen Ideen. Schwill selbst hat mit Hilfe seiner Kriterien aus Abschnitt 2.1.1 eine erste Ideenkollektion für die Informatik vorgelegt, die er anhand des Softwareentwicklungsprozesses herausgearbeitet hat (Schwill 1993). Für weitere Teilbereiche der Informatik (z.B. Theoretische Informatik und Data Management) wurden Ideenkollektionen konzeptionell oder empirisch erarbeitet (Modrow 2003; Zandler und Spannagel 2006; Grillenberger und Romeike 2017). Auch Denning hat in seinen Beiträgen zu den Great Principles of Computing eine Kollektion aus grundlegenden Prinzipien vorgelegt (Denning 2003; Denning April 2008). Diese Ideenkollektionen dienen jeweils als Frameworks, die nach Einschätzung der Autoren durch die Nutzung weiterentwickelt und angepasst werden sollen (siehe z.B. Modrow und Strecker 2016, 24). Ihre Intention ist oftmals ausdrücklich eine fachdidaktische Strukturierung der Disziplin, Denning geht noch etwas weiter und nimmt in den Blick, was alle Menschen über die Informatik wissen sollten.

Drei Beispiele für Fundamentale Ideen bzw. Basiskonzepte aus verschiedenen Fächern (siehe Abbildung 4 - Abbildung 6) verdeutlichen, wie solche Kollektionen aussehen können:

- In der **Informatik** sind von Schwill beispielsweise für den Bereich der Softwareentwicklung mit *Algorithmisierung*, *strukturierter Zerlegung* und *Sprache* drei Kernideen (sog. Masterideen) formuliert worden (Schwill 1993). Diesen Masterideen sind dann jeweils weitere Prinzipien und Fundamentale Ideen untergeordnet, wie in Abbildung 4 für die Idee Algorithmisierung dargestellt ist.
- In den bundesweit gültigen Rahmencurricula für das Schulfach **Biologie** sind drei (Sek. I) bzw. fünf (Sek. II) Basiskonzepte als relevante fachliche Bezugsgrößen aufgenommen worden. Das Poster eines Lernmittelanbieters in Abbildung 5 enthält diese ebenfalls und umfasst insgesamt acht in der Fachdidaktik der Biologie genutzte Basiskonzepte.
- Für die **Politische Bildung** beschreibt Sander Basiskonzepte als Knotenpunkte von Wissensnetzen, die es Lernenden ermöglichen, sich in politischen Bezügen angemessen zu orientieren und zu handeln. Die von ihm vorgeschlagenen sechs Basiskonzepte *Macht*, *Recht*, *Gemeinwohl*, *System*, *Öffentlichkeit* und *Knappheit* beschreiben Vorstellungen, die seiner Einschätzung nach für das Feld der politischen Bildung prägend und strukturbildend sind. In Abbildung 6 sind sie in Verknüpfung mit weiteren bedeutsamen fachlichen Konzepten der politischen Bildung dargestellt (Sander 2009).

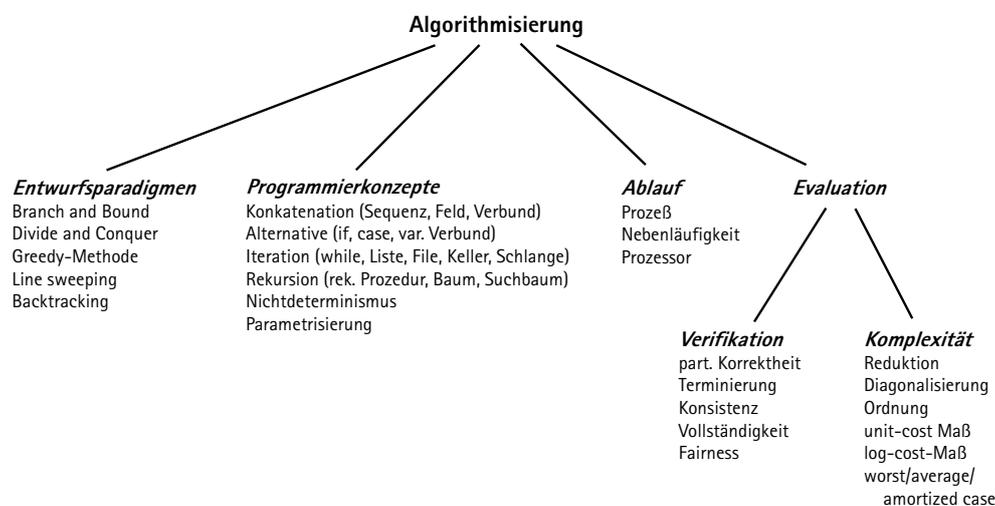


Abbildung 4: Masteridee „Algorithmisierung“ aus der Informatik und untergeordnete weitere Prinzipien und Fundamentale Ideen (Schwill 1993, 29, eigene Darstellung)

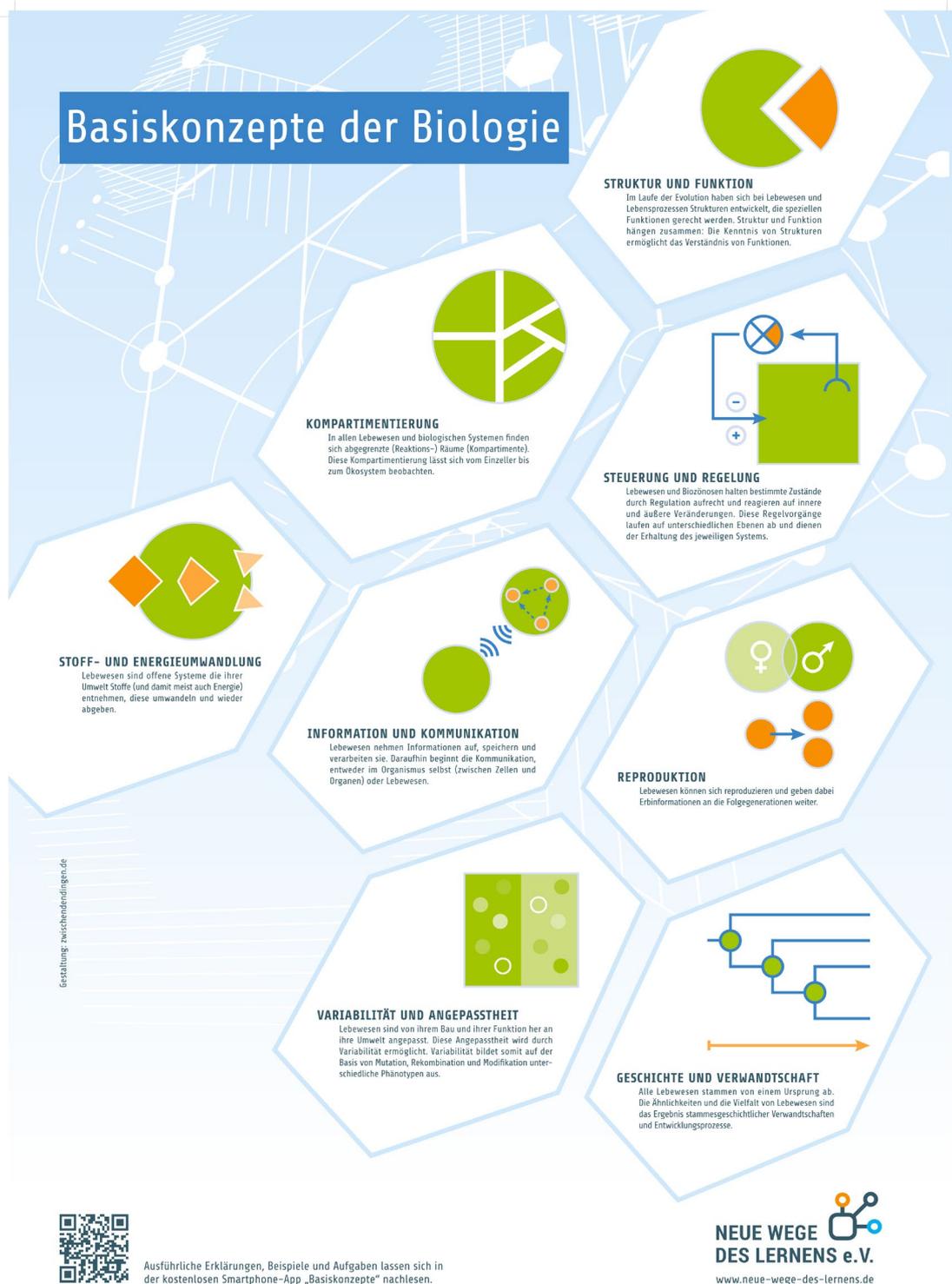


Abbildung 5: Übersichtsposter für in den Sekundarstufen I und II genutzte Basiskonzepte der Biologie (© Neue Wege des Lernens e. V. 2017)

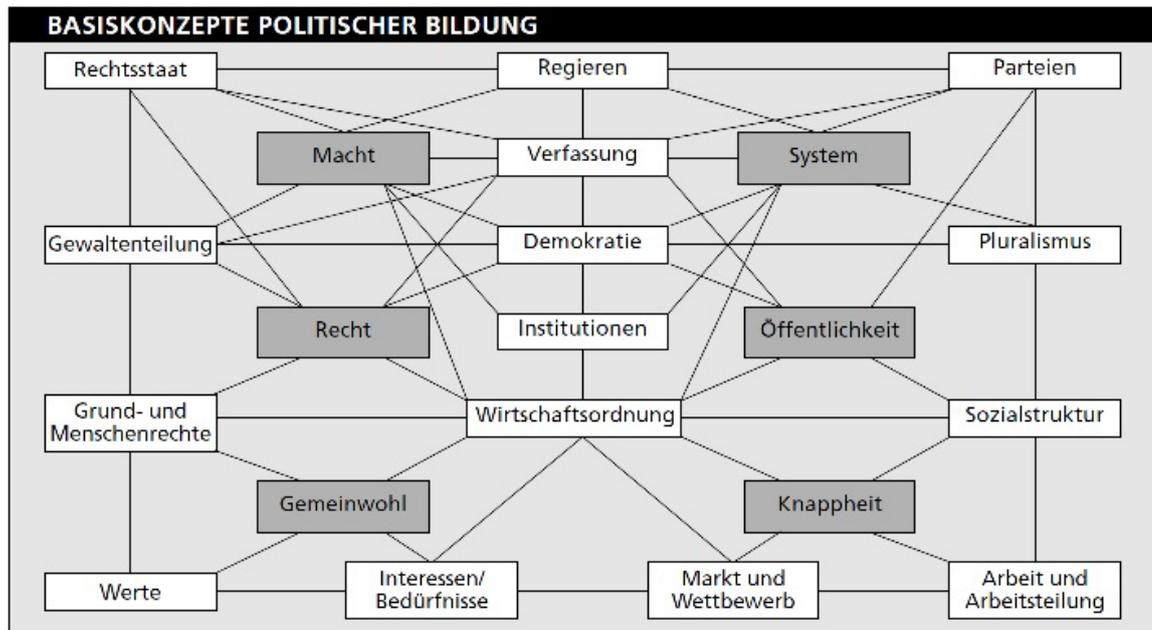


Abbildung 6: Vorschlag für Basiskonzepte der Politischen Bildung (graue Felder) (Sander 2009, 9), © Forum Politische Bildung

Die dargestellten Beispiele für Ideenkollektionen enthalten jeweils eine sehr begrenzte Anzahl an Grundkonzepten bzw. Ideen, was konzeptionell und fachdidaktisch begründet wird: Damit die strukturierende, ordnende Funktion der Basiskonzepte bzw. fundamentalen Ideen für die Gestaltung von Unterricht und für die Lernenden wirksam werden kann, ist eine Aggregation auf eine eher kleine Anzahl an Konzepten bzw. Ideen erforderlich (Modrow 2003, 42–43, Modrow und Strecker 2016, 20, Demuth et al. 2005, 58).

2. Daneben findet sich eine Reihe von Umsetzungsvorschlägen von Fachdidaktiker(inne)n und Schulpraktiker(inne)n, die für einzelne Fächer wie Biologie, Chemie oder Informatik konkrete Beispiele, Unterrichtsmaterialien und Handlungsempfehlungen für die Arbeit mit Basiskonzepten vorgelegt haben (Lichtner 2004, Demuth et al. 2005, Eilks 2007, Töpferwien 2008, Modrow 2003). Es werden z.B. Vorschläge für die Behandlung von Basiskonzepten in verschiedenen Schul- bzw. Altersstufen gemacht, um spiralförmiges Lernen realisieren zu können. Modrow weist zudem darauf hin, dass eine explizite Behandlung der Konzepte bzw. Ideen es Lernenden im Sinne der Wissenskonstruktion erleichtert, diese auch tatsächlich bewusst zu erkennen und später wiederzuerkennen, und er entwickelt Vorschläge, wie dies im Informatikunterricht umgesetzt werden kann (Modrow 2003, 72–85).
3. Basiskonzepte und Fundamentale Ideen werden vielfach auch in Diskussionen um schulische Curricula aufgegriffen und bei der Formulierung von übergreifenden Bildungsstandards berücksichtigt. So wurden u.a. für die naturwissenschaftlichen Fächer Biologie, Physik und Chemie von der KMK seit Anfang der 2000er Jahre einheitliche Bildungsstandards für die Sek. I und das Abitur formuliert, welche jeweils die als relevant betrachteten Basiskonzepte des Faches für die jeweilige Altersstufe beinhalten. Der Ausgangspunkt dieser curricularen Diskussions- und Veränderungsprozesse ist insbesondere als Reaktion auf die wenig zufriedenstellenden PISA-Ergebnisse deutscher

Schülerinnen und Schüler zu sehen (siehe z.B. Harms et al. 2004, 50–56 oder Kattmann 2003, 121–123). Diese Bildungsstandards enthalten jeweils wenige Basiskonzepte, die als wesentliche fachliche Kompetenzziele für alle Schülerinnen und Schüler angesehen werden (siehe z.B. Kultusministerkonferenz 2020a, 11, 18 für die allg. Hochschulreife im Fach Biologie oder Kultusministerkonferenz 2005, 7 für den mittleren Schulabschluss im Fach Physik). Auch manche wissenschaftlichen Fachgesellschaften wie z.B. die Deutsche Physikalische Gesellschaft haben eigene Vorschläge für Bildungsstandards entwickelt und nutzen dabei ebenfalls den Ansatz von Basiskonzepten (Hertel und Großmann 2016).

4. Aufgrund ihrer fachdidaktischen Zielsetzung haben die Basiskonzepte und Fundamentalen Ideen in den naturwissenschaftlichen Fächern wie auch in der Mathematik und der Informatik Eingang in die fachdidaktische Ausbildung der Universitäten während des Lehramtsstudiums gefunden. Sie werden in vornehmlich fachdidaktischen Lehrveranstaltungen und Lehrwerken als ein Instrument zur Auswahl von Lerngegenständen für den schulischen Unterricht thematisiert (Humbert 2006; Schubert und Schwill 2011; Modrow und Strecker 2016; von der Bank 2016).

2.1.3 Kriterien zur Identifizierung von Fundamentalen Ideen

Schwill hat mit den Kriterien seiner Definition für Fundamentale Ideen (vgl. Abschnitt 2.1.1) zugleich einen Vorschlag geliefert, wie Ideen bzw. Konzepte eines Faches daraufhin geprüft werden können, ob sie tatsächlich als eine Fundamentale Idee gelten können. Er griff dazu u.a. auf Vorarbeiten aus der Mathematikdidaktik zurück und führte diese konzeptionell und mit eigenen Kriterienbezeichnungen zusammen. Die Kriterien sind ebenso wie das Konstrukt der Fundamentalen Ideen selbst fachunabhängig formuliert. Die einzelne Idee bzw. das einzelne Konzept sollte jeweils alle Kriterien der Definition erfüllen, wie sie in Abschnitt 2.1.1 genannt werden. Innerhalb der Informatik und ihrer Didaktik wurden Schwills Kriterien im Laufe der Zeit von verschiedenen Autor(inn)en aufgenommen. Sie wurden zum einen als ein fachdidaktisches Instrument bzw. Konzept zur Auswahl von Lerngegenständen in Lehrbüchern beschrieben (Hartmann et al. 2006, Humbert 2006, Modrow und Strecker 2016, Schubert und Schwill 2011) und zum anderen in Studien zur Prüfung von konzeptionell (Modrow 2003) oder empirisch ermittelten Ideen auf ihren fundamentalen Charakter hin genutzt (Zendler und Spannagel 2006). Die Kriterien haben damit bereits eine breitere Verwendung in der Fachdidaktik der Informatik erfahren.

Rezeption und Anwendung der Kriterien von Schwill

Die von Schwill vorgeschlagenen Kriterien wurden auch wissenschaftlich diskutiert und weiterentwickelt. Modrow hat z.B. darauf hingewiesen, dass die Kriterien gegebenenfalls zu einer sehr großen Zahl an Fundamentalen Ideen führen können, wodurch sie ihren strukturierenden Effekt für die didaktische Praxis einbüßen würden. Er hat deshalb den Aspekt der Notwendigkeit als Erweiterung des Sinnkriteriums ergänzt (Modrow 2003, 45). Eine Fundamentale Idee soll unbedingt notwendig, d.h. konstituierend für das Verständnis

des Faches sein, um u.a. den Aufwand zu rechtfertigen, sie ins Curriculum aufzunehmen (siehe auch Modrow und Strecker 2016, 20). Wenn sie dies nicht ist, sollte sie aus dem Katalog Fundamentalener Ideen gestrichen werden. Diese Ergänzung wurde von Schwill später in die Definition des Sinnkriteriums integriert (Schubert und Schwill 2011, 64–65).

Modrow hat zudem vorgeschlagen, mit Hilfe des Sinnkriteriums didaktische Bewertungsentscheidungen der Lehrkräfte bei der Auswahl bzw. Formulierung von Fundamentalener Ideen zu berücksichtigen. Aus seiner Sicht suggeriere das Sinnkriterium bei Schwill eine objektive Entscheidungsgrundlage für einen Katalog Fundamentalener Ideen, die Modrow hinterfragt. Aus Sicht von Modrow spiegelt das Sinnkriterium eine bewusste didaktische Zielrichtung der Lehrperson wider und fokussiert damit eine spezifische Perspektive auf das Fach. Diese ist aus seiner Sicht unumgänglich für eine Auswahl der zu behandelnden Fundamentalener Ideen aus einer Vielzahl möglicher Ideen (Modrow 2003, 45–46). Ein weiterer Vorschlag zur Einführung eines zusätzlichen Kriteriums, dass eine Fundamentale Idee auf verschiedenen kognitiven Repräsentationsstufen (d.h. über unterschiedliche Codierungen) darstellbar sein soll, überzeugt nicht, da dieser Aspekt bereits implizit im Vertikalkriterium enthalten ist (Hartmann et al. 2006).

Zendler und Spannagel nutzen ebenfalls die vier Kriterien von Schwill, um von ihnen empirisch ermittelte zentrale Konzepte für den Informatikunterricht mit diesen auf Fundamentalität hin zu prüfen. Sie verwenden das bei Schwill später hinzugekommene Zielkriterium nicht, da dieses aus ihrer Sicht für die konkrete Anwendung der Kriterien schwer fassbar ist (Zendler und Spannagel 2006, 6–7). Grillenberger und Romeike haben 2017 ebenfalls empirisch zentrale Konzepte für den Teilbereich der Informatik „Data Management“ ermittelt. Sie nutzen in diesem Prozess Schwills Fundamentalitätskriterien methodisch nicht, verweisen aber im Fazit darauf, dass ihre Ergebnisse die Fundamentalitätskriterien mutmaßlich auch erfüllen würden (Grillenberger und Romeike 2017, 39).

In der fachdidaktischen Forschung anderer Fächer sind keine Beiträge zur Rezeption und Anwendung der „Fundamentalitätskriterien“ von Schwill zu finden. Auch der Begriff der Fundamentalener Idee ist auf die Informatik- und die Mathematikdidaktik begrenzt geblieben (vgl. Tietze et al. 1997, 37–42). Vereinzelt finden sich andere Ansätze zur Formulierung von Kriterien.

Andere Ansätze zur Formulierung von Kriterien

Vergleicht man die von Schwill formulierten Fundamentalitätskriterien mit ihren Vorläufern aus der Pädagogik (Bruner 1980) oder der Mathematikdidaktik (Tietze et al. 1997), hat Schwill erstmals die Kriterien sprachlich klar, gut verständlich gefasst und voneinander abgegrenzt formuliert, sodass sie für eine Prüfung möglicher Fundamentalener Ideen eingesetzt werden können. Der Vergleich mit anderen Kriterienformulierungen, die später vorgelegt wurden, zeigt größere inhaltliche Überschneidungsbereiche.

Denning und Martell haben z.B. 2007 aus der Informatik heraus die folgenden drei Eigenschaften als Kriterien zum Erkennen der Great Principles of Computing vorgeschlagen:

"1. Universal: The principle arises from taking care of a pervasive concern. Everyone is affected. It is unavoidable. The concern is durable if not permanent.

2. Recurrent: The principle has been encountered repeatedly in many contexts. Different groups have independently discovered it. It is reproducible. It is useful for prediction and design.

3. Broadly Influential: The principle informs and constrains all the technologies and applications of computing. It shapes standard practice; its impact is wide and deep in science, industry, and society."

(vgl. http://denninginstitute.com/pjd/GP/gp_criteria.html, abgerufen am 25.10.2023)

Diese Eigenschaften sind den Kriterien von Schwill inhaltlich nah. „Universal“ deckt im Wesentlichen das Sinnkriterium ab, „recurrent“ das Zeitkriterium und „broadly influential“ das Horizontalkriterium. Sie nehmen allerdings stärker Bezug auf eine allgemeine gesellschaftliche Perspektive auf das Fach – in diesem Fall ebenfalls die Informatik – und sind nicht mit der Perspektive auf Lernende formuliert.

Eine andere Bezugsgröße lässt sich in der Physikdidaktik finden. In einer Studie, die die „Deutsche Physikalische Gesellschaft“ (DPG) zur Gestaltung des Physikunterrichts in allgemeinbildenden Schulen 2017 erstellt hat, stellen Basiskonzepte den zentralen Ausgangspunkt für alle vorgelegten Vorschläge zu curricularen Umgestaltungen dar. Die Autoren der Studie greifen bei den Kriterien, die sie zur Erarbeitung bzw. Bewertung der Basiskonzepte anlegen, auf eine Diskussion aus dem „Framework for K-12 Science Education“ des amerikanischen National Research Council zurück (dieses wird in Abschnitt 2.3.1 dieser Arbeit genauer vorgestellt). Dort werden Kriterien für „Core Ideas“ in naturwissenschaftlichen Schulfächern wie folgt definiert:

„Specifically, a core idea for K-12 science instruction should

1. Have broad importance across multiple sciences or engineering disciplines or be a key organizing principle of a single discipline.

2. Provide a key tool for understanding or investigating more complex ideas and solving problems.

3. Relate to the interests and life experiences of students or be connected to societal or personal concerns that require scientific or technological knowledge.

4. Be teachable and learnable over multiple grades at increasing levels of depth and sophistication. That is, the idea can be made accessible to younger students but is broad enough to sustain continued investigation over years."

(vgl. National Research Council 2012, 31)

Das Framework betrachtet die naturwissenschaftliche Schulbildung mit Blick auf amerikanische Highschools an vielen Stellen integrativ und fächerübergreifend – übrigens zusammen mit der technisch-ingenieurwissenschaftlichen Bildung. Auch die Kriterien für „core ideas“ sind deshalb nicht fachspezifisch, sondern fachübergreifend formuliert. Sie werden in der weiteren Studie jedoch eingesetzt, um fachspezifische „Core Ideas“ zu erarbeiten, u.a. für die Physik. Diese vier Kriterien legt nun auch die DPG in ihrer Studie an die Basiskonzepte an, die sie für den Physikunterricht vorschlägt (Hertel und Großmann 2016, 58–59). Ähnlichkeiten zu Schwills Fundamentalitätskriterien lassen sich auch hier wiederfinden. Das erste Kriterium aus dem K12-Framework entspricht im Wesentlichen dem Horizontalkriterium, das letzte dem Vertikalkriterium und das dritte dem Sinnkriterium. Das zweite Kriterium betont die Schlüsselfunktion von Basiskonzepten bzw. Fundamentalen Ideen und hat insofern Ähnlichkeit zu Modrows Notwendigkeitsbedingung als Erweiterung des Sinnkriteriums. Schwills Zeitkriterium findet sich nicht wieder.

2.1.4 Methodische Ansätze zur Entwicklung von Fundamentalen Ideen

Eine Sichtung der beschriebenen methodischen Ansätze lässt zwei grundsätzliche Vorgehensweisen zur Erarbeitung bzw. Bestimmung von Fundamentalen Ideen oder Basiskonzepten erkennen: ein Teil der Arbeiten (z.B. Schwill, Denning oder Sander) entwickelt die vorgeschlagene Ideenkollektion konzeptionell-qualitativ unter Rückgriff auf eigene fachliche Expertise, ein anderer Teil nutzt empirische Ansätze und kombiniert diese teilweise mit qualitativen oder quantitativen Expertenbefragungen (z.B. Zandler/Spannagel oder Grillenberger/Romeike). Als Basis beider Grundansätze kommen anerkannte existierende Wissensbestände wie fachspezifische „Bodies of Knowledge“ und/oder zeitliche Entwicklungen des Faches zum Einsatz. Diese Ansätze stammen mehrheitlich aus der Informatik, aber z.B. auch aus der politischen Bildung. Mit ihnen wurden Fundamentale Ideen, Schlüsselkonzepte oder Basiskonzepte erarbeitet. Sie konzentrieren bzw. beschränken sich teilweise auf bestimmte Teilbereiche des Faches (z.B. Softwareentwicklung, Theoretische Informatik oder Data Management in der Informatik). Die Basiskonzepte in den naturwissenschaftlichen Fächern, die sich in den gemeinsamen nationalen Bildungsstandards der KMK finden, wurden jeweils von durch die KMK beauftragten fachspezifischen Arbeitsgruppen aus Lehrkräften und Fachdidaktiker(inne)n erarbeitet. Das methodische Vorgehen ist leider nicht in der Fachliteratur dokumentiert. Die Deutsche Physikalische Gesellschaft greift in ihrer Studie zum Physikunterricht in der Schule für die verwendeten Basiskonzepte die Core Ideas und Component Ideas aus der amerikanischen K12-Science-Education des National Research Council auf. Es folgt eine Darstellung der wichtigsten methodischen Vorgehensweisen.

Schwill schlägt zum Finden bzw. Entwickeln Fundamentalener Ideen ein konkretes Arbeitsprogramm vor, das von den Inhalten einer Wissenschaft ausgehend verschiedene Abstraktionsschritte umfasst. Nacheinander werden die Kriterien aus der Definition der Fundamentalener Ideen auf die Inhalte und Prinzipien des Faches angewendet. Die Arbeitsschritte

können mehrfach durchgeführt werden. Am Anfang steht eine Analyse der Inhalte eines Faches und deren Beziehungen zueinander sowie ihr Vorkommen in verschiedenen Teilbereichen des Faches und auf verschiedenen Niveaustufen. Zudem werden Analogien zwischen Inhalten, zentrale Modellvorstellungen und grundlegende Prozesse und Arbeitsweisen des Faches gesucht. Die sich hieraus ergebende erste Liste mit möglichen Ideen wird durch eine Prüfschleife geschärft, welche der Ideen im Alltag und in der Lebenswelt der Lernenden erkennbar werden und für sie von Bedeutung sind. Eine weitere Schärfung erfolgt dadurch, dass für jede Idee die historische Entwicklung nachvollzogen wird, um ihre Bedeutung für das Fach über einen längeren Zeitraum sicherzustellen und ggf. noch weitere verbundene Ideen zu ergänzen. Im letzten Arbeitsschritt werden dann die eingegrenzten Ideen zueinander abgestimmt, z.B. was ihr Abstraktionsniveau bzw. ihren inhaltlichen und hierarchischen Zusammenhang angeht, sodass die entstandene Sammlung die in Abschnitt 2.1.3 dargestellten „Fundamentalitätskriterien“ erfüllt und eine passende Gesamtstruktur hat. Dieses Vorgehen baut auf einer umfassenden Kenntnis des Faches auf. Im Laufe der Arbeitsschritte werden die Einschätzungen für die Aufnahme und die Formulierung der einzelnen Ideen aufgrund der fachlichen Expertise sowie mit Blick auf die Lernenden vorgenommen, sodass subjektive Bewertungen und fachliche sowie fachdidaktische Ermessensentscheidungen Teil des Prozesses sind, der bei Schwill insgesamt von einer fachdidaktischen Perspektive geprägt wird. Ein Kriterium, welches zur Prüfung angelegt werden könnte, ob eine Ideenkollektion vollständig ist, gibt es nicht. Schwill sieht diese Funktion vielmehr in der Anwendung und Diskussion der Ideenkollektion durch Lehrende und Wissenschaftler/-innen (Schwill 1993, 24; Schubert und Schwill 2011, 65–68). Er selbst hat die Softwareentwicklung und ihre einzelnen Phasen als einen zentralen Prozess und Inhaltsbereich der Informatik verwendet, um daran Fundamentale Ideen für die Informatik herauszuarbeiten.

Modrow sowie Modrow und Strecker gehen ähnlich vor. Auch sie entwickeln ihre Ideenkollektionen – Modrow in seiner Dissertation für die Theoretische Informatik und Modrow und Strecker für die Schulinformatik – ausgehend von ihrer persönlichen Fachexpertise aus und nutzen Schwills Kriterien, wann eine Idee als fundamental gelten kann. Noch deutlicher als Schwill formulieren sie allerdings den Zweckbezug der Ideenkollektionen für Lehrende und Lernende. Sie betonen, dass die Kollektionen nicht objektiv und aus rein fachwissenschaftlichen Erwägungen heraus formuliert werden können, wenn sie in strukturierten Bildungskontexten Nutzen entfalten sollen. Sie müssen vielmehr die Lernenden in ihrer fachlichen und überfachlichen Entwicklung unterstützen und zugleich die wissenschaftliche Breite und Tiefe des Faches widerspiegeln. Die formulierten Fundamentalen Ideen verdeutlichen also die spezifische Sicht des jeweiligen Faches auf die Welt, indem die für diese Perspektive relevanten Fragestellungen, Verfahren und Anwendungsbereiche herausgearbeitet werden. Dies wird insbesondere an den untergeordneten Ideen deutlich, wenn die Ideenkollektion in hierarchischen Ideenbäumen dargestellt wird. Diese untergeordneten Ideen beschreiben, wie die Masterideen in dem spezifischen Fach zu verstehen

sind. Dies ist notwendig, weil sich in ähnlichen Fächern teilweise gleich benannte übergeordnete Ideen finden, die dann fachspezifisch unterschiedliche Bedeutungsumfänge haben (z.B. *strukturierte Zerlegung* in der Informatik und der Physik oder *System* in der Elektrotechnik und der politischen Bildung). Modrow und Strecker ordnen ihre Fundamentalen Ideen für die Schulinformatik auf zwei Ebenen an und verknüpfen sie mit dem kompetenzorientierten Ansatz der allgemeinen schulischen Bildung (Modrow 2003, 40–50; Modrow 2003, 70–72; Modrow und Strecker 2016, 22–27, 37–42).

International hat sich Denning konzeptionell-qualitativ mit der Formulierung fachlicher Kerne für die Informatik beschäftigt, die er „Great Principles of Computing“ nennt. Er verfolgt mit seinem prinzipiengeleiteten Ansatz das Ziel, die spezifische Perspektive der Informatik auf die Welt insbesondere für Einsteiger/-innen und interessierte Laien, aber auch für Informatiker/-innen selbst leichter erschließbar zu machen. Aus wenigen grundlegenden Prinzipien leitet er eine umfassende Struktur des Faches ab (Denning 2003, 16). Über einen längeren Zeitraum ist aus seiner fachlichen Expertise und einer historischen Betrachtung des Faches heraus eine Vielzahl von Prinzipien entstanden, die Denning in sieben Kategorien ordnet. Sie bilden für ihn so etwas wie Fenster, um durch sie den "Body of Knowledge" der Informatik zu betrachten (Denning April 2008). Denning nutzt Storytelling-Ansätze, um die Prinzipien sichtbar und verständlich zu machen und um sie von den Perspektiven anderer Fächer abzugrenzen. Er formuliert die Great Principles in Form kurzer Aussagesätze und nicht nur als einzelne Begriffe, um ihre Spezifität und ihre Wirksamkeit zur Orientierung im Fach zu erhöhen. Zudem schlägt er ein historisches Herangehen zur Ermittlung der Prinzipien vor, da er davon ausgeht, dass diese sich beim Nachvollziehen großer Innovationen eines Faches (wieder-)erkennen lassen (Denning 2003; Denning April 2008; Denning 2010).

Die beschriebenen konzeptionell-qualitativen Ansätze findet sich auch in anderen Fächern, z.B. der politischen Bildung. Sander, der in diesem Feld Basiskonzepte theoriebasiert formuliert hat, geht fachdidaktisch begründet vor und entwickelt seine Basiskonzepte hypothetisch-modellhaft. Er sieht Basiskonzepte als einen Gegenstand didaktischer, nicht fachwissenschaftlicher Theoriebildung an, auch wenn sie fachwissenschaftlich vertretbar sein müssen. Dies spricht für ihn gegen eine empirische Ableitung von Basiskonzepten aus der Fachwissenschaft. Die Empirie steht für ihn eher an zweiter Stelle, um die Konzeption der Basiskonzepte und ihren Nutzen für die Bildung und Erweiterung von Wissensnetzen bei den Lernenden zu überprüfen.

Andere Vorgehensweisen zur Bestimmung von Fundamentalen Ideen bzw. Schlüsselkonzepten sind empirisch geprägt. Ein mögliches Verfahren lässt sich an der bildungspolitisch ausgerichteten Studie des National Research Council zur K12-Science-Education in den USA erkennen, in welcher u.a. Core Ideas für die naturwissenschaftliche und technische allgemeine Schulbildung formuliert worden sind (National Research Council 2012). Diese Studie ist auf der Basis evidenzbasierter Pädagogik und pädagogischer Forschung erstellt. Kleine fachlich ausgewiesene Teams haben bestehende wissenschaftliche Vorarbeiten

ausgewertet, die Ergebnisse zusammengetragen und daraus sowie unter Rückgriff auf die eigene Expertise Core Ideas in den jeweiligen Teilgebieten und Kenntnisebenen für verschiedene Altersstufen vorgeschlagen. Diese wurden dann in einem weiteren Reviewprozess von anderen Expert(inn)en und Fachorganisationen diskutiert und zu einem abschließenden Ergebnis weiterentwickelt (National Research Council 2012, 15–20). Blickt man in Deutschland wieder auf die Informatik, wurden weitere empirisch geprägte Vorgehensweisen erprobt: Zendler und Spannagel z.B. haben auf der Basis der Fundamentalitätskriterien von Schwill ein quantitatives Verfahren entwickelt, um eine stärker objektivierbare Kollektion „zentraler Konzepte“ – diese sind für sie konkreter und nicht so strukturbildend für ein Fach wie Fundamentale Ideen – für den Informatikunterricht zu gewinnen. Sie kombinieren dazu die Dokumentenanalyse einer internationalen Fachklassifikation mit einer Expertenbefragung und werten die Befragungsergebnisse deskriptiv und clusteranalytisch aus. Auf diese Weise erhalten sie 15 Konzepte, darunter z.B. „algorithm“ und „language“, aber auch „computer“ und „information“ (Zendler und Spannagel 2006). Ihr methodischer Ansatz schafft durch die Verwendung der Fachklassifikation als Ausgangspunkt und die Beteiligung einer Reihe von Informatikprofessor(inn)en eine Validierung und Intersubjektivität der Konzepte im Vergleich zu den Ansätzen von Schwill und Denning. Die Einschätzung der Expert(inn)en erfolgt auf der Basis von Schwills Fundamentalitätskriterien. Durch die Clusteranalyse können sie aus der Vielzahl von Begriffen der Fachklassifikation diejenigen ermitteln, die alle diese Kriterien in hohem Umfang erfüllen. Allerdings wird der didaktische Erkenntnisgewinn der Untersuchung im Vergleich zu den theoretisch-konzeptionellen Ansätzen nicht ganz klar. Dies hat v.a. zwei Gründe: Zum einen bleibt die Definition zentraler Konzepte von Zendler und Spannagel in ihrem fachdidaktischen Potenzial hinter den Fundamentalen Ideen oder Basiskonzepten zurück, weil sie auf den strukturbildenden Anspruch jedes einzelnen Konzepts für das Fach verzichten. Im Ergebnis kommen sie zu 15 Konzepten, die durch ihr methodisches Vorgehen recht dicht an fachlichen Grundbegriffen bleiben. Zum anderen werden Fachwissenschaftler/-innen, nicht Fachdidaktiker/-innen zur Einschätzung der Konzepte befragt, sodass die Perspektive auf Informatikunterricht in der Schule möglicherweise weniger eingenommen wurde (Zendler und Spannagel 2006).

Ein weiterer empirischer Ansatz aus der Informatik findet sich bei Grillenberger und Romeike, die Schlüsselkonzepte („Key Concepts“) im Teilbereich „Data Management“ identifiziert haben, um damit eine Inhaltsauswahl für den Informatikunterricht zu begründen. Auch „Schlüsselkonzepte“ sind nicht deckungsgleich mit den Fundamentalen Ideen. Die Autoren fassen darunter verschiedene Fachbegriffe, Aspekte und Prinzipien zusammen, ohne den Begriff eindeutig zu definieren. Auf der Basis eines internationalen Body of Knowledge und ausgewählter Lehrbücher wurde zunächst mit Hilfe einer Qualitativen Inhaltsanalyse induktiv ein Kategoriensystem aus Schlüsselkonzepten entwickelt, welches dann in einem zweiten methodischen Schritt geclustert und systematisiert wurde. Das genaue Vorgehen wird nicht beschrieben. Schlussendlich werden die systematisierten Be-

griffe und Aspekte zu einem Modell aus Kerntechnologien, Praktiken, Entwurfs- und Funktionsprinzipien zusammengefügt, dessen Grundstruktur einem Modell aus Dennings Arbeiten zu den Great Principles of Computing entlehnt ist (s.o.). Die Autoren validieren ihre Ergebnisse in Bezug auf fachliche Adäquatheit und Vollständigkeit durch eine halbautomatisierte Textanalyse eines weiteren Dokumentenkörpers sowie ein Experteninterview. Im Ergebnis legen sie eine mehrperspektivische fachliche Systematik des betrachteten Bereichs Data Management vor, die eine Strukturierungshilfe bei didaktischen Überlegungen bieten kann. Die Zugkraft der Fundamentalen Ideen als didaktisches Instrument besitzt dieses Ergebnis allerdings nicht, was daran liegt, dass eine fachdidaktische Zielrichtung des Ansatzes kaum sichtbar wird und er vielmehr stark fachsystematisch orientiert scheint. Zudem verwenden die Autoren den verwendeten Begriff der Schlüsselkonzepte umfassend (Prinzipien sind darin nur ein Teilbereich) und verstehen ihn nicht als primär (fach-)didaktisch angelegtes Konstrukt (Grillenberger und Romeike 2017).

Die zuvor beschriebenen methodischen Ansätze haben unterschiedliche Stärken und Schwächen:

- Die ersten, stärker theoretisch entwickelten, konzeptionellen Ansätze stellen die Bedeutung bzw. den Sinn der entwickelten Fundamentalen Ideen oder Basiskonzepte für die Lernenden in den Fokus. Der – spezifisch formulierte – didaktische Zweck der jeweiligen Kollektionen ist zentral und die Autor(inn)en machen diesen auch erkennbar. Er wird damit transparent für eine didaktische und wissenschaftliche Diskussion. Dies ist eine große Stärke dieser Ansätze. Verschiedene didaktische Zwecke führen damit zu verschiedenen Kollektionen von Fundamentalen Ideen oder Basiskonzepten. Eine Validierung dieser Kollektionen entsteht nicht aus dem methodischen Vorgehen, sondern durch den fachdidaktischen Gebrauch und das Feedback dazu. Zudem leisten sie wissenschaftliche Beiträge zur fachdidaktischen Theoriebildung, wie insbesondere Sander betont (Sander 2013, 98–99).
- Demgegenüber orientieren sich die stärker empirisch ausgerichteten Ansätze an Ausgangspunkten wie Fachsystematiken oder Bodies of Knowledge. Sie schaffen damit eine direkte Anschlussfähigkeit der erarbeiteten Kollektionen an das jeweilige Fach/die jeweilige Fachdisziplin und können eine fachliche Breite und Ausgewogenheit herstellen. Die Validierung der Kollektionen ergibt sich aus der genutzten Methodik heraus. Allerdings sind die Ergebnisse durch diese Vorgehensweisen ebenfalls noch dicht an fachlichen Systematiken, sodass sie als fachdidaktische Instrumente weniger ergiebig und fruchtbar scheinen.

2.2 Pädagogisch-didaktische Grundlagen

In diesem Unterkapitel werden die berufspädagogischen und lerntheoretischen Grundlagen dargelegt, auf denen diese Arbeit fußt. Es dient dazu zu erläutern, auf welcher Basis das Vorhaben dieser Arbeit bildungswissenschaftlich ansetzt, und diesen Ansatzpunkt zu begründen.

Fundamentale Ideen sind a) ein fachliches/fachbezogenes Konstrukt und setzen b) auf einer konzept- bzw. strukturorientierten Ebene an. Beides soll bildungswissenschaftlich begründet werden. Deshalb gliedert sich das Unterkapitel in zwei inhaltliche Teile: Die Abschnitte 2.2.1 und 2.2.2 setzen da an, die Bedeutung von Fachwissen/fachlicher Kompetenz für die beiden betrachteten Lernendengruppen Auszubildende und berufliche Lehramtsstudierende herauszuarbeiten. Die Abschnitte 2.2.3 und 2.2.4 beziehen sich dann darauf, wie konzept- bzw. strukturorientierte fachdidaktische Ansätze auf Kompetenzentwicklungsprozesse wirken. Es wird erläutert, auf welchen lerntheoretischen Grundlagen sie gründen und wie sie fachliches Lernen und den Wissenstransfer unterstützen können.

Zunächst wird die Bedeutung fachbezogener Kompetenz im Kontext der gesamten beruflichen Handlungskompetenz der in dieser Arbeit betrachteten zwei Lernendengruppen analysiert (Abschnitt 2.2.1). Es folgt eine begriffliche Einordnung der zentralen Konzepte Fachkompetenz und Fachwissen und ein genauerer Blick auf die berufliche Kompetenzentwicklung anhand eines anerkannten Modells aus der Expertiseforschung (Abschnitt 2.2.2). Lernpsychologische (und teilweise auch berufspädagogische) Erkenntnisse verdeutlichen die Wirkweise von Konzepten, Prinzipien und Strukturen für fachliche Lernprozesse (Abschnitt 2.2.3) und beschreiben, welchen Beitrag diese dazu leisten können, dass die Anwendung und der Transfer von Fachwissen auf andere Situationen gelingen kann (Abschnitt 2.2.4).

2.2.1 Fachkompetenz als Teil beruflicher Handlungskompetenz

In diesem Abschnitt wird dargestellt, welche Bildungsziele die berufliche Ausbildung sowie die berufliche Lehrkräftebildung prägen und welche Bedeutung dabei die Fachkompetenz einnimmt. Der doppelte Berufsbezug im beruflichen Lehramt wird auch hier wieder sichtbar. Es wird deshalb zunächst auf die Bildungsziele der beruflichen Ausbildung eingegangen und danach auf diejenigen des berufsbildenden Lehramtsstudiums.

Wie im Einleitungskapitel bereits beschrieben wurde, sind in der beruflichen Ausbildung Kompetenzerwartungen bildungspolitisch definiert worden. Berufliche Fachkräfte sollen im Rahmen ihrer Ausbildung eine **umfassende berufliche Handlungskompetenz** erwerben (siehe Unterkap. 1.1 und Kultusministerkonferenz Juni 2021, 15). Dies ist ein Ergebnis der „arbeitsorientierten Wende“ in der beruflichen Bildung (Rauner 2002, 111–114). Das Ziel soll erreicht werden durch eine konsequente didaktische Ausrichtung der Ausbildung an beruflichen Arbeits- und Geschäftsprozessen mit dem Fokus darauf, Technik unter dem

Aspekt ihres Gebrauchswerts zu verstehen und nutzen zu lernen und gestaltend zu handeln.

Zur umfassenden beruflichen Handlungskompetenz gehören laut KMK verschiedene Kompetenzdimensionen: **Fachkompetenz** ist dabei die erstgenannte von drei Dimensionen und wird definiert als „Bereitschaft und Fähigkeit, auf der Grundlage fachlichen Wissens und Könnens Aufgaben und Probleme zielorientiert, sachgerecht, methodengeleitet und selbstständig zu lösen und das Ergebnis zu beurteilen“ (Kultusministerkonferenz Juni 2021, 15). **Methodenkompetenz** stellt einen Bestandteil u.a. der Fachkompetenz dar und wird verstanden als die "Bereitschaft und Fähigkeit zu zielgerichtetem, planmäßigem Vorgehen bei der Bearbeitung von Aufgaben und Problemen (zum Beispiel bei der Planung der Arbeitsschritte)" (Kultusministerkonferenz Juni 2021, 16). Weitere Dimensionen sind **Selbst- und Sozialkompetenz**. Die Kompetenzorientierung in der beruflichen Ausbildung ist auch curricular verankert: Alle Kompetenzdimensionen sollen integriert über die kompetenzorientierten Lernfelder in den Rahmenlehrplänen entwickelt werden (Kultusministerkonferenz Juni 2021, 17). Im Bereich der fachlich-methodischen Kompetenz soll im Laufe der Ausbildung eine stabile fachliche Wissensbasis geschaffen werden, auf der spätere fachbezogene Lern- und Weiterentwicklungsprozesse im Beruf aufbauen können.

Anders als im Bereich der beruflichen Ausbildung gibt es für die berufliche Lehrkräftebildung kein bildungspolitisch formuliertes Leitziel. Es gibt jedoch durchaus Vorgaben: Für den Bereich der Bildungswissenschaften hat sich die KMK auf Bildungsstandards verständigt, die für alle Lehrämter gelten und Anforderungen an das berufliche Handeln von Lehrerinnen und Lehrern stellen (Kultusministerkonferenz 2019, 3–4). Diese werden in Kompetenzziele übersetzt und mit Standards hinterlegt, welche Ausprägung der Kompetenzen zum Ende des Lehramtsstudiums und zum Ende der praktischen Ausbildungsphase erwartet werden. Des Weiteren hat die KMK „Ländergemeinsame inhaltliche Anforderungen für die Fachwissenschaften und Fachdidaktiken in der Lehrerbildung“ verabschiedet, die neben der allgemeinen Formulierung fachlicher und fachdidaktischer Kompetenzerwartungen in den verschiedenen Ausbildungsphasen von Lehrkräften auch kurze Fachprofile für die einzelnen Unterrichtsfächer und beruflichen Fachrichtungen enthalten (Kultusministerkonferenz 2008 i.d.F. von 2019; Fachprofil Elektrotechnik siehe Unterkap. 1.1).

Diese beiden Richtlinien der KMK dienen zwar vornehmlich dem Ziel, Studiengänge zu entwickeln und zu akkreditieren bzw. evaluieren sowie Mobilität zwischen den Studiengängen zu ermöglichen (Kultusministerkonferenz 2019, 3, Kultusministerkonferenz 2008 i.d.F. von 2019, 2). Sie enthalten jedoch auch Informationen dazu, welche Kompetenzen im Sinne von Kenntnissen, Fähigkeiten, Fertigkeiten und Einstellungen Lehramtsstudierende erwerben sollen. Hierbei wird deutlich, dass auch bei den (angehenden) Lehrkräften das praktische Bewältigen der beruflichen Anforderungen und damit die **berufliche Handlungskompetenz** in den Mittelpunkt gerückt wird (Kultusministerkonferenz 2008 i.d.F. von 2019, 3, Kultusministerkonferenz 2019, 4). Für das Lehramt an berufsbildenden Schulen

wird das berufliche Handeln davon geprägt, dass die Lerngruppen sehr heterogen sind und durch sich ändernde Arbeitsinhalte in den korrespondierenden Berufen sich auch die Anforderungen an die Lehrkräfte häufig und unvorhersehbar ändern (Kultusministerkonferenz 2008 i.d.F. von 2019, 6).

Den fachbezogenen Kompetenzen kommt im Gesamtkompetenzprofil ein wichtiger Beitrag zu. In den Ländergemeinsamen inhaltlichen Anforderungen für die Fachwissenschaften und Fachdidaktiken in der Lehrerbildung wird dieser wie folgt spezifiziert: Im Studium soll ein anschlussfähiges Fachwissen aufgebaut werden, welches sich zusammensetzt aus solidem und strukturiertem Fachwissen, einem Zugang zu den aktuellen grundlegenden Fragestellungen des Faches/der Fachrichtung, dem Wissen um Einfluss und Wirkung digitaler Technologien auf das Fach/die Fachrichtung und die zugehörigen Berufe, Metawissen über das Fach/die Fachrichtung und einer Reflexion beruflicher Erfahrung sowie der Kompetenz, dieses Fachwissen auszubauen und sich weiteres Fachwissen und fachübergreifendes Wissen zu erschließen (Kultusministerkonferenz 2008 i.d.F. von 2019, 3–4). Zu den fachbezogenen Kompetenzen wird weiterhin zugerechnet, dass Studienabsolventinnen und -absolventen Erkenntnis- und Arbeitsmethoden sowie -werkzeuge ihres Faches/ihrer Fachrichtung kennen und anwenden können und dass sie über anschlussfähiges fachdidaktisches Wissen verfügen. Letzteres wird differenziert in die Analyse von Inhalten bezüglich ihres Bildungsgehalts, die Anwendung didaktischer Erkenntnisse zum fach(richtungs)bezogenen Lernen sowie weitere didaktische Kompetenzen wie die differenzierte und adressatengerechte Darstellung von Inhalten, die Gestaltung lernförderlicher Umgebungen und Grundlagen der fach(richtungs)bezogenen Leistungsbeurteilung (Kultusministerkonferenz 2008 i.d.F. von 2019, 4). Bei der Betrachtung der Zielgruppe der (angehenden) Lehrkräfte müssen also bei der Betrachtung fachbezogener Kompetenzen – anders als bei den beruflichen Fachkräften – fachliche sowie fachdidaktische Anteile einbezogen werden.

Die bildungswissenschaftliche Forschung hat sich ebenfalls mit den Kompetenzen befasst, die Lehrkräfte benötigen und im Laufe ihrer mehrphasigen Ausbildung aufbauen müssen (teilweise vor dem Hintergrund, Qualitätsstandards in der Ausbildung sowie später im beruflichen Handeln zu sichern). Nach Baumert und Kunter benötigen Lehrkräfte eine „professionelle Handlungskompetenz“, die sich aus Wissen und Können zusammensetzt (Baumert und Kunter 2006, 481). Das Metamodell, welches sie für die **professionelle Handlungskompetenz** formulieren, strukturiert und systematisiert vorliegende empirische Forschungsergebnisse. In diesem Modell ist das Professionswissen ein zentraler Bereich der Handlungskompetenz; weitere sind motivationale Überzeugungen, Werthaltungen sowie selbstregulative Fähigkeiten. Das Professionswissen setzt sich zusammen aus den professionsbezogenen Wissensbereichen, die Shulman 1986 mit seinem Konzept des Pedagogical Content Knowledge (PCK) eingeführt hat (Shulman 1986, 9–10), sowie den ergänzenden Bereichen Organisations- und Beratungswissen (Baumert und Kunter 2006, 482).

Shulman unterscheidet mehrere Arten von fachbezogenem Wissen, das Lehrkräfte aufbauen müssen: „Content Knowledge“ umfasst die eigentlichen fachlichen Inhalte, die sich u.a. aus den korrespondierenden Wissenschaften ergeben, und die Struktur des disziplinären Wissens. Da Lehrkräfte die Disziplin für ihre Lernenden zugänglich machen müssen, müssen sie verschiedene Organisationsprinzipien des Faches kennen und die Bedeutung bestimmter Inhalte für die Disziplin einschätzen können. Shulman geht davon aus, dass dafür das fachliche Verständnis der Lehrkräfte mindestens genau so umfassend sein muss wie das der ingenieurwissenschaftlich ausgerichteten Studierenden (Shulman 1986, 9). „Pedagogical Content Knowledge“ bezeichnet den professionsbezogenen Wissensbestand von Lehrkräften, der eine Verknüpfung der beruflichen Fachrichtung und ihrer Vermittlung schafft und die besondere Expertise von Lehrkräften ausmacht. Damit ist diejenige Art von fachbezogenem Wissen von Lehrkräften gemeint, die auf das Lernen bzw. das Vermitteln der Disziplin ausgerichtet ist und sich mit Fragen befasst, wie das Lernen bestimmter fachlicher Inhalte erfolgsversprechend gestaltet werden kann, mit welchen Analogien, Beispielen und Erklärungen sich das Verständnis bestimmter fachlicher Inhalte erleichtern lässt, welche wichtigen fachlichen Konzepte und Vorstellungen erlernt werden müssen und welche Alltagsvorstellungen Lernende dafür ggf. überwinden müssen. Zur fachdidaktischen Kompetenz von Lehrkräften gehört zudem, das Spezifische des jeweiligen Faches bzw. der beruflichen Fachrichtung zu (er)kennen und Lernenden deutlich machen zu können, welchen Beitrag es zum Verständnis und zur Gestaltung der menschlichen (Um-)Welt leistet. Die fachdidaktische Kompetenz benötigt weiterhin ein curriculares Verständnis, um Unterricht altersstufengerecht und an die Lehrpläne angepasst umzusetzen und sinnvolle Bezüge und Strukturen zu vorhergegangenen Lernprozessen oder anderen Fächern herstellen zu können (Neuweg 2010, 28–29). PCK lässt sich gemeinsam mit der dritten Art von fachbezogenem Wissen, dem curricularen Wissen um Unterrichtsmaterialien und Lehrbücher sowie um die Lehrpläne parallel unterrichteter Fächer oder anderer Jahrgänge für das gleiche Fach, als fachdidaktisches Wissen zusammenfassen (Shulman 1986, 9–10).

Baumert und Kunter haben Forschungsergebnisse bzgl. der fachbezogenen Kompetenzen zusammengetragen: Danach stellt fachliches (und fachdidaktisches) Wissen zwar einen Kernbestandteil der professionellen Kompetenz von Lehrkräften dar, ist jedoch vergleichsweise wenig empirisch untersucht, was die Wirkung auf die Handlungskompetenz angeht (Baumert und Kunter 2006, 489–490). Ähnliches hat auch Shulman bereits 20 Jahre vorher festgestellt (Shulman 1986, 7–8). Dabei wirken sich die Breite und Tiefe des Fachwissens der Lehrkraft auf die Auswahl von Lerninhalten, auf das Anspruchsniveau und das Maß an Problemorientierung im Unterricht aus, auf die fachliche Einschätzung von Schülerbeiträgen und ihre Einbindung in den Unterricht, auf fachliche Erklärungen, die Fähigkeit Lerninhalte zu verknüpfen und Strukturen sichtbar zu machen sowie darauf, den Schüler(inne)n herausfordernde Fragen zu stellen (Neuweg 2010, 27–28). Fächervergleiche zeigen zudem, dass die konkrete Unterrichtsgestaltung stark vom Fach geprägt wird, was z.B. Konzepte, Erklärungsmuster, Modelle oder die Anordnung von Inhalten angeht.

Weiterhin sind die fachdidaktischen Handlungsmöglichkeiten einer Lehrkraft im Unterricht abhängig von ihrem umfassenden und konzeptuellen Fachverständnis, z.B. in Bezug auf die kognitive Herausforderung oder die individuelle Unterstützung der Schüler/-innen (Baumert und Kunter 2006, 496). Dennoch sind Fachwissen und fachdidaktisches Wissen nicht gleich, sondern zwei theoretisch und empirisch voneinander getrennte Wissensbereiche, die unterschiedlich stark ausgeprägt sein und beide Auswirkungen auf die Qualität des Unterrichts nehmen können (Baumert und Kunter 2006, 492–493).

Baumert und Kunter betonen mit ihrer Zusammenfassung der zusammengetragenen Forschungsergebnisse die Bedeutung fachlicher Kompetenz als Teil der professionellen Handlungskompetenz: „*Fachwissen ist die Grundlage, auf der fachdidaktische Beweglichkeit entstehen kann*“ (Baumert und Kunter 2006, 496, Hervorhebung im Original). Die enge Verzahnung der beiden Facetten von fachbezogener Kompetenz (Fachwissen und fachdidaktischem Wissen) stellt ein wichtiges Argument dafür dar, diese fach- bzw. fachrichtungsbezogen zu betrachten.

2.2.2 Fachbezogene Kompetenzentwicklung

Kontextsensitive Definition von Kompetenz

Wie in Unterkapitel 1.1 und Abschnitt 2.2.1 beschrieben, ist ein kompetenztheoretischer Bildungsansatz sowohl in der Lehrkräftebildung als auch in der beruflichen Ausbildung etabliert. Das Konstrukt „Kompetenz“ wird in den Bildungswissenschaften und der Psychologie für unterschiedliche Zwecke genutzt und dafür jeweils passgenau definiert. Ein einheitlicher Kompetenzbegriff existiert nicht, nach Euler lassen sich jedoch für die berufliche Bildung drei große Richtungen für das Verständnis des Begriffes differenzieren: das handlungstheoretische Verständnis der beruflichen Handlungskompetenz, das kognitionspsychologische Verständnis, das mehr in der allgemeinen Bildung und zur Leistungsmessung z.B. im Rahmen der PISA-Untersuchungen verwendet wird und ein stärker behaviouristisches Verständnis im Sinne von Skills bzw. standardisiertem beobachtbarem Verhalten (vgl. Euler 2020, 207–212). Für diese Arbeit ist das handlungstheoretische Kompetenzverständnis relevant, wie bereits im vorigen Abschnitt 2.2.1 deutlich wurde. Zudem ist das kognitionspsychologische Verständnis von Interesse, da fachliche Kompetenz als ein Teil von beruflicher Handlungskompetenz fokussiert wird. Dieses kognitionspsychologische Kompetenzverständnis lässt sich über die folgenden Definitionen erkennen.

Weinerts allgemeine Kompetenzdefinition, die dem kognitionspsychologischen Verständnis entspringt, hat sich in der Bildungsforschung weit etabliert:

Kompetenzen stellen danach „die bei Individuen verfügbaren oder durch sie erlernbaren kognitiven Fähigkeiten und Fertigkeiten [dar], um bestimmte Probleme zu lösen, sowie die damit verbundenen motivationalen, volitionalen und sozialen Bereitschaften und Fähigkeiten, um die Problemlösungen in variablen Situationen erfolgreich und verantwortungsvoll nutzen zu können“ (Weinert 2002, 27–28).

Der Fokus wird in Weinerts Definition auf kognitive Fähigkeiten und Fertigkeiten zum Zwecke der Problemlösung gelegt. Im Kontext der wissenschaftlichen Diskussion nach den Ergebnissen der PISA-Studie um die Entwicklung übergreifender nationaler Bildungsstandards in Deutschland haben Klieme et al. herausgearbeitet, dass Kompetenzentwicklung stark über fachliche Kenntnisse und Fähigkeiten und das Erkennen von zentralen Zusammenhängen in einer fachlichen Domäne und nicht fachunabhängig erfolgt (Klieme et al. Juni 2003, 74–75). Klieme und Leutner bauen mit ihrer Definition hierauf auf und betonen, dass Kompetenzen jeweils auf einen bestimmten Geltungsbereich wie z.B. das schulische oder berufliche Handlungs(um)feld bezogen werden müssen.

Sie definieren Kompetenzen als „kontextspezifische kognitive Leistungsdispositionen, die sich funktional auf Situationen und Anforderungen in bestimmten Domänen beziehen“ (Klieme und Leutner 2006, 879).

Harms et al. formulieren mit Blick auf die Entwicklung von Bildungsstandards Fachkompetenz so, dass Lernende systematisch vernetzte Konzepte, Prinzipien und Methoden eines Faches kennen, diese verstanden haben und sie flexibel und in anderen Zusammenhängen einsetzen können. Nicht ein reproduzierbares Faktenwissen lasse Fachkompetenz erkennen, sondern die Fähigkeit, domänenbezogene Phänomene aufgrund der fachlichen Kenntnisse interpretieren, Wissensbestandteile miteinander verknüpfen und die domänenbezogene Perspektive kritisch reflektieren zu können (Harms et al. 2004, 37).

Diese Kontextabhängigkeit ist auch aus der Expertiseforschung bekannt, nach der Kompetenzen in hohem Maß in einem bestimmten Lern- und Handlungsbereich (= einer Domäne) ausgebildet werden. In anderen Kontexten müssen die Kompetenzen nicht in gleicher Weise oder auf der gleichen Stufe ausgeprägt sein, was z.B. bei fachlichen Expert(inn)en sichtbar wird.

Ein für die berufliche Bildung geeigneter Kompetenzbegriff muss neben den kognitiven Dispositionen auch den Bereich der subjektiven Erfahrung berücksichtigen, der die Handlungs- und Leistungsfähigkeit stark mitprägt (Dick 2018). Dick greift auf eine Definition von Bernien für ein Förderprogramm des BMBF zur Kompetenzentwicklung zurück und versteht Kompetenzen als „die Summe aller Dispositionen (Fähigkeiten, Fertigkeiten, Wissensbestände und Erfahrungen) des Menschen, die ihn zur Bewältigung seiner beruflichen Aufgaben und gleichzeitig zur eigenständigen Regulation seines beruflichen Handelns einschließlich der damit verbundenen Folgenabschätzungen befähigt“ (Dick 2018, 380).

Die Kompetenzen spiegeln in diesem Sinne berufliche Anforderungen auf Seiten des Individuums wider und werden im Arbeitshandeln bzw. dessen Vorbereitung erworben (ebd.).

Erwerb und Entwicklung von fachbezogener Kompetenz

Um die Kompetenzentwicklung in einer Domäne zu beschreiben, hat sich das Novizen-Experten-Modell von Dreyfus und Dreyfus aus der Expertiseforschung etabliert (Dreyfus und Dreyfus 1987), das sowohl für die berufliche Ausbildung adaptiert wurde (siehe z.B. Rauner 2002) als auch für die Kompetenzentwicklung von (angehenden) Lehrkräften (siehe z.B. Hartmann 2012). Als Expertise wird bezeichnet, „wenn das Resultat einer Kompetenzentwicklung erfolgreich war. Der berufliche Experte als Resultat einer gelungenen Kompetenzentwicklung ist daher von besonderem Interesse für die Berufsbildungsforschung.“ (Röben 2018, 384). Anders als in der allgemeinen Bildung erfolgt die Entwicklung beruflicher Kompetenz u.a. durch praktische Arbeitserfahrung (Rauner 2002, 123).

Nach dem Modell von Dreyfus und Dreyfus erfolgt Kompetenzentwicklung in mehreren aufeinander aufbauenden Stufen (siehe Abbildung 7). Zu Anfang sind Lernende *Neulinge bzw. Anfänger/-innen* in einem Fach. Sie orientieren sich zunächst und lernen erste Fakten, Muster und Regeln und wenden diese an, ohne sie bereits vollständig zu verstehen. Auf der nächsten Stufe werden sie zu *fortgeschrittenen Anfänger(inne)n*, die durch erste eigene Erfahrungen Zusammenhänge zwischen theoretischem Wissen und Praxis entdecken und eine fachliche Orientierung und Überblick gewinnen. Auf der dritten Stufe werden sie zu *kompetenten Akteur(inn)en*, die beim Handeln bereits verschiedene Fakten und Regeln situativ anwenden können und Muster in Handlungssituationen erkennen. Sie handeln planvoll und entscheiden systematisch. Stand bislang der bewusste Gebrauch des Wissens und ein rationales Vorgehen im Vordergrund, werden diese mit Erreichen der nächsten Stufe zunehmend durch unbewusstes Handeln und Intuition ergänzt. *Gewandte professionelle Akteure bzw. Akteurinnen* erfassen Problemstellungen ganzheitlich. Aufgrund ihrer bereits umfassenden Erfahrungen können sie komplexe Muster erkennen, auch unbekannte Situationen schnell analysieren und auf verschiedene Handlungsstrategien zurückgreifen. Auf der letzten Stufe gehen die Lernenden als *Expert(inn)en* ganz in der Situation auf. Sie erleben sich in der Situation und können ohne Distanz zum Kontext, mühelos und oftmals intuitiv agieren.



Abbildung 7: Stufen der Kompetenzentwicklung nach dem Novizen-Experten-Modell von Dreyfus/Dreyfus in Verbindung mit fachlichen Lernbereichen (im Original von Rauner 2002, Darstellung aus Jenewein und Pfützner 2012, 142), © Bertelsmann W. Verlag

Nach den Erkenntnissen der Expertiseforschung entwickelt sich berufliche Expertise auf der Basis von Fachwissen über zunehmende praktische Erfahrung und entsteht durch die Verschränkung dieser beiden Bereiche, indem deklaratives Wissen durch vielfältige Anwendung zunehmend in prozedurales Wissen umgewandelt wird. Berufliche Expert(inn)en heben sich dadurch ab, dass ihr Wissen eine andere Qualität hat als das von Anfänger(inne)n. Ihre Situationswahrnehmung ist umfassender, sie bilden andere Hypothesen oder stellen Überlegungen auf einer breiteren Basis von Begriffen und Konzepten an. Ihre Grundlage dafür ist ihr umfassendes Fachwissen und die große praktische Erfahrung, über welche sie neue Wissensstände generieren (Röben 2018, 388–391).

Rauner hat das Modell von Dreyfus und Dreyfus auf die berufliche Bildung adaptiert und darauf aufbauend Überlegungen angestellt, wie die Entwicklungslogik, die in dem Modell enthalten ist, für die berufliche Kompetenzentwicklung nutzbar gemacht werden kann. Auf dieser Basis wird das arbeitsprozessorientierte Vorgehen in der beruflichen Ausbildung

eingesetzt, um Lernanlässe (und darauf aufbauend ganze Curricula) so zu gestalten, dass sie die Kompetenzentwicklung Stufe um Stufe systematisch fördern.

In Abbildung 7 werden die Entwicklungsstufen mit vier Lernbereichen verknüpft, in die Rauner die Wissensbestände differenziert, die Lernende sich im Laufe einer beruflichen Ausbildung (bzw. in späteren beruflichen Entwicklungsphasen) aneignen müssen (siehe Abbildung 8). Anfänger/-innen benötigen danach zu Beginn ihrer Ausbildung zunächst Orientierungs- und Überblickswissen, um ein erstes professionelles Bild des zu erlernenden Berufes zu gewinnen, erste typische Arbeitsprozesse zu erlernen und erste berufliche Problemstellungen lösen zu können (Rauner 2002, 120). Um zu kompetenten Akteur(inn)en zu werden, müssen nun zusätzlich ein berufliches Zusammenhangswissen gestärkt und Wissensbestände über komplexe Arbeitsaufgaben und Situationen miteinander vernetzt werden, damit Arbeitsaufgaben systematisch bearbeitet werden können (Rauner 2002, 120–121). Werden berufliche Aufgabenstellungen noch komplexer bzw. treten neuartige Probleme hinzu, benötigen die Auszubildenden zunehmend mehr technisches Detail- und Funktionswissen über Bauteile, Technologien, Wirkungsmechanismen oder Techniken, um die Problemstellung zu analysieren und eine geeignete spezifische Lösungsstrategie zu entwickeln (Rauner 2002, 121). Die Entwicklung der fachlichen Kompetenz hin zum Experten bzw. zur Expertin erfordert zusätzlich die strukturierte Aneignung fachsystematischen Wissens, um in beliebigen Situationen in Kombination eines tiefen theoretischen Wissens und umfassender Erfahrung berufliche Probleme situativ lösen zu können (Rauner 2002, 121–122). Rauner schlägt also die Konzentration auf bestimmte Arten von Wissen in den verschiedenen Ausbildungsphasen vor. Orientierung, Struktur und Zusammenhänge stehen für die Lernenden am Anfang im Mittelpunkt, Detailwissen und fachliche Systematik treten erst später hinzu.

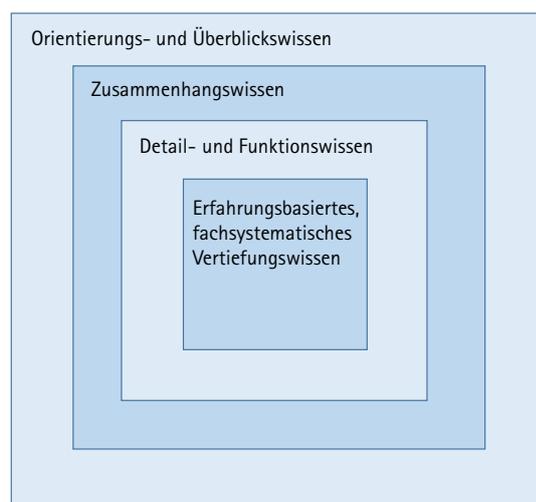


Abbildung 8: Lernbereiche entsprechend der beruflichen Arbeitserfahrung (eigene Darstellung, angelehnt an Rauner 2002, 122)

Dabei wird mit der Kategorie „Arbeitsprozesswissen“ eine neue, berufsbezogene Kategorie von Wissen eingeführt (vgl. Fischer 2018). Das Arbeitsprozesswissen wird im Laufe der beruflichen Ausbildung (der Begriff ist hier nicht nur auf duale Berufsausbildungen bezogen, sondern allgemeiner für unterschiedlichste berufsbezogene Bildungsgänge gemeint) und auch später im Beruf durch die Lernenden gebildet und ist laut Rauner entscheidend für die Kompetenzentwicklung hin zu beruflicher Expertise. Das Arbeitsprozesswissen entsteht gleichsam als Schnittmenge von situativem und implizitem beruflichem Praxiswissen einerseits und wissenschaftsbezogenem und kontextfreiem theoretischem Wissen andererseits. Dabei dient das theoretische Wissen dazu, berufliche Handlungen zu begründen bzw. als Leitlinie für diese (Rauner 2002, 123–125). Arbeitsprozesswissen wird dadurch charakterisiert, dass es praktisches und theoretisches Wissen für ein konkretes Arbeitsfeld auf spezifische Art verbindet, welche stark von bereits erworbener beruflicher Erfahrung geprägt wird. Die Verknüpfung von angestrebtem Ziel, Analyse der konkreten Rahmenbedingungen, Planung der beruflichen Handlung und ein reflektiertes Vorgehen zeichnen Personen mit einem hohen Arbeitsprozesswissen aus (Fischer 2018, 415–419). In dem Modell von Dreyfus und Dreyfus wären sie auf einer der oberen Stufen der Kompetenzentwicklung anzutreffen.

Eine gezielte Gestaltung von Lernanlässen kann die Entwicklung von Arbeitsprozesswissen fördern:

„Immer dann, wenn eine unmittelbare Beziehung zwischen Arbeitserfahrung und theoretischem Wissen im Sinne wissenschaftlicher Theorie besteht, entsteht eine besondere, über die Aneignung praktischen Wissens hinausgehende Lernsituation. Das theoretische Wissen wird dann mit subjektiver Erfahrung vermittelt und in das handlungsleitende Arbeitsprozesswissen integriert. Das praktische Wissen erfährt seine Verallgemeinerung dadurch, dass es sich im Übereinklang mit theoretischem Wissen befindet oder sich praktisch bewährt.“ (Rauner 2002, 124–125)

Für die berufliche Bildung ist mit dem Lernfeldkonzept über berufliche Handlungen als Kernelemente die Verknüpfung von Theoriewissen und Praxiskontexten curricular verankert worden (Tenberg 2006, 79). Die berufsbildenden Schulen tragen zur fachlich-methodischen Kompetenzentwicklung insbesondere (durch) die Vermittlung von deklarativem (faktenbezogenem) und konzeptuellem Wissen bei (siehe unten in Abschnitt 2.2.4), eine Schwerpunktsetzung, die sich aus der Gliederung der dualen Ausbildung in zwei Lernorte ergibt (Tenberg 2006, 106–107).

Auch die Kompetenzentwicklung von (angehenden) Lehrkräften wird nach dem Novizen-Experten-Modell beschrieben (vgl. z.B. Neuweg 1999; Hartmann 2012; Jenewein und Pfützner 2012; Baumert und Kunter 2006, 505–506). Jenewein und Pfützner weisen darauf hin, dass die Entwicklung von professioneller Expertise von Lehrkräften nach dem Modell zwar im Studium begonnen wird, aber nicht mit seinem Abschluss zu erreichen ist, da sie sich nur auf der Basis umfangreicher Berufserfahrung herausbilden kann (Jenewein

und Pfützner 2012, 143–145). Erfahrene Lehrkräfte („Expert(inn)en“) nehmen Gesamtsituationen stärker intuitiv wahr und agieren stärker auf der Basis von Skripts. Sie können so auch in unvorhersehbaren Situationen schnell didaktisch sinnvoll agieren (Baumert und Kunter 2006, 506).

Hartmann verdeutlicht, dass verschiedene Stufen der Kompetenzentwicklung jeweils unterschiedliche Herausforderungen für (angehende) Lehrkräfte mit sich bringen. Neulinge, die Lehramtsstudierende in ihrem Studium meist sind, sind oftmals stark auf das eigentliche Unterrichten fokussiert, weil sie dieses als Kern ihrer zukünftigen beruflichen Tätigkeit wahrnehmen. Sie konzentrieren sich zunächst auf das Curriculum und die fachlichen Kenntnisse über die Lerngegenstände, um erste Sicherheit zu gewinnen und keine Fehler zu machen (Hartmann 2012, 106–108). Einerseits hilft ihnen hier die fachliche Kompetenz für ihre berufliche Fachrichtung/ihr Fach, andererseits orientieren sie sich an klaren und einfachen Regeln (z.B. bzgl. der Unterrichtsgestaltung), um erste berufliche Erfahrungen zu sammeln. Wenn die Lehrkräfte erste Handlungssicherheit gewonnen haben, können sie stärker die einzelnen Lernenden und deren Lernprozesse in den Blick nehmen und situativ verschieden handeln, um die Lernprozesse möglichst gut zu unterstützen. Sie werden sie im obigen Modell zunehmend mehr zu kompetenten Akteur(inn)en (Hartmann 2012, 108–109). Als ein weiterer Schritt auf dem Weg hin zu beruflicher Expertise als Lehrkraft werden dann ausgehend von umfassender Lehrerfahrung auch weitere Bedingungen des gesamten Lernprozesses reflektiert und mitgestaltet (wie z.B. eine gute Verknüpfung der beiden Lernorte Berufsschule und Betrieb oder die technische Ausstattung der Lernräume) (Hartmann 2012, 109–110).

Orientierung und Struktur sind gerade zu Beginn der Kompetenzentwicklung wichtig, um auf der Basis von im Studium erworbenem theoretisch-formalen, (erstem) fachdidaktischen Wissen und einfachen Regeln erste praktische Erfahrungen zu machen und sie einzuordnen. Mit zunehmender Erfahrung und ihrer Reflexion rücken diese Leitlinien in den Hintergrund; eine situative Differenzierung des Handlungsrepertoires und das Einnehmen unterschiedlicher Perspektiven wird möglich (Baumert und Kunter 2006, 505–506). Wie in Abschnitt 2.2.1 dargestellt wurde, gehört zu den fachbezogenen Kompetenzen von Lehrkräften auch PCK als eine Komponente fachdidaktischer Kompetenz. Mit steigender Expertise der Lehrkräfte werden fachliches und fachdidaktisches Wissen zunehmend miteinander vernetzt (Baumert und Kunter 2006, 495).

2.2.3 Lerntheoretische Hintergründe konzeptorientierten Lernens

Lernprozesse nach kognitivistischem und konstruktivistischem Grundverständnis

Aus der Lehr-Lernforschung sind für die didaktische Nutzung von Fundamentalen Ideen (bzw. ähnlicher konzeptorientierter Ansätze wie Basiskonzepte) zum Erwerb von Fachwissen kognitivistische und konstruktivistische Lerntheorien von besonderem Interesse, da

mit ihrer Hilfe der Erwerb fachlich-methodischer Kompetenzen erklärt werden kann (vgl. Tenberg 2011, 103–113). Beide Ansätze werden im Folgenden insoweit eingeführt, wie dies zum Verständnis der fachdidaktischen Arbeit mit Fundamentalen Ideen erforderlich ist. Es erfolgt hierbei noch keine Fokussierung auf eine bestimmte Gruppe von Lernenden.

Kognitivistische Lerntheorien – und auch Jerome Bruner baut mit seinem Ansatz der Fundamentalen Ideen auf den kognitivistischen Grundlagen auf (vgl. Bruner 1980, 57–58; Tenberg 2011, 111–112) – fokussieren darauf, wie die Denk- und Problemlösungsprozesse von Lernenden im Gehirn erfolgen und wie man diese gezielt unterstützen kann. Dazu gehören die aktive und bewusste Informationsverarbeitung und der Wissenserwerb von Lernenden sowie der Aufbau von langfristigen und reproduzierbaren Wissensstrukturen und Kategorien im Gedächtnis Lernender. Hierzu werden in den Lernprozessen kognitive Schemata und mentale Modelle von den Lernenden ausgebildet und weiterentwickelt werden, mit Hilfe derer fachbezogenes und fachübergreifendes Wissen wohlstrukturiert gespeichert und damit langfristig zugänglich gemacht werden kann (Aprea 2018, 497). Dabei sind z.B. die aktive Gestaltung von Erkenntnis- und Denkprozessen sowie die kognitive Repräsentation und Bewertung von verarbeiteten Umweltreizen wichtige Einflussfaktoren.

Die kognitiven Strukturen entwickeln sich individuell und entstehen nicht bei allen Lernenden gleich. Kognitives Lernen im Rahmen eines Problemlöseprozesses ist abhängig davon, dass passende Ansatzpunkte für das Verständnis des Problems gefunden werden. Dann tritt das Verstehen oftmals als diskontinuierliches Ereignis im Sinne eines Aha-Erlebnisses ein (stufenförmiger Verständniszuwachs) und die entwickelte Lösung kann auf andere Problemstellungen übertragen werden. Die kognitiven Prozesse dabei werden wie folgt beschrieben: Das Individuum kann die Problemsituation so ordnen, dass sich ein klarer und schlüssiger Zusammenhang für die Bearbeitung ergibt. Die Bearbeitung erfolgt gedanklich dann in mehreren Schleifen, in denen verschiedene Lösungsansätze durchgespielt werden, bis ein geeigneter Lösungsweg gefunden ist. Aufgrund dieses komplexen Problemlösevorgangs können sich Lernende gefundene Lösungswege gut merken und sie auch bei anderen ähnlichen Problemen leicht reaktivieren oder weiterentwickeln (Tenberg et al. 2019, 134–137). „Kognitiv akzentuiertes Lernen heißt zwar zum einen, ein konkretes Problem zu lösen, zum anderen aber auch, den Lösungsvorgang zu üben und verbessern (Metakognition), sowie den Aufgabeninhalt zu relativieren. Lerntransfer wird insbesondere durch variantenreiches Üben verbessert, da hierbei die übergreifenden Muster am deutlichsten erkannt werden können“ (Tenberg et al. 2019, 136).

Didaktisch strukturierte Lehr-Lernprozesse haben aus kognitionspsychologischer Sicht das Ziel, Lernende über eine Aktivierung vorhandener Wissensstrukturen dabei zu unterstützen, bestehende Wissensstrukturen miteinander zu verknüpfen und sie durch neue Problemstellungen kumulativ zu erweitern. Dafür ist die Ordnung des erworbenen Wissens von großer Bedeutung für weitere Lernprozesse, die wiederum eine Weiterentwicklung

der kognitiven Strukturen der Lernenden ermöglichen. Fachbezogene Begriffe und Konzepte, Handlungsschemata und Verknüpfungen sind dabei besonders relevant für das Ordnen der bestehenden Wissensselemente sowie die Konstruktion, Synthese und Ausdifferenzierung der kognitiven Strukturen von Lernenden (Harms et al. 2004, 43–45).

Diese Anknüpfung an bestehendes Wissen verbindet kognitivistische Lerntheorien mit **konstruktivistischen Ansätzen**. Aus konstruktivistischer Sicht wird betont, dass Lernende die sie umgebende Welt nicht objektiv und alle in gleicher Weise wahrnehmen und interpretieren, sondern Lernen ein selbstorganisierter Prozess des subjektiven Erschließens ist, der auf bereits vorhandenen individuellen Erfahrungen, kognitiven Strukturen und Erlernem aufsetzt (vgl. Tenberg 2011, 104–110). Konstruktivistisches Lernen stellt für Renkl einen Sonderfall kognitivistischen Lernens dar, da auch hier die kognitiven (Re-)Konstruktionsprozesse im Fokus stehen (Tenberg et al. 2019, 137). Wissen wird als komplexes, konkret situiertes assoziatives Netz verstanden, welches sich durch das Lösen von Problemen kontinuierlich verändert und weiterentwickelt (spiralförmiger Verständnisszuwachs). Piagets Äquilibrationstheorie erklärt Lernprozesse aus konstruktivistischer Perspektive über die zwei selbstregulierten kognitiven Anpassungsprozesse „Assimilation“ und „Akkommodation“ von Lernenden an ihre Umwelt: Bei einer Assimilation werden neue Erfahrungen in die bestehende Struktur des eigenen kognitiven Systems eingeordnet, das System wird im Sinne eines Dazulernens erweitert. Bei einer Akkommodation sorgen neue, stärker irritierende Erfahrungen dafür, dass das kognitive System in seiner Struktur selbst verändert und ausdifferenziert wird. In jedem Fall erfolgen Lernprozesse rekursiv auf Basis der bestehenden kognitiven Strukturen und selbstgesteuert durch die Individuen (Tenberg 2006, 83–85; Tenberg et al. 2019, 137–143).

Verschiedene Fachdidaktiker/-innen, die sich mit Fundamentalen Ideen (bzw. Basiskonzepten) beschäftigen, greifen auf ein gemäßigt-konstruktivistische Verständnis von Lernprozessen zurück (Modrow 2003, 19–22; Sander 2009, 57; Sander 2013, 100; Modrow und Strecker 2016, 14–15). Sie betonen die Vorstellung von Lernprozessen als aktive individuelle und gemeinschaftliche Wissenskonstruktion, die auf vorhandenen Vorstellungen und dem Vorwissen der Lernenden aufbauen. Die Fundamentalen Ideen (bzw. Basiskonzepte) unterstützen Lernende, eigene kognitive Landkarten zu konstruieren und dieses Modell der Wirklichkeit in aufeinander aufbauenden Lernprozessen zunehmend zu schärfen. Wissen wird mit Hilfe von Fundamentalen Ideen geordnet und vernetzt oder es wird in bereits bestehende Wissensstrukturen eingebettet. Lernende werden dabei angeregt, ihre konzeptuellen Vorstellungen im Austausch mit anderen zu entwickeln, weiterzuentwickeln oder zu verändern. Dieses lehr-lerntheoretische Verständnis für die Verwendung Fundamentalener Ideen liegt sehr dicht an der ursprünglichen Idee, die Bruner mit seiner programmatischen Schrift „Der Prozeß der Erziehung“ zu den fundamentalen Ideen einer Disziplin vorgelegt hat.

Konzeptuelles Lernen und Conceptual Change

Ein genaueres Verständnis davon, wie Lernende fachbezogene Konzepte und Vorstellungen entwickeln und verändern und ihre fachbezogenen Wissensbestände ordnen und umstrukturieren, liefern Conceptual Change-Ansätze. Nach Gropengießer und Marohn werden unter dem Begriff „Vorstellungen“ (englisch: „conceptions“) verschiedene „subjektive gedankliche Konstruktionen“ verstanden (Gropengießer und Marohn 2018, 51). Diese können unterschiedlich komplex sein. Die als Fundamentale Ideen in dieser Arbeit betrachteten Konzepte und Prinzipien liegen auf einer mittleren Komplexitätsebene möglicher Arten von Vorstellungen, oberhalb einzelner Begriffe und unterhalb von Theorien oder Weltbildern (Gropengießer und Marohn 2018, 51–52). Kognitionspsychologisch werden Konzepte als gedankliche Konstrukte angesehen, „die dazu dienen, Wahrnehmungen zu ordnen, zu interpretieren und zu einem systematischen Zusammenhang zu verknüpfen“ (Kahler 2009, 194).

Als **Conceptual Change** wird die Umstrukturierung von Wissensbeständen und Veränderung von Vorstellungen bezeichnet, z.B. von Alltagswissen zu fachspezifischem Wissen oder die Weiterentwicklung von fachbezogenen Konzepten (Schecker et al. 2018, 28–29). Darunter werden sowohl diskontinuierliche, deutliche Sprünge oder Wechsel von Vorstellungen als auch deren kleinschrittige prozesshafte Fortentwicklung, Ausdifferenzierung oder Rekonstruktion verstanden (Gropengießer und Marohn 2018, 57). Die Veränderung einzelner Konzepte kann auch dazu führen, dass größere Wissensstrukturen umstrukturiert werden. Möller schlägt vor, „**konzeptuelle Entwicklung**“ oder „**Konzeptveränderung**“ zu verwenden, um dem Prozesshaften bei der Entwicklung von Vorstellungen, Ideen und Begriffen stärker Rechnung zu tragen und den Begriff nicht auf radikale stufenförmige Konzeptwechsel einzuschränken (Möller 2015, 244). Die Erklärungen dafür, wie, wann und wodurch konzeptuelle Entwicklung erfolgt, sind in den Theorieansätzen unterschiedlich. Sie reichen von kognitiven Konflikten aufgrund widersprüchlicher Wahrnehmungen als Auslöser über eine bewusste Verschiebung von kognitiven Kategorien, die kontinuierliche Anreicherung und Uminterpretation der bestehenden Vorstellungen bis hin zur zunehmenden Vernetzung von einzelnen, isolierten Wissensbruchstücken zu komplexen und koordinierten Vorstellungen (Gropengießer und Marohn 2018, 57–59).

Für diese Arbeit, die sich mit dem Nutzen und dem Einsatz von Basiskonzepten bzw. Fundamentalen Ideen als fachdidaktisches Instrument befasst, ist besonders der Conceptual Change-Ansatz von DiSessa bedeutsam. DiSessa modelliert mit seinem Ansatz „**Knowledge in Pieces**“, der seinen Ursprung in der Physikdidaktik hat, wie sich die Wissensentwicklung von Anfänger(inn)en hin zu fachlichen Expert(inn)en beschreiben und fördern lässt. Bezugspunkte sind für ihn die erwähnte Äquilibrationstheorie von Piaget und ein konstruktivistisches Grundverständnis von Lernen, welches selbstreferenziell auf vorher Gelerntem aufbaut (diSessa 1988, 61–62; diSessa 2018, 68). Die Stärke seines Ansatzes ist, dass er kurzfristige, alltagsbezogene und fragmentierte Wissensbausteine, wie sie Lernende oftmals in organisierte Bildungszusammenhänge (ein-)bringen, konzeptionell mit

einem systematischen, strukturbetonen und langfristigen Wissensaufbau verbindet, der das Wissen von Expert(inn)en charakterisiert (diSessa 2018, 65–68). DiSessa nutzt zur Beschreibung und Erklärung insbesondere zwei komplementäre Wissensarten, nämlich „Phenomenological Primitives“ – kurz: „p-prims“ – und „Coordination Classes“.

Alltagswissen besteht aus vielen isolierten Wissensbruchstücken, den p-prims, die Menschen individuell unterschiedlich eher intuitiv als einfache Abstraktionen aus konkreten Situationen entwickeln (z.B. im Bereich der Physik die Vorstellung, dass ein erhöhter Widerstand das Ergebnis einer Anstrengung vermindert). Diese Wissensfragmente haben sich in ihrem Entstehungskontext bewährt, sind aber oftmals nicht oder nur lose miteinander verbunden. „P-prims are elements of intuitive knowledge that constitute people's "sense of mechanism," their sense of which happenings are obvious, which are plausible, which are implausible, and how one can explain or refute real or imagined possibilities" (diSessa 2018, 69). P-prims sind häufig nicht richtig oder falsch, sondern sie funktionieren in dem Kontext, in dem sie entwickelt wurden. In anderen Kontexten führen sie aber nicht zu adäquaten Ergebnissen. Lernenden sind ihre vielfältigen Wissensfragmente wie auch deren Inkohärenz nicht unbedingt bewusst (diSessa 1988, 50–55; diSessa 2018, 69–70). Im Gegensatz dazu ist das Wissen von Expert(inn)en in einer Domäne über fachbezogene wissenschaftliche Konzepte stärker strukturiert, kohärent zueinander und die einzelnen Wissensbestände sind in einem hohen Ausmaß miteinander vernetzt. Dies bezeichnet der Knowledge in Pieces-Ansatz als „Coordination Classes“. Diese mentalen Modelle und Konzepte von Expert(inn)en sind umfangreich und komplex. Sie ordnen und strukturieren Wissensfragmente und machen sie kontextstabil und explizierbar (z.B. im Bereich der Physik das Gleichgewicht von Kräften oder Drehmomenten). “[T]he core function of concepts is to read out particular concept-relevant information reliably across a wide range of circumstances, unlike the slip-sliding activation of p-prims” (diSessa 2018, 73).

Übertragen auf die Fragestellung dieser Arbeit können Basiskonzepte bzw. Fundamentale Ideen eines Faches als Coordination Classes betrachtet werden. DiSessas Modell von konzeptueller Entwicklung bietet so Ansatzpunkte für die fachdidaktische Herausforderung, über die zu entwickelnden Fundamentalen Ideen die Wissensbestandteile von Lernenden (als p-prims) stärker zu integrieren und zu vernetzen und entlang von fachbezogenen Grundideen und Prinzipien spiralförmig zu entwickeln.

DiSessa sieht konzeptuelles Lernen als einen kontinuierlichen Prozess an, der intuitives Denken Schritt für Schritt durch bewusstes und systematisches Verwenden von Regeln und Modellen ersetzt. Er grenzt sich damit von Ansätzen ab, die Conceptual Change als diskontinuierlichen, sprunghaften Vorgang modellieren (diSessa 2018, 81–82). Um Lernende dabei zu unterstützen, ihre Wissensbausteine zunehmend miteinander zu vernetzen und zu fachlich adäquaten Konzepten auszubauen, ist die systematische Entwicklung von Coordination Classes notwendig. Die einzelnen p-prims müssen in Lernprozessen in komplexere Strukturen eingebunden werden. Diese Integration kann über Lernkontexte gefördert werden, in denen Lernende ihr Wissen aus verschiedenen Perspektiven betrachten, in

unterschiedlichen Anwendungszusammenhängen einsetzen und Erfahrungen über einen längeren Zeitraum sammeln können (diSessa 1988, 62–63). Ausgangspunkt dabei sind die vorhandenen Wissensfragmente der Lernenden. Sie sind der Grundstock, auf dem weitere Lernprozesse im konstruktivistischen Sinn aufbauen können – und müssen, da nur diese zur Verfügung stehen. Lernunterstützung hat zum Ziel, auf dieser Grundlage Schritt für Schritt die Entwicklung von fachlichen/wissenschaftlichen Konzepten bei den Lernenden zu fördern und ihnen zu ermöglichen, diese in verschiedenen Kontexten und unter verschiedenen Bedingungen produktiv anzuwenden. Ihr Wissensbestand wird auf diese Weise immer stärker systematisiert und integriert (diSessa 1988, 51, 68; diSessa 2018, 74). Metakognitives Wissen trägt zudem dazu bei, dass Lernende die Zusammenhänge ihres Wissens und seine Grenzen bewusst wahrnehmen, prüfen und weiterentwickeln. Damit können Lernende besser verstehen, wie die Entwicklung und Integration von Wissen verläuft, sodass sie ihre eigenen (Meta-)Lernprozesse mitgestalten können (diSessa 1988, 51).

Die Kompetenzentwicklung im Rahmen der beruflichen Ausbildung erfordert ebenfalls konzeptuelle Entwicklung und das (Um-)Strukturieren von fachlichen Wissensbeständen. Der Knowledge in Pieces-Ansatz ist hierfür interessant, wengleich die Konzepte in berufsbildenden Kontexten anderer Art sind als in allgemeinbildenden Kontexten: Auszubildende erwerben im lernfeldorientierten Ausbildungskonzept Arbeitsprozesswissen (zunächst als berufliches Erfahrungswissen), welches im Laufe der Ausbildung schrittweise zu berufsbezogenen Begriffen, Konzepten und Theorien verallgemeinert werden soll, wodurch sich so genannte „praktische Begriffe“ herausbilden (Lehberger 2018, 477). Die Auszubildenden müssen in diesen Lernprozessen ihre bereits vorhandenen Wissensbausteine im Laufe der Ausbildung zunehmend stärker vernetzen und integrieren, um von Anfänger(inne)n zu fachliche Expert(inn)en zu werden. Die Strukturierung und Verallgemeinerung beruflichen Erfahrungs- und Theoriewissens erfolgt ebenfalls auf bereits vorhandenem Wissen und erweitert bestehende Begriffe bzw. strukturiert sie um (Lehberger 2018, 476–477). Berufliche Bildungsprozesse haben die Funktion, „Arbeitsprozesswissen als einen Prozess der subjektiven Entwicklung beruflicher Konzepte mit ihren Bedeutungsfeldern zu vermitteln“ (Rauner 2010, 106). Diese beruflichen Konzepte haben für die Facharbeiter/-innen in ihrem beruflichen Alltag andere Bedeutungsfelder, als dies beispielsweise bei Ingenieur(inn)en der Fall ist. Das Herausbilden der jeweiligen Bedeutungsfelder von beruflichen Konzepten, welche objektive und subjektive Aspekte kombinieren, vertieft das Arbeitsprozesswissen nach und nach (Rauner 2010, 105). Dabei finden vielfältige konzeptuelle Entwicklungsprozesse statt. In diesen werden „subjektive Bedeutungsfelder von Fachbegriffen und mentalen Modellen (Vorverständnis) vom Anfänger in professionsbezogener Weise erweitert oder umstrukturiert [...], bis er die Expertise einer Fachkraft erreicht hat“ (Lehberger 2018, 477). Fachdidaktische Forschungsarbeiten zu fachrichtungsspezifischem Conceptual Change in einzelnen beruflichen Feldern liegen bislang nicht vor (Lehberger 2018, 478).

2.2.4 Anwendung von Fachkompetenz und Wissenstransfer in der beruflichen Bildung

Die beschriebene konzeptuelle Entwicklung schafft die Voraussetzung, dass Lernende auch unbekannte Problemstellungen fachlich einordnen und passende Lösungsansätze für die Bearbeitung entwickeln können. Wie in der Einleitung dieser Arbeit beschrieben, ist dies auch für berufliche Fachkräfte eine typische Anforderung (siehe Unterkap. 1.1).

Insgesamt tragen verschiedene Arten von Wissen dazu bei, dass fachlich-methodischen Kompetenzen in der beruflichen Bildung umfassend praktisch eingesetzt werden können (Tenberg et al. 2019, 105–109; aufbauend auf Renkl, der einem konstruktivistischen Grundansatz folgt): **Deklaratives Wissen** (Sachwissen in Abbildung 9) umfasst vernetztes Faktenwissen, zu dem auch das Wissen über fachliche Konzepte zählt. **Prozedurales Wissen** bezeichnet Handlungs- und Strategiewissen, auf welche Weise, in welchen Schritten und mit welchen Methoden etwas getan wird (Prozesswissen in Abbildung 9). **Konditionales Wissen** ist für den zielgerichteten Zugriff auf die verschiedenen Wissensbestände mit Blick auf das Handeln notwendig, und **konzeptuelles Wissen** ermöglicht die Reflexion und das Verständnis über das eigene Wissen auf einer übergeordneten kognitiven Ebene. Pittich formuliert die Begrifflichkeiten für sein Modell in Abbildung 9 teilweise um, bleibt jedoch inhaltlich dicht an den ursprünglichen Bedeutungen. Der spätere Transfer des Wissens kann insbesondere dann gut gelingen, wenn die verschiedenen Wissensarten bereits beim Wissenserwerb vielfältig aufeinander bezogen und miteinander vernetzt werden, weil das Wissen dann zusammen mit Anwendungsbedingungen und Begründungszusammenhängen gespeichert wird (Tenberg 2006, 88–92).

Lernenden fällt eine Anwendung ihres Fachwissens auf neue unbekannte Problemstellungen oft schwer. Für die berufliche Bildung gehen Tenberg et al. davon aus, dass das Fachwissen bei Auszubildenden oftmals in einer Form vorhanden ist, die seine Anwendung in anderen Situationen deshalb nicht erlaubt, weil das konzeptuelle Wissen unzureichend ausgeprägt ist und weil Fakten- und Handlungswissen zu wenig aufeinander bezogen werden können (Tenberg et al. 2019, 144–151; Aprea 2018, 497–501).

Für die Bewältigung auch umfassender beruflicher Problemstellungen hat ein ausgeprägtes konzeptuelles Wissen besondere Bedeutung, weil es zum tieferen Verständnis von deklarativem und prozeduralem Wissen beiträgt, dieses breiter fundiert und es für zukünftige neue Anwendungszusammenhänge flexibilisiert. Das konzeptuelle Wissen – bei Pittich als Reflexionswissen bezeichnet – unterstützt, die anderen Wissensarten auch in unbekanntem Situationen in passender Weise verfügbar zu machen, was auch kognitionstheoretisch und motivational besonders bedeutsam ist (Tenberg et al. 2019, 107–108).

Damit wird der Bogen zu den in dieser Arbeit fokussierten Fundamentalen Ideen geschlossen: Erst unter Verwendung des konzeptuellen Wissens bzw. des Reflexionswissens können Lernende ihre fachlich-methodischen Kompetenzen für unterschiedliche, auch neuartige berufliche Problemstellungen einsetzen und zusammen mit den aktivitäts- und umsetzungsorientierten Kompetenzen in berufliches Handeln übersetzen (siehe Abbildung 9).

Dies erlaubt ihnen das Ausführen nicht nur spezifischer, sondern auch variabler Handlungen durch eine selbstständig erweiterbare Handlungsfähigkeit, z.B. wenn es neue Entwicklungen in ihrem beruflichen Umfeld gibt (vgl. Tenberg et al. 2019, 109) – oder wie in Abschnitt 2.1.1 formuliert, den **nicht-spezifischen Transfer** ihres Fachwissens.

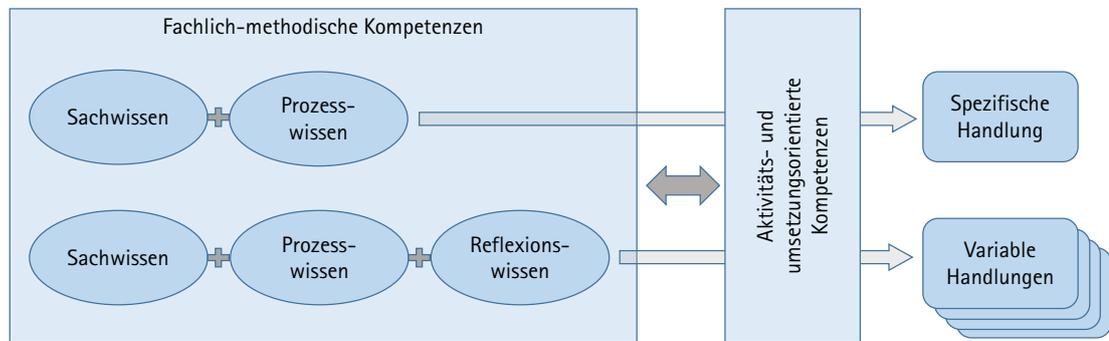


Abbildung 9: Fachlich-methodische Kompetenzen als Grundlage für variables Handeln (siehe Tenberg et al. 2019, 109; eigene Darstellung)

Nach konstruktivistischem Lernverständnis sind Wissenserwerb und seine Anwendung nicht voneinander zu trennen, da die erfolgreiche Anpassung fachbezogener kognitiver Strukturen nur dann möglich ist, wenn das neue Wissen auch als anwendungsrelevant eingeschätzt wird. Die Übertragung des Wissens wird von den Lernenden erprobt und beeinflusst bei erfolgreicher Anwendung dann die Ausdifferenzierung der fachbezogenen Strukturen. Der Transfer gelingt dann leichter, wenn die Kontexte von Wissenserwerb und Wissensanwendung und die Struktur der Problemstellungen und Lösungsansätze ähnlich sind (Aprea 2018, 497). Diese Erkenntnis des **Situiertheitsansatzes** der Lehr-Lern-Forschung hat grundlegende Auswirkungen auf die Gestaltung von Lehr-Lern-Prozessen. Zum Beispiel müssen – zumindest in Teilen – die Kontextbedingungen und strukturellen Ähnlichkeiten von den Lernenden auch wahrgenommen und als solche erkannt werden. Lernende sollten also möglichst bereits beim Lernen etwas über die Strukturen und Bedingungen der Problemstellung und der möglichen Lösung(en) mitlernen, um passende Situationen zu erkennen, in denen das Fachwissen ebenfalls angewendet werden kann, und das Wissen soweit dekontextualisieren zu können, dass ein Transfer auf die neue Problemstellung oder Situation möglich wird. Diese Erkenntnisse der Lehr-Lern-Forschung sind auch für die Fachdidaktiken relevant (Aprea 2018, 497). Demuth, Ralle und Parchmann sehen in der Verbindung von situiertem Lernen und Basiskonzepten einen vielversprechenden Weg, Lernenden durch häufiges Anwenden und Üben von Wissen in verschiedenen inhaltlichen Zusammenhängen („Lernen im Kontext“) das Kontextualisieren und Dekontextualisieren von Wissen und damit seine Übertragung zu erleichtern (Demuth et al. 2005, 59; vgl. auch Parchmann und Kuhn 2018, 194–195). Strukturelle Merkmale einer

Lernsituation werden nach den Annahmen der Transferforschung teilweise auch unbewusst mit in den mentalen Modellen gespeichert.

Mit dem Ansatz der Fundamentalen Ideen werden grundlegende Strukturen für eine fachliche Domäne herausgearbeitet. Über die oben beschriebenen Mechanismen können sie den Aufbau von ordnenden Konzepten und Wissensstrukturen unterstützen und Lernenden (Auszubildenden wie auch Lehramtsstudierenden) bei der individuellen Konstruktion und Vernetzung von fachlichen Wissensbeständen helfen – auf der Ebene des deklarativen Wissens sowie insbesondere auch auf der Ebene des konzeptuellen bzw. Reflexionswissens. Durch den Bezug auf wenige Grundideen oder -prinzipien wird die Anwendbarkeit und die Übertragbarkeit fachlicher Wissensbestände auf neue fachlich-methodische Problemstellungen erleichtert.

2.3 Didaktische Ausgangspunkte für die berufliche Fachrichtung Elektrotechnik

Für die Elektrotechnik wurden bislang noch keine Fundamentalen Ideen (oder vergleichbare Konzepte) formuliert. Bevor deshalb didaktische Ausgangspunkte für deren Entwicklung gesucht werden, sollen zunächst einige Merkmale das Charakteristische der Fachrichtung verdeutlichen: Die Elektrotechnik als fachliche Domäne ist durch ein hohes Maß an Abstraktion gekennzeichnet. Strom und Spannung sind den menschlichen Sinnen nicht direkt zugänglich, sondern vornehmlich die Wirkungen elektrischer Energie (Jenewein 2010, 427; Bumiller et al. 2020, 33). In der Elektrotechnik wird deshalb viel mit Modellen gearbeitet oder es werden Messverfahren eingesetzt, um die elektrotechnischen Phänomene „fassbarer“ und verständlich zu machen. Die Grundlagen für diese Phänomene sind in der Physik zu finden; die beiden Fächer sind eng verknüpft. Durch diese Merkmale ist der theoretisch-fachliche Zugang zur Elektrotechnik anspruchsvoll und insbesondere aus einer handlungsorientierten Perspektive der beruflichen Bildung didaktisch nicht ganz leicht herzustellen. Hier erfolgt der Zugang über den Gebrauchswert von Technik. Bremer und Haasler formulieren dies so, dass Elektrizität als eine Art „Hilfsstoff“ fungiert, der dazu dient, eine komplexe fachliche Aufgabe zu lösen (Bremer/Haasler 2004, S. 172).

Vor der eigenen Untersuchung wurden bestehende Ansätze und Vorarbeiten gesichtet und daraufhin ausgewertet, welche Erkenntnisse sie für die Entwicklung Fundamentalener Ideen bieten können. Es wurden solche Ansätze einbezogen, die der Elektrotechnik fachlich möglichst nah sind, sich auf Grundprinzipien oder fachliche Kerne beziehen, und die das Ziel verfolgen, didaktische Relevanz- und Auswahlentscheidungen bzgl. fachlicher Lernprozesse zu unterstützen. Idealerweise sollten diese Ansätze und Vorarbeiten zudem einen Bezug zur beruflichen Bildung haben.

Im ersten Schritt wurde nach einem anerkannten fachbezogenen Body of Knowledge (= abgestimmter Wissenskanon) gesucht, wie er in manchen Fächern von Fachgesellschaften für ein Fach formuliert ist. Auch so etwas findet sich für die Elektrotechnik nicht. Bezogen auf das ingenieurwissenschaftliche Studium der Elektrotechnik haben die deutschen Fakultäten- und Fachbereichstage Empfehlungen für die Hochschulen vorgelegt, wie der Kompetenzerwerb im Studium gestaltet und die Studiengänge dafür aufgebaut werden sollten (FTEI Fakultätentag für Elektrotechnik und Informationstechnik e.V. 2020; Fachbereichstag Elektro- und Informationstechnik 12.11.2021). In diesen Empfehlungspapieren werden auch fachliche Lehrinhalte benannt, teils auf der Ebene der Teilgebiete der Elektro- und Informationstechnik mit einzelnen Beispielen (z.B. „Grundlagen der ETIT“, „Grundlagen der Elektrotechnik, Systemtheorie“; siehe FTEI Fakultätentag für Elektrotechnik und Informationstechnik e.V. 2020, 9), teils mit umfänglichen Tabellen, die Themenkomplexe, Einzelthemen und Kompetenzstufen beinhalten (z.B. „Elektrische Netzwerke bei Gleichstrom“, Kompetenzstufe Verstehen, Einzelthemen: Widerstand und Leitwert, Ohm'sches Gesetz, Strom- und Spannungsquellen, Kirchhoff'sche Sätze, Knotenspannungsanalyse, Maschenstromanalyse, Superpositionsprinzip, Inzidenzmatrizen, Zweipoltheorie, Energie, Leistung, Wirkungsgrad, Grundlagen elektrischer Messtechnik, nicht-lineare 2-pol Kennlinien; siehe Fachbereichstag Elektro- und Informationstechnik 12.11.2021, 8–9)⁷. Die in diesen Papieren vorgeschlagenen Strukturen und Inhalte folgen der üblichen Fachsystematik, sodass sie für die Suche nach Fundamentalen Ideen keinen direkten Beitrag liefern. Zudem fokussieren sie ausschließlich die berufliche Perspektive von (angehenden) Ingenieurinnen und Ingenieuren.

Um Hinweise auf passende Ansatzpunkte für die Entwicklung Fundamentaler Ideen für die berufliche Fachrichtung Elektrotechnik zu finden, wurde der Suchradius deshalb ausgedehnt. Die bisherige fachdidaktische Forschung in der Elektrotechnik sowie angrenzend in der Technikdidaktik bietet einige für die Fragestellung interessante Zugänge, die im Folgenden vorgestellt und eingeordnet werden. Die vier vorgestellten Ansätze haben alle zum Ziel, Beiträge zur Auswahl von Lerninhalten im Bereich der Elektrotechnik (teilweise auch der Technik/den Ingenieurwissenschaften allgemein) zu liefern⁸. Ihr Ausgangspunkt ist jeweils, was Lernende unbedingt/mindestens erlernen und verstehen sollten. Die adressierten Zielgruppen sind dabei nicht immer gleich; teils werden Schüler/-innen allgemeinbildender Schulen, teils Auszubildende oder Studienanfänger/-innen angesprochen. Nur zwei Ansätze haben einen expliziten berufsbildenden Bezug.

⁷ Einen ähnlichen Weg geht Jambor, der auf der Basis von schulischen und hochschulischen Ordnungsmitteln Kerninhaltsbereiche und Kernkompetenzen für das Gebiet der elektrotechnischen Grundlagen herausgearbeitet hat. Er beschreibt diese als einen Zwischenschritt zur Entwicklung von Bildungsstandards (Jambor 2022, 415–478).

⁸ Die Rechercheergebnisse, die diesem Unterkapitel zugrunde liegen, sind im Kontext der 15. Ingenieurpädagogischen Regionaltagung der Ingenieurpädagogischen Wissenschaftsgesellschaft (IPW) 2021 bereits vorgestellt und veröffentlicht worden (Stender und Krugel 2022).

2.3.1 Der Ansatz des „Engineering Design“

Der erste Ansatz entspringt der Diskussion um technische Allgemeinbildung im High-school-System der USA („K-12“). Es wird damit so etwas wie eine „Technological Literacy“ für alle Schulabsolventinnen und -absolventen angestrebt. Der Ansatz unterscheidet deshalb nicht nach ingenieurwissenschaftlichen Disziplinen, sondern rückt die übergreifenden Denk- und Arbeitsweisen technisch-ingenieurwissenschaftlichen Arbeitens in den Mittelpunkt. Den Lernenden soll der Kern technisch-ingenieurwissenschaftlichen Denkens und Handelns vermittelt werden, und sie sollen verstehen, was das Typische einer technisch-ingenieurwissenschaftlichen Perspektive auf gesellschaftliche Herausforderungen und Problemstellungen ist. Der Ansatz ordnet sich in die fachdidaktische Diskussion um Bildungsstandards ein und formuliert zwei übergreifende „Core Ideas“ und weitere grundlegende Engineering Concepts.

Als „Core Ideas“ werden *Engineering Design*, der Prozess des ingenieurwissenschaftlichen Designs von technischen Systemen, sowie *Links Among Engineering, Technology, Science, and Society*, d.h. die Verknüpfung technisch-ingenieurwissenschaftlicher Problemlösungen mit gesellschaftlichen Herausforderungen, benannt (National Research Council 2012, 203). Die hier verwendete Idee von Core Ideas oder Core Concepts ist den Fundamentalen Ideen bzw. Basiskonzepten konzeptionell sehr ähnlich, was den Ansatz interessant für die Fragestellung dieser Arbeit macht: Hier sind für die Ingenieurwissenschaften bereits wenige Grundprinzipien und -konzepte formuliert worden, die in vielen Bereichen der Ingenieurwissenschaften und in ihrer historischen Entwicklung erkennbar sind. Es erfolgt eine Konzentration auf zunächst lediglich zwei Core Ideas, die dann jeweils in 2-3 Component Ideas aufgeschlüsselt werden. Insbesondere die erste Idee *Engineering Design* enthält zudem eine deutlich erkennbare handlungsorientierte Perspektive (National Research Council 2012, 203–214). Diese Core Ideas wurden aus Vorarbeiten entwickelt, welche zunächst stärker auf technologische und ingenieurwissenschaftliche Grundkonzepte ausgerichtet waren (International Technology Education Association 2007, National Research Council 2009, National Research Council 2010). Das Vorgehen ist vom Grundansatz ähnlich wie bei Schwill für die Fundamentalen Ideen mit der Betrachtung des Softwareentwicklungsprozesses; hier wurde mit dem ingenieurwissenschaftlichen Designprozess ebenfalls ein zentraler bereichstypischer Arbeitsprozess als Grundlage genommen, um diesen in seinen einzelnen Teilschritten auf wichtige Ideen, Prinzipien und Konzepte hin zu analysieren.

Aus der vertieften Analyse, wie Designprozesse als ingenieurbezogene Problemlösungsprozesse konkret gestaltet werden, werden aus verschiedenen Quellen aggregiert 15 zentrale Engineering Concepts benannt (siehe Tabelle 1): Ingenieurwissenschaften gestalten die Welt den menschlichen Bedürfnissen entsprechend. Eine typische Herangehens- bzw. Arbeitsweise ist dabei das *Design* einer Problemlösung unter der Berücksichtigung von *Rahmenbedingungen*. Die Arbeit von Ingenieur(inn)en erfolgt mittels Design und Redesign, einem *kreativen und sozial eingebetteten Herangehen*. Das fachbezogene Denken er-

folgt in technischen *Systemen*. Die verwendeten Komponenten haben bestimmte *Spezifikationen*. Durch die Anforderungen an die Lösung, die *physikalischen Gesetzmäßigkeiten* u.a., ergeben sich *Randbedingungen* für die zu entwickelnde Lösung. Das technische System hat *Emergent Properties*, Eigenschaften, die erst im fertigen System entstehen und mehr sind als die Summe seiner Teile. Ein wichtiges Konzept ist auch *Struktur-Verhalten-Funktion*, was auf verschiedene, miteinander zusammenhängende Systemebenen abzielt. *Modellieren* mittels verschiedener Arten von Modellen ist ein wichtiges Instrument. Auf Basis der Modellierung sollen *Vorhersagen* möglich werden. Das Design wird dann *iterativ optimiert*, indem gleichzeitig mehrere Variablen und ihre Einflüsse aufeinander berücksichtigt werden. Dabei müssen *Abwägungen* gemacht und *Kompromisse* gefunden werden (National Research Council 2009, 119–147).

Tabelle 1: Ingenieurwissenschaftliche Konzepte in den übergeordneten Bereichen Systeme und Optimierung (Tabelle im Original siehe National Research Council 2009, 121)

Systems	Optimization
Structure-behavior-function*	Multiple variables*
Emergent properties*	Trade-offs*
Control/feedback	Requirements
Processes	Resources
Boundaries	Physical laws
Subsystems	Social constraints
Interactions	Cultural norms
	Side effects

*Related empirical research on K–12 students is available on these concepts.

Der Ansatz des „Engineering Designs“ ist für diese Arbeit interessant, weil er mit den beiden Core Ideas und den Engineering Concepts auf einer Ebene ansetzt, die der der Fundamentalen Ideen ähnlich ist. Die Ideen und Konzepte sind übergreifend formuliert und stellen das fachlich typische Herangehen an Problemstellungen in den Fokus.

Der Ansatz ist in der allgemeinen schulischen Bildung verortet. Ein Berufsbezug ist daher nicht direkt vorhanden. Allerdings könnten einige der ingenieurwissenschaftlichen Konzepte aus der Tabelle auch für den Kompetenzerwerb von beruflichen Fachkräften nutzbringend sein: Handwerker/-innen oder Facharbeiter/-innen in den Elektroberufen konzipieren bei der Planung einer neuen Gebäudeinstallation oder einer elektrischen Anlage ebenfalls ganze Systeme – wobei die Rahmenbedingungen oftmals ähnlich sein dürften

und selten Problemstellungen auftauchen, für die ein völlig neuer Lösungsansatz entwickelt werden muss. Auch die Handwerker/-innen oder Facharbeiter/-innen in den Elektroberufen müssen Informationen erheben und Anforderungen, Randbedingungen und Spezifikationen der verwendeten Komponenten zusammenbringen. Dies stellt ebenfalls Optimierungsanforderungen und ggf. sind mehrere Iterationen erforderlich, bis die bestmögliche Lösung gefunden und umgesetzt ist. Mit Modellierungen über Vorhersagen für das zu erstellende System wird weniger gearbeitet, allerdings gibt es IT-basierte Simulationmöglichkeiten der elektrischen Systeme, die bei den Handwerker(inne)n oder Facharbeiter(inne)n oft vor der eigentlichen technischen Realisierung zum Einsatz kommen. Bei Instandhaltungen oder Reparaturen müssen bestehende Systeme analysiert und dabei Beschränkungen und Nebeneffekte berücksichtigt werden.

Der Ansatz ist für die Berücksichtigung in dieser Arbeit zu wenig passgenau, da er auf eine umfassende Betrachtung von Technik und Ingenieurwissenschaften ausgerichtet ist und auf disziplinspezifische Core Ideas verzichtet. Es sind keine direkt auf die Elektrotechnik bezogenen Ideen und Konzepte formuliert worden. Hier wäre eine disziplinbezogene fachliche Ausdifferenzierung bzw. Ausformulierung der übergreifenden Ideen notwendig.

2.3.2 Der Ansatz über „Berufliche Handlungen“

Einen anderen Ansatzpunkt bieten die Ordnungsmittel der elektrotechnischen Ausbildungsberufe (insbesondere die Ausbildungsverordnungen). In diesen sind die Kompetenzziele der beruflichen Ausbildungen formuliert. Die Grundüberlegung für die Nutzung des Ansatzes in dieser Arbeit ist es, aus den in den Ausbildungsverordnungen formulierten beruflichen Handlungen das erforderliche Fachwissen und zugrundeliegende fundamentale Ideen abzuleiten. Ausgangspunkt ist hier das Ende der beruflichen Ausbildung, nämlich die Handlungen, die Fachkräfte nach Abschluss ihrer Ausbildung im Arbeitsalltag ausführen.

In den Ausbildungsverordnungen ist für die einzelnen elektrotechnischen Ausbildungsberufe formuliert, welches Wissen und welche fachlichen Kompetenzen als relevant bewertet werden, um eine umfassende berufliche Handlungskompetenz im jeweiligen Berufsprofil zu entwickeln. Diese Fertigkeiten, Kenntnisse und Fähigkeiten werden im Abschnitt zur Struktur der Berufsausbildung (§4 der Ausbildungsverordnungen) als „Berufsbildpositionen“ beschrieben und finden sich in gleicher Formulierung Ausbildungsrahmenplan wieder, wo sie aufgeschlüsselt werden. Für die Ausbildung zur „Elektronikerin bzw. zum Elektroniker der Fachrichtung Energie- und Gebäudetechnik“ werden z.B. Installieren und Inbetriebnehmen von Energiewandlungssystemen und ihren Leiteinrichtungen, Aufstellen und Inbetriebnehmen von elektrischen und elektronischen Geräten und das Installieren und Prüfen von Antennen- und Breitbandkommunikationsanlagen als drei fachrichtungsspezifische Berufsbildpositionen benannt (Verordnung zur Neuordnung der Ausbildung in handwerklichen Elektroberufen vom 09.04.2021. Bundesgesetzblatt Teil I Nr. 15, 700).

Diese werden jeweils hinterlegt mit teils umfangreichen Listen an zu vermittelnden Fertigkeiten, Kenntnissen und Fähigkeiten, z.B. wie folgt für die Berufsbildposition „Installieren und Inbetriebnehmen von Energiewandlungssystemen und ihren Leiteinrichtungen“:

„Beleuchtungssysteme installieren, Ladeinfrastruktur für Elektromobilität installieren, Blindleistungsregelungsanlagen und Filtertechniken installieren, Antriebssysteme installieren, insbesondere elektrische Maschinen aufstellen, mechanisch und elektrisch anschließen und in Betrieb nehmen, und Schutz gegen Wiederanlauf und Motorschutz prüfen, elektrische Wärmeerzeuger, Warmwassergeräte und dazugehörige Komponenten installieren, Energieversorgungs-, Energiewandlungs- und Energiespeichersysteme, auch zur Nutzung regenerativer Energiequellen, installieren und in Betrieb nehmen, Einrichtungen zum Schutz gegen statische Aufladungen und zum Schutz gegen Überspannung anwenden und installieren, Ersatzstromversorgungsanlagen installieren, erbrachte Leistungen dokumentieren“ (Verordnung zur Neuordnung der Ausbildung in handwerklichen Elektroberufen vom 09.04.2021. Bundesgesetzblatt Teil I Nr. 15, 708–709).

In den Ausbildungsverordnungen, Ausbildungsrahmenplänen und auch in den Rahmenlehrplänen findet sich kein expliziter Konzept- oder Ideenbegriff, der sich unmittelbar an Fundamentale Ideen oder Basiskonzepte anschließen ließe. Die Kompetenzelemente Fertigkeiten, Kenntnisse und Fähigkeiten in den Ausbildungsverordnungen und Ausbildungsrahmenlehrplänen werden konzeptionell nicht differenziert. Die handlungsorientierten Formulierungen sind diesbezüglich unscharf, was eine Hürde dieses Ansatzes für die Entwicklung Fundamentaler Ideen darstellt. Wenngleich diese Kompetenzelemente schon recht konkret und spezifisch sind, müssen das dafür jeweils benötigte Fachwissen und etwaige dahinterliegende fachliche Kerne noch abgeleitet werden.

Die Berufsbildpositionen sind zudem recht umfangreich (ca. 12–16 Positionen pro Ausbildungsberuf), sodass sich eine große Anzahl an Berufsbildpositionen ergibt, will man auch nur die größten Ausbildungsberufe einbeziehen. Bei diesem Ansatz wären deshalb mehrere konzeptionelle Schritte zu bewältigen, um von den beruflichen Handlungen rekonstruierend zu fachspezifischen Fundamentalen Ideen für die Elektrotechnik aus einer berufsorientierten Perspektive zu gelangen.

Ein Vorteil dieses Ansatzes für die Entwicklung Fundamentaler Ideen ist in dem direkten Berufsbezug zu sehen. Fundamentale Ideen, die ausgehend von den Berufsbildpositionen der einzelnen Berufe erarbeitet werden, sind voraussichtlich gut in der Lage, die Elektrotechnik als berufliche geprägte fachliche Domäne zu charakterisieren (und weniger als Ingenieurwissenschaft). Sie dürften zudem stärker auf das berufliche Handeln in den Elektroberufen ausgerichtet sein, als wenn sie aus der Fachwissenschaft heraus entwickelt werden.

2.3.3 Der Ansatz über „Inventories“

Ein empirisch orientierter Ansatzpunkt zur möglichen Entwicklung Fundamentaler Ideen findet sich in der Forschung zu fachbezogenen Vorstellungen, mentalen Modellen und Fehlvorstellungen von Lernenden über elektrotechnische Begriffe und Konzepte. Dieser basiert auf verschiedenen Conceptual Change-Ansätzen, was ihn für die Fragestellung dieser Arbeit interessant macht, und nutzt Methoden der lernpsychologischen Diagnostik wie z.B. Testverfahren. In diesem Ansatz werden solche empirischen Vorgehensweisen zusammengefasst, bei denen mit Hilfe von diagnostischen Instrumenten („Inventories“), Fragebögen oder Quiz über fachliche Fragen und Aufgaben Rückschlüsse auf zugrundeliegende kognitive Konzepte der Lernenden gezogen werden. Adressiert werden je nach diagnostischem Instrument Schüler/-innen oder Studierende. Eine ausführliche Sammlung von natur- und ingenieurwissenschaftlichen Concept Inventories hat Kautz angelegt und auf der Website seiner fachdidaktischen Abteilung an der TU Hamburg zugänglich gemacht⁹.

Anhand der in einem Inventory, einem Fragebogen oder einem Quiz bearbeiteten fachlichen Aufgaben und den dabei beobachteten bzw. erhobenen Lösungen von Lernenden werden Rückschlüsse auf ihre fachlichen Konzepte oder mentalen Modelle gezogen. Die Vorstellungen der Lernenden – bzw. insbesondere etwaige Fehlvorstellungen („Misconceptions“) – werden in den unterschiedlichen Herangehensweisen und Lösungswegen quasi beobachtbar gemacht (Kautz 2001; Timmermann und Kautz 2013; Kautz 2014).

Für elektrotechnische Grundlagen und verwandte Teilbereiche der Physik wie Gleichstromkreise, Wechselstromkreise oder elektrische und magnetische Felder finden sich mehrere validierte diagnostische Instrumente wie z.B. das „Electricity and Magnetism Conceptual Assessment (EMCA)“ (McColgan et al. 2017). Eine Analyse dieser einschlägigen Inventories ermöglicht, eine Übersicht von grundlegenden Gegenständen und Begriffen der Elektrotechnik zu gewinnen. Teilweise sind darin Vorstellungen wie Stromverbrauch, Batterien als Quellen konstanter Spannung oder die sequentielle und lokale Betrachtung von Schaltungen abgebildet, welche typische Fehlvorstellungen und ungeeignete Konzepte von Lernenden darstellen. Inventories sind deshalb nicht direkt zur Formulierung von Fundamentalen Ideen verwendbar.

Der verwendete Konzeptbegriff in den Inventories bleibt leider implizit, was eine große Hürde für die Nutzbarkeit des Ansatzes für die Fragestellung dieser Arbeit angeht. Es wird zwar erkennbar, dass die erhobenen (Fehl-)Vorstellungen auf grundlegende Ideen und fachliche Kerne abzielen, welche sich bereits über eine längere Zeit hinweg als typische Hürden bzw. positiv gewendet als wesentlich für ein gutes Verständnis des Faches gezeigt haben. Eine theoretische Fundierung wird allerdings nicht vorgenommen, und die einzelnen Konzepte bzw. zugrundeliegende umfassendere Ideen werden oftmals nicht explizit

⁹ siehe <https://cgi.tu-harburg.de/~zllwww/fachdidaktik/ci/>, aufgerufen am 25.10.2023

dargestellt. Sie müssten zunächst herausgearbeitet und daraufhin geprüft werden, ob sie als Fundamentale Ideen gelten könnten.

Zudem sind die Fragebogeninstrumente meist auf die allgemeine Bildung ausgerichtet und nicht für einen Einsatz im berufsbildenden Bereich konzipiert und validiert. Zur Weiterentwicklung des Ansatzes hin zu Basiskonzepten bzw. Fundamentalen Ideen für die Elektrotechnik wäre deshalb zunächst eine Auswahl fachlich einschlägiger Inventories und eine stärkere und systematische Explikation der darin untersuchten Konzepte notwendig. Es müsste geprüft werden, welche der genutzten Begriffe und Konzepte für die Ausbildung in elektrotechnischen Berufen ebenfalls relevant und auch übertragbar sind.

2.3.4 Der Ansatz „Wesentlicher Elemente und Strukturen“

Der vierte Ansatz setzt wieder explizit in der beruflichen Bildung im Bereich Elektrotechnik an. Er liegt in einer ingenieurpädagogischen Tradition und richtet sich an (angehende) berufliche Lehrkräfte. Der Ansatz ist heute nicht mehr aktuell, was seine konkreten Inhalte und zugrundeliegende Bildungsvorstellungen angeht, da er aus den 1980er Jahren stammt und die damaligen Ausbildungen für Elektroberufe in der DDR in den Blick nimmt. Allerdings wurde auch in diesem Ansatz versucht, die Frage nach relevantem fachlichen Wissen für die Auszubildenden auf einer grundlegenden Konzeptebene zu beantworten, was ihn für die Fragestellung dieser Arbeit interessant macht.

Rose und Thomas formulieren ausgehend von den beruflichen Anforderungen „wesentliche Elemente und Strukturen“ für verschiedene fachliche Teilgebiete der Ausbildung in den elektrotechnischen Berufen wie z.B. Grundlagen der Elektrotechnik, Elektrotechnische Anlagen, elektrische Maschinen oder Grundlagen der Elektronik (Rose und Thomas 1986, 18–19). Diese Elemente und Strukturen sind aus ihrer Sicht elementar für die Auswahl der Unterrichtsinhalte sowie die methodische Gestaltung des berufsschulischen Unterrichts. Sie bilden das „Grundwissen“, worunter diejenigen Wissensbestände verstanden werden, die im beruflichen Alltag der Facharbeiter/-innen jederzeit verfügbar und anwendbar sein sollen und auf deren Basis weiteres Fachwissen oder neue Wissensbestände aufgebaut werden können.

Die „wesentlichen Elemente“ sind verschiedenen Kategorien der Fachwissenschaft Elektrotechnik entnommen, z.B. physikalischen Größen wie Energie, Effekten wie der Gasentladung, Wirkungsprinzipien wie der Rückkoppelung, wesentlichen Bauelementen wie Widerständen oder Kondensatoren sowie Netzwerken als Systeme. Hinzu kommen bedeutende Aussagen über technische Objekte und zentrale Untersuchungs- und Darstellungsmethoden. Als „wesentliche Strukturen“ werden für die elektrotechnischen Ausbildungsberufe grundlegende Beziehungen zwischen den wesentlichen Elementen wie z.B. Klassifikationen oder das systematische Formulieren und Prüfen von Hypothesen verstanden (Rose und Thomas 1986, 18).

Das Vorgehen dieses Ansatzes hat einen ähnlichen Ausgangspunkt wie der Ansatz über die beruflichen Handlungen: Aus den Anforderungen der beruflichen Tätigkeiten werden relevante fachliche Inhalte der berufsschulischen Ausbildungsteile rekonstruiert, um hiermit die Auswahl der Unterrichtsinhalte begründen zu können. Rose und Thomas gehen konzeptionell insofern weiter, als dass sie das Konstrukt wesentlicher Elemente und Strukturen verwenden, um die verschiedenen fachlichen Teilgebiete unter einer einheitlichen Perspektive zu analysieren. Sie suchen mit den wesentlichen Elementen und Strukturen nach fachlichen Kernen und roten Fäden in den möglichen Unterrichtsinhalten, wenngleich sie dabei noch eher dicht an den fachlichen Gegenständen bleiben.

Rose und Thomas beziehen sich dabei auf den damals noch vorhandenen berufstheoretischen Unterricht. Ein Vergleich mit dem heutigen kompetenzorientierten Ansatz und dem Fokus auf Handlungskompetenz ist kaum möglich. Der berufliche Alltag und in Verbindung damit dann auch die beruflichen Ausbildungen sind durch technische und gesellschaftliche Veränderungen seitdem grundlegend verändert und weiterentwickelt worden (siehe Unterkap. 1.1). Der Bezug von Rose und Thomas auf die elektrotechnischen Facharbeiterberufe in den 1980er Jahren und in der DDR passt nicht mehr mit den aktuellen beruflichen Anforderungen überein. Ein Transfer des Grundansatzes müsste deshalb die vorgeschlagenen wesentlichen Elemente und Strukturen ausgehend von aktuellen beruflichen Anforderungen prüfen und neu formulieren. Grundsätzlich immer noch interessant an dem Ansatz ist jedoch der Versuch, die Kernelemente (Kategorien und Beziehungen) des erforderlichen Fachwissens nach Teilgebieten auf der Basis beruflicher Handlungsanforderungen zu definieren.

2.4 Zwischenergebnisse und Ableitungen für die weitere Arbeit

2.4.1 Begriffsverwendung und Kriterienauswahl

Im Fortgang dieser Arbeit wird mit dem Konzept und Begriff der Fundamentalen Ideen weitergearbeitet. Dies ergibt sich aus der wissenschaftlichen Fundierung des Konzepts wie auch daraus, dass die Kriterien zur Identifizierung Fundamentalener Ideen verschiedentlich forschungspraktisch erprobt worden sind. Beides wird im Folgenden begründet.

Begriffsverwendung

Die Ausführungen aus den Abschnitten 2.1.1 und 2.1.2 haben gezeigt, dass in der didaktischen Forschung und Praxis sowohl mit den Begriffen der Fundamentalener Ideen als auch mit denen der Basiskonzepte vielfältig und produktiv gearbeitet wird. Für die weitere Arbeit ist deshalb eine Klärung der Begriffsverwendung erforderlich.

Inhaltlich weisen die den Begriffen zugrundeliegenden Konstrukte viele Gemeinsamkeiten auf, wie in Abschnitt 2.1.1 verdeutlicht wurde. Diese umfassen die grundsätzliche Ausrichtung der beiden Konzepte auf fachliche Grundprinzipien, Konzepte oder Ideen mit einer sehr ähnlichen fachdidaktischen Zielsetzung, nämlich Lernenden mit den wirklich grundlegenden Kernen eines Faches vertraut zu machen. Für das didaktische Potenzial Fundamentaler Ideen wie auch von Basiskonzepten ist es hilfreich, dass diese keine eindeutig definierten, scharf bestimmten Begriffe des Faches abbilden, sondern eine gewisse Weite und Unschärfe aufweisen, um verschiedene Phänomene, Inhalte oder Konzepte bündeln zu können. Auch die Orientierung an längerfristigen Lernprozessen, in denen ein Basiskonzept bzw. eine Fundamentale Idee an verschiedenen Gegenständen und zu unterschiedlichen Zeitpunkten wieder aufgenommen wird, verbindet die Ansätze. Lernende können damit in die Lage versetzt werden, ihr eigenes Lernen auf dieser Basis selbstständig und lebensbegleitend weiterzugestalten. Beide Konstrukte sind fächerunabhängig gedacht und so prinzipiell in verschiedenen Fächern verwendbar.

Es gibt allerdings auch Unterschiede. Eine offensichtliche Differenz betrifft die verschiedenen Unterrichtsfächer, in denen die beiden Begriffe jeweils Verbreitung gefunden haben. Für die Entscheidung, mit welchem Begriff bzw. Konzept in dieser Arbeit weitergearbeitet wird, sind die folgenden Unterschiede allerdings entscheidend:

- 1.) Es liegen zwar Definitionen beider Begriffe bzw. Konzepte vor, allerdings verfügt das Konzept der Fundamentalen Ideen mit den fachunabhängig formulierten Fundamentalitätskriterien zudem über eine Art Operationalisierung, wie sich ermitteln lässt, ob ein Element zur Menge dazugehört oder nicht.
- 2.) Die Definition der Fundamentalen Ideen beinhaltet mit dem später ergänzten Zielkriterium zudem eine handlungsleitende Perspektive, die sich daraus ergibt, dass die Fundamentalen Ideen aus der Sicht des jeweiligen Faches anstrebenswerte (ideale) Zustände darstellen. Dieser Aspekt findet sich in dem Konstrukt der Basiskonzepte nicht. Für die berufliche Bildung und ihre handlungsorientiert angelegte Didaktik könnte genau dieser Perspektive evtl. interessante Anknüpfungsmöglichkeiten bieten.
- 3.) Weiterhin ist der Prozess, wie die Basiskonzepte im Rahmen der KMK-Arbeitsgruppen entstanden sind, in der Literatur nicht beschrieben. Das konkrete methodische Vorgehen für die Bestimmung der jeweiligen Basiskonzepte für ein Fach ist nicht transparent gemacht worden. Dies ist für das Konstrukt der Fundamentalen Ideen anders. Infolgedessen ist eine kritische Auseinandersetzung mit dem Konzept in der fachdidaktischen Forschung, seine Weiterentwicklung und Anwendung in unterschiedlichen fachlichen (Teil-)Bereichen deutlich ausgeprägter vorzufinden.

Da diese Arbeit einen wissenschaftlichen Beitrag im Bereich der fachdidaktischen Grundlagenforschung anstrebt, ergibt sich durch die Anknüpfung an das Konzept der Fundamentalen Ideen ein größeres Potenzial. Hier kann an verschiedene Forschungsarbeiten mit

theoretisch-konzeptionellen, fachbezogenen und methodischen Ergebnissen angeschlossen werden. Es wird im Weiteren deshalb mit dem Begriff der Fundamentalen Ideen und seinen konzeptionellen Grundlagen gearbeitet.

Kriterien zur Identifizierung von Fundamentalen Ideen

Wie in Abschnitt 2.1.3 dargelegt, können die von Schwill formulierten Kriterien (siehe Abschnitt 2.1.1) eingesetzt werden, um fachliche Ideen und Prinzipien daraufhin zu prüfen, ob sie als fundamental für ein Fach oder den Teilbereich eines Faches gelten können. Sie werden also zum Identifizieren Fundamentaler Ideen genutzt. Zu diesem Zweck sollen sie auch in dieser Forschungsarbeit eingesetzt werden.

Im Vergleich mit anderen Formulierungen von Kriterien, die die Identifizierung oder Erarbeitung von Fundamentalen Ideen (bzw. Core Ideas oder Great Principles) unterstützen, haben die von Schwill eingeführten Kriterien mehrere Vorteile: Sie sind sprachlich klar und strukturiert, abgrenzbar voneinander sowie fachunabhängig formuliert. Sie sind bereits erfolgreich eingesetzt worden, um Ideenkollektionen für bestimmte Teilbereiche der Informatik zu erarbeiten (z.B. Modrow 2003; Zandler und Spannagel 2006). Für die in dieser Arbeit geplante Operationalisierung und Anwendung zur Erarbeitung einer Ideenkollektion für die berufliche Fachrichtung Elektrotechnik können sie deshalb ebenfalls sehr gut als Grundlage dienen. Dennoch sind sie konzeptionell zunächst an allgemeinbildenden Schulen und den dort unterrichteten Schulfächern orientiert. Eine mögliche Übertragbarkeit auf den berufsbildenden Schulkontext und ggf. dafür erforderliche Anpassungen werden deshalb im nächsten Abschnitt thematisiert.

2.4.2 Anpassung der Kriterien für den berufsbildenden Bereich

Damit die Kriterien für die Identifizierung Fundamentaler Ideen in einer beruflichen Fachrichtung eingesetzt werden können, müssen sie zunächst für den berufsbildenden Bereich angepasst werden. Welche Anpassungen vorgenommen werden und wie sie begründet sind, wird in diesem Abschnitt erörtert. Das Zielkriterium wird an den Schluss gestellt, weil es von Schwill erst später als Erweiterung in seine Definition aufgenommen wurde. Es wird deshalb nicht als konstitutiv für eine Fundamentale Idee angesehen, sondern als Ergänzung betrachtet, die der Fundamentalen Idee einen weiteren inhaltlichen Aspekt hinzufügen kann, aber nicht muss. In den bisherigen Rezeptionen und Anwendungen der Kriterien wurde das Zielkriterium oftmals gar nicht verwendet.

Horizontalkriterium

Das Horizontalkriterium beinhaltet, dass eine Idee in verschiedenen Gebieten des betrachteten Faches bzw. der fachlichen Domäne anwendbar oder erkennbar ist, damit sie als fundamental gelten kann. Dies ist eine wesentliche definitorische Grundlage. Das Kriterium muss deshalb an jede zu formulierende Kollektion Fundamentaler Ideen unbedingt angelegt werden.

Eine inhaltliche oder sprachliche Anpassung des Kriteriums ist nicht erforderlich. Allerdings ist der Fokus anders als in der allgemeinen Bildung zu setzen, in welchen Teilbereichen und Gebieten eine Idee anwendbar oder erkennbar sein soll. Für den berufsbildenden Bereich sind nicht primär das wissenschaftliche Fach und dessen Gebiete relevant, sondern die berufliche Fachrichtung und die entsprechenden Berufsfelder. Eine Fundamentale Idee für eine berufliche Fachrichtung soll deshalb in den Teilbereichen und Gebieten anwendbar oder erkennbar sein, die für die entsprechenden (Ausbildungs-)Berufe dieser Domäne von Bedeutung sind.

Im Falle dieser Arbeit ist das die Elektrotechnik aus der Perspektive der beruflichen Bildung, d.h. aus der Perspektive von Facharbeiter(inne)n oder Handwerker(inne)n in der Elektroindustrie und dem Elektrohandwerk. Gegenüber der Fachwissenschaft Elektrotechnik liegt der Fokus auf den für die Ausbildungsberufe typischen Problemstellungen, Handlungsfeldern und besonders relevanten Teilbereichen der Elektrotechnik wie z.B. der Energietechnik, der Antriebs- und Steuerungstechnik, der Automatisierungstechnik oder der Informationstechnik.

Vertikalkriterium

Das Vertikalkriterium fordert, dass eine Fundamentale Idee Lernenden auf verschiedenen intellektuellen Niveaus und Altersstufen aufgezeigt und vermittelt werden kann. Für die allgemeine Bildung werden deshalb bereits ganz junge Lernende im Primarstufenalter einbezogen und es werden einfache Vermittlungswege für fachliche Grundideen über Bilder oder Handlungen gesucht. Die Ideen oder Konzepte werden zunächst stärker intuitiv vermittelt, später dann detailreicher, abstrakter und formalisierter unter Verwendung von Fachbegriffen oder Mathematik (Bruner 1980, 45–50; Schubert und Schwill 2011, 77–78).

Da dieses Kriterium die Grundlage für spiralförmige Lernprozesse – und spiralförmig gestaltete Curricula – darstellt, ist es auch zur Erarbeitung von Fundamentalen Ideen in der beruflichen Bildung von Bedeutung. Die Altersspanne der Lernenden ist aufgrund der Struktur der beruflichen Bildung allerdings anders als in der allgemeinen Bildung; die beruflichen Ausbildungen und anderen beruflichen Bildungsgänge sind auf dem Niveau der Sekundarstufe II angesiedelt. Neben den 2 bis 3,5-jährigen dualen beruflichen Ausbildungen gibt es z.B. auch einjährige Bildungsgänge. Dies sind eher (zu) kurze Zeitspannen für spiralförmige Lernprozesse.

Deshalb wird die Perspektive erweitert, wie das Vertikalkriterium im Bereich der beruflichen Bildung angewendet werden kann. Geeignete Alters- und Kompetenzniveaus müssen hier jeweils spezifisch für die betrachtete berufliche Fachrichtung definiert werden. Für die berufliche Fachrichtung Elektrotechnik ist das allgemeinbildende Fach Physik inhaltlich eng verbunden sowie das Fach Technik, das es teilweise an bestimmten Schulformen oder in einzelnen Bundesländern gibt. Da davon ausgegangen werden kann, dass ein großer Teil der Auszubildenden elektrotechnischer Ausbildungsgänge über einen Schulabschluss der Sekundarstufe I verfügt, werden Basiskonzepte und Inhalte aus dem allgemeinbildenden Physikunterricht der Mittelstufe oder dem Technikunterricht einbezogen, um potenzielle Ideen der beruflichen Fachrichtung Elektrotechnik daraufhin zu untersuchen, ob sie das Vertikalkriterium erfüllen. Dazu können z.B. Ordnungsmittel wie übergreifende Bildungsstandards der KMK oder Kerncurricula herangezogen werden. Für die Elektrotechnik relevante Basiskonzepte sind hier „Wechselwirkung“, „Energie“ und „System“ aus den übergreifenden Bildungsstandards für das Fach Physik in der Sekundarstufe I (Kultusministerkonferenz 2005). Auch die Deutsche Physikalische Gesellschaft (DPG) hat eine Studie zum Physikunterricht in den Sekundarstufen I und II veröffentlicht, die Basiskonzepte als Grundlage für alle fachlichen Lernprozesse vorschlägt und inhaltliche Anregungen für damit gestaltbare spiralförmige Lernprozesse bis zum Abitur bietet (Hertel und Großmann 2016).

Wo möglich, werden zudem Möglichkeiten einbezogen, wie eine Idee bereits im Sachunterricht in der Primarstufe aufgezeigt werden kann. Im Bereich der akademischen Bildung kann die Betrachtung auf das berufliche Lehramtsstudium der entsprechenden Fachrichtung (hier Elektrotechnik) ausgeweitet werden.

Zeitkriterium

Das dritte Kriterium zur Identifizierung einer Idee als fundamental ist das Zeitkriterium. Eine fundamentale Idee ist in der zeitlichen Entwicklung eines Faches bis heute immer wieder wahrnehmbar und stellt sich als langfristig bedeutsam dar, sodass sich eine Bearbeitung in den (Aus-)Bildungsgängen lohnt. Nievergelt bezeichnet dieses Vorgehen als „quest for classics“, um die Ideen, Konzepte und Strukturen eines Faches zu identifizieren, die für die Lernenden einen längerfristigen Wert auch über die Ausbildung hinaus haben und die deshalb auch bereits für die angehenden Lehrkräfte bedeutsam zu wissen und zu vermitteln sind (Nievergelt 1990, 5).

Das Zeitkriterium rekurriert darauf, dass die zur Verfügung stehende Schul- bzw. Ausbildungszeit grundsätzlich ein knappes Gut ist und deshalb zunächst eine Fokussierung auf langfristig bedeutsame Inhalte sinnvoll ist. Diese Überlegung gilt analog für berufliche Ausbildungen. Das Zeitkriterium sollte deshalb bei der Übertragung der Kriterien auf die berufliche Bildung ebenfalls Anwendung finden. Für den Kontext der beruflichen Bildung heißt dies, dass eine Idee in der zeitlichen Entwicklung der Handlungs- und Tätigkeitsfelder von Fachkräften in der betrachteten beruflichen Fachrichtung deutlich wahrnehmbar

sein und zudem bereits über einen längeren Zeitraum und bis heute relevant für ihre berufliche Handlungskompetenz sein soll, damit sichergestellt ist, dass es sich nicht nur um einen kurzzeitigen Trend handelt. Hierzu könnten z.B. Ausbildungsordnungen und Rahmenlehrpläne von Ausbildungsberufen über den zeitlichen Verlauf hinweg auf Fachinhalte geprüft werden, die eher stabil geblieben sind.

Die Anforderung des Zeitkriteriums bringt für den berufsbildenden Bereich jedoch ein gewisses Spannungsverhältnis mit sich, da berufliche Ausbildungen immer auch aktuell und zukunftsfähig ausgerichtet sein sollen (wie z.B. die aktuelle Neuordnung der handwerklichen Elektroberufe zeigt, siehe Zinke/Felkl 2021). Stärker als in der allgemeinen Bildung wird aufgrund der Ausrichtung auf Anforderungen des Arbeitsmarktes erwartet, dass die in der Ausbildung vermittelten Kenntnisse und Kompetenzen aktuelle fachliche und gesellschaftliche Entwicklungen berücksichtigen und Anforderungen an den Beruf dementsprechend auch immer wieder modernisiert werden müssen. Langfristig relevante Ideen und fachlicher „State of the Art“ sollten deshalb in dem auf berufliche Bildung übertragenen Zeitkriterium gleichermaßen berücksichtigt werden. Eine fundamentale Idee im berufsbildenden Bereich muss beides leisten können, damit Auszubildende eine zeitgemäße und zukunftsfähige fachliche Kompetenz entwickeln können.

Sinnkriterium

Über das Sinnkriterium wird ein Bezug der betrachteten Idee zur Lebenswelt der Lernenden hergestellt. Es wird damit gefordert, dass die Bedeutsamkeit einer fundamentalen Idee nicht nur aus wissenschaftlicher Sicht begründbar ist, sondern für die Lernenden auch direkt erkennbar wird, weil sie sie in ihrem Alltag wahrnehmen können und sie als relevant erleben. Aus fachdidaktischer Sicht kommt hinzu, dass eine Vermittlung des Faches bzw. der fachlichen Domäne nicht auf diese Idee verzichten kann, sondern dass diese wesentlich ist, um den spezifischen Blickwinkel des Faches auf die Welt zu verstehen.

Für die Übertragung dieses Kriteriums auf die berufliche Bildung muss der Umweltbezug neu ausgerichtet werden. Anders als in der allgemeinen Bildung kann das Sinnkriterium für berufliche Fachrichtungen nicht daran belegt werden, ob ein Schema, ein Prinzip oder eine Idee für Lernende in der allgemeinen Lebenswelt erkennbar ist. Es ist vielmehr relevant, ob es erkennbare Bedeutung im beruflichen Alltag, d.h. für die konkreten beruflichen Handlungen und für die Arbeitswelt von elektrotechnischen Fachkräften besitzt. Statt der allgemeinen Lebenswelt rücken das berufliche Umfeld und die spätere Berufswelt der Auszubildenden in den Mittelpunkt der Betrachtung, d.h. die fachbezogenen Umwelten im Ausbildungsbetrieb oder beim Kunden. In diesen Kontexten müssen die Lernenden eine fachliche Idee als bedeutsam und relevant für ihre Ausbildung und den späteren Beruf wahrnehmen können.

Unverändert bestehen bleibt auch für den berufsbildenden Bereich die Notwendigkeitsbedingung als Teil des Sinnkriteriums, die Schwill später ergänzt hat: Ohne die jeweilige Idee kann die betrachtete Domäne fachlich nicht vollständig durchdrungen werden. Sie ist für das Verständnis der fachlichen Domäne unbedingt erforderlich.

Zielkriterium

Das Zielkriterium fügt einer Fundamentalen Idee einen zusätzlichen Aspekt hinzu, der über die vier vorherigen konstituierenden Kriterien hinausgeht. Über dieses Kriterium wird abgebildet, dass eine Fundamentale Idee auch eine ideale, nicht vollständig realisierte oder sogar nicht vollständig realisierbare Vorstellung beschreiben kann. Es wird expliziert, was mit der jeweiligen Idee aus Sicht des Faches angestrebt werden soll. Lernprozesse können dann darauf ausgerichtet werden, dass Lernende sich durch ihre fachbezogenen Denkprozesse und Handlungen diesem (fachlich erstrebenswerten) Ideal annähern können.

Übertragen auf den berufsbildenden Bereich bedeutet das, dass danach gesucht wird, welche beruflich relevanten Zielvorstellungen mit einer Idee ggf. ausgedrückt werden sollen. Diese Zielvorstellungen können eine gewisse Leitlinie innerhalb der fachlichen Domäne bilden, an der die elektrotechnischen Fachkräfte ihr berufliches Handeln orientieren können. Möglicherweise sind sie für eine berufliche Problemstellung oder Anforderung aber nicht immer vollständig anwendbar oder umsetzbar.

Dieser orientierende, handlungsregulierende Charakter kann gerade für Fundamentalen Ideen im berufsbildenden Bereich interessant sein, weil die berufliche Bildung anders als das allgemeinbildende Schulsystem auf konkrete Handlungskontexte hin ausgerichtet ist. Das Zielkriterium kann hier in besonderer Weise die Entwicklung der beruflichen Handlungskompetenz der Auszubildenden adressieren. Es wird deshalb später in die Prüfung der Fundamentalität möglicher geeigneter Ideen einbezogen, wenngleich die ersten vier Kriterien für den Nachweis der Fundamentalität bereits ausreichen.

Tabelle 2: Überarbeitete Kriterien für Fundamentale Ideen in der beruflichen Bildung

Kriterium	Definition für den berufsbildenden Bereich
Horizontalkriterium	Eine Idee ist in verschiedenen Gebieten der betrachteten Domäne der beruflichen Bildung (berufliche Fachrichtung und Berufsfelder) vielfältig anwendbar oder erkennbar.
Vertikalkriterium	Eine Idee kann auf unterschiedlichen Alters- und Kompetenzniveaus aufgezeigt und vermittelt werden, die im Kontext der betrachteten beruflichen Fachrichtung anschlussfähig sind. Es sind dies neben den dualen beruflichen Ausbildungsgängen und weiteren beruflichen Bildungsgängen (Ebene der Sekundarstufe II) der Unterricht in inhaltlich nahen/verwandten allgemeinbildenden Fächern der Sekundarstufe I und, wo möglich, auch in der Primarstufe.
Zeitkriterium	Eine Idee ist in der historischen Entwicklung der Handlungsfelder und Ausbildungsberufe der betrachteten beruflichen Fachrichtung deutlich wahrnehmbar. Sie ist längerfristig und bis heute relevant für die berufliche Handlungskompetenz. Für die berufliche Ausbildung muss dies damit austariert werden, dass zudem aktuelle fachliche und gesellschaftliche Entwicklungen berücksichtigt werden müssen, damit Auszubildende eine zeitgemäße fachliche Kompetenz entwickeln können.
Sinnkriterium	Eine Idee besitzt einen Bezug zum Handeln und zum Denken des beruflichen Alltags und der Arbeitswelt und ist zudem für das Verständnis der fachlichen Domäne unbedingt notwendig.
Zielkriterium	Eine Idee stellt eine idealisierte Zielvorstellung in der betrachteten beruflichen Domäne dar. Sie ist in der Berufspraxis nicht immer vollständig anwendbar oder umsetzbar, kann/soll jedoch als Leitlinie dienen, an der die Fachkräfte ihr berufliches Handeln orientieren können.

Zusammengefasst können die von Schwill formulierten Kriterien zum Identifizieren bzw. zum Prüfen von Fundamentalen Ideen auch für den berufsbildenden Bereich angewendet werden. Dazu sind einige Anpassungen und Erweiterungen für den spezifischen Bildungskontext erforderlich, wie an den einzelnen Kriterien erläutert wurde. Die Anpassungen betreffen teilweise Formulierungen, teilweise aber auch das Vorgehen für das spätere Überprüfen der Kriterien. Eine fachliche Idee, ein Konzept oder ein Prinzip kann als eine Fundamentale Idee für eine berufliche Fachrichtung gelten, wenn sie mindestens die ersten vier Kriterien in Tabelle 2 erfüllt. Mit den angepassten Fundamentalitätskriterien ist eine wichtige Voraussetzung geschaffen, um später die empirisch ermittelten Ideen für

die berufliche Fachrichtung Elektrotechnik daraufhin prüfen zu können, inwieweit sie die Kriterien jeweils erfüllen und damit als fundamental gelten können (siehe in Kap. 4).

2.4.3 Ableitungen zu den pädagogisch-didaktischen Wirkzusammenhängen

In Unterkapitel 2.2 wurden aus der bildungswissenschaftlichen und lernpsychologischen Theorie verschiedene Aspekte herausgearbeitet, die zu verstehen helfen, wie Fundamentale Ideen in fachlichen und beruflichen Lernprozessen Wirkung entfalten können und welcher Art diese Wirkungen sein können. Die folgenden Ergebnisse lassen sich für das Vorhaben dieser Arbeit zusammenfassen, Fundamentale Ideen für eine berufliche Fachrichtung zu entwickeln:

- Fundamentale Ideen sind ein Konstrukt, welches auf der Ebene des konzeptuellen fachlichen Wissens ansetzt (konzeptuelles bzw. Reflexionswissen). Diese Wissensart gehört zu den fachlich-methodischen Kompetenzen, die einen wichtigen Bereich der beruflichen Handlungskompetenz angehender beruflicher Fachkräfte wie auch berufsbildender Lehrkräfte bilden.
- Die Entwicklung beruflicher Expertise beider für diese Arbeit relevanten Lernendengruppen erfolgt Schritt für Schritt. In mehreren Stufen wird Arbeitsprozesswissen aufgebaut. Bei Anfänger(inne)n kommt zunächst fachlichem Orientierungswissen und fachbezogenen Problemlösekompetenzen eine hohe Bedeutung zu. Erfahrung und metakognitives Wissen – wie z.B. Strukturwissen und Erfahrungen mit typischen Problemen des Faches – vertiefen dann im weiteren Ausbildungsverlauf die berufliche Expertise und sorgen dafür, dass der nicht-spezifische Transfer von Wissen leichter möglich wird.
- Einem breiten lernpsychologischen und fachdidaktischen Konsens folgend sollten berufliche Lernprozesse für adolozente oder erwachsene Lernende auf der Grundlage kognitivistischer und konstruktivistischer Erkenntnisse gestaltet werden (z.B. aktiv, selbstgesteuert, individuell und strukturbasiert), um eine erfolgreiche und nachhaltige Wissensaneignung zu fördern.
- DiSessa liefert mit seinem Knowledge in Pieces-Ansatz ein kognitivistisch-konstruktivistisches Modell, wie über eine konzeptuelle Entwicklung aus dem fragmentierten Wissen von Anfänger(inne)n das stark vernetzte und geordnete Wissen von Expert(inn)en entstehen kann. Der Ansatz betont die hohe Bedeutung von Strukturen und Konzepten beim Ordnen und Integrieren von Wissensbestandteilen.
- Verknüpft man diese Ergebnisse, dann kann angenommen werden, dass Fundamentale Ideen dazu beitragen könnten, konzeptuelles Wissen als Teil der fachlich-methodischen Kompetenzen aufzubauen und darüber Strukturen und Verknüpfungen von Wissensbeständen zu fördern. Damit würden sie ein wichtiges Ziel der Ausbildung angehender Lehrkräfte sowie beruflicher Fachkräfte unterstützen.
- Für die berufsbildenden Lehramtsstudierenden trägt die konzeptuelle Vernetzung von fachlichen Wissensbeständen zudem dazu bei, dass diese eine zunehmende Sicherheit und Souveränität in der fachdidaktisch-orientierten Anwendung ihres fachlichen

Wissens auch in unbekanntem Lehr-Lernkontexten gewinnen (z.B. neue Ausbildungsgänge, Wechsel der berufsbildenden Schulform). Durch die gezielte Verwendung von Konzepten und Strukturen (z.B. in Form fundamentaler Ideen) können sie dann auch ihre Schüler/-innen bei deren Aufbau von Fach- und Reflexionswissen begleiten. Diese Formen der Wissensanwendung und Entwicklung von Handlungskompetenz fällt in den Bereich von Pedagogical Content Knowledge (PCK).

2.4.4 Ableitungen aus den fach- oder technikdidaktischen Vorarbeiten

In Unterkapitel 2.3 wurden verschiedene fach- oder technikdidaktische Vorarbeiten aus dem fachlichen Kontext der Elektrotechnik vorgestellt und in Bezug auf Beiträge für das Vorhaben dieser Arbeit ausgewertet. Die Auswertung ergibt ein gemischtes Bild: Alle Ansätze können interessante Aspekte für die Entwicklung möglicher fundamentaler Ideen in der beruflichen Fachrichtung Elektrotechnik einbringen. Keiner der Ansätze ist aber bezüglich aller Faktoren (Zielgruppe, Nähe zur beruflichen Domäne, Fokussierung auf die Elektrotechnik) passgenau für die Fragestellung dieser Arbeit. Es wird deshalb nicht direkt an einen der Ansätze angeschlossen, sondern eine eigene Vorgehensweise gesucht.

Aus den dargestellten Vorarbeiten sollen folgende Überlegungen für die Entwicklung fundamentaler Ideen mitgenommen und berücksichtigt werden:

- Eine inhaltliche Formulierung der großen Linien des fachlichen Bereichs, die deutlich machen, was eigentlich das Spezifische des Faches (und des Denkens und Handelns darin) ausmacht, kann Kraft und Fülle für die Gestaltung von Lernprozessen entfalten (siehe Ansatz „Engineering Design“).
- Dazu ist eine Art von Struktur bzw. übergeordneter Gliederung hilfreich, die über konkrete Inhalte und eine bekannte Fachsystematik hinausgeht (siehe Ansatz „Wesentliche Elemente und Strukturen“).
- Diese Struktur oder übergeordnete Gliederung sollte für Lernende erkennbar gemacht werden. Typische Fehler in Aufgaben können Lehrenden zwar Fehlvorstellungen verdeutlichen. Lernende brauchen jedoch eine positive Vorstellung der gliedernden Konzepte und Strukturen, um die Zielrichtung von Lernprozessen zu verstehen. Dafür ist ein expliziter Konzept- bzw. Ideenbegriff für die Entwicklung von Fundamentalen notwendig (siehe Ansatz „Inventories“).
- Damit die zu entwickelnden Fundamentalen Ideen nützlich für berufsbildende Lehrkräfte, Auszubildende und berufliche Lehramtsstudierende sein können, müssen sie inhaltlich und konzeptionell dicht an der berufsorientierten Perspektive auf die Elektrotechnik bleiben (siehe Ansatz „Berufliche Handlungen“).
- Für die hier betrachtete fachliche Domäne „berufliche Fachrichtung Elektrotechnik“ kann nicht *eine* Zielgruppe für die zu entwickelnden Fundamentalen Ideen formuliert werden. Die Ideen müssen für die Anforderungen der Elektroberufe entwickelt werden, aber Lernende, die sie für ihren fachlichen Kompetenzaufbau nutzen, können Auszubildende oder berufliche Lehramtsstudierende sein. Diese Zweigleisigkeit kann

bei der Erarbeitung der Fundamentalen Ideen in dieser Arbeit nicht ausgeblendet und nicht aufgelöst werden.

In methodischer Hinsicht ist für das weitere Vorgehen dieser Arbeit eine Kombination der beiden methodischen Grundansätze vielversprechend, die in Abschnitt 2.1.4 diskutiert wurden: Über ein theoretisch-konzeptionelles Vorgehen kann der fachdidaktischen Grundorientierung Rechnung getragen werden, Lernenden und Lehrenden mit Fundamentalen Ideen ein Werkzeug zur Verfügung zu stellen, welches das struktur- und konzeptorientierte Lernen in den Mittelpunkt stellt. Dazu benötigt auch die in dieser Arbeit entwickelte Kollektion eine sinnorientierte, didaktisch begründete Zielrichtung. Die zu entwickelnden Fundamentalen Ideen sollen aber auch bereits möglichst intersubjektiv abgesichert werden, um eine fachliche Anschlussfähigkeit in der universitären Lehrkräfteausbildung und der berufsschulischen Ausbildung herzustellen. Dies kann durch das Einbinden von fachlichen und fachdidaktischen Expert(inn)en erreicht werden. Dafür muss das methodische Vorgehen einen entsprechenden Teilschritt umfassen.

3. Forschungsansatz und Methoden

Das Ziel der empirischen Untersuchung ist die Entwicklung möglicher Fundamentaler Ideen für die berufliche Fachrichtung Elektrotechnik. Der fachdidaktische Grundansatz der Fundamentalen Ideen (siehe Unterkap. 2.1) soll auf einen anderen Geltungsbereich erweitert werden. In diesem Kapitel wird das dafür gewählte Forschungsdesign und seine konkrete methodische Umsetzung vorgestellt (siehe Abbildung 10).

Es wird der Forschungsansatz der Grounded Theory verwendet. Die Auswahl dieses Ansatzes wird in Unterkapitel 3.1 begründet. Eine Einführung in die Grounded Theory erfolgt in Unterkapitel 3.2. In Unterkapitel 3.3 wird erläutert, wie der allgemeine Ansatz für diese Arbeit gegenstandsangemessen umgesetzt wird: Es werden als erstes elektrotechnische Lehrwerke auf enthaltene übergreifende Konzepte hin mit den Strategien und Methoden der Grounded Theory analysiert. Diese Analyse ist das methodische Herzstück der Konzept- und späteren Ideenentwicklung. Datengrundlage, konkrete Auswahlentscheidungen, die einzelnen Analyseschritte und das Vorgehen bei der Auswertung der Daten werden in diesem Unterkapitel erläutert.

Die mit Hilfe der Grounded Theory erarbeiteten Konzepte und Kategorien werden anschließend anhand der modifizierten Kriterien (siehe Abschnitt 2.4.2) daraufhin überprüft, ob sie die Merkmale Fundamentaler Ideen erfüllen. Das methodische Vorgehen dafür wird in Abschnitt 3.4.1 beschrieben. Die entstandenen Ideen werden mit Hilfe von Expert(inn)eneinschätzungen bzgl. ihrer Relevanz für die berufliche Fachrichtung validiert und ggf. angepasst. Dafür werden Interviews mit Fachexpert(inn)en aus der Fachwissenschaft, der Fach- bzw. Technikdidaktik und der berufsbildenden Schule geführt. Die methodische Umsetzung der Expert(inn)eninterviews ist in Abschnitt 3.4.2 beschrieben.

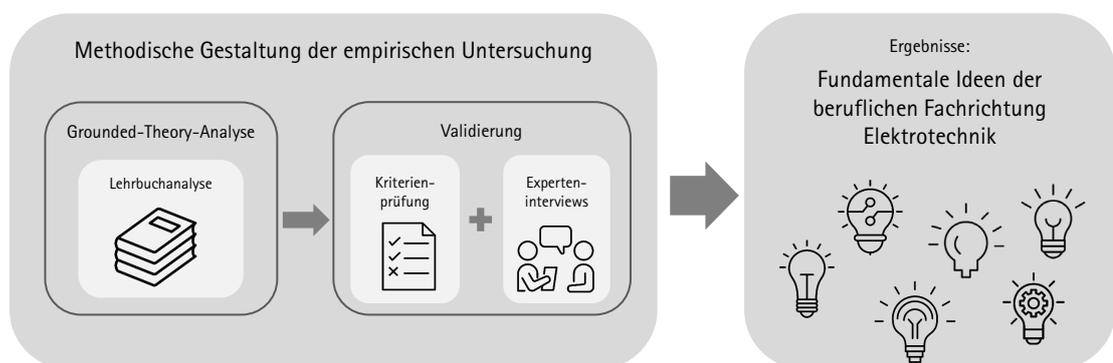


Abbildung 10: Forschungsdesign und methodische Gestaltung der empirischen Untersuchung

3.1 Begründung des forschungsmethodischen Ansatzes

Der Charakter der geplanten Untersuchung ist nicht hypothesenprüfend, sondern explorativ und theoriegenerierend. Es soll ein neuer konzeptioneller Forschungsbeitrag vorgelegt werden, welcher im Gegenstandsbereich verankert ist und sich aus den verwendeten Daten heraus begründen lässt. Forschungsmethodisch ist deshalb zum Erreichen der Zielstellung ein Vorgehen erforderlich, das die Erarbeitung neuer Theoriebeiträge ermöglicht und hierfür geeignete Vorgehensweisen und Methoden anbietet.

Hierfür wird der Forschungsansatz der Grounded Theory gewählt. Dieser Ansatz aus der Qualitativen Sozialforschung wurde Anfang der 1960er Jahre von Anselm Strauss und Barney Glaser begründet. Er ist rekonstruktiv-interpretativ und wurde mit dem Zweck entwickelt, „durch qualitative Datenanalyse induktiv Theorien zu erstellen“ (Strauss und Corbin 1996, 9). Dies ist das Spezifische an der Grounded Theory: Eine Theorie wird in enger Begründung aus den Daten heraus entwickelt und in diesen verankert. Damit wird bezweckt, dass die Theorie ein besseres Verständnis des betrachteten realen Kontextes ermöglicht und zudem Bedeutung für das praktische Handeln entfalten kann. Praktiker/-innen sollen die mit Hilfe der Grounded Theory entstehenden Theorien als relevant und hilfreich für ihren Alltag erleben (Strauss und Corbin 1996, 7–10).

Der Forschungsansatz der Grounded Theory adressiert damit ein forschungsmethodologisches Problem, welches u.a. in der Bildungsforschung von großer Bedeutung ist. Sie strebt an, die oftmals zwischen Theorie und Anwendung bestehende Lücke zu verkleinern, wenn Theorien so abstrakt und umfassend formuliert sind, dass eine direkte Anwendung und Überprüfung in Praxiskontexten nicht ohne verschiedene „Übersetzungsschritte“ möglich ist (Mey und Mruck 2020, 515). Modelle und Theorien, die mit Hilfe der Grounded Theory entwickelt worden sind, haben den Anspruch, dicht an den praktischen Kontexten („realitätsnah“) zu bleiben und damit die Anwendbarkeit der Theorie in der Praxis zu verbessern.

Die Grounded Theory bietet aufgrund dieser Merkmale einen passenden methodologischen Rahmen für das Anliegen dieser Forschungsarbeit, einen Beitrag zur Theorieentwicklung zu leisten, der im Gegenstandsbereich der beruflichen Fachrichtung Elektrotechnik verankert ist. Die folgenden Gründe verdeutlichen diese Eignung:

- Wie in Kapitel 2.3 dargelegt wurde, gibt es zwar einige fach- und technikdidaktische Arbeiten, die verschiedene Hinweise geben, welche Aspekte für Fundamentale Ideen der beruflichen Fachrichtung Elektrotechnik interessant sein könnten. Es wurde jedoch bislang noch kein Vorschlag für eine Kollektion von fachlichen Konzepten und Kategorien vorgelegt, die systematisch miteinander in Beziehungen gesetzt worden sind und als Fundamentale Ideen beim Verstehen elektrotechnischer Prinzipien und Kernideen im beruflichen Lehramtsstudium und im berufsschulischen Unterricht genutzt werden können. Solche sollen in dieser Forschungsarbeit erarbeitet werden. Der Forschungsansatz der Grounded-Theory-Methodologie ist genau für derartige Forschungsfragen entwickelt worden, bei denen aus dem realen Gegenstandsbereich

heraus durch systematische Analyse und Interpretation von Daten neue theoretische Erkenntnisse gewonnen werden sollen.

- Zudem ist in der Grounded Theory das Kategoriensystem, welches üblicherweise im Analyseprozess entsteht, von großer Bedeutung. Darin werden relevante theoretische Begriffe herausgearbeitet und am empirischen Material entwickelt und geschärft. Die Kategorien bilden dadurch das Grundgerüst für die entstehende Theorie. Dieses Merkmal des methodischen Vorgehens passt ebenfalls sehr gut zum Ziel dieser Arbeit, weil in diesem Fall die Kategorien mögliche Fundamentale Ideen darstellen werden. Das entstehende Kategoriensystem wird als Zwischenschritt die entscheidende Basis für mögliche Fundamentale Ideen bilden. Das zentrale Ergebnis der Forschungsarbeit soll über diesen Weg erreicht werden.

Diese datenbasierte Verankerung der angestrebten Ergebnisse soll sicherstellen, dass die Ergebnisse an die fachdidaktische und berufspädagogische Praxis angebunden werden können und einen Nutzen für berufsbildende Lehramtsstudierende – in doppelter Hinsicht als Lernende und spätere Lehrende – entfalten. Mit den entwickelten Kategorien wird das induktive Vorgehen der Grounded Theory in dieser Arbeit beendet. Für die Validierung der Kategorien, d.h. ob sie tatsächlich als Fundamentale Ideen der beruflichen Fachrichtung Elektrotechnik gelten können, werden andere Methoden benötigt, die eine Evaluation und Bewertung der Kategorien in Bezug auf ihre fachliche Relevanz und ihr fachdidaktisches Potenzial ermöglichen (siehe Unterkap. 3.4).

Als mögliche forschungsmethodische Alternativen wurden der Ansatz des Design Based Research (DBR) und Delphi-Verfahren erwogen, aus den folgenden Gründen aber letztlich nicht eingesetzt:

- DBR ist ein gestaltungsorientierter Forschungsansatz, der sich besonders eignet, um bildungsbezogene Interventionen zu entwickeln, in mehreren Iterationen zu verbessern und wirksam in praktische Kontexte zu implementieren. Er strebt ebenfalls eine gute Einsetzbarkeit von Forschungsergebnissen in Praxiskontexten an (The Design-Based Research Collective 2003; Reinmann 2016). Da sich bei der Sichtung des bestehenden Forschungsstands für diese Arbeit ergab, dass noch keine geeigneten Ansätze für Fundamentale Ideen in der betrachteten Fachrichtung vorliegen, war zunächst eine theoretisch-konzeptionelle Vorarbeit erforderlich. Hierfür ist der DBR-Ansatz weniger geeignet. Er könnte jedoch später bei der Erprobung und Implementierung der Ergebnisse dieser Arbeit interessant sein.
- Mit dem Delphi-Verfahren können Meinungsbildungsprozesse zu einem (möglicherweise kontrovers eingeschätztem) Themenkomplex mit Hilfe eines mehrstufigen strukturierten Befragungs- und Bewertungsverfahrens von Expert(inn)en gestaltet werden. Die Verfahren erfolgen i.d.R. schriftlich mit einem Fragebogen oder Thesenkatalog und haben über anonyme Rückkopplungsprozesse eine Konsensbildung zum Ziel (Häder und Häder 2000). Ein Einsatz für die untersuchte Fragestellung wäre denkbar gewesen, um Expert(inn)en fachliche Ideen, Prinzipien und Konzepte als

mögliche Fundamentale Ideen einschätzen zu lassen. Allerdings wären weitere Methoden zur Entwicklung dieser Ideen sowie zur Auswertung der Ergebnisse der Delphi-Studie erforderlich gewesen. Dies zusammen mit dem hohen konzeptionellen und zeitlichen Aufwand für eine methodisch hochwertige Delphi-Untersuchung selbst haben dazu geführt, diesen forschungsmethodischen Ansatz nicht weiterzuverfolgen.

3.2 Einführung in den Forschungsansatz der Grounded Theory

Der Forschungsansatz der Grounded Theory ist in ein **pragmatistisches Forschungsverständnis** eingebettet, nach dem sich der Wert einer Theorie daraus ergibt, dass ihre Verwendung sich in praktischen Kontexten als nützlich und hilfreich erweist. In dieses Forschungsverständnis wird in Abschnitt 3.2.1 eingeführt. Zur Analyse und Auswertung von Daten wird in Grounded-Theory-Untersuchungen das **Instrumentarium des Kodierens** eingesetzt. Die verschiedenen Kodierformen, ihr jeweiliger Zweck und das Ineinandergreifen der unterschiedlichen Arbeitsschritte werden in Abschnitt 3.2.2 erläutert. Die **Auswahl und Erhebung von Daten** folgt in Grounded-Theory-Untersuchungen üblicherweise einem theoretischen Sampling, um die Forschungsfrage zielgerichtet sowie mit hoher methodischer Güte zu bearbeiten. Vorgestellt und begründet wird diese Art des Samplings in Abschnitt 3.2.3. Durch das iterative Vorgehen in Grounded-Theory-Untersuchungen, teils wenig strukturierte Daten und den Einsatz weiterer Quellen zur theoretischen Sensibilisierung im Forschungsprozess erhält die kontinuierliche **Dokumentation des Forschungsprozesses** eine große Bedeutung. Notizen in Form von Forschungsmemos, Skizzen oder einem Forschungstagesbuch helfen dabei, die Analyse zu strukturieren, Hypothesen zu formulieren und Erkenntnisse systematisch zu entwickeln (Abschnitt 3.2.4). Das Unterkapitel schließt damit, mit Hilfe welcher Maßnahmen eine hohe **Prozess- und Ergebnisqualität** in Grounded-Theory-Untersuchungen gesichert werden soll (Abschnitt 3.2.5).

3.2.1 Datenbasierte Theorieentwicklung mit Hilfe der Grounded Theory

Die Grounded Theory entspringt einer **pragmatistischen Forschungstradition**. In dieser sind drei erkenntnistheoretische Aspekte besonders wichtig, die auch Grounded-Theory-Studien prägen (Strübing 2021, 39–48).

- Aus pragmatistischer Sicht gibt es keine Wirklichkeit an sich, keine „objektive Realität da draußen“. Realität wird vielmehr als eine menschengemachte Interpretation der äußeren Gegebenheiten verstanden, die immer aus einer individuellen Perspektive heraus erfolgt. Wirklichkeit entsteht im Handeln und verändert sich damit auch fortwährend. Sie ist geprägt von verschiedenen Perspektiven und gesellschaftlichem Wandel über die Zeit. Dies hat auch Konsequenzen für wissenschaftliche Erkenntnis und Theorien: „Weil Theorien nicht Entdeckungen (in) einer immer schon als gegeben

zu denkenden Realität sind, sondern beobachtergebundene Rekonstruktionen repräsentieren, bleiben auch sie der Prozessualität und Perspektivität der empirischen Welt unterworfen" (Strübing 2021, 42).

- Wenn Theorien ein Teil der Interpretationen der Realität sind, müssen auch sie das prozessurale und multiperspektivische Verständnis mit aufnehmen, um wirklichkeitsangemessen sein zu können. Der Wert einer Theorie bemisst sich in dieser Forschungstradition deshalb daran, dass sie auch praktische Konsequenzen entfaltet und Auswirkungen auf das Handeln hat.
- Das Verständnis des Pragmatismus', dass eine beobachterunabhängige Wirklichkeit nicht existiert, lenkt den Blick auch auf den Beobachter, im Falle von Forschungsprojekten also die Forscherin bzw. den Forscher. Forschungsprojekte und ihre Ergebnisse entstehen danach nicht unabhängig von den Forschenden und ihrer Perspektive (z.B. fachliche Herkunft, Vorwissen, Erfahrungen, theoretisches Verständnis). Es ist deshalb wichtig, diese Perspektive(n) transparent zu machen und sie im Forschungsprozess mit zu reflektieren, um die Forschungsergebnisse einzuordnen.

Die Grounded Theory wurde zunächst vor allem in Forschungskontexten der Soziologie, Psychologie und Pädagogik entwickelt und genutzt. Im Laufe der Zeit hat sie sich auch in anderen Wissenschaftsbereichen wie z.B. der Informatik, der Gesundheitsforschung oder der Politikwissenschaft als nützlich erwiesen, wenn Forschungsfragen bearbeitet werden sollen, bei denen subjektiv konstruierte und durch Sprache oder Schrift vermittelte Sinnzusammenhänge oder Handlungen untersucht werden sollen (Strauss und Corbin 1996, 7; Mey und Mruck 2020, 514, 523). Die analysierten Daten stammen häufig aus Interviews, aber auch Beobachtungsprotokolle, Dokumente und andere Daten werden genutzt.

In Grounded-Theory-Studien werden unterschiedliche methodische Verfahren eingesetzt. Sie alle dienen dazu, aus den Daten heraus relevante Konzepte zu identifizieren, zu entwickeln und in Beziehung zu setzen und daraus einen systematischen Zusammenhang von Konzepten und übergeordneten Kategorien zu erarbeiten (Strauss und Corbin 1996, 149). Es geht in Grounded-Theory-Untersuchungen i.d.R. darum, genau solche zugrundeliegenden Zusammenhänge zu finden und zu beschreiben, nicht subjektive Sichtweisen zu rekonstruieren. Durch eine Interpretation der Daten, ihre Konzeptualisierung und das Synthetisieren der Konzepte entsteht ein theoretisches Modell des betrachteten Wirklichkeitsausschnitts (Strauss und Corbin 1996, 7). Es werden typische Methoden und Verfahren verwendet, sodass der analytische Prozess in der Grounded Theory regelgeleitet und präzise gestaltet wird (Strauss und Corbin 1996, 18). Zugleich ermöglicht der Forschungsansatz den Forschenden ein offenes, kreatives Vorgehen, um unterschiedlichen Gegenständen und auch explorativen Fragestellungen gerecht zu werden und den Forschungsprozess selbst gegenstandsangemessen auszugestalten (Berg und Milmeister 2011, 326).

In der Grounded Theory haben sich verschiedene Forschungslinien herausgebildet. Verwendet wird in dieser Arbeit die Grounded Theory in der Linie von Strauss und Corbin, da diese stärker als andere Entwicklungslinien die Nutzung verschiedener Datenquellen und den Umgang mit Vorwissen und Theorien berücksichtigt, um die theoretische Sensibilität

während des Untersuchungsprozesses zu fördern, mögliche Interpretationen der Daten anzuregen und dadurch eine breitere Fundierung der Ergebnisse zu erreichen. Strauss und Corbin haben zudem ausgearbeitet, welchen Gütekriterien eine mit der Grounded-Theory-Methodologie entwickelte gegenstandsbezogene Theorie genügen sollte. Sie betonen zudem die Reflexion der Forscher/-innen-Perspektive, was bei einem interpretativen Forschungsparadigma wichtig ist, um nachvollziehen zu können, aus welcher Perspektive heraus die Ergebnisse entstanden sind, und um deren Limitationen zu erkennen (vgl. Strübing 2021, 82–83; Mey und Mruck 2020, 517).

3.2.2 Kodieren als Instrumentarium zur Datenauswertung und -analyse

Ablauf des Forschungsprozesses

Das Vorgehen im Sinne der Grounded Theory ist davon geprägt, dass aus den betrachteten Daten (z.B. Interviews oder natürliche Daten wie Dokumente) relevante Konzepte herausgearbeitet und diese miteinander vernetzt werden, um sie zu übergeordneten Kategorien weiterzuentwickeln, welche dann zentral für die Beantwortung der Forschungsfrage sind. Die Forschungsergebnisse, die typischerweise aus Grounded-Theory-Studien heraus entstehen, haben häufig das Format dichter, miteinander verbundener Konzepte und Kategorien, die empirisch im Gegenstand verankert und vielfältig in den Daten belegt sind.

Datenerhebung, Datenanalyse und die daraus entstehende Theoriebildung erfolgen in Grounded-Theory-Studien eng verschränkt. Die Phasen werden nicht streng getrennt, weil die ersten entworfenen Konzepte die weitere Datenerhebung mit beeinflussen und Beziehungen zwischen Konzepten zu neuen oder veränderten Annahmen führen können, die dann wiederum an den Daten überprüft werden müssen (Strübing 2021, 26). Das Entwerfen von Theorien, die in den Daten verankert sind, folgt insofern einem iterativen Prozess, ähnlich der von Dewey formulierten pragmatistischen Forschungslogik (siehe Strübing 2021, 51–52).

Mit Hilfe verschiedener Kodierformen und -verfahren – diese werden weiter unten dargestellt – werden die Daten „aufgebrochen“ und es werden aus ihnen heraus Konzepte entwickelt. Diese zunächst vorläufigen Konzepte werden in der Datenanalyse weiter ausgearbeitet und es werden Beziehungen der Konzepte zueinander hergestellt. Konzepte werden in mehreren Schritten verdichtet und zu Kategorien weiterentwickelt. Dieses stark **induktive** Vorgehen wechselt sich mit **deduktiven** Vorgehensweisen (z.B. der Ableitung möglicher Folgerungen aus den Annahmen) und der „Verifikation“ erarbeiteter Konzepte und Kategorien ab, wobei das Prüfen der Konzepte immer gleichzeitig einen Teil der Analysearbeit darstellt (Strübing 2021, 66–68). Als eine weitere Form der Schlussfolgerung tritt die **Abduktion** hinzu, die zusätzlich Kreativität, neue Ideen und die Nutzung theoretischen Vorwissens mit in den Forschungsprozess einbringt. Mit Abduktion ist eine auf Peirce zurückgehende Form wissenschaftlicher Schlussfolgerung gemeint, mit der z.B.

über erklärende Hypothesen oder eine angenommene neue Regel Erkenntnisse gewonnen werden, die sich weder direkt durch ein induktives noch durch ein deduktives Vorgehen ergeben. Für solche neuen Erkenntnisse werden dann wiederum Belege in den Daten gesucht (Truschkat et al. 2011, 356; Reichertz 2013, 15–23).

Theoretische Sensibilität

Das Entwickeln und Ausarbeiten von Konzepten und Kategorien in Grounded-Theory-Studien erfordert von den Forschenden ein „Bewußtsein für die Feinheiten in der Bedeutung von Daten“ (Strauss und Corbin 1996, 25), um in den Daten theoretische Konzepte zu entdecken, den induktiven Prozess anzuregen und Wichtiges und Unwichtiges voneinander unterscheiden zu können. Dies wird als **Theoretische Sensibilität** der Forschenden bezeichnet (Strauss und Corbin 1996, 25, 56–57). Nach Strauss und Corbin entsteht diese zu Beginn der Forschung v.a. durch Kenntnis von Theorien, wissenschaftlicher oder weiterer Literatur (wie z.B. Dokumente, Biografien, Zeitungsartikel, Videos) sowie durch berufliches und persönliches Erfahrungswissen der Forschenden und entwickelt sich dann durch den fortschreitenden Analyseprozess und ergänzendes Literaturstudium weiter (Strauss und Corbin 1996, 25–27, 57–70). Die verschiedenen Quellen können dabei helfen, weitere Annahmen über den Gegenstandsbereich zu formulieren oder theoretische Konzepte aus der Literatur in die Analyse mit aufzunehmen. Sie unterstützen den Prozess, die analysierten Daten zu interpretieren und ihnen einen Sinn zu geben (Berg und Milmeister 2011, 305). Wesentlich für die Verwendung von wissenschaftlich-theoretischem Vorwissen ist, dass dieses nicht als bereits gültige Aussage über die Realität betrachtet werden darf, sondern wie alle Konzepte, Annahmen und Erklärungen als provisorisch gelten und durch die weitere Analyse der Daten überprüft werden muss (Strauss und Corbin 1996, 27–29).

Konzeptentwicklung als Ziel des Kodierens

In Grounded-Theory-Untersuchungen nach Strauss und Corbin werden **verschiedene Kodierformen und analytische Verfahren** verwendet. Die Verfahren dienen dazu, eine Theorie zu entwickeln und diese im Gegenstandsbereich (d.h. in den Daten) zu verankern, den Forschungsprozess methodisch klar und gewissenhaft zu gestalten sowie dabei auch eigene Vorannahmen zu hinterfragen. Die insgesamt drei Kodierformen stellen verschiedene Analyseschritte dar und bilden ein mehrstufiges Datenauswertungsverfahren (Strübing 2021, 15). Sie erfüllen unterschiedliche Funktionen im Forschungsprozess, werden jedoch auch abwechselnd eingesetzt und teilweise verknüpft (Strauss und Corbin 1996, 39–40). Anders als z.B. in der von Mayring entwickelten Qualitativen Inhaltsanalyse besteht in Grounded-Theory-Untersuchungen der theoretische (Kodier-)Rahmen nicht vorab bzw. wird vorab erstellt, sondern dieser entwickelt sich durch das Kodieren und Interpretieren der Daten im Forschungsprozess. „In dem Fall kann Kodieren nicht aus dem Subsumieren qualitativer Daten unter existierende Konzepte bestehen, eben weil diese theoretischen

Begriffe (in ihrer spezifischen Bedeutung für den untersuchten Gegenstandsbereich) noch gar nicht vorliegen. Da die Grounded Theory auf den letzteren Fall zielt, versteht sie Kodieren als den Prozess der Entwicklung von Konzepten in Auseinandersetzung mit dem empirischen Material" (Strübing 2021, 16). „Kodieren meint Interpretationsarbeit, bei der die Daten (z.B. einzelne Worte, Segmente etc.), die als Indikatoren für Konzepte verstanden werden, mit einem Begriff bezeichnet werden" (Mey und Mruck 2020, 525). Im gesamten Prozess der Datenanalyse werden Interpretationen über den Gegenstandsbereich erarbeitet. Die zwei wichtigsten Instrumente dafür sind in allen Kodierformen das Stellen von Fragen und die Arbeit mit Vergleichen zwischen Phänomenen und Konzepten (Strauss und Corbin 1996, 40–41). Mit Hilfe dieser Instrumente werden aus dem Datenmaterial heraus Annahmen formuliert und Ideen durch permanentes Vergleichen gewonnen. Diese werden am weiteren Material durch gezieltes Hinterfragen überprüft, weiterentwickelt oder auch wieder verworfen. So werden aus den Daten Konzepte entwickelt und nach und nach zu Kategorien ausgearbeitet und abgesichert (Strübing 2021, 17–18; Mey und Mruck 2020, 524–525). Die Analyse der Daten stellt insofern ein „praktisches Experimentieren mit denkbaren Erklärungen“ über den untersuchten Gegenstandsbereich dar (Strübing 2021, 74).

Kodierformen

Die erste der drei Kodierformen in Grounded-Theory-Untersuchungen ist das **offene Kodieren**. Diese findet meist in den ersten Phasen der Datenanalyse mit einem Teil des Datenmaterials statt. Durch das offene Kodieren werden die Daten „aufgebrochen“. Es werden Textstellen identifiziert, die für die Beantwortung der bearbeiteten Fragestellung relevant sein könnten. Es entsteht ein neuer Datenkorpus aus Textstücken, mit denen weitergearbeitet wird (Berg und Milmeister 2011, 314, 318). Jedem Phänomen, jeder Idee, jedem Ereignis wird eine Bezeichnung gegeben, die erfassen soll, was das Phänomen eigentlich bedeutet und wofür es steht; ähnliche Phänomene werden gleich benannt. So entstehen aus den Bezeichnungen die ersten Konzepte, die bereits so abstrakt benannt sein sollen, dass sie mehrere Fälle umfassen können. „Offenes Kodieren ist der Analyseteil, der sich besonders auf das Benennen und Kategorisieren der Phänomene mittels einer eingehenden Untersuchung der Daten bezieht“ (Strauss und Corbin 1996, 44). Dafür werden die Phänomene miteinander verglichen. Mit Hilfe der entstehenden Konzepte werden die Daten neu gruppiert. Ähnliche Konzepte werden zu Kategorien aggregiert. Die Kategorien werden anhand der Daten analytisch weiterentwickelt, d.h. die Charakteristika und Eigenschaften eines Phänomens werden herausgearbeitet und es wird untersucht, ob sich die Ausprägung von Eigenschaften anhand eines Kontinuums beschreiben lassen („Dimensionalisierung“). Mit der Dimensionalisierung soll eine analytische Breite und Vielfalt geschaffen werden. Das Konzeptualisieren und Kategorisieren von Daten schafft die Grundlage für die weiteren Analyseschritte (Strauss und Corbin 1996, 43–54; Strübing 2021, 17–22).

In der nächsten Kodierform, dem **axialen Kodieren**, werden die Beziehungen der Konzepte zur übergeordneten Kategorie systematisch untersucht. Erfolgt beim offenen Kodieren zunächst vor allem eine Klassifizierung der Daten, werden nun die Interpretation und mögliche Erklärungsoptionen des Gegenstandsbereiches vorangetrieben (Strauss und Corbin 1996, 76). Die vorläufig gebildeten Kategorien werden mit weiteren Daten konfrontiert (Mey und Mruck 2020, 526) und es werden Relevanzentscheidungen getroffen, welche Phänomene nach dem aktuellen Stand der Analyse vermutlich einen deutlichen Beitrag zur Beantwortung der Forschungsfrage liefern können (Strübing 2021, 19–20). Hierbei kann es helfen, bestehende Theorieansätze hinzuzuziehen und mit deren Hilfe probeweise erste Argumentationen bzw. Erzählungen zu erarbeiten, was zentrale theoretische Erkenntnisse der Datenanalyse werden könnten (Berg und Milmeister 2011, 323–324).

Das Ziel des axialen Kodierens ist es, die einzelnen Kategorien zu ordnen und gezielt weiter auszuarbeiten, um herauszufinden, welche davon später vielleicht zu Hauptkategorien werden. Zum Einsatz kommt dafür „[e]ine Reihe von Verfahren, mit denen durch das Erstellen von Verbindungen zwischen Kategorien der Daten nach dem offenen Kodieren auf neue Art zusammengesetzt werden. Dies wird durch Einsatz eines Kodier-Paradigmas erreicht, das aus Bedingungen, Kontext, Handlungs- und interaktionalen Strategien und Konsequenzen besteht.“ (Strauss und Corbin 1996, 75). Mit dem **Kodierparadigma** von Strauss und Corbin – andere Autor(inn)en nutzen ähnliche Rahmenmodelle für das Kodieren (vgl. Berg und Milmeister 2011, 321–323) – wird für jede der potenziell relevanten Kategorien mit vergleichenden Fragen gezielt herausgearbeitet, welche untergeordneten Kategorien und Konzepte in bestimmten Beziehungen zur übergeordneten Kategorie stehen (Strauss und Corbin 1996, 92). Dies soll eine strukturierte Analyse der Zusammenhänge zwischen den Konzepten ermöglichen. Es wird in den Daten z.B. danach gesucht, welche ursächlichen Bedingungen zum Auftreten eines Phänomens geführt haben, welche Kontextbedingungen das Phänomen begleiten und zu bestimmten Handlungs- oder Interaktionsstrategien führen, um auf das Phänomen zu reagieren oder damit umzugehen (Strauss und Corbin 1996, 78–85; Strübing 2021, 26–28).

Auch im Modus des axialen Kodierens werden Fragen und Vergleiche genutzt, um Annahmen über die Beziehungen von Kategorien zu formulieren und die Annahmen wiederum anhand der Daten zu prüfen (Strauss und Corbin 1996, 86–87). Zudem wird beim axialen Kodieren gezielt nach weiteren Eigenschaften von Kategorien gesucht, welche Dimensionen wichtig sind und es wird nach Belegen in den Daten gesucht. Die Verbindungen werden mit Hilfe von Skizzen, Memos, Diagrammen oder Schemata festgehalten (Strauss und Corbin 1996, 91–92). Berg und Milmeister fassen diesen Teil der Analysephase wie folgt zusammen: "Die Hauptfunktion des axialen beziehungsweise theoretischen Kodierens besteht darin, über das empirische Material hinauszukommen" (Berg und Milmeister 2011, 323).

Um die ausgearbeiteten Kategorien danach weiter zu einer gegenstandsverankerten Theorie zu integrieren, wird das **selektive Kodieren** als dritte Form des Kodierens genutzt. Die

Ergebnisse aus den Rohdaten, den Memos und Diagrammen werden systematisch zu einem Bild des betrachteten Wirklichkeitsausschnitts entwickelt, das unter Verwendung der Konzepte und Kategorien strukturiert, gegenstandsverankert (= grounded) und nachvollziehbar ist. Dazu wird festgelegt, welche der ausgearbeiteten Kategorien im Zentrum der Forschungsergebnisse stehen und damit die Kernkategorie der Untersuchung darstellt (Strauss und Corbin 1996, 94–97). Beim selektiven Kodieren wird diese Kernkategorie dann systematisch mit anderen Kategorien in Beziehung gesetzt. Dafür wird wiederum das bereits beim axialen Kodieren eingesetzte Kodierparadigma verwendet. Daraus entsteht so etwas wie eine „Storyline“ der Forschungsergebnisse um die Kernkategorie herum (Strauss und Corbin 1996, 98–102). Dieser Erzählbogen ist zunächst konzeptualisiert und hat insofern noch vorläufigen Charakter, als dass die Beziehungen der Kategorien zueinander wiederum an den Daten validiert werden müssen. Bei dieser Form des Kodierens werden Variationen bei den untersuchten Phänomenen deutlicher und es können die jeweiligen Bedingungen für bestimmte Variationen herausgearbeitet werden. Noch nicht ausreichend ausgearbeitete Kategorien werden mit Hilfe des selektiven Kodierens verfeinert und „aufgefüllt“ (Strauss und Corbin 1996, 106–117). Das Vorgehen in dieser Phase des Kodierens lässt sich als Vor und Zurück in den Daten beschreiben. Diese werden selektiv „durchkämmt“, um den passenden Erzählbogen für die gewonnenen Erkenntnisse zu finden und zu formulieren, welcher neben den Daten auch von der eigenen Forscher(innen)perspektive und dem „Zielpublikum“ abhängt, und diesen Bogen zugleich auch an den Daten zu überprüfen. In dieser letzten Phase des Kodierens rücken die Interpretation der Daten und ihre Zusammenfassung für eine Vermittlung der Forschungsergebnisse in den Vordergrund (Berg und Milmeister 2011, 324–325).

3.2.3 Theoretisches Sampling

In der Grounded Theory stehen die Sammlung und Analyse der Daten sowie die Entwicklung der Theorie in einer wechselseitigen Beziehung. Diese Phasen werden oftmals mehrfach durchlaufen. Die Strategie für das Sampling ergibt sich aus diesem Vorgehen. Die Auswahl der Daten erfolgt nicht zufällig und statistisch-repräsentativ, sondern geplant. Sie wird entlang der Datenanalyse und -interpretation begründet und kumulativ gestaltet. Wie der Forschungsprozess selbst erfolgt sie iterativ und verlaufsoffen. Dieses **theoretische Sampling** ist ein wichtiger methodischer Baustein in Grounded-Theory-Untersuchungen. Zur Qualität des Forschungsprozesses und der entstehenden Ergebnisse trägt diese Form des Samplings maßgeblich bei, da die weitere Datenauswahl immer wieder an den bereits gefundenen und ausgearbeiteten Konzepten und Kategorien ansetzt. Das theoretische Sampling muss deshalb nachvollziehbar begründet und dokumentiert werden (Strübing 2021, 31–34, Strauss und Corbin 1996, 150). Die ersten Fälle und Daten werden anhand der Forschungsfrage und erster vorläufiger Annahmen über den zu untersuchenden Gegenstand ausgewählt und haben „Erkundungscharakter“ (Truschkat et al. 2011, 356). Es werden – durch die theoretische Sensibilität unterstützte – Vermutungen dazu

aufgestellt, wo und wie die gesuchten Informationen am ehesten zu finden sein könnten und welche Datenarten und -quellen sinnvollerweise genutzt werden könnten. Dazu gehören auch Überlegungen, inwieweit die Daten den Forschenden zugänglich sind und welche Aufwände zur Beschaffung ggf. eingeplant werden müssen. Im Verlaufe der Forschung stehen erste Analyseergebnisse (Konzepte, Kategorien, Beziehungen dieser zueinander) zur Verfügung, die dann die weitere Datenauswahl durch die Suche nach Vergleichsfällen spezifischer leiten (Truschkat et al. 2011, 366–368). Die Zielrichtung für das Hinzunehmen weiterer Daten in Grounded-Theory-Untersuchungen ist immer, entweder weitere Konzepte und Kategorien zu finden oder die bestehenden Konzepte und Kategorien weiter auszuarbeiten und anzureichern bzw. mit weiteren Daten auf die Probe zu stellen (Strauss und Corbin 1996, 149–150; Strübing 2021, 31–32).

Das theoretische Sampling erfolgt während der drei Kodierformen mit unterschiedlichem Fokus (Strauss und Corbin 1996, 153–158; Strübing 2021, 32–33; Truschkat et al. 2011, 375):

- Während des offenen Kodierens wird nach Erhebung und Analyse der ersten Daten entschieden, welche weiteren Daten im nächsten Schritt erhoben werden sollen, um einen möglichst großen Kontrast zu den bereits vorhandenen Daten zu erhalten. Dieser Kontrast hilft, Konzepte und Kategorien im Rahmen der Analyse besser zu verstehen und auszuarbeiten. Das Sampling geht hier eher in die Breite und erfolgt relativ offen, um verschiedene mögliche Perspektiven auf den Gegenstand einzufangen.
- Beim axialen Kodieren konzentriert sich auch das Sampling stärker auf das Ziel dieser Kodierform, nämlich Zusammenhänge und Beziehungen der Konzepte und Kategorien und deren Dimensionen systematisch zu entwickeln und auszuarbeiten. Der Fokus liegt hier auf möglichen Variationen eines Phänomens, sodass Vergleichsfälle mit minimalem Kontrast gesucht werden.
- Beim selektiven Kodieren wird die weitere Datenauswahl dann so gestaltet, dass noch vorhandene Lücken geschlossen werden können und die ausgearbeitete Theorie an den Daten überprüft werden kann. Dazu wird ggf. gezielt weiteres Datenmaterial einbezogen oder es wird bereits vorhandenes Material nochmal untersucht und in diesem nachkodiert („Sampling im Sample“).

Da bei Grounded-Theory-Untersuchungen als einem interpretativen Forschungsansatz meist kleine Fallzahlen verwendet werden, wird keine statistische, sondern eine konzeptuelle Repräsentativität angestrebt: Es werden solche und so viele Daten benötigt, wie zu einer umfassenden Ausarbeitung der Kategorien mit Eigenschaften und Dimensionen, Bedingungen und Beziehungen notwendig sind. Als sinnvolles „Abbruchkriterium“ für das Hinzuziehen weiterer Daten wird deshalb eine **theoretische Sättigung** angestrebt. Diese ist in der Forschungslogik der Grounded Theory erreicht, wenn weiteres Material keine neuen Konzepte und keine zusätzlichen relevanten Eigenschaften und Dimensionen der bestehenden Konzepte mehrzutage bringt bzw. die Erkenntnisse über die Konzepte und Kategorien mit Blick auf die Forschungsfrage nicht weiter ausdifferenziert werden. Um

diesen Zustand zu erreichen, wird in den durch das theoretische Sampling neu hinzugekommenen Daten nach weiteren Konzepten gesucht, mit Hilfe von Vergleichen Variationen aufgespürt und untersucht, inwieweit auch kontrastierende Fälle ggf. in die Theorie integriert werden können (Strauss und Corbin 1996, 159–161; Strübing 2021, 33–35; Mey und Mruck 2020, 522). Häufig ist es so, dass sich nicht alle Kategorien als gleich bedeutsam erweisen. Insbesondere während des axialen Kodierens werden erste Relevanzentscheidungen dahingehend vorgenommen, dass nicht alle Kategorien weiterverdichtet werden, sondern nur diejenigen, von denen ein großer Beitrag zur Beantwortung der Forschungsfrage zu vermuten ist (Strübing 2021, 19). Diejenigen, die als Schlüsselkategorien fungieren und einen großen Erklärungsbeitrag leisten können, sollten möglichst umfassend gesättigt sein. Für weniger wichtige Kategorien kann das Sampling bereits früher beendet werden, auch um die Datenmenge nicht unnötig groß werden zu lassen und die für die Forschungsarbeit zur Verfügung stehenden zeitlichen Ressourcen ökonomisch einzusetzen (Truschkat et al. 2011, 372–374).

3.2.4 Dokumentation des Forschungsprozesses

Der Forschungsprozess in Grounded-Theory-Untersuchungen wird kontinuierlich schriftlich dokumentiert. Dafür werden in allen drei Kodierformen verschiedene Dokumentations- und Visualisierungsformen genutzt, die dazu dienen, die Analyse der Daten und das Ausarbeiten der Theorie zu unterstützen. Üblicherweise wird mit **Memos und Diagrammen** gearbeitet. Zum Beispiel dienen Kodenotizen während der ersten Kodierungsschritte dazu, Beobachtungen, Ideen und Annahmen zu einzelnen Konzepten zu erfassen und für das weitere Ausarbeiten der Konzepte festzuhalten. Diese Memos werden in den weiteren Kodierphasen ergänzt und es werden Eigenschaften, Dimensionen und Verknüpfungen mit anderen Konzepten genauer beschrieben. Theoretische Notizen sind abstrakter. Sie nehmen auch theoretisches Vorwissen auf und verknüpfen es mit den Forschungsergebnissen zur stärker analytisch gestalteten Entwicklung von Kategorien und den Beziehungen zwischen ihnen. Erste theoretische Schlussfolgerungen weisen schon in Richtung der zu erarbeitenden Theorie. Dies wird durch Skizzen, Diagramme oder Matrizen unterstützt, welche visuell die logischen Zusammenhänge von Konzepten und Kategorien abbilden und im laufenden Analyseprozess weiter aus- oder umgearbeitet werden. Die Visualisierungen dienen ebenfalls dazu, die eigenen Überlegungen zu konzeptuellen Verknüpfungen als Annahmen zu ordnen, um sie im weiteren Kodierungsprozess anhand der Daten zu überprüfen. Die letzte Form von Memos sind Planungsnotizen, die Ideen und Überlegungen dazu festhalten, wie im Forschungsprozess weiter vorgegangen werden soll, z.B. in Bezug auf die Fallauswahl oder die als nächstes zu analysierenden Daten. Memos und Diagramme können in den verschiedenen Schritten der Datenanalyse genutzt werden, um die Forschungsergebnisse zu sortieren, zu verdichten und gezielt nach Lücken zu suchen, die noch bearbeitet werden müssen (Strauss und Corbin 1996, 169–192).

Das die Datenanalyse begleitende systematische Schreiben von Memos und das Erstellen von Diagrammen stellt in Grounded-Theory-Untersuchungen somit ein wichtiges analytisches und kreativitätsförderndes Arbeitsmittel zur Theorieentwicklung dar. Es hat zudem praktischen Nutzen, weil Nebengedanken nicht verloren gehen und ggf. zu einem späteren Zeitpunkt im Forschungsprozess weiterverfolgt werden können. Die eigenen Überlegungen können so auch von anderen leichter nachvollzogen werden und Entscheidungen im Forschungsprozess können nachgehalten werden, was die spätere Darstellung der Forschungsarbeit und ihrer Ergebnisse unterstützt (Strübing 2021, 35–37).

3.2.5 Qualitätssicherung in Grounded-Theory-Studien

Zum Schluss dieses Unterkapitels werden die Forschungsstandards und wissenschaftlichen Gütekriterien expliziert, die an Grounded-Theory-Untersuchungen als eine Form qualitativer Forschung üblicherweise angelegt werden und denen auch diese Forschungsarbeit genügen will. Mit verschiedenen Vorgehensschritten und Maßnahmen soll eine hohe Prozess- sowie Ergebnisqualität erreicht werden.

Die wissenschaftliche Qualität einer Grounded Theory-Studie entsteht durch die folgenden vier Maßnahmenbereiche, die jeweils dokumentiert und damit nachvollziehbar gemacht werden müssen (Strauss und Corbin 1996, 214–221; Strauss und Corbin 1996, 29; Strübing 2021, 87–98):

1. Eine gute und gegenstandsangemessene **Datengrundlage** ist die Basis dafür, dass die Forschungsfrage umfassend untersucht werden kann. Dafür muss sichergestellt werden, dass die genutzten Daten die benötigten Informationen beinhalten und einen breiten und tiefen Zugang zu den zu untersuchenden Phänomenen ermöglichen. Nur auf dieser Basis können Forschungsergebnisse erarbeitet werden, die das Verständnis des Gegenstandsbereichs erweitern können.
2. Der **Forschungsprozess** muss so gestaltet werden, dass er für die Untersuchung der Fragestellung geeignet ist. Entscheidungen im Forschungsprozess müssen transparent gemacht und begründet werden, sodass intersubjektiv nachvollziehbar wird, wie die Forschungsergebnisse erarbeitet wurden. Um eine hohe Prozessqualität sicherzustellen, müssen insbesondere das Kodieren und die Datenanalyse regelgeleitet sein und die üblichen methodischen Standards erfüllen (siehe Abschnitte 3.2.2 – 3.2.4).
3. Die **Forschungsergebnisse** müssen nachvollziehbar in den Daten verankert sein und an diesen belegt werden. Die systematische Darstellung der Verknüpfungen von Konzepten/Kategorien, die Dichte ihrer Ausarbeitung sowie die Variationen der Bedingungen erlauben, die empirische Verankerung der Forschungsergebnisse einzuschätzen. Dadurch, dass Grounded-Theory-Untersuchungen eng im Gegenstand verankert sind, sind sie konzeptionell bedingt von einer definierten – und begrenzten – Reichweite, welche deutlich gemacht werden muss. Durch das theoretische Sampling wird eine möglichst große konzeptuelle Repräsentativität angestrebt; mit einer umfassenden und systematischen Entwicklung der Bedingungen und Variationen kann der Geltungsbereich der Forschungsergebnisse so groß wie möglich gefasst werden kann.

4. Neben der Gegenstandsverankerung und der daraus entstehenden Plausibilität sollten die Forschungsergebnisse von Grounded-Theory-Studien eine **praktisch-experimentelle Funktionsfähigkeit** aufweisen. Dafür müssen sie den Gegenstandsbereich gut „treffen“ und neben dem Nutzen für Forschende auch für Praktiker/-innen in dem Feld verständlich und von praktischer Relevanz sein¹⁰. Die praktische Relevanz zeigt sich z.B. daran, dass die Ergebnisse helfen, das problemlösende Handeln im betrachteten Feld zu verbessern und dabei auch zeitlichen Wandel berücksichtigen (Strübing 2021, 92–93). Die Geltungsbedingungen und damit die Reichweite der theoretischen Erkenntnisse sollten aufgrund der konzeptuellen Formulierung und der erarbeiteten Variation ein gewisses Maß an Abstraktion ermöglichen, sodass die Forschungsergebnisse auf möglichst viele Kontexte angewendet werden können, die mit dem untersuchten Phänomen in Verbindung stehen (Strauss und Corbin 1996, 8; Strübing 2021, 66–67).

3.3 Methodisches Vorgehen im Forschungsprozess dieser Arbeit

Nachdem im vorigen Unterkapitel die Forschungsmethodologie der Grounded Theory in ihren Grundsätzen dargestellt wurde, wird in diesem Unterkapitel die konkrete Umsetzung der methodischen Schritte in dieser Untersuchung erläutert.

Für die Forschungspraxis werden die Systematik der Grounded Theory und die verwendeten Methoden an einigen Stellen angepasst, was sich v.a. aus der Forschungsfrage und der Art des verwendeten Datenmaterials ergibt. Die erste Anpassung ist die folgende: Die Methodologie der Grounded Theory wird in dieser Arbeit verwendet, um Kategorien zu entwickeln. Diese Kategorien werden dann mit anderen Methoden daraufhin weiteruntersucht, ob sie als Fundamentale Ideen für die berufliche Fachrichtung Elektrotechnik dienen können. Aus diesem Grund wird die Grounded-Theory-Analyse nach dem axialen Kodieren mit den ausgearbeiteten und zueinander in Beziehung gesetzten Kategorien beendet. Nachfolgende übliche Schritte wie das Entwickeln einer Kernkategorie und die Integration zu einer Theorie sind für die Beantwortung der Forschungsfrage nicht erforderlich. Weitere Anpassungen der Methodik, z.B. an die Art des Datenmaterials, werden weiter unten an den passenden Textstellen erläutert.

Zunächst wird das iterative Vorgehen in dieser Studie beschrieben (Abschnitt 3.3.1) und es wird dargestellt, mit welchem theoretischen Vorwissen und aus welcher Forschungsperspektive die Untersuchung erfolgt (Abschnitt 3.3.2). Danach wird in das theoretische Sampling dieser Forschungsarbeit eingeführt und begründet, welche Daten genutzt werden und welche damit verbundenen Auswahlentscheidungen bzgl. Datenmaterial und -art, Menge und Reihenfolge getroffen wurden (Abschnitt 3.3.3). Die Datenanalyse erfolgt

¹⁰ Strübing et al. stärken diesen Aspekt noch, wenn sie textuelle Performanz als eigenes weiteres Gütekriterium qualitativer Forschungsarbeiten vorschlagen, da der schriftlichen Formulierung der Forschungsergebnisse (und des Forschungsprozesses) in Form von Publikationen eine hohe Bedeutung bei ihrer Vermittlung und Rezeption zukommt (Strübing et al. 2018, 93–94).

mit den unterschiedlichen in Abschnitt 3.2.2 vorgestellten Kodierformen. Wie diese angewendet wurden und in welchen Schritten die Ergebnisse erarbeitet worden sind, wird im letzten Teil des Unterkapitels erläutert (Abschnitt 3.3.4).

3.3.1 Iteratives Vorgehen im Forschungsprozess

Auch in dieser Forschungsarbeit wurden Datenerhebung und -auswertung miteinander verschränkt und erfolgten iterativ und zirkulär, wie das für Grounded-Theory-Untersuchungen typisch ist. Zunächst war geplant, anhand von bestehenden fach- und technikdidaktischen Ansätzen (siehe Unterkap. 2.3) strukturierende Ideen, Prinzipien und Konzepte für die berufliche Fachrichtung Elektrotechnik zu gewinnen und aus diesen die fundamentalen Ideen herauszuarbeiten und zu validieren. Die Analyse der Vorarbeiten zeigte allerdings, dass diese zu weit weg von der hier bearbeiteten Fragestellung bzw. auf andere Ziele ausgerichtet sind und nur als Anregung und für bestimmte Aspekte genutzt werden konnten. Sie wurden deshalb im Weiteren anders als ursprünglich gedacht zur theoretischen Sensibilisierung bei der Vorbereitung der Datenanalyse genutzt, um mögliche Blickwinkel auf die untersuchten Daten zu generieren und erste Hinweise auf strukturierende Ideen, Prinzipien und Konzepte für die berufliche Fachrichtung Elektrotechnik zu gewinnen. Diese Hinweise wurden in Memos festgehalten und dienten als theoretisches Hintergrundmaterial. Sie bildeten Anregungen für die Datenerhebung und -analyse und wurden dabei im Sinne der Grounded Theory als vorläufig und hypothetisch betrachtet, sofern sie sich nicht auch aus den Daten heraus als erkennbar und belegbar gezeigt haben.

Der Beginn der Datenerhebung erfolgte auf der Grundlage des unten beschriebenen theoretischen Samplings. Zunächst war das Vorgehen stark induktiv und die ersten Konzepte wurden direkt aus den Daten heraus entwickelt. Begonnen wurde die Kodierung in einem Lehrwerk. Relativ schnell wurden die weiteren Lehrwerke hinzugenommen und im Weiteren lehrwerkübergreifend kodiert. Vertiefende Kodierungsphasen in einzelnen Lehrwerken und vergleichende Kodierungsphasen wechselten sich im Prozess ab. Zur konkreten Reihenfolge der untersuchten Textbereiche, Themen und Lehrwerke siehe Abschnitt 3.3.4 zur Datenanalyse und -auswertung.

3.3.2 Forschungsperspektive und theoretische Sensibilität

Da das Vorgehen in Grounded-Theory-Untersuchungen einen offenen Blick sowie ein Gespür für die Feinheiten in den Daten erfordert, wird der theoretischen Sensibilität der Forschenden Bedeutung zugemessen. Diese entsteht aus der individuellen Forschungsperspektive und der beruflichen Sozialisation und wie auch durch die Nutzung von Theorien und weiterem Kontextmaterial vor dem oder im Forschungsprozess.

Die Forscherin ist Bildungswissenschaftlerin mit fachlichem Schwerpunkt in der Erwachsenen- und beruflichen Bildung. Sie verfügt über berufliche Erfahrung u.a. im Bereich der

Lehrkräftebildung und der schulischen Berufsausbildung. Zudem bringt sie langjährige Arbeits- und Felderfahrung im ingenieurwissenschaftlich-technischen Universitätsumfeld ein, aktuell in einer Fachgruppe für die Didaktik der Elektrotechnik und Informatik, wo sie in der Lehre an fachdidaktischen Lehrveranstaltungen mit Praxiselementen an berufsbildenden Schulen mitgewirkt hat. Beides prägt die konkrete Forschungsperspektive: Die eigene akademische Sozialisation durch pädagogisch-didaktische Vorgehensweisen und Forschungserfahrungen, die stark von der qualitativen Sozialforschung sowie von beteiligungsorientierten und reflexiven Ansätzen geprägt sind; die Felderfahrung im ingenieurwissenschaftlich-technischen Universitätsumfeld durch die gute Kenntnis von Studienstrukturen, Curricula und Lernformen – auch für das berufliche Lehramt – und das Verständnis typischer Problemstellungen und Arbeitsweisen in den Ingenieurwissenschaften. Dadurch besteht eine hohe Sensibilität für verschiedene Fachkulturen und die Gemeinsamkeiten und Unterschiede zwischen ihnen. Zugleich begründet sich dadurch der gewählte forschungsmethodische Ansatz, Methoden und Vorgehensweisen der qualitativen Sozialforschung auf eine fachnahe fachdidaktische Fragestellung der Elektrotechnik-Ausbildung anzuwenden.

Wenngleich die Autorin durch schulische Leistungskurse und ein naturwissenschaftliches Grundstudium im gymnasialen Lehramt über eine solide physikalisch-technische Grundbildung verfügt, steht die pädagogisch-didaktische Perspektive gegenüber der ingenieurwissenschaftlich-fachlichen Perspektive auf die berufliche Fachrichtung Elektrotechnik im Vordergrund. Dies hat Auswirkungen auf den Forschungsprozess: Zum einen entstehen an verschiedenen Stellen fachliche Fragen, die bei Bedarf durch weitergehende Lektüre oder im Austausch mit Kolleg(inn)en geklärt werden müssen, sofern sie für die Konzeptentwicklung relevant sind. Aus diesem Grund wurde weiteres Hintergrundmaterial hinzugezogen und eine Vorlesung zur Geschichte der Elektro- und Informationstechnik besucht¹¹. Zum anderen bietet der fachfremde Blick die Chance, stärker die Muster, roten Fäden und größeren Linien in den Daten wahrzunehmen und in der Analyse zu fokussieren und weniger auf fachliche Details zu achten.

Das theoretische Vorverständnis für diese Forschungsarbeit ergibt sich aus der initialen Beschäftigung mit dem Ansatz der Fundamentalen Ideen und ähnlicher Konzeptionen aus unterschiedlichen Fächern (siehe Unterkap. 2.1). Zudem wurden die bildungswissenschaftliche Fundierung des Ansatzes sowie seine Anknüpfung an das aktuelle berufspädagogische Verständnis zur Entwicklung beruflicher Handlungskompetenz analysiert (siehe Unterkap. 2.2). Diese Analyse des bestehenden Forschungsstands war erforderlich, um das Konstrukt der Fundamentalen Ideen fachdidaktisch und berufspädagogisch einordnen zu können und darauf aufbauend die eigene(n) Forschungsfrage(n) zu formulieren. Weiterhin wurden vorliegende technikdidaktische Ansätze oder fachdidaktische Ansätze mit Bezug

¹¹ Vorlesung „Geschichte der Elektro- und Informationstechnik“ von Prof. Wolfgang Mathis an der Leibniz Universität Hannover (Wintersemester 2022/23)

zur Elektrotechnik auf ihre Beiträge daraufhin ausgewertet, ob bzw. welche grundlegenden fachlichen Ideen, Prinzipien und Konzepte sie zur Strukturierung von fachbezogenen Lernprozessen verwenden (siehe Unterkap. 2.3). Auch diese Analyse erfolgte vor der eigenen empirischen Phase der Datenauswahl und -auswertung. Sie half, die Forschungslücke klarer zu benennen, die Ausrichtung der eigenen Forschungsarbeit zu justieren und Vorstellungen zu entwickeln, in welche Richtungen die Aufmerksamkeit zur Auswahl der ersten Daten gerichtet werden könnte.

Mit diesen theoretischen Wissensbeständen wurde die empirische Phase geplant und die Datenauswahl sowie das Kodieren der Daten begonnen. Während der Datenanalyse und -interpretation wurden weitere fachliche, didaktische und technikhistorische Quellen hinzugezogen, um fachliche Fragen zu klären, Anregungen für weitere Perspektiven auf die Daten zu generieren, die Interpretationen zu bereichern und die entwickelten Kategorien anzureichern. Wenn Inhalte und Ideen daraus in den Text eingeflossen sind, wird die Quellen an den jeweiligen Stellen genannt.

3.3.3 Datenauswahl

Wie in Unterkapitel 3.2 dargestellt, wird in der Grounded Theory meist mit einem theoretischen Sampling gearbeitet. Ein solches Vorgehen bei der Datenauswahl wurde auch in dieser Untersuchung genutzt und wie folgt umgesetzt:

Um fachliche Grundprinzipien, Konzepte oder Ideen für die berufliche Fachrichtung Elektrotechnik herauszuarbeiten, welche sich dann später ggf. als Fundamentale Ideen identifizieren lassen, müssen fachliche Inhalte dieses Gegenstandsbereichs die Datengrundlage für die Untersuchung bilden. Fundamentale Ideen eines Faches als Ziel der Forschungsarbeit beziehen sich zwar inhaltlich auf die fachlichen Kerne, sie stellen aber ein fachdidaktisches Instrument dar, wie oben in Abschnitt 2.1.1 dargestellt wurde. Deshalb wird davon ausgegangen, dass (fach-)didaktisch aufbereitete Inhalte eine besonders geeignete Basis für die Datenauswahl sein dürften, um relevante Konzepte und Kategorien der Elektrotechnik zu identifizieren und damit einen substantziellen Beitrag bei der Beantwortung der Forschungsfrage zu leisten.

Grundsätzlich kommen mehrere Optionen in Frage, mit Hilfe welcher Quellen solche Konzepte und Kategorien gesucht werden können: Zum einen könnten Expert(inn)en nach den gesuchten Konstrukten, in diesem Falle möglichen Fundamentalen Ideen, befragt werden. Als mögliche Expert(inn)en könnten z.B. Lehrkräfte an berufsbildenden Schulen, Fachleiter/-innen oder Hochschullehrende, aber auch Praxisausbilder/-innen oder berufserfahrene Facharbeiter/-innen und Handwerker/-innen in Frage kommen. Zum anderen kommt eine Analyse bereits aufbereiteter Sammlungen fachlicher Inhalte in Frage, wie sie z.B. in Skripten oder Lehrbüchern/Lehrwerken vorliegen.

Lehrwerke – die Bezeichnung dient hier als Oberbegriff für Schulbücher und an Hochschulen eingesetzte Lehrbücher – stellen aufbereitete und lektorierte Inhaltssammlungen

dar, in denen die fachlichen Inhalte bereits unter fachdidaktischer Perspektive einer „Vorauswahl“ unterzogen worden sind. Die Lehrwerke sind oftmals von mehreren im Fach und in der Lehre erfahrenen Expert(inn)en verfasst und zudem von einem einschlägigen Fach- oder Lehrbuchverlag redaktionell bearbeitet worden, um die Vermittlung fachlicher Inhalte möglichst gut zu unterstützen. Lehrwerke stellen deshalb für die Fragestellung dieser Arbeit eine gut geeignete Art von Datenquelle dar. Anders als Befragungen oder Skripten sind sie weniger subjektiv, also z.B. von der fachlichen Herkunft der bzw. des einzelnen Lehrenden, ihren bzw. seinen persönlichen didaktischen Entscheidungen und inhaltlichen Schwerpunktsetzungen abhängig. (Schriftliche) Lehrwerke ermöglichen schneller und umfassender einen Überblick über fachliche Inhalte als Befragungen von Lehrenden, in denen aufgrund des Formates und der zur Verfügung stehenden Zeit jeweils nur Teilaspekte und keine größeren fachlichen Bereiche in ihrer Breite erhoben werden können. Schriftliche Befragungen von Fachexpert(inne)en wären zudem forschungsmethodisch darauf angewiesen, dass vorab ein gemeinsames und einheitliches Begriffsverständnis darüber vorliegt, was eine Fundamentale Idee ist. Dies kann nicht vorausgesetzt werden, da das Konstrukt in der betrachteten fachlichen Domäne bislang noch keine Anwendung findet, sondern ein solches Verständnis müsste jeweils zunächst hergestellt werden.

Aufgrund dieser Vorteile werden in Lehrbücher als primäre Datenquelle für die Analyse verwendet. Das genutzte Datenmaterial besteht aus natürlichen Daten, d.h. solchen Daten, die bereits vorliegen und nicht spezifisch für den Zweck dieser Untersuchung erhoben worden sind. Das macht sie über wissenschaftliche Bibliotheken oder Verlage gut zugänglich. Allerdings muss berücksichtigt werden, dass die Daten (= Lehrwerke) aus dem Kontext herausgelöst werden, in dem sie ursprünglich entstanden sind. Dieser Entstehungskontext – zum Beispiel die Orientierung an ordnungs-/bildungspolitischen Vorgaben oder eine angestrebte Stärkung des wissenschaftlichen Renommées der Autor(inn)en – kann ggf. im Rahmen der Analyse berücksichtigt werden.

Da die Elektrotechnik im Kontext der beruflichen Bildung fokussiert wird, werden solche Lehrwerke einbezogen, die an den beruflichen Schulen als Lehrbücher für Auszubildende eingesetzt oder die im Rahmen des Studiums der beruflichen Fachrichtung Elektrotechnik als Grundlage genutzt werden. Diese wurden zunächst über den Katalog der Universitätsbibliothek recherchiert und ihre Verbreitung und Nutzung dann über die Recherche von Auflage und Verkaufszahlen sowie die Angaben in öffentlich zugänglichen Modulkatalogen in Elektrotechnik-Studiengängen eingeschätzt. Eine Übersicht der recherchierten/ge-sichteten Lehrwerke findet sich im Anhang (siehe Anlage 7.1). Aufgrund der nationalen Unterschiede in der Ausbildung beruflicher Lehrkräfte und der Strukturen beruflicher Ausbildungen erfolgt eine Beschränkung auf deutsche Lehrwerke. Die Lehrwerke sollten zudem in einer aktuellen Auflage vorliegen. Die Anzahl der Auflagen der Lehrbücher dient als Indiz für deren Verbreitung, die Langfristigkeit ihres Einsatzes und damit ihre Akzeptanz in der jeweiligen Lehr-Lern-Community. Zudem war es eine forschungspraktische Anforderung, dass die Lehrwerke auch in einem elektronisch verarbeitbaren Dateiformat

zugänglich waren (i.d.R. als PDF-Datei), da Analyse und Auswertung der Daten softwaregestützt mit MAXQDA, einem Programm für die computergestützte qualitative Daten- und Textanalyse, erfolgen sollten.

Aus dieser Vorauswahl wurden drei Lehrwerke für die Grounded Theory-Analyse ausgewählt, die mutmaßlich einen besonders großen Beitrag zur Beantwortung der Fragestellung dieser Arbeit leisten können (siehe Tabelle 3). Um die verschiedenen Ausbildungsorte der angehenden beruflichen Lehrkräfte (Universität und berufsbildende Schule) und kontrastierendes Datenmaterial einzubeziehen, wurde jeweils ein Lehrwerk für den berufsschulischen Unterricht im Rahmen elektrotechnischer Berufsausbildungen, eins für Nebenfachstudierende der Elektrotechnik und eins für Elektrotechnikstudierende im Hauptfach einbezogen.

Tabelle 3: Übersicht über das Sample der Lehrwerke

Kürzel	Titel Lehrwerk	Autor(inn)en	Aufl., Ersch.jahr	Hauptzielgruppe(n)
LW1	Fachkunde Elektrotechnik	Bumiller, Horst; Burgmaier, Monika; Duhr, Christian; Eichler, Walter; Feustel, Bernd; Käppel, Thomas et al. (2020): Fachkunde Elektrotechnik	32. Auflage 2020	Auszubildende in den Elektroberufen
LW2	Elektrotechnik. Für Maschinenbauer sowie Studierende technischer Fächer	Fischer, Rolf	16. Auflage 2019	Studierende, insbesondere an HAWs, des Maschinenbaus oder anderes techn. Fächer; Praktiker/-innen
LW3	Moeller Grundlagen der Elektrotechnik	Harriehausen, Thomas; Schwarzenau, Dieter	24. Auflage 2020	ingenieurwissenschaftliche Studierende der Elektrotechnik an Universitäten und Fachhochschulen

Lehrwerk LW1: Dieses Lehrbuch (Bumiller et al. 2020) findet in der beruflichen Ausbildung Anwendung und ist an berufsbildenden Schulen weit verbreitet. Es richtet sich an alle elektrotechnischen Ausbildungsberufe in Handwerk und Industrie und deckt alle Lernfelder ab. Die ersten vier Lernfelder sind in den Rahmenlehrplänen für alle handwerklichen und industriellen Elektroniker-Ausbildungsberufe gleich. Das Lehrbuch „Fachkunde Elektrotechnik“ wird vom Europa Lehrmittel-Verlag herausgegeben und regelmäßig bezüglich

neuer Normen und Vorschriften sowie Technologien aktualisiert¹². Weitere analoge und digitale Lehrmaterialien (z.B. Arbeitsbuch, Formelsammlung, Simulationen, interaktive Arbeitsblätter) stehen als Ergänzung zum Lehrbuch zusätzlich zur Verfügung.

Lehrwerk LW2: Das Lehrbuch (Fischer 2019) richtet sich an Studierende, die insbesondere an Hochschulen für angewandte Wissenschaften Maschinenbau oder andere technische Fächer studieren und dafür auch elektrotechnische Fachkompetenz benötigen, sowie an Praktiker/-innen. Inhaltlich deckt es die Grundlagen der Elektrotechnik und Fachgebiete wie Elektrische Maschinen, Antriebstechnik und Steuerungstechnik ab, die für Anwendungen im Bereich des Maschinenbaus besonders relevant sind. Das Lehrbuch umfasst viele Anwendungsbeispiele und legt Wert auf die Relevanz der Inhalte für technisch-ingenieurwissenschaftliche Fragestellungen. Diese Art von Lehrbuch wurde in die Datenauswahl einbezogen, da Universitäten im Rahmen des beruflichen Lehramtsstudiums verschiedentlich Nebenfach-Lehrveranstaltungen aus benachbarten Fächern für die beruflichen Lehramtsstudierenden auswählen. Sie tun dies z.B., weil sie diese „Nebenfach-Lehrveranstaltungen“ für passender halten, was die Breite und Tiefe der zu erwerbenden elektrotechnischen Inhalte oder ihren Bezug zur späteren beruflichen Tätigkeit der Studierenden angeht.

Lehrwerk LW3: Das dritte Lehrbuch, das in die Analyse einbezogen wird, ist ein Standardwerk für das elektrotechnische ingenieurwissenschaftliche Studium an Universitäten und Fachhochschulen, welches seit einigen Jahrzehnten regelmäßig aktualisiert und neu aufgelegt wird (Harriehausen und Schwarzenau 2020). Es richtet sich an „Hauptfachstudierende“ der Elektrotechnik und ist auch als Nachschlagewerk konzipiert. Dieses Lehrwerk behandelt elektrotechnische Grundlagen am ausführlichsten. Die Wirkungsweise verschiedener Schaltungen unter typischen Rahmenbedingungen werden ausführlich erläutert und dabei die physikalischen Grundlagen und Wirkmechanismen betont. Zudem nehmen mathematische Berechnungsverfahren in diesem Lehrwerk den größten Raum ein. Die Autoren nutzen ebenfalls viele Beispiele, dies sind allerdings meist Rechenbeispiele, keine Anwendungsbeispiele. Dieses Lehrwerk behandelt Anwendungsgebiete der Elektrotechnik nur am Rande bzw. mit knappen Verweisen.

Wenngleich Bildung in Deutschland zu großen Teilen in der Verantwortung der Bundesländer liegt, ist dies bei der Analyse der Lehrwerke für diese Arbeit nicht relevant, da die Lehrwerke sich auf das Fach bzw. die fachliche Domäne beziehen. Auch das Fachkunde-Buch (Lehrwerk [LW1]) hat die bundesweit einheitliche Ausbildungsverordnungen sowie die Rahmenlehrpläne der Elektroberufe als Grundlage. Die Anwendung der Rahmenlehrpläne kann zwischen den Ländern zwar differieren. Diese Ebene liegt allerdings außerhalb

¹² Das Lehrbuch steht normalerweise nicht als PDF-Datei zur Verfügung. Der Verlag hat der Autorin zur befristeten Verwendung für diese Forschungsarbeit eine PDF-Version zur Verfügung gestellt und eine Nutzungsgenehmigung erteilt.

der Fragestellung dieser Arbeit und wird deshalb nicht betrachtet. Selbstverständlich werden die ausgewählten Lehrwerke nicht an allen berufsbildenden Schulen und Hochschulstandorten eingesetzt. Sie haben in dieser Hinsicht exemplarischen Charakter. Jedoch wurde bei der Auswahl im Sinne des theoretischen Samplings darauf geachtet, dass die Lehrwerke einerseits typische/häufige und andererseits möglichst kontrastierende fachliche Zugänge für angehende berufliche Lehrkräfte der Fachrichtung Elektrotechnik bieten können.

Die drei ausgewählten Lehrwerke sind mit ca. 500–700 Seiten jeweils sehr umfangreich. Sie beschäftigen sich zu einem großen Teil mit elektrotechnischen Grundlagen und darüber hinaus in unterschiedlichem Umfang mit weiteren Themengebieten der Elektrotechnik. Alle Bücher enthalten Hinweise zu Anwendungsfeldern und Übungsaufgaben – auch dies in unterschiedlichem Umfang. Die Übungsaufgaben umfassen oftmals mathematische Berechnungen, teilweise aber auch konzeptionelle oder anwendungsorientierte Fragestellungen.

Da diese Forschungsarbeit auf Konzepte und Kategorien abzielt und in jedem Lehrwerk eine Vielzahl von Konzepten in verschiedenen Textabschnitten zu erwarten ist, stellt für die Sampling-Strategie das einzelne Lehrwerk nicht jeweils nur einen einzelnen Fall dar. Vielmehr wird die Auswahl der jeweils untersuchten Daten und die Reihenfolge, in der sie analysiert werden, vom Vorgehen „Sampling im Sample“ geleitet; das bedeutet, dass innerhalb des vorhandenen Materials gezielt ausgewählt wird, ob im nächsten Schritt weiteres Datenmaterial einbezogen oder bereits kodiertes Material nochmal bzw. weiter untersucht wird, z.B. während des axialen oder des selektiven Kodierens. Dabei liefern die jeweils analysierten Textstellen, die aus diesen Daten entwickelten Annahmen und der Stand der entwickelten Konzepte Anhaltspunkte, welche Daten im nächsten Schritt untersucht werden sollten. Es wird deshalb nicht angestrebt, die Lehrwerke in vollem Umfang und in gleicher Tiefe zu kodieren (einen weiteren Grund liefert bei der Fülle des Materials auch der für die Qualifikationsarbeit zur Verfügung stehende zeitliche Rahmen).

3.3.4 Datenauswertung und -analyse

Grundlage für die Datenauswertung waren die PDF-Dateien der drei Lehrwerke. Diese Dokumente wurden in die für die Datenanalyse verwendete Software (MAXQDA, Version Analytics Pro 2022) geladen und dort nach den in Abschnitt 3.2.2 beschriebenen Kodierverfahren von Strauss und Corbin in mehreren Arbeitsschritten kodiert.

Dazu wurden Textsegmente markiert und mit einem oder mehreren Schlagworten versehen, welche das Thema oder die Hauptaussage des Textsegmentes gut repräsentieren. Diese Schlagworte werden in der Nomenklatur von MAXQDA als Codes (= Konzeptbezeichnungen) bezeichnet, im Sinne der Grounded Theory verkörpern sie die ersten Konzepte. Aus diesen Schlagworten entstand nach und nach eine Konzeptliste, die im Laufe

des Kodierungsprozesses zu einem hierarchisch aufgebauten Kategoriensystem weiterentwickelt wurde. Die kodierten Textsegmente waren unterschiedlich groß. Es wurden einzelne Begriffe, Formulierungen, ganze Sätze oder größere Textabschnitte kodiert. Inhaltlich waren die kodierten Segmente z.B. Grundbegriffe, Erläuterungen, Definitionen, Beschreibungen oder Beispiele. Die Benennung der Konzepte erfolgte zu Beginn zum Teil mit „in-vivo-Codes“, d.h. mit den in den Daten direkt verwendeten Begrifflichkeiten (z.B. „Erdung“ als Beispiel aus dem Kontext von Schutzmaßnahmen und Sicherheit, aus dem auch die folgenden Beispiele stammen), zum Teil mit eigenen Bezeichnungen (z.B. „Verhaltensvorgaben“). Später im Kodierprozess kamen in stärkerem Maße Codes hinzu, mit denen mehrere kodierte Textsequenzen unter einem bestimmten Aspekt zusammengefasst werden konnten (z.B. „Redundanz“). Aus diesen „konstruierten Codes“ wurden dann erste Kategorien gebildet (z.B. „Sicherheit“). Kategorien sind abstrakter benannt als Konzepte, denn sie fassen eine Gruppe von Konzepten zusammen, die sich auf ähnliche Phänomene beziehen.

Im Folgenden wird ein Einblick gegeben, in welcher Reihenfolge welche Teile aus den Lehrwerken in der konkreten Analyse einbezogen wurden (aggregiert in größere Arbeitsschritte):

- Den Einstieg in das Datenmaterial bildete ein offenes Kodieren in dem Lehrbuch aus der beruflichen Ausbildung [LW1] aufgrund seiner Nähe zum späteren beruflichen Handlungsfeld der Lehramtsstudierenden. Hier wurden im ersten Schritt Grundlagenkapitel zu elektrotechnischen Grundbegriffen, Schaltungen und Schaltungstechnik sowie elektrischen und magnetischen Feldern untersucht und eine Vielzahl von Konzepten kodiert.
- Im Anschluss wurden vergleichbare inhaltliche Bereiche in dem Nebenfach-Lehrbuch [LW2] und in dem Hauptfach-Lehrbuch [LW3] untersucht, um zu vergleichen, ob sich die auftretenden Konzepte über die Lehrwerke hinweg ähneln und falls ja, in welchem Umfang, oder ob ganz unterschiedliche Konzepte auftauchen.
- Bereits früh im Analyseprozess wurden erste übergreifende Konzepte sichtbar. Diesen Konzepten wurde in den Daten nachgegangen, indem in allen drei Lehrwerken strukturiert nach relevanten Stichworten und Begrifflichkeiten gesucht wurde, die weitere Aspekte des jeweiligen Konzepts umfassen könnten. Die entsprechenden Textabschnitte wurden jeweils im Detail kodiert und analysiert, sodass die Konzepte sich in Breite und Tiefe weiterentwickelt haben.
- Danach wurden weitere grundlagenorientierte (z.B. Wechselstromtechnik und elektronische Bauteile) und erste anwendungsbezogenere Bereiche aus den Lehrwerken hinzugenommen (z.B. Steuerungs- bzw. Automatisierungstechnik). Ab diesem Zeitpunkt wechselten sich Phasen des offenen Kodierens und des axialen Kodierens ab, da weitere neue Konzepte hinzukamen, aber auch weitere Details, Ausprägungen oder Anwendungsbeispiele zu bereits benannten Konzepten. Diese Arbeitsphase wurde wieder im Fachkunde-Lehrbuch [LW1] begonnen und dann in den beiden anderen Lehrwerken in den vergleichbaren inhaltlichen Bereichen fortgesetzt.

- Der vorhergehende Arbeitsschritt führte an verschiedenen Stellen dazu, das Messen elektrischer Größen und die entsprechende Messtechnik als ein wichtiges Werkzeug/eine wichtige Praktik der Elektrotechnik genauer in den Blick zu nehmen und die querschnittartigen Verbindungen zu den bisher gefundenen Konzepten und Kategorien genauer – und wiederum unter Verwendung aller verwendeten Lehrwerke – zu untersuchen.
- Zum Ende des Kodierprozesses wurde das Vorgehen zunehmend gezielter und selektiver, da die Fragen, die sich im Rahmen der Analyse gestellt haben, auch zunehmend spezifischer wurden. Zum Beispiel wurde nach Lücken, Widersprüchen oder Unterschieden in den Lehrwerken bzgl. einzelner Konzepte gesucht. Hierzu wurde gezielt in einzelnen Lehrwerken nachkodiert.

Bereits während des offenen Kodierens wurden Notizen zu den jeweiligen Konzepten als Memos in MAXQDA erstellt, die verschiedene Teilaspekte eines Phänomens, Anwendungsbeispiele, Verbindungen zu anderen Konzepten, aber auch offene Fragen enthielten. Neben der Kodierung und den Kode-Notizen in MAXQDA wurden weitere Verfahren und Darstellungsformen genutzt, um die entstehenden Ideen und Erkenntnisse zu den Konzepten und Kategorien festzuhalten, zu ordnen und zueinander in Beziehung zu setzen: In theoretischen Memos wurden Annahmen und Ideen zu einzelnen Konzepten und Kategorien festgehalten; in MAXQDA wurde eine aus den Daten entwickelte erste Concept Map der Konzepte/Kategorien und ihrer Beziehungen zueinander erstellt und im Laufe der Datenanalyse aktualisiert und verfeinert; erste inhaltliche Ausarbeitungen einzelner Konzepte und Kategorien wurden in Form einer ausführlichen Tabelle mit Hilfe einer Textverarbeitung vorgenommen; Skizzen zu den Zusammenhängen zwischen Konzepten und die Anwendung des von Strauss und Corbin vorgeschlagenen Kodierparadigmas für die entstehenden Kategorien wurden teils handschriftlich, teils mit einer Präsentationssoftware erstellt. Zusätzlich wurde ein Forschungstagebuch geführt, in welchem Ideen und Überlegungen zum weiteren Vorgehen bei der Datenauswertung und zu möglichen Interpretationen der Arbeitsstände festgehalten wurden.

Wichtige methodische Schritte im Prozess der Datenanalyse und der Interpretation der Daten waren das Entwickeln der einzelnen Konzepte und Kategorien, das Inbeziehungsetzen von Konzepten und Kategorien und die Anwendung des Kodierparadigmas auf die größeren, potenziell relevanten Kategorien. Im ersten Schritt wurden die Textsegmente für jedes Konzept und jede Kategorie analysiert. Gemeinsamkeiten und Variationen wurden aufgefunden und mögliche Dimensionen dafür benannt, markante Beispiele identifiziert, erste Verbindungen und Beziehungen zu anderen Konzepten notiert und es wurde eine erste Arbeitsdefinition für das Konzept bzw. die Kategorie gebildet. Der zweite Schritt diente dazu, herauszuarbeiten, welche Konzepte und Kategorien anhand der Daten Verbindungen zueinander aufweisen und welcher Art die Verbindungen sind. Hier wurde bereits sichtbar, dass einige Konzepte und Kategorien eng und vielfältig mit anderen verknüpft waren, andere dagegen wenige Bezüge aufwiesen und stärker für sich standen.

Hieran schloss sich der dritte Schritt an, die Anwendung des Kodierparadigmas auf diejenigen Kategorien, die sich durch vielfältige und enge Beziehungen zu anderen Konzepten und Kategorien als „Kandidatinnen“ für potenzielle fundamentale Ideen herausgebildet haben.

Das Kodierparadigma von Strauss und Corbin wurde für diese Arbeit angepasst (siehe Abbildung 11). *Handlungen und Handlungsstrategien* werden im Kodierparadigma im Zusammenspiel mit den *Kontextbedingungen* und den *intervenierenden Bedingungen* betrachtet. *Ursächliche Bedingungen* und *Resultate* dienen der formalen Vervollständigung bei der Anwendung des Kodierparadigmas, sind aber inhaltlich von geringerer Bedeutung für die Zielstellung dieser Arbeit.

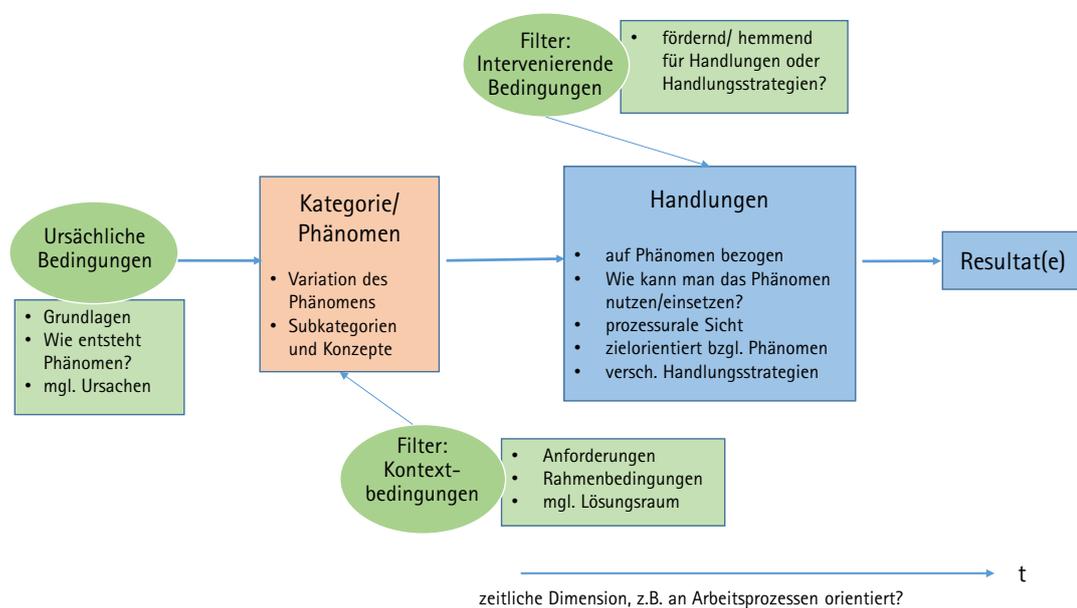


Abbildung 11: Angepasstes Kodierparadigma nach Strauss und Corbin

Aufgrund des verwendeten Datenmaterials (fachlich ausgerichtete Lehrwerke) stehen Handlungen und Interaktionen in den Daten weniger im Fokus, als dies in Untersuchungen der Fall wäre, die z.B. ein soziales Phänomen anhand von Interviews analysieren. Vielmehr umfassen die kodierten Textsegmente dieser Untersuchung häufig abstrakte Phänomene wie z.B. elektrische Energie und Normen oder Gegenständliches wie z.B. Leitungsquerschnitte oder Motoren. Dennoch finden sich in den Daten auch Hinweise auf Handlungen oder Handlungsstrategien, die mit der Ausgestaltung und der Anwendung der Konzepte und Phänomene zu tun haben. Diese sind nicht immer explizit in den Daten benannt, sondern ergeben sich teilweise implizit, z.B. dadurch, dass die Anwendung einer Norm sich in Arbeitshandlungen oder Verhaltensvorgaben widerspiegelt.

Die Anwendung des Kodierparadigmas erwies sich insbesondere für die Verbindungen einer Kategorie zu weiteren Konzepten und Kategorien nützlich. Allerdings blieb seine Anwendbarkeit als unterstützendes Instrument in der Datenanalyse aus den genannten

Gründen beschränkt. Vor allem Handlungen und Handlungsstrategien ließen sich teilweise nur wenig oder nur indirekt in den Daten finden bzw. an Textsegmenten belegen.

Alle Ergebnisse aus der Datenanalyse und Anwendung des Kodierparadigmas wurden abschließend für jede Kategorie entwurfsweise zu einem Konzept-Memo zusammengefasst, in dem alle Erkenntnisse in narrativer Form als Fließtext formuliert wurden. Während des Analyseprozesses erfolgte mehrfach ein Austausch mit anderen Forschenden¹³. Dabei wurden zu verschiedenen Phasen der Untersuchung Ausschnitte der kodierten Daten, erste Konzepte und Kategorien und Interpretationen der Ergebnisse vorgestellt und diskutiert. Diese Präsentationen trugen insbesondere dazu bei, die intersubjektive Nachvollziehbarkeit der Kodierung und der Konzeptentwicklung zu testen und durch kritische Anmerkungen und weitere Anregungen immer wieder Distanz zu den eigenen Interpretationen und Überlegungen herzustellen.

3.4 Validierung der Ergebnisse aus der Grounded-Theory-Analyse

Durch die Grounded-Theory-Analyse konnten einige Kategorien identifiziert werden, die jeweils eine Reihe von Phänomenen, Inhalten, Anwendungen, Vorgehensweisen aus verschiedenen Bereichen der elektrotechnischen Grundlagen unter einer bestimmten fachlichen Perspektive zusammenfassen können. Diese Ergebnisse werden in Kapitel 4 ausführlich dargestellt. Die Kategorien verfügen bereits über eine gewisse Breite und Fülle und könnten somit prinzipiell als Fundamentale Ideen für die berufliche Fachrichtung Elektrotechnik in Frage kommen. Um dieses Potenzial zu überprüfen, werden die Zwischenergebnisse 1.) in ihrem Potenzial als Fundamentale Ideen sowie 2.) in Bezug auf ihre Bedeutung für die fachliche Domäne in zwei voneinander unabhängigen Schritten validiert. Die dafür genutzten Methoden und Verfahren werden in diesem Unterkapitel vorgestellt.

Der erste Validierungsschritt dient dazu festzustellen, ob die aus der Analyse entstandenen Kategorien die Kriterien erfüllen, die Fundamentale Ideen für eine berufsbildende Fachrichtung/Domäne definieren. Im zweiten Validierungsschritt werden diese geprüften Fundamentalen Ideen mit Fachexperten im Hinblick auf ihren inhaltlich-fachlichen Gehalt und ihre Zusammenhänge diskutiert um festzustellen, ob sie wesentliche elektrotechnische Ideen, Konzepte und Prinzipien bündeln, ausreichend voneinander abgegrenzt sind und zusammen betrachtet keine größeren Lücken lassen.

¹³ z.B. in verschiedenen Doktorand(inn)enkollegs an der Leibniz Universität Hannover (Fachgruppe DEI, Doktorand(inn)engruppe des Projektes Leibniz Works 4.0, GradLab) und im Doktorandenkolleg von Prof. Andreas Schwill an der Universität Potsdam. Das geplante methodische Vorgehen hat die Forscherin im Juli 2022 zudem im Rahmen der "Summerschool Qualitative Forschung" an der Universität zu Köln vorgestellt und dazu Feedback erhalten.

3.4.1 Fundamentalitätsnachweis anhand der angepassten Kriterien

Fundamentale Ideen für eine berufliche Fachrichtung sollen die in Abschnitt 2.4.2 dargestellten und in Tabelle 2 gebündelten Kriterien erfüllen. Eine Validierung der erarbeiteten Kategorien mit den Kriterien ist deshalb erforderlich und wird in dieser Arbeit so umgesetzt wie im Folgenden beschrieben. Wenn die Herangehensweisen sich deutlich von denen unterscheiden, die Schwill für die Informatik vorgeschlagen hat (siehe Schwill 1993, 23–24; Schubert und Schwill 2011, 65–66), wird dies benannt und begründet¹⁴.

Horizontalkriterium

Das Horizontalkriterium besagt, dass eine Fundamentale Idee in der betrachteten Domäne der beruflichen Bildung vielfältig anwendbar oder erkennbar sein muss. Die Validierung dieses Kriteriums ergibt sich ohne zusätzlichen Aufwand über das methodische Vorgehen in der Grounded-Theory-Analyse selbst: Durch die Untersuchung der konkreten fachlichen Inhalte für die berufliche Fachrichtung Elektrotechnik und die Suche nach Verbindungen, Gemeinsamkeiten und Analogien zwischen ihnen sind bereits in der Analyse verschiedene Gebiete der Fachrichtung, vielfältige Phänomene und unterschiedliche „Auflösungsgrade“/Ebenen einbezogen worden, die zunächst zu Konzepten und bei größerer Fülle und Reichweite zu Kategorien entwickelt wurden. Das Horizontalkriterium kann deshalb für jede der vorgeschlagenen Fundamentalen Ideen (siehe Unterkap. 4.1 – 4.6) als erfüllt betrachtet werden, weil die vielfältigen Datenbelege zeigen, dass die Idee in verschiedenen Gebieten der beruflichen Fachrichtung Elektrotechnik vielseitig anwendbar oder erkennbar ist.

Die Validierung des Horizontalkriteriums erfolgt anders als bei Schwill, was sich aus dem hier gewählten Forschungsansatzes ergibt – es fällt sozusagen bei der Grounded-Theory-Analyse „gleich mit ab“. Schwill ging von einem grundlegenden typischen Prozess des Faches aus, an dem entlang er aus seiner persönlichen Fachkompetenz und Erfahrung mögliche Fundamentale Ideen identifizierte und auch gleich verschiedene Anwendungsgebiete und -beispiele herausarbeitete (Schwill 1993, 25–28). Eine ähnliche Beschränkung auf einen übergreifenden Prozess für die betrachtete sehr breite berufliche Domäne Elektrotechnik ist nicht sinnvoll zu begründen. Schwills Orientierung an einem (obschon zentralen) Prozess wurde allerdings auch für die Informatik teilweise als Einengung betrachtet (siehe z.B. Zendler und Spannagel 2006, 5–6).

¹⁴ Die Bearbeitung von Schwills Kriterien zum Fundamentalitätsnachweis und ihre Anpassungen für den berufsbildenden Kontext (siehe Abschnitt 2.4.2) sind bereits auf der IEEE German Education Conference (GeCon) 2023 vorgestellt und veröffentlicht worden (Stender und Krugel 2023).

Vertikalkriterium

Mit dem Vertikalkriterium wird sichergestellt, dass eine Idee ausreichend Potenzial bietet, wachsende geistige Anforderungen abzubilden und spiralförmige Lernprozesse zu ermöglichen. Die Idee kann an unterschiedlichen Inhalten und Phänomenen, die im Kontext der betrachteten beruflichen Fachrichtung relevant und anschlussfähig sind, auf unterschiedlichen Alters- und Kompetenzniveaus aufgezeigt und vermittelt werden. Die Validierung für das Vertikalkriterium wird in dieser Forschungsarbeit exemplarisch auf einer curricularen Ebene durchgeführt, d.h. es werden (vorrangig) Ordnungsmittel wie Rahmenlehrpläne von elektrotechnischen Ausbildungsberufen, Gemeinsame Bildungsstandards der KMK, Kerncurricula einzelner Bundesländer oder curriculare Konzepte von Fachgesellschaften und Studien genutzt, um zu belegen, dass eine Vermittlung der Idee auf verschiedenen intellektuellen Niveaus möglich und bereits vorgesehen ist. Ausgangspunkt für die Validierung des Vertikalkriteriums sind die dualen beruflichen Ausbildungsgänge der Elektroberufe und das berufliche Gymnasium. Diese entsprechen im deutschen Bildungssystem der Ebene der Sekundarstufe II (siehe Abbildung 1). Weitere berufliche Bildungsgänge im Bereich der Elektrotechnik werden aus Kapazitätsgründen nicht einbezogen.

Für die Vermittlung an jüngere Altersgruppen wird in die allgemeinbildende Schule geschaut. Formal ist für die Aufnahme einer Ausbildung in den Elektroberufen oft kein bestimmter Schulabschluss vorgeschrieben; in den Vorbemerkungen der Rahmenlehrpläne ist formuliert, dass diese inhaltlich auf dem Hauptschulabschluss oder vergleichbaren Abschlüssen aufbauen. In der Sekundarstufe I ist das Schulfach Physik dasjenige, in dem Inhalte aus der Elektrotechnik behandelt werden. In einigen Bundesländern gibt es z.B. an Gesamtschulen oder Hauptschulen im Bereich der Sekundarstufe I auch Technik als Pflichtunterrichtsfach. Im Primarstufenbereich wären Inhalte aus der Elektrotechnik am ehesten im Sachunterricht zu erwarten. Eine weiterführende Vermittelbarkeit auf akademischer Ebene wird punktuell für das Lehramtsstudium der beruflichen Fachrichtung Elektrotechnik einbezogen.

Schwill validiert das Vertikalkriterium ebenfalls exemplarisch, allerdings auf Ebene von möglichen konkreten Unterrichtsgegenständen, die er an Ideen anknüpft, die hierarchisch unterhalb seiner Fundamentalen Ideen liegen. Da die hier vorgelegten Ideen nicht hierarchisch ausdifferenziert wurden, wird die übergeordnete Ebene für die Validierung gewählt.

Zeitkriterium

Die Validierung des Zeitkriteriums dient dazu, mögliche Fundamentale Ideen daraufhin zu prüfen, ob sie für die berufliche Fachrichtung Elektrotechnik und die entsprechenden Ausbildungsberufe dauerhaft und langfristig bedeutend sind sowie auch noch heute Relevanz für die berufliche Handlungskompetenz besitzen. Dafür werden einerseits historische Meilensteine der Elektrotechnik nachgezeichnet, die neben ihrer Bedeutung für die Entwicklung des Faches auch für die Elektroberufe große Bedeutung entfaltet haben (wenngleich

sich diese in der Elektrotechnik erst später herausgebildet haben). Zum anderen werden – ergänzend zu dem von Schwill vorgeschlagenen Vorgehen – aktuelle gesellschaftliche und technische Problemstellungen betrachtet, an denen deutlich wird, dass die Idee in den Elektroberufen auch heute noch zeitgemäß und wichtig ist. Beides kann im Rahmen dieser Arbeit nur exemplarisch geleistet werden und soll deshalb eher prinzipiell verdeutlichen, wie die vorgeschlagenen Ideen bzgl. dieses Kriterium untersucht werden können. Auf ein vollständiges Nachzeichnen der Idee im historischen Verlauf bis heute wird aus Kapazitätsgründen verzichtet.

Sinnkriterium

Das Sinnkriterium umfasst zwei wichtige Aspekte mit Blick auf das Validieren möglicher Fundamentaler Ideen. Zum einen wird darüber nachvollzogen, dass eine Idee einen Bezug zum Handeln und zum Denken des beruflichen Alltags in den Elektroberufen besitzt und nicht nur eine theoretische Idee ist. Bei einigen Ideen wird zudem ein allgemeiner Lebenswelt- und Alltagsbezug für Kinder oder Erwachsene erkennbar, auf welchen dann jeweils zusätzlich im Text hingewiesen wird. Zum anderen wird mit dem Sinnkriterium geprüft, ob die Idee notwendig dafür ist, um ein profundes Verständnis der Elektrotechnik als fachliche Domäne aufzubauen, und im Arbeitsalltag (als Auszubildende/-r, als berufserfahrene Fachkraft oder als berufsbildende Lehrkraft) auf diese Idee nicht verzichtet werden kann, um fachlich kompetent agieren zu können. Beide Aspekte werden über typische aktuelle Anforderungen und Problemstellungen in den Elektroberufen begründet. Teilweise werden Beispiele aus der allgemeinen Lebenswelt ergänzt.

Zielkriterium

Mit dem ergänzenden Zielkriterium wird geprüft, ob die vorgeschlagene und an den ersten vier Kriterien bereits validierte Fundamentale Idee zudem eine Leitlinie für die Praxis der Elektroberufe bilden kann. Die Idee muss dafür nicht immer und nicht vollständig umgesetzt werden können bzw. nicht einmal theoretisch vollständig realisierbar sein. Sie sollte für das berufliche Handeln der Fachkräfte jedoch so etwas wie ein Ideal darstellen, dem diese sich im beruflichen Handeln annähern können und wollen. Schwill macht keinen Vorschlag, wie die Validierung des Zielkriteriums methodisch vorgenommen werden kann. Ob das Zielkriterium gilt, wird in dieser Arbeit aus der Darstellung der vorgeschlagenen Idee und ihrer Begründung anhand der Ergebnisse der Grounded-Theory-Analyse abgeleitet (siehe jeweils die ersten Abschnitte in den Unterkapiteln 4.1 – 4.6). Diese lassen erkennen, ob die Idee einen orientierenden, handlungsleitenden Aspekt für die Auszubildenden und die Fachkräfte in den Elektroberufen beinhaltet und wie dieser jeweils sichtbar wird.

3.4.2 Fachliche Validierung mit Expert(inn)eninterviews

Der zweite Validierungsschritt dient der fachlichen Einordnung der erarbeiteten Zwischenergebnisse. Ein Vorschlag für Fundamentale Ideen für die berufliche Fachrichtung Elektrotechnik sollte zunächst einmal *wesentliche* fachliche Grundideen und -prinzipien umfassen. Diese sollten *fachlich korrekt* sein. Sie sollten sich zudem eignen, um damit die *fachliche Domäne in ihrer Breite und Tiefe abzubilden*, damit sie aus fachdidaktischer Sicht lernförderlich sein können. Es sollten mit Blick auf die Gesamtheit der Kategorien *keine* größeren fachlichen *Lücken* erkennbar sein. Zudem sollen die Kategorien unterschiedliche inhaltliche Bereiche umfassen und *keine* wesentlichen *Überschneidungen und Redundanzen* enthalten. Um diese fachliche Validierung vorzunehmen, wurden Experteninterviews geführt. Im Folgenden wird in die Methode, die Expert(inn)enauswahl und die konkrete Durchführung der Interviews eingeführt.

Erhebungsinstrument Expert(inn)eninterviews

Expert(inn)eninterviews als eine Erhebungsmethode qualitativer Forschung zielen darauf ab, besondere, exklusive Wissens- oder Erfahrungsbestände zu rekonstruieren, die üblicherweise nicht allgemein zugänglich sind, z.B. ein umfassendes Überblicks-, Problemlösungs- oder Zusammenhangswissen (Pfadenhauer 2002, 113–116). In Forschungsprojekten können Expert(inn)eninterviews verschiedene Zielsetzungen erfüllen: Sie können der Exploration eines neu zu erschließenden Feldes oder Themas dienen, sie können bei der Systematisierung von Inhalten unterstützen oder sie können zur Generierung von neuen Wissensbeständen und Theorien genutzt werden (vgl. Bogner und Menz 2002, 36–39). In dieser Arbeit steht die Funktion der Systematisierung im Vordergrund. Von Interesse ist das Fachwissen und die Erfahrung der Expert(inn)en in der Lehre der Elektrotechnik und der Ausbildung im beruflichen Lehramt Elektrotechnik, welche über die Interviews zugänglich gemacht und in den Forschungsprozess einbezogen werden sollen. Diese Wissensbestände sind den Expert(inn)en in der Regel bewusst und können direkt kommuniziert werden. Um die systematisierende Funktion der Interviews umzusetzen, werden thematisch vergleichbare Daten benötigt. Die Verwendung eines Leitfadens und eine daran orientierte Interviewführung unterstützen diese Zielsetzung.

Als besonders ertragreich für die Durchführung von Experteninterviews wird eine dem Experten bzw. der Expertin möglichst vertraute Gesprächssituation „auf Augenhöhe“ angesehen, da in einem Gespräch unter Experten – bzw. Quasi-Experten – häufig ein anderer Informationsgehalt ausgetauscht wird, als wenn über denselben Inhalt mit Laien gesprochen wird (Pfadenhauer 2002, 118–120). Daraus ergibt sich die methodische Herausforderung, „ein Interviewsetting zu erzeugen, das der Gesprächssituation *unter* Experten möglichst nahe kommt“ (Pfadenhauer 2002, 119–120; Hervorhebung im Original, B.S.). Da die Interviewer/-innen bzw. Forscher/-innen in der Regel selbst nicht ebenfalls Expert(inn)en für den Wissensbestand sein dürften, der untersucht werden soll, sollten sie

sich möglichst vor der Durchführung der Interviews eine möglichst hohe thematische Kompetenz und Hintergrundwissen aneignen. Bereits die Entwicklung des Leitfadens profitiert von einer guten fachlichen Einarbeitung. Zudem wird es möglich, im Interview inhaltlich flexibel zu agieren, Argumente aufzugreifen und weiterzuentwickeln, gezielt nachzufragen sowie die Gesprächsführung flexibel an die Schwerpunktsetzung des Experten anzupassen, ohne die eigenen Forschungsinteressen und den Leitfaden aus dem Blick zu verlieren – kurz, als Quasi-Experte mit dem Gegenüber ein möglichst nutzbringendes Gespräch auf Augenhöhe zu führen (Pfadenhauer 2002, 125–127; Meuser und Nagel 2002, 77–78).

Ein weiteres methodisches Merkmal von Experteninterviews ist, dass durch die vielfältigen kommunikativen Momente bei der Kontaktabstimmung, der Vorbereitung und insbesondere während des Interviews keine neutrale „Datenerhebung unter laborähnlichen Bedingungen“ (Bogner und Menz 2002, 67) erfolgt, sondern die „Datenproduktion“ in einem sozialen Prozess zwischen Expert(inn)en, Interviewer(inn)en und Forschenden stattfindet (in dieser Arbeit sind die beiden letzten Akteure identisch). Es sind z.B. Interaktionseffekte zu erwarten, die sich aus den gegenseitigen Erwartungen der Gesprächspartner/-innen und dem Verlauf des Interviews ergeben. Äußerungen in einem Interview werden an die konkrete Interviewpartnerin gerichtet und wären möglicherweise bei einem anderen Interviewpartner anders ausgefallen. Bogner und Menz schlagen vor, diese situativen Effekte als einen integralen Teil im Prozess der Datenproduktion produktiv zu nutzen und zu gestalten (Bogner und Menz 2002, 47–49). Weiterhin kann auch die Auswertung der im Interview erhobenen Daten als Teil der Konstruktion des Expert(inn)enwissens betrachtet werden, weil durch die Analyse, Interpretation, Zuordnung und Strukturierung der Interviewdaten seitens der Forschenden der Beitrag der Expertenaussagen zur Beantwortung des Forschungsinteresses im Sinne von „Deutungswissen“ erst herausgearbeitet wird (Bogner und Menz 2002, 43–44).

Gestaltung der Kommunikationssituation

Welche situativen Effekte sind nun zu erwarten, wenn man Experteninterviews als soziale Interaktionen versteht, in denen Expertenwissen zwischen Experte und Interviewerin¹⁵ konstruiert wird? Die Äußerungen der Experten werden vor der Erwartungshaltung getätigt, die sie sich im Sinne erster Vermutungen im Vorfeld von der Zielstellung des Interviews und der Kompetenz, den Einstellungen oder der Position der Interviewerin gemacht haben und welche während des Interviews überprüft und ggf. angepasst werden. Auf diese Erwartungen stimmen sie ihre Kommunikation ab, z.B. was die Verwendung von Fachvokabular, erwarteten gemeinsamen Wissensbeständen oder die Erklärung bestimmter

¹⁵ Die in dieser Arbeit einbezogenen Experten sind alle männlich, sodass die weiteren Textabschnitte, in denen die konkret durchgeführten Experteninterviews behandelt werden, nur noch die maskuline Sprachform verwendet. Dasselbe gilt umgekehrt für die Interviewerin.

Sachverhalte angeht. Bogner und Menz haben häufige Kommunikationsmuster in Experteninterviews typisiert, die entweder im ganzen Interview oder einzelnen Phasen auftreten (Bogner und Menz 2002, 49–60). In den für diese Forschungsarbeit geplanten Interviewsituationen können insbesondere folgende Kompetenzzuschreibungen erwartet werden: Zum einen könnte die Interviewerin von den Interviewpartnern als Expertin einer anderen Wissenskultur, zum anderen als fachlicher Laie angesehen werden. Beide Zuschreibungen gehen typischerweise mit unterschiedlichen Annahmen und Kommunikationsmustern – und jeweiligen Vor- und Nachteilen – einher:

- Bei der Kompetenzzuschreibung, dass man mit der Interviewerin eine **Expertin einer anderen Wissenskultur** vor sich hat, werden typischerweise hohe fachliche Kompetenz und Fähigkeiten unterstellt, jedoch stellen sich die Gesprächspartner sprachlich auf eine unterschiedliche fachliche Herkunft ein. Fachvokabular wird oft weniger verwendet, Äußerungen stärker erläutert und begründet und für die Interviewerin fachlich eingeordnet. Den Interviewten ist meist klar, dass nur in beschränktem Umfang ein gemeinsam geteilter Wissenspool und Erfahrungshorizont vorliegt. Wenn diese Interaktion gut gelingt, dann entsteht teilweise auf Seiten des Experten ebenfalls ein Interesse am Austausch über das Interviewthema und dem möglichen Beitrag, den er durch seine Expertise leisten kann; das Gespräch kann auf hohem fachlichen Niveau geführt werden (Bogner und Menz 2002, 52–54).
- Erfolgt die Kompetenzzuschreibung des Experten gegenüber der Interviewerin eher als **Laie**, ergibt sich oft eine andere Interaktion im Gespräch als die eben beschriebene. Die Experten vermitteln ihre Erfahrungen und Einschätzungen häufig behutsamer, ausführlicher und eher schon für die Interviewerin didaktisch aufbereitet. Allerdings kann die Kommunikationssituation sich auch stärker hierarchisch entwickeln und die Experten können lange vortragsartige Äußerungen tätigen, sodass das Interview weniger dialogisch wird. Andererseits werden aus einer Laienperspektive heraus oft andere Fragen gestellt, die möglicherweise auch unerwartete Facetten des Themas beleuchten und ertragreiche Antworten hervorbringen können (Bogner und Menz 2002, 54–57).

Da für diese Arbeit eine Interviewsituation angestrebt wird, in der ein hohes fachliches Niveau erreichen werden soll, in der fachliche Konzepte für eine fachdidaktische Nutzung kritisch abgeklopft werden sollen und die einen Austausch der fachdidaktischen Überlegungen und der fachlichen Beispiele und Anwendungsmöglichkeiten im Sinne eines Informationsaustauschs anregen will, wäre eine eher symmetrische und dialogorientierte Interaktion wünschenswert. Diese Art der Interaktion gelingt typischerweise eher, wenn die Interviewerin als Expertin einer anderen Wissenskultur wahrgenommen wird und nicht als Laie (Bogner und Menz 2002, 62–63). Eine solche Kompetenzzuschreibung kommt der oben beschriebenen angestrebten Wahrnehmung der Interviewerin als Quasi-Expertin nahe.

Die Kompetenzzuschreibung wird von einer Reihe von Faktoren geprägt, z.B. Qualifikationsstatus, institutionelle Herkunft, Beherrschung von Fachtermini, Alter, Geschlecht. Diese können von der Interviewerin (nur) teilweise beeinflusst werden (Bogner und Menz

2002, 61). Im Vorfeld der Experteninterviews wurden deshalb inhaltliche und kommunikative Maßnahmen ergriffen, mit denen die Interviewerin durch unterschiedliche Informationsangebote die Erwartungshaltung der angefragten Experten in dem angestrebten Sinne (mit)zugestalten versuchte. Dies waren im Einzelnen:

Kontaktaufnahme zu den Experten:

- knappe erste Präsentation des Forschungsinteresses für die Gesprächsanfrage und Erläuterung, warum das Kompetenz- und Erfahrungsprofil des Angefragten von Interesse ist
- eigenes Forschungsfeld sowie die berufspädagogische und fachdidaktische Perspektive auf die Elektrotechnik explizit benennen

Vorabunterlage für die Interviews:

- Die Vorabunterlage wurde explizit für den Zweck gestaltet, um die Anschlussfähigkeit der Grounded-Theory-Analyse zu den Perspektiven der Interviewpartner und die fachliche Rahmung herzustellen. Es sollte verdeutlicht werden, dass bereits Analyseergebnisse vorliegen und die Interviews nicht der Exploration eines Feldes, sondern der fachlichen Diskussion und Validierung dienen sollen. Die fachliche Korrektheit und Nachvollziehbarkeit der Beschreibungen, Beispiele und Begriffe der vorgeschlagenen fachlichen Kategorien war deshalb wichtig. Zudem sollte die fachdidaktische Perspektive und erarbeitete Expertise in diesem Feld auf Seiten der Interviewerin erkennbar sein.
- Da zu erwarten war, dass die Experten das Konzept der Fundamentalen Ideen bislang nicht kennen, wurde dieses zunächst kurz definiert, die Zwischenergebnisse der bisherigen Forschungsarbeit auf zwei Seiten tabellarisch dargestellt und eine Information zum methodischen Vorgehen gegeben.
- Um möglichst gut sicherzustellen, dass die Vorabunterlage den angestrebten Zweck erfüllte, wurde sie in zwei „explorativen Interviews“ mit universitären Lehrenden der Elektrotechnik vor dem Einsatz getestet und optimiert.

Persönliche Vorstellung (teilweise schriftlich vorab, teilweise auf Nachfrage im Interview):

- Eckdaten zum Dissertationsvorhaben, institutioneller Verortung und Betreuung
- eigene fachliche Verortung der Interviewerin in der Bildungswissenschaft/Berufspädagogik, Felderfahrung im Bereich der Elektrotechnik

Gesprächsführung im Interview:

- Konzept der Fundamentalen Ideen anfangs noch einmal mit Beispielen aus anderen Fächern erklärt
- je nach Vorbereitung der Experten wurden die einzelnen Kategorien im Interview eingangs vorgestellt, bevor die Experten um ihre Einschätzung gebeten wurden

- Die Reihenfolge, in der die Kategorien vorgestellt und diskutiert wurden, variierte von Gespräch zu Gespräch. Sie orientierte sich am Gesprächsverlauf und nahm z.B. Bezüge zu anderen Kategorien auf, die von den Experten angesprochen wurden oder die sich für die Interviewerin in Kenntnis der anderen Kategorien anboten.
- Nach der Diskussion der einzelnen Kategorien wurde das Gesamtbild angesprochen, das sich für die fachliche Domäne durch alle Kategorien zusammen ergibt. Auch hier ergaben sich Unterschiede, welche Aspekte von den Interviewten aufgenommen und vertieft wurden. So standen teilweise Vollständigkeit und die Abgrenzung der Kategorien zueinander im Fokus, teilweise die inhaltliche Struktur der Kategorien zueinander. Die Interviewerin hat diese Impulse der Interviewten jeweils berücksichtigt. Auf ein vollständiges Bearbeiten aller Fragen des Leitfadens zum Gesamtblick auf die Kategorien wurde im Zweifel zugunsten der unterschiedlichen Diskussionsschwerpunkte verzichtet.

Auswahl der Expert(inn)en

Das Wissen von Expert(inn)en kann auf mehreren Ebenen hilfreich für den Forschungsprozess sein:

„Der Experte verfügt über technisches, Prozess- und Deutungswissen, das sich auf sein spezifisches professionelles oder berufliches Handlungsfeld bezieht. Insofern besteht das Expertenwissen nicht allein aus systematisiertem, reflexiv zugänglichem Fach- oder Sonderwissen, sondern es weist zu großen Teilen den Charakter von Praxis- oder Handlungswissen auf, in das verschiedene und durchaus disparate Handlungsmaximen und individuelle Entscheidungsregeln, kollektive Orientierungen und soziale Deutungsmuster einfließen.“ (Bogner und Menz 2002, 46).

Angewendet auf diese Forschungsarbeit und die Auswahl der zu befragenden Personen bedeutet dies, dass die in Frage kommenden Expert(inn)en zunächst über eine breite fachliche Expertise in der Elektrotechnik verfügen und zusätzlich die Erfahrung besitzen sollen, Elektrotechnik zu lehren und zu vermitteln. Dies wird deshalb angestrebt, da mit den fundamentalen Ideen ein fachdidaktisches Konzept bearbeitet wird und erwartet werden kann, dass Personen, die sich bereits mit Fragen der Lehre und ihrer Mittlerfunktion zwischen dem Fach und Lernenden auseinandergesetzt haben, hierzu einen größeren Beitrag leisten können. Idealerweise bringen die Expert(inn)en zudem Lehrerfahrung im berufsbildenden Lehramt und der beruflichen Fachrichtung Elektrotechnik mit, z.B. auf universitärer oder berufsschulischer Ebene. Weitere einschlägige Erfahrungen aus der eigenen Berufslaufbahn, der berufsbildenden Lehrkräfteausbildung und ihren Institutionen oder auch Engagement in Berufs- oder Fachverbänden wären wünschenswert.

Diese Überlegungen bilden die Grundlage für die Auswahl der Expert(inn)en. In Summe sollte das Sample der Fachexperten möglichst vielfältige fachliche, fachdidaktische und berufliche Perspektiven auf die Ausbildung und die Tätigkeit beruflicher Lehrkräfte der Fachrichtung Elektrotechnik abdecken. Folgende Perspektiven wurden einbezogen:

- Hochschulische fachliche Lehrtätigkeit in der Elektrotechnik
- Hochschulische fachdidaktische Lehrtätigkeit in der Elektrotechnik oder Technikdidaktik
- Tätigkeit als Fach(seminar)leiter/-in für Elektrotechnik im Vorbereitungsdienst an einem Studienseminar
- praktische Erfahrung als Berufsschullehrkraft
- Studium der Elektrotechnik
- Studium des berufsbildenden Lehramts
- Ausbildung/Lehre in einem Elektroberuf
- Mitwirkung in Fachverbänden (insbesondere im Bereich Bildung/Studium).

Tabelle 4: Verteilung der Kompetenz- und Erfahrungsfelder im Sample der Fachexperten

Experte	E1	E2	E3	E4	E5
Kompetenz- und Erfahrungsfelder					
Hochschullehre Elektrotechnik		x	x		
Hochschullehre Fachdidaktik Elektrotechnik/ Technikdidaktik	x			x	
Fachleiter/-in Elektrotechnik im Vorbereitungsdienst					x
Erfahrung als Berufsschullehrkraft				x	x
Studium der Elektrotechnik	x		x	x	x
Studium des berufsbildenden Lehramts	x			x	x
Ausbildung/Lehre in einem Elektroberuf	x	x		x	x
Mitwirkung in Fachverbänden (Bereich Bildung/Studium)			x		

Durchführung der Interviews

Insgesamt wurden fünf Interviews geführt. Wie sich die Kompetenzen und Erfahrungsfelder auf die befragten Experten verteilte, ist Tabelle 4 zu entnehmen. Einige Tage vor den Gesprächen erhielten die Experten per Email eine kurze Übersicht über die vorliegenden Zwischenergebnisse, in der die Kategorien der Grounded-Theory-Analyse mit Kurzbeschreibung und Beispielen aus den Daten vorgestellt wurden. In dieser Übersicht war die

Reihenfolge, in der die Kategorien dargestellt wurden, zufällig gewählt und wurde zwischen den Interviewten variiert, um daraus ggf. Hinweise zu generieren, welche Abfolge der Kategorien für die Experten plausibel oder weniger plausibel war.

Alle Experteninterviews wurden in Präsenz geführt. Sie wurden aufgezeichnet, die Audioaufnahmen transkribiert und anonymisiert. In Tabelle 5 sind die Eckdaten zu den Interviews zusammengefasst. Den Audioaufnahmen gingen kurze einleitende Gespräche voraus, die eine gegenseitige Vorstellung, eine Information zur Untersuchung und der Fragestellung für die Interviews sowie eine Einführung in den geplanten Ablauf umfasste. Zudem wurde das schriftliche Einverständnis der Interviewten zur Audioaufnahme und zur weiteren Verarbeitung der Daten im Rahmen der Forschungsarbeit eingeholt.

Tabelle 5: Übersicht über die geführten Experteninterviews

	Interviewzeitpunkt	Form des Interviews	Interviewdauer
Experte E1: Professor für Technikdidaktik und berufliche Bildung	03/23	Präsenz (beim Interviewten)	55:28
Experte E2: Professor für Elektrotechnik	03/23	Präsenz (beim Interviewten)	1:46:12
Experte E3: Professor für Elektrotechnik	04/23	Präsenz (beim Interviewten)	1:40:53
Experte E4: Lehrbeauftragter für Fachdidaktik der Elektrotechnik	04/23	Präsenz (bei der Interviewerin)	1:10:39
Experte E5: Fachseminarleiter Elektrotechnik am Studienseminar	05/23	Präsenz (bei der Interviewerin)	1:06:37

Die Interviews wurden leitfadengestützt geführt. Der Leitfaden (siehe Anlage 7.2) enthielt im Hauptteil zwei Fragenschwerpunkte: Zunächst wurden die vorgeschlagenen sechs Kategorien einzeln angesprochen und jeweils auf ihre fachliche Bedeutung hin mit den Experten diskutiert. Zudem wurden die unterschiedliche berufliche Ausrichtung der Lehramtsstudierenden auf die Elektrotechnik im Vergleich zu den ingenieurwissenschaftlichen Studierenden angesprochen. Danach erfolgte ein Wechsel auf das Gesamtbild, welches alle Kategorien gemeinsam für die berufliche Fachrichtung Elektrotechnik aufspannen. Hierbei wurde thematisiert, inwieweit ein angemessenes Gesamtbild der fachlichen Domäne aus berufsbildender Sicht entsteht und wo aus Sicht der Experten Redundanzen, Überschneidungen oder Lücken auftreten. Zudem wurde das Verhältnis der Kategorien zueinander im Hinblick auf eine mögliche Reihenfolge oder Strukturierung angesprochen. Die Interviews endeten mit einer Checkfrage, was den Experten über das Besprochene

hinaus noch wichtig ist, und mit einer Information zum weiteren Vorgehen, die teilweise auch nach Beenden der Audioaufnahme erfolgte.

Die Themen aus dem Leitfaden wurden in den Interviews nicht alle in gleicher Breite und Tiefe angesprochen. Teils äußerten sich die Experten viel zu einzelnen Kategorien, teils mehr zum Gesamtbild oder zu didaktischen Nutzungsmöglichkeiten. Auch die Interviewverläufe waren verschieden, was durchaus typisch für Experteninterviews ist (Gläser und Laudel 2010, 150–153, Pfadenhauer 2002, 121). Die Interviewerin hat den Leitfaden flexibel in Anpassung an die Gesprächssituation eingesetzt, um einen solchen offenen Interviewverlauf zu ermöglichen, in dem die Experten eigene thematische Schwerpunkte setzen und aus ihrer Sicht relevante Aspekte stärker betonen konnten.

Interviewauswertung

Für die Transkription der Interviews wurde eine einfache Form gewählt, weil der Fokus der Interviews auf den inhaltlichen Äußerungen der Experten lag. Auf Angaben zu Pausen, Betonungen und nonverbalen Äußerungen wurde weitestgehend verzichtet (vgl. Meuser und Nagel 2002, 83). Eine gute Lesbarkeit der Transkripte und die schnelle inhaltliche Zugänglichkeit standen für die Auswertung im Vordergrund (vgl. Dresing und Pehl 2018, 16–19). Deshalb wurde bei der Erstellung der inhaltlich-semanticen Transkripte nur ein kleiner Satz von Transkriptionsregeln verwendet (in Anlehnung an Dresing und Pehl 2018, 21–22).

Die Auswertung der Experteninterviews erfolgte wie die Grounded-Theory-Analyse ebenfalls mit der Software MAXQDA. Als Auswertungsgrundlage dienten die vollständigen Interviewtranskripte. Ein Transkriptionsbeispiel ist im Anhang einsehbar (siehe Anlage 7.3). Auf die Veröffentlichung der vollständigen Transkripte wird aus Datenschutzgründen verzichtet. Für die Auswertung wurden zunächst in den einzelnen Interviews alle Textsegmente zu den einzelnen Kategorien sowie zum Gesamtbild und zu möglichen inhaltlichen Lücken kodiert und mit einer kurzen Überschrift versehen („thematische Sequenzierung“, siehe Meuser und Nagel 2002, 84–86). Im zweiten Schritt wurden dann die Expertenäußerungen aus allen Interviews kategorienweise analysiert („thematischer Vergleich“, siehe Meuser und Nagel 2002, 86–88). Aufgrund der Zielsetzung für die Experteninterviews, zur Validierung der Ergebnisse aus der Grounded-Theory-Analyse beizutragen, wurden solche Textteile der Interviews, die sich nicht auf eine Kategorie, das Gesamtbild oder mögliche Lücken beziehen, nicht weiter berücksichtigt.

Die Experteninterviews unterstützen in der Forschungsarbeit die fachliche Einordnung der vorgeschlagenen Kategorien/Fundamentalen Ideen. Die Auswertung fokussiert deshalb darauf, wie die Experten den inhaltlichen Gehalt der Kategorien in Bezug auf ihre fachliche Bedeutsamkeit und Fülle für die berufliche Fachrichtung Elektrotechnik einschätzen und wo sie Zusammenhänge, Überschneidungen oder Lücken sehen. Von Interesse für die Auswertung sind gemeinsame und unterschiedliche Einschätzungen der Experten zu den

einzelnen in der Grounded-Theory-Analyse entwickelten Kategorien, ihre Interpretationen sowie besondere Schwerpunktsetzungen oder Deutungen im Kontext ihrer spezifischen fachlichen Perspektive auf das Studium des berufsbildenden Lehramts Elektrotechnik. Deshalb werden vornehmlich thematische Einheiten – d.h. Äußerungen über eine bestimmte Kategorie – über alle Interviews hinweg zusammen ausgewertet und typische Einschätzungen wie auch besondere Schwerpunkte anhand von Zitaten illustriert (Meuser und Nagel 2002, 80–82).

Aus den Experteneinschätzungen haben sich eine Reihe von Hinweisen zur Stützung der Kategorien, aber auch zu offenen Fragen und Modifikationen ergeben. Diese Hinweise haben zur Überarbeitung und Weiterentwicklung der Kategorien geführt. Die Ergebnisse aus den Experteninterviews werden in der Ergebnisdarstellung in den Unterkapiteln 4.1 bis 4.6 jeweils bei der Präsentation der einzelnen Kategorien (wenn sie sich auf eine einzelne Kategorie/Fundamentale Idee beziehen) oder in Unterkapitel 4.7 (sofern sie sich auf übergeordnete Aspekte und das Gesamtmodell beziehen) dargestellt.

Zusammenfassung und Überleitung zum Ergebnisteil

In diesem Kapitel 3 wurde das methodische Vorgehen dieser Forschungsarbeit begründet und detailliert erläutert. Mit Blick auf die Forschungsfragen (siehe Unterkap. 1.2) wurde eine explorative Herangehensweise gewählt, die zwei Forschungsphasen umfasste. In der ersten Phase wurden drei Lehrwerke zu Grundlagen der Elektrotechnik mit Hilfe einer Grounded-Theory-Analyse nach Strauss und Corbin untersucht, um fachliche Kategorien zu entwickeln, die ggf. als Fundamentale Ideen für die berufliche Fachrichtung Elektrotechnik in Frage kommen können. Die Entscheidung für diesen Forschungsansatz – der allgemein in Unterkapitel 3.1 vorgestellt wird – ist in den Abschnitten 3.2.1 und 3.3.1 begründet. Die Auswahl der Lehrwerke sowie das weitere Vorgehen während der Datenanalyse folgte einer theoretischen Samplingstrategie, welche in Abschnitt 3.2.3 dargestellt und begründet wurde. Die Zielsetzung der Entwicklung Fundamentaler Ideen wie auch die Analyse sehr umfangreicher natürlicher Daten wie in diesem Fall haben einige forschungspraktische Anpassungen erforderlich gemacht. Die Grounded-Theory-Analyse wurde mit dem Zwischenergebnis einiger Hauptkategorien beendet, die mit Hilfe von verschiedenen Kodierformen herausgearbeitet worden sind.

Die zweite Forschungsphase diente der genaueren Untersuchung der entstandenen Hauptkategorien. In dieser Phase wurde in zwei Schritten validiert, inwieweit die Hauptkategorien als Fundamentale Ideen gelten können. Mit Hilfe der an die berufliche Bildung angepassten Fundamentalitätskriterien aus Abschnitt 2.4.2 wurde jede der Hauptkategorien daraufhin überprüft, ob sie im Sinne des fachdidaktischen Grundansatzes von Schwill als eine Fundamentale Idee für die berufliche Fachrichtung Elektrotechnik gelten kann. Dieser Schritt wurde als erstes durchgeführt (siehe 3.4.1 zum Vorgehen). Als zweites wurde dann noch einmal untersucht, ob die Kategorien bzw. Ideen auch aus der Sicht von Expert(inn)en fundamentale Bedeutung für die fachliche Domäne haben. Dafür

wurde das Instrument des Experteninterviews eingesetzt (siehe Abschnitt 3.4.2 zum Vorgehen).

Im folgenden Kapitel 4 werden die Ergebnisse dieser Forschungsarbeit präsentiert, bevor sie dann in Kapitel 5 diskutiert werden. Zunächst werden die sechs Hauptkategorien vorgestellt, die in der Grounded-Theory-Analyse der untersuchten Lehrwerke herausgearbeitet werden konnten, und welche als Fundamentale Ideen für die berufliche Fachrichtung Elektrotechnik vorgeschlagen werden. Diese Hauptkategorien werden einzeln in den Unterkapiteln 4.1 - 4.6 präsentiert, mit Belegen aus den Daten unterfüttert und als Fundamentale Ideen validiert. In Unterkapitel 4.7 werden die Fundamentalen Ideen bzgl. ihrer Beziehungen zueinander verknüpft und zu einem fachdidaktischen Modell zusammengeführt. In Unterkapitel 4.8 werden alle Teilergebnisse zu den Fundamentalen Ideen zusammengefasst.

4. Fundamentale Ideen für die berufliche Fachrichtung Elektrotechnik

Als zentrales Ergebnis der vorliegenden Arbeit wurden im Rahmen der Grounded-Theory-Analyse sechs größere Kategorien (Hauptkategorien) herausgearbeitet, die als Fundamentale Ideen für die berufliche Fachrichtung Elektrotechnik vorgeschlagen werden (siehe Abbildung 12). Diese werden in den folgenden Unterkapiteln 4.1 bis 4.6 in der Form dichter Beschreibungen vorgestellt, um sie für die Leserinnen und Leser inhaltlich verständlich und ihre analytische Entstehung nachvollziehbar zu machen (Strauss und Corbin 1996, 198–201, Schreier 2012, 220–225, Gläser und Laudel, 270–275). Dazu wird in jedem der Unterkapitel eine Fundamentale Idee konzeptorientiert beschrieben und mit Hilfe von Befunden aus den analysierten Lehrwerken erläutert und belegt. Nach der Darstellung der Idee werden die Ergebnisse der beiden Validierungsschritte präsentiert. In Unterkapitel 4.7 werden die vorgeschlagenen Fundamentalen Ideen über die Beziehungen zwischen ihnen verknüpft und zu einem Gesamtmodell zusammengeführt.

Unterkapitel 4.8 fasst die Ergebnisse des gesamten Kapitels zusammen.

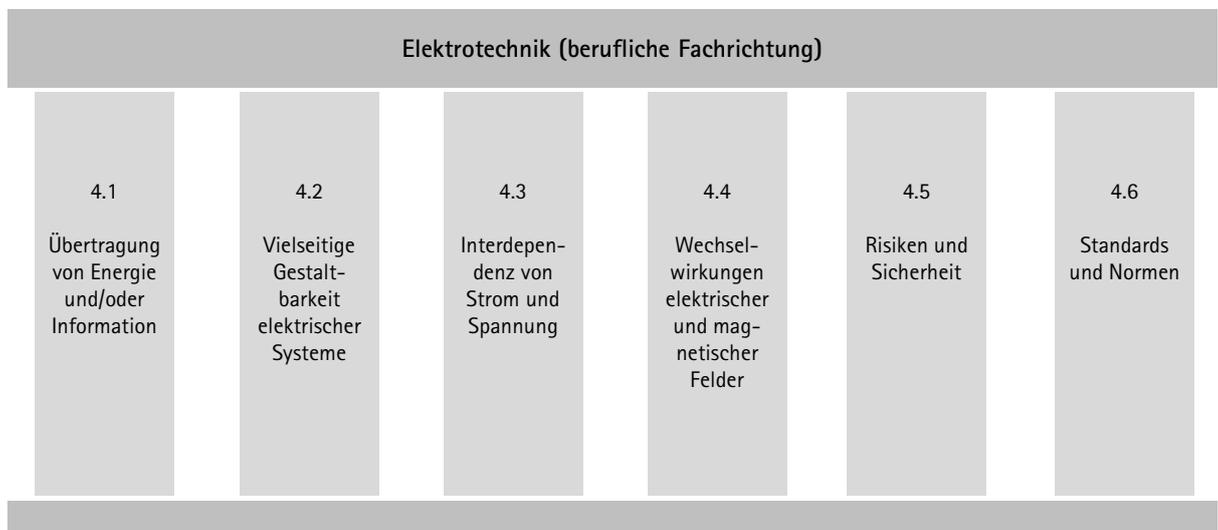


Abbildung 12: Fundamentale Ideen der beruflichen Fachrichtung Elektrotechnik

Die Ergebnisse der Grounded-Theory-Analyse wie auch die beiden Validierungsschritte werden aus mehreren Gründen gemeinsam präsentiert. Zum einen sollen die Leserinnen und Leser alle Ergebnisse zu einer Fundamentalen Idee an einer Stelle finden. Eine getrennte Darstellung von Grounded-Theory-Analyse und Validierungsschritten wäre nicht ohne Redundanzen möglich gewesen, jede Idee hätte zweimal aufgegriffen werden müs-

sen. Noch wichtiger ist jedoch ein inhaltliches Argument: Erst nach den Validierungsschritten ist klar, ob die aus der Grounded-Theory-Untersuchung entstandenen Kategorien die Anforderungen an Fundamentale Ideen erfüllen. Die Validierungsschritte sind deshalb integraler Bestandteil für das Erreichen der angestrebten Forschungsziele dieser Arbeit. Eben durch die Überprüfung der Kriterien, denen eine Fundamentale Idee genügen muss, und die Einschätzung ihrer fachlichen Relevanz durch die Experten wird festgestellt, ob die jeweilige Kategorie wirklich als eine Fundamentale Idee für die berufliche Fachrichtung Elektrotechnik gelten kann.

Die Reihenfolge, in der die einzelnen Ideen dargestellt werden, versucht der Verortung der Forschungsarbeit zwischen Fachdidaktik und Berufspädagogik Rechnung zu tragen. Ein direkter technisch-fachlicher Zugang zu den Ergebnissen aus der Elektrotechnik ist über die Unterkapitel 4.1, 4.3 und 4.4 gegeben. Für einen eher allgemein-didaktischen Zugang zu den Ergebnissen wird vorgeschlagen, mit den Unterkapiteln 4.1, 4.2 und 4.5 zu beginnen.

Aufbau der Unterkapitel 4.1 bis 4.6

Die ersten sechs Unterkapitel folgen derselben Struktur: Den Anfang jedes Unterkapitels bildet die konzeptorientierte Beschreibung der jeweiligen Kategorie, die als eine Fundamentale Idee vorgeschlagen wird. Unterkonzepte und weitere mit der Kategorie verbundene Konzepte sind in der Beschreibung kursiv markiert. Danach folgt eine Tabelle, in der nachvollziehbar gemacht wird, wie die vorgeschlagene Fundamentale Idee anhand der Befunde aus der Grounded-Theory-Analyse begründet und belegt wird.

Das Vorgehen im Forschungsprozess war induktiv und die Befunde aus den Daten wurden in mehreren Schritten zunächst zu Konzepten und dann zu Kategorien aggregiert. Die Ergebnisdarstellung in den Unterkapiteln erfolgt aus Gründen der leichten Verständlichkeit umgekehrt und geht von einer hohen Abstraktionsebene – der vorgeschlagenen Fundamentalen Idee – hin zu den Belegen der verarbeiteten Textstellen, welche zeigen, wo und wie die jeweilige Idee in den verwendeten Lehrwerken sichtbar wird (siehe Abbildung 13 am Beispiel der Idee aus Unterkapitel 4.2). Es werden Befunde aus unterschiedlichen Teilbereichen und Anwendungsgebieten der Elektrotechnik präsentiert, die die Idee auf unterschiedlichen Ebenen repräsentieren und eine große Bandbreite an Phänomenen und fachlichen Inhalten abdecken.

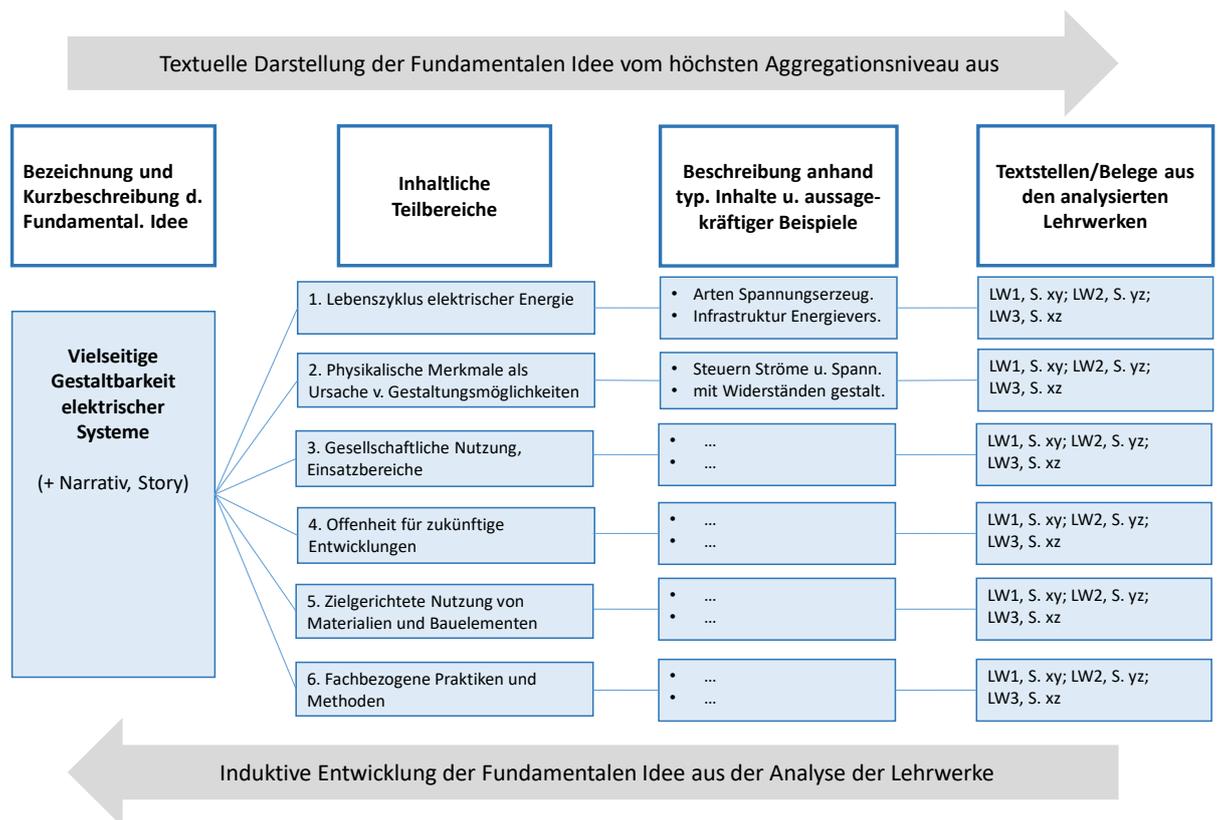


Abbildung 13: Vorgehen zur Darstellung und Begründung der Fundamentalen Ideen im Ergebnisteil

Die Tabellen sind in den Unterkapiteln gleich aufgebaut: In der ersten Tabellenspalte wird die konzeptorientierte Beschreibung der Fundamentalen Idee (Narrativ, Story) vom Beginn der Unterkapitel zur übersichtlichen Darstellbarkeit in 4–6 inhaltliche Teilbereiche gegliedert. Für jeden der Teilbereiche werden in der zweiten Spalte die Befunde aus den Daten in zusammengefasster Form anhand typischer Inhalte und aussagekräftiger Beispiele beschrieben. Entsprechende Belege zu den verarbeiteten Textstellen aus den analysierten Lehrwerken sind in der letzten Tabellenspalte angegeben. Alle kodierten Textsegmente sind – differenziert für jede Idee – im elektronischen Anhang der Arbeit dokumentiert.

Anschließend werden die Ergebnisse der beiden Validierungsschritte dargestellt. Zuerst wird geprüft, ob die vorgeschlagene Idee die angepassten Fundamentalitätskriterien erfüllt und damit als eine Fundamentale Idee gelten kann. Die angepassten Kriterien können in Abschnitt 2.4.2 nachgelesen werden. In Abschnitt 3.4.1 wurde erläutert, wie die Prüfung der einzelnen Kriterien grundsätzlich erfolgt ist. Danach werden die Ergebnisse der Experteninterviews bzgl. der fachlichen Bedeutung der Idee zusammengefasst. Dies wird mit einigen aussagekräftigen Zitaten unterfüttert. Im letzten Teil des Abschnitts 3.4.2 kann nachgelesen werden, wie die Interviews ausgewertet wurden.

Umgang mit weiteren Konzepten aus der Grounded-Theory-Analyse

In der Grounded-Theory-Analyse wurden deutlich mehr Konzepte kodiert und untersucht als die sechs Kategorien, die im Ergebnis nun als Fundamentale Ideen vorgeschlagen werden. Viele Konzepte, die in der Grounded-Theory-Analyse zunächst kodiert wurden, sind im Laufe der Analyse in den Kategorien aufgegangen, die als Fundamentale Ideen vorgeschlagen werden. Andere kodierte Konzepte umfassen Bereiche, die für die Entwicklung Fundamentaler Ideen bewusst abgegrenzt worden sind. Weitere Konzepte sind als Grundlagen in mehreren Fundamentalen Ideen von Bedeutung oder haben zwar teilweise eine hohe Bedeutung als Querschnittskonzepte, ließen sich jedoch in der Analyse nicht als weitere Fundamentale Ideen entwickeln. Dies betraf die folgenden Konzepte bzw. Gruppen von Konzepten:

- Physikalische Grundkonzepte, die für die Elektrotechnik relevant sind, wie z.B. *Energie*, *Spannung* oder *Strom*. Diese wurden nicht berücksichtigt, da sie auf Fundamentale Ideen (bzw. Basiskonzepte) der Physik hinweisen, welche bereits formuliert sind und nicht im Zentrum dieser Arbeit stehen.
- (Elektro-)technische Grundkonzepte wie z.B. *Stromkreis*, *Schaltung*, *Bauelemente/Bedienmittel*, *Materialien*. Diese Konzepte sind als Grundlagen für elektrische Systeme wichtig. In verschiedenen der vorgeschlagenen Fundamentalen Ideen wird auf sie zugegriffen.
- Konzepte, die wichtige Methoden und Praktiken für die Elektroberufe wie z.B. *Berechnen*, *Messen* und *Visualisieren* umfassen. Diese Konzepte verweisen auf typische Vorgehensweisen und methodisches Handwerkszeug, welches Fachkräfte in den Elektroberufen regelmäßig anwenden. Sie beschreiben v.a. methodische Kompetenzen und kamen deshalb als weitere Fundamentale Ideen nicht in Betracht.
- Einige Konzepte wie z.B. *Optimierung*, *Vernetzung/System* oder *ideale/reale Betrachtung* wurden im Laufe der Kodierung zunächst eigenständig entwickelt. Sie haben in der Analyse eine spezifische Bedeutung gewonnen und verfügen zweifellos ebenfalls über den Charakter einer Idee für die berufliche Fachrichtung Elektrotechnik. Diese Konzepte ließen sich mit jeweils einer der vorgeschlagenen Fundamentalen Ideen besonders eng verbinden, sodass letztlich eine Zu- bzw. Unterordnung zu dieser konzeptionell plausibler war, als daraus weitere Fundamentale Ideen zu entwickeln.

Auch wenn diese Konzepte selbst nicht als Fundamentale Ideen vorgeschlagen werden, werden sie in der folgenden Beschreibung der Fundamentalen Ideen einbezogen, wenn die Verbindungen der Fundamentalen Idee zu weiteren Konzepten dargestellt werden.

4.1 Übertragung von Energie und/oder Information

4.1.1 Beschreibung der Idee und Herleitung

Elektrische Energie wird eingesetzt, um eine Vielzahl von Aufgaben in verschiedenen gesellschaftlichen Teilbereichen technisch unterstützt zu bewältigen. Dies kann Essen kochen, Mobiltelefonieren, das Beleuchten einer Theatervorstellung, die hochautomatisierte Karosseriefertigung u.v.m. sein. Dafür werden Geräte oder Anlagen genutzt, für deren Betrieb elektrische Energie benötigt wird. Elektrotechnische Systeme liefern diese und versorgen die Geräte und Anlagen mit der benötigten Energie. Neben der *Energieübertragung* können sie auch *Signale und Informationen übertragen*, wenn die Geräte, Anlagen oder Prozesse dies erfordern. Teilweise übernehmen elektrotechnische Systeme beide Funktionen zugleich.

Die *elektrische Energie* wird zunächst von einem *Erzeuger(system)* bereitgestellt. Sie wird über ein *Verteilnetz* – oder auch eine einzelne Leitung – zum *Verbraucher(system)* übertragen, welches dann die benötigte *Leistung* aufnimmt. Für viele Anforderungen aus dem beruflichen Alltag von elektrotechnischen Fachkräften erfolgt die Spannungsversorgung über das öffentliche Verteilnetz, wo die elektrische Energie in Kraftwerken erzeugt und über die unterschiedlichen Netzebenen mittels Hochspannung (im Dreiphasensystem oder per Hochspannung-Gleichspannung-Übertragung (HGÜ)) transportiert wird. Dabei erfolgen verschiedene Prozesse der Wandlung der Energieform sowie der *Spannungswandlung* (mit Hilfe von Transformatoren), um die Energieübertragung möglichst effizient zu gestalten. Die Effizienz wird angestrebt, weil die Bereitstellung elektrischer Energie mit hohen Kosten verbunden ist und die dafür zur Verfügung stehenden Ressourcen begrenzt sind (z.B. durch die Verfügbarkeit verschiedener Energieträger oder Leitungskapazitäten). Mit Hilfe der Leistungsaufnahme und -abgabe eines Geräts oder einer Anlage kann beurteilt werden, mit welchen *Verlusten* bei der Übertragung zu rechnen ist (z.B. in den Kabeln/Leitungen), welche Blindleistung auftritt und wie hoch der Wirkungsgrad ist. Der *Wirkungsgrad* ist auch für komplexe elektrische Systeme ein wichtiges Maß dafür, wie effizient die Energieübertragung gelingt. Wandlungs- oder Übertragungsverluste werden identifiziert, um sie so weit wie möglich reduzieren zu können.

Elektrotechnische Systeme werden weiterhin genutzt, um Signale und Informationen zu übertragen, z.B. bei Radio- und Fernsehprogrammen, industrieller Prozessüberwachung, der Steuerung von Gebäudetechnik oder in einzelnen Messegeräten. Analog zur Übertragung von Energie werden hier Signale und Informationen zunächst in einer Quelle/einem Quellsystem erzeugt, leitungsgebunden oder drahtlos übertragen und von einem Empfänger(system) aufgenommen und in diesem dann weiterverarbeitet, z.B. zu Zwecken der *Steuerung* oder *Regelung* oder zur Mobilfunkkommunikation. Die Güte der Informationsübertragung wird darüber beurteilt, wie vollständig, schnell und unverfälscht sie erfolgt. Wie bei der Energieübertragung treten bei der Informationsübertragung Verluste auf, z.B.

aufgrund der räumlichen Ausbreitung von Wellen, von Störobjekten, von eingesetzten *Bauteilen* (z.B. Antennen) oder durch Störfelder. Auch diese sollen kontrolliert und möglichst klein gehalten werden. Systeme zur Übertragung elektrischer Energie und/oder Information sollen zudem zuverlässig funktionieren, um Anforderungen an *Sicherheit* (z.B. Versorgungssicherheit) und *Wirtschaftlichkeit* (z.B. Ausfallsicherheit, Effizienz) zu erfüllen.

Für Fachkräfte in den Elektroberufen ist das Prinzip der Übertragung von Energie und/oder Information unter zwei Blickwinkeln von großer Relevanz für ihr berufliches Handeln: Zum einen hilft es dabei zu verstehen, wie ein elektrisches System konkret aufgebaut ist und was genau auf welchem Weg und in welcher Größenordnung übertragen wird bzw. übertragen werden soll („Wie?“). Damit können bestehende Systeme analysiert werden, wenn sie z.B. Fehler aufweisen und es kann genauer eingegrenzt werden, an welcher Stelle der Übertragungsprozess gestört ist und welche Bauelemente, Materialien, Schaltungsteile o.ä. dafür verantwortlich sind. Dieser erste Blickwinkel ist ein analytischer, den Fachkräfte in typischen Arbeitsprozessen wie der Fehlerdiagnose, bei Wartungsarbeiten oder Prüfprozessen benötigen.

Darüber hinaus verweist die Kategorie „Übertragung von Energie und/oder Information“ auf den Zweck eines elektrotechnischen Systems oder einer Anlage. Dies ist ein übergeordneter Blickwinkel, der die Zielsetzung fokussiert, die das betrachtete System oder die betrachtete Anlage aus fachspezifischer Sicht der Elektrotechnik erfüllen soll. Zu welchem Zweck soll in dem System Energie und/oder Information übertragen werden („Wozu“)? Daraus ergeben sich die Anforderungen an das elektrische System. Aus diesen Anforderungen können Fachkräfte in den Elektroberufen fachliche Entscheidungen zur Architektur des Systems, zur Auswahl von Komponenten und Betriebsmitteln und zur Verknüpfung der einzelnen Systemelemente ableiten. Dieser zweite Blickwinkel ist also stärker auf das *Planen und Konzipieren* eines elektrischen Systems gerichtet.

Befunde aus der Grounded-Theory-Analyse

Bereich	Beschreibung der Befunde über typische Inhalte und Beispiele	Belege aus den Lehrwerken LW1 - LW3
Die Energie- und Informationsübertragung mittels elektrischer Energie erleichtert und unterstützt Aufgaben	<ul style="list-style-type: none"> • öffentliche Elektrizitätsversorgung • Der Bezug bzw. die Lieferung elektrischer Arbeit wird mittels Zählern erfasst • Einsatz elektrischer Maschinen überall in Industrie und Gewerbe • Einsatz von RFID-Technologie in Logistik und automatisierter vernetzter Produktion (Industrie 4.0) 	<p>LW1, S. 177, 193, 339, 399-412, 548, 560 f.;</p> <p>LW2, S. 44, 165 f., 253,</p>

<p>und Prozesse in verschiedenen gesellschaftlichen Bereichen</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Medizinische Geräte, z.B. zur Aufrechterhaltung oder zur Überwachung Körperfunktionen • Mit Hilfe von Widerständen wird Wärme elektrisch erzeugt (z.B. in Haushaltsgeräten oder Lötkolben). • Geräte im Haushalt (z.B. Warmwasserbereiter, elektrische Herde, Wasch- und Spülmaschinen, Haushaltskleingeräte) • Automatisierte Gebäudetechnik (z.B. Tore, Beleuchtung, Belüftung, Gefahrenmeldeeinrichtungen) • Signal- und Informationsübertragung als Basis für mess- und regelungstechnische Anwendungen (über Sensoren wie z.B. Kaltleiter/PTC-Widerstände, Schalter, Stellglieder) 	<p>260, 275, 284, 314, 418, 433;</p> <p>LW3, S. 57 f., 302, 309, 414</p>
<p>In Übertragungsprozessen werden aus funktionalen, aus Effizienz und Sicherheitsgründen verschiedene Wandlungsschritte vorgenommen</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Elektrische Energietechnik: optimierte Übertragung durch den Einsatz verschiedener Spannungsarten (z.B. sinusförmige Wechselspannung, Gleichspannung, nichtperiodische Spannungen), Frequenzen (über Transformatoren) und Spannungsebenen (Niederspannung bis Höchstspannung) • Energieübertragung in größerem Umfang nur kabel- bzw. leitungsgebunden möglich • Energie oder Informationen können auch über magnetische Kopplung von Stromkreisen übertragen werden (galvanische Trennung in Transformatoren) • Kurzfristige Speichermöglichkeiten (z.B. durch Kondensatoren, Akkumulatoren) sichern eine zuverlässige Energieübertragung und eine unterbrechungsfreie Stromversorgung • Strom- und Spannungsrichter (z.B. Gleichrichten von Wechselströmen, Wechselrichter, Frequenzumrichter) • Übertragen von elektrischen oder nicht-elektrischen Signalen und Umwandlung in analoge oder digitale Größen 	<p>LW1, S. 76, 127, 186, 202, 250-264, 265, 291, 295, 300 f., 463, 480;</p> <p>LW2, S. 10, 31, 33, 85, 87, 125, 275, 284, 298, 310 f., 362;</p> <p>LW3, S. 268, 348, 395 f., 414 f., 508, 516, 673</p>
<p>Die Energieübertragung wird mit einem hohen Wirkungsgrad angestrebt</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Leistung als Maß für die pro Zeiteinheit umgesetzte elektrische Energie, Leistungsbilanz • Energetische Wandlungsprozesse haben immer auch unerwünschte Nebenwirkungen, die als Verlustleistung erkennbar werden (oftmals in Form von Wärme; z.B. Hysterese- und Wirbelstromverluste sowie Wicklungsverluste bei Trafos) • Die Effizienz der Energieübertragung wird mit dem Wirkungsgrad beschrieben (Verhältnis der zugeführten Energie und der Nutzenergie bzw. entsprechender Leistungen); Wirkungsgrad physikalisch, energetisch und betriebswirtschaftlich betrachtbar 	<p>LW1, S. 46, 62, 83, 89, 98, 143, 147, 156, 205, 271, 275, 280 f., 286-288, 407 f., 464 f., 468 f., 472, 475, 480 f., 484-520;</p>

	<ul style="list-style-type: none"> • Die Konstruktion und Anpassungen im Betrieb von Maschinen und Anlagen zielen auf Verbesserungen des Wirkungsgrads (z.B. radial-homogene Felder für elektrische Motoren, Leistungsanpassung/Spannungsanpassung, Leistungsbilanz, Steuerung von Windenergieanlagen, elektronische Steuerung von Durchlauferhitzern, Induktionsherde) • Dreiphasenwechselfeld, Leiterreduktion durch verkettete Schaltung, Drehstromtransformatoren oder Drehstrommotoren • Auswahl von Bauteilen und Betriebsmitteln und der fachgerechte Umgang verbessern den Wirkungsgrad ebenfalls (z.B. Halbleiterbauelemente, Schaltnetzteile, Kühlung von Halbleiterbauelementen oder Motoren) • Effiziente Wandlung/Erzeugung elektrischer Energie in Blockheizkraftwerken (mittels Kraft-Wärme-Kopplung) oder Wasserkraftwerken • Lastmanagement, Energiemanagement, Smart Grid-Steuerung dienen der optimalen Ausnutzung elektrischer Energie 	<p>LW2, S. 10 f., 15, 46, 81, 84, 87, 126, 135, 156, 207 f., 304, 362, 418;</p> <p>LW3, S. 53, 55-58, 61 f., 291, 348, 350 f., 395, 400 f., 425 f., 428, 498, 508</p>
<p>Die Informationsübertragung wird vollständig, schnell und unverfälscht angestrebt</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Steuerung und Überwachung von elektrischen Anlagen und Kraftwerken mittels verschiedener Sensoren, Signalübertragungsprozesse und Regelkreise (z.B. in Windkraftanlagen, OPs/Intensivstationen) • Übertragung von Radio- und Fernsehprogrammen über elektromagnetische Wellen per Funktechnik oder Breitbandkabel (mit niedrigen Wirkungsgraden) • Steuerung von elektrotechnischen Geräten entweder über das 230V-Netz oder bei komplexen vernetzten Systemen über Bus-Systeme, die Adressen, Daten und Steuersignale übertragen; Ansteuerung von Tarifschaltgeräten • automatisierte und leiterungebundene Übertragung von Informationen über elektromagnetische Felder (z.B. RFID zur Lokalisierung) • Kabelgebundene und kabellose Rechnernetzwerke • Störsignale werden reduziert oder ausgeschaltet (z.B. mittels Abschirmung, Filterung, Lichtwellenleiter); Abstimmung von Antennen und zu empfangenden Wellenlängen (z.B. Dipol- oder Richtantennen), Schwingkreise 	<p>LW1, S. 193, 286, 300 f., 306, 314, 339, 359, 418 f., 438, 531, 541 f., 549 f.;</p> <p>LW2, S. 93, 112, 265, 355, 379, 433 f., 436, 442-445;</p> <p>LW3, S. 57, 291, 309, 414, 446, 451, 459, 516</p>
<p>Übertragungsprozesse können allgemein mit einem Dreischritt</p>	<p><u>Schritt 1:</u> Elektrische Energie oder Signale werden zunächst von einer Quelle oder einem Sender bereitgestellt.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Verschiedene Arten der Spannungserzeugung und Energiewandlung (siehe Unterkapitel 4.2 „Vielseitige Gestaltbarkeit“) • Verschiedene Kraftwerksarten 	<p>LW1, S. 290 f., 294, 301, 306, 438, 524,</p>

<p>aus Bereitstellung, Übertragung und Verbrauch/Empfang beschrieben werden</p>	<p><u>Schritt 2:</u> Die Energie wird bzw. die Signale werden über Leitungen/Kabel oder elektromagnetisch (leitungsungebunden) übertragen und verteilt.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Verzweigter Aufbau des Elektrizitätsnetzes mit verschiedenen Spannungsebenen zur sicheren und zuverlässigen Übertragung und Verteilung elektrischer Energie • Versch. Netzformen (Strahlen-, Ring-, Maschennetze) • Stromkreisverteiler • Leitungen, Kabel • Elektromagnet. Wellen (Radio, Mobilfunk, RFID, W-LAN) • Übertragung von Energie und Informationen kann verknüpft werden (Schalter für Elektrogeräte über 230V-Netz, Energieversorgung für KNX-Bussysteme über gleiches Adernpaar wie Informationsübertragung) • Bussysteme, Datenleitungen • lokale oder weltweite Rechnernetze zur Informationsübertragung <p><u>Schritt 3:</u> An ihrem Ziel wird die Energie in einem Verbraucher umgewandelt (oder ggf. zwischengespeichert) oder die Signale werden von einem Empfänger empfangen und verarbeitet (sowie ggf. gespeichert).</p> <ul style="list-style-type: none"> • Erfassen, Verarbeiten und ggf. Speichern der Signale, z.B. in Steuereinrichtungen, speicherprogrammierbare Steuerungen (SPS), Zählerleinrichtungen • (De-)Modulation und Verstärkung von Signalen • • Allgemeines Modell für Übertragungsprozesse bei Störsignalen: Störquellen, Übertragung von Störsignalen, -strömen, -spannungen oder -strahlung, Störsenken 	<p>531, 542, 550, 554 f.</p> <p>LW2, S. 34, 433, 436, 444;</p> <p>LW3, S. 40, 53 f.</p>
<p>Die Übertragung von Energie und/oder Information bildet die grundlegende Zielrichtung für die Planung, Umsetzung und</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Erzeugung und Verbrauch elektrischer Energie erfolgen zeitlich eng gekoppelt • Anlagen und elektr. Maschinen werden entsprechend der Übertragungsanforderungen bzgl. ihrer Leistung möglichst passend ausgelegt und ausgelastet • Einstellung von Arbeitspunkten und Drehzahlsteuerung • Gestaltung und Überwachung von elektrischen Netzen, z.B. mit Energiemanagementsystem oder Smart Grid 	<p>LW1, S. 254, 277, 285, 287, 289, 291, 294, 302-305., 496 f.;</p> <p>LW2, S. 38 f., 60, 175, 285,</p>

Wartung elektro- technischer Sys- teme	<ul style="list-style-type: none"> • Zählerschränke enthalten Montageplätze für Geräte zur Tarifsteuerung oder Kommunikationssysteme, um Übertragungsprozesse zu unterstützen 	289, 291, 293, 295; LW3, S. 37, 59, 115, 143- 150, 228, 266 f.
---	--	---

Diese Hauptkategorie wurde aus 268 kodierten Textstellen erarbeitet. Die Textsegmente verteilen sich auf alle drei Lehrwerke. Etwa die Hälfte der kodierten Textstellen entstammt Lehrwerk 1, jeweils ein Viertel den Lehrwerken 2 und 3. Die Kategorie hat sich im Laufe der Grounded-Theory-Analyse erst nach und nach als Hauptkategorie entwickelt. Zunächst wurden aufgrund der analysierten Textstellen Konzepte wie Energietransport, Energiesystem, Ladungsflüsse, Informationsübertragung und Kommunikation gebildet. Im Laufe des Kodierungsprozesses wurde dann auch durch die Beschäftigung mit der historischen Entwicklung der Elektrotechnik deutlich, dass der übergeordnete Blick auf Übertragungsprozesse und Flüsse (von Energie oder von Signalen/Informationen) die Konzepte verbindet. Zu diesem Zeitpunkt wurde „Übertragung von Energie und/oder Information“ mit dieser Bezeichnung zunächst als theoretisches Konzept in die Analyse aufgenommen und die bisherigen Konzepte wurden als Unterkonzepte dazu weitergeführt. Die Unterkonzepte haben dazu beigetragen, die Hauptkategorie inhaltlich zu entwickeln und relevante Aspekte auszuarbeiten. Eine direkte Kodierung mit Verwendung des Übertragungsbegriffs (Energieübertragung, Signalübertragung, Informationsübertragung) war in allen drei analysierten Lehrwerken nicht möglich. Ein weiterer Faden aus der Grounded-Theory-Analyse wurde dann noch mit der Hauptkategorie zusammengeführt: Dieser betraf Konzepte, unter denen Textsegmente zusammengefasst waren, die mit der Güte bzw. der Qualität von Übertragungsprozessen zu tun hatten (Leistung, Wirkungsgrad, Verlust, Wärmewirkung). Diese Konzepte wurden teilweise ebenfalls zu Unterkonzepten von „Übertragung von Energie und/oder Information“, teilweise wurden nur einzelne Aspekte integriert, die inhaltliche Überschneidungen mit dem Übertragungsprinzip hatten.

4.1.2 Resultat der Validierung

Prüfen der Fundamentalitätskriterien

Horizontalkriterium: Die „Übertragung von Energie und/oder Information“ als Grundprinzip bzw. als Zweck elektrotechnischer Anwendungen und Systeme ist in allen Bereichen erkennbar, in denen elektrische Energie genutzt wird. Deshalb haben elektrotechnische Fachkräfte in ihrem beruflichen Alltag regelmäßig mit diesem Konzept zu tun. Damit die elektrotechnischen Anwendungen und Systeme möglichst effizient funktionieren können,

müssen sie jeweils bestimmte Gütekriterien bei den Übertragungsprozessen erfüllen. Verschiedene Beispiele aus Gebieten der Energietechnik, der Informationstechnik und der Nachrichtentechnik, der Regelungstechnik und technischen Anwendungsgebieten (Produktionstechnik, Medizintechnik) sind oben bei den Datenbelegen bereits dargestellt worden. Das Horizontalkriterium ist damit erfüllt.

Vertikalkriterium: Dass die Übertragung elektrischer Energie viele Tätigkeiten im Alltag erleichtert oder erst ermöglicht, kann bereits im Primarbereich dadurch vermittelt werden, dass Kinder z.B. über einen Tag oder eine Woche hinweg erheben, welche der Geräte, die sie zu Hause benutzen, Strom benötigen. Über weitere Alltagerfahrungen mit elektrischen Systemen wie bspw. Ampeln, Leuchten, Fahrraddynamo oder Tablets können Übertragungsprozesse von elektrischer Energie und/oder Information mit verschiedenen Wirkungen erfahren werden. Für den Sachunterricht gibt es viele Experimente zu diesen Fragestellungen (Stiftung Haus der kleinen Forscher 2019, 10–12, 19–20, 26; School-Scout.de 2015). Auf Ebene der Sekundarstufe I sind Möglichkeiten zur Vermittlung insbesondere für die Übertragung von Energie in den gemeinsamen Bildungsstandards Physik und in der Anlage Basiskonzepte der DPG-Studie „Physik in der Schule“ durch das Basiskonzept „Energie“ gegeben, z.B. über verschiedene Energieformen, Energiewandlung, Reversibilität, Energieerhaltung und Wirkungsgrad (Hertel und Großmann 2016, B24–B26; Kultusministerkonferenz 2005, 9). Fachdidaktische Modelle des elektrischen Stromkreises wie das Fahrradkettenmodell eignen sich, um die Übertragung elektrischer Energie zu vermitteln (Schecker et al. 2018, 121). In der beruflichen Bildung sind Energie- und Informationsübertragungsprozesse z.B. beim Auswählen von Energiewandlern, der Planung von vernetzten Kommunikationssystemen, der optimalen Gestaltung von (elektrischen) Energie-, Stoff- und Signalflüssen in Gebäuden sowie der Installation von Haustechnikanlagen oder energietechnischen Systemen wichtig (Kultusministerkonferenz 2018b, 14–16, 19, 22; Kultusministerkonferenz 2020b, 18–22). Das Vertikalkriterium ist ebenfalls erfüllt.

Zeitkriterium: Die „Übertragung von Energie und/oder Information“ war bereits mit den ersten elektrotechnischen Entwicklungen das Ziel der Bemühungen von Ingenieuren, Technikern und Wissenschaftlern. Diese haben sich zunächst mit den beiden Gebieten der elektrischen Telegrafie (ab Ende des 18. Jahrhunderts mit Versuchsanlagen und ab 1850 im praktischen Einsatz in vielen Ländern) und der elektrischen Beleuchtung (ab Mitte des 19. Jahrhunderts) beschäftigt (Kloss 1987, 122–126). Dabei waren Herausforderungen unterschiedlicher Art zu bewältigen: Zunächst mussten technisch überhaupt geeignete Apparate konstruiert werden, wobei sich viele material- und konstruktionsbezogene Probleme stellten. Übertragungsprozesse erfordern jedoch eine Übertragung von Energie und/oder Information über größere Distanzen und Systeme, die skalierbar sind und einen technischen Einsatz in größerem Maßstab für viele Nutzer ermöglichen (mit einem akzeptablen Wirkungsgrad). Auch diese technischen – und wirtschaftlichen – Herausforderungen mussten gelöst werden. So betrachtete Thomas A. Edison um 1880 als einer der

Ersten die Energieübertragung zu Beleuchtungszwecken als ein elektrisches System, welches er mit seinem Forschungslabor von der Spannungserzeugung, Übertragung bis zu den Glühlampen als Verbraucher komplett konstruierte, vertrieb und installierte. Es gelang ihm durch eine systematische Abstimmung der Komponenten aufeinander, den Wirkungsgrad seines Systems gegenüber bestehenden Lösungen deutlich zu verbessern (Lindner 1985, 146–148).

Des Weiteren diente die gesamte Entwicklung und der Aufbau der öffentlichen Versorgungsinfrastruktur mit elektrischer Energie dem Ziel, die Energieübertragung in großem Maßstab und mit gutem Wirkungsgrad zu ermöglichen. 1885 begann die allgemeine öffentliche Stromversorgung in Berlin, zunächst noch sehr lokal innerhalb einzelner Gebäude oder Häuserblöcke. Die Versorgung wurde zunächst von Privatunternehmen aufgebaut, welche verpflichtet wurden, allen Interessenten elektrische Energie zur Verfügung zu stellen. Erste große Abnehmer waren ein Theater und eine Bank (Lindner 1985, 154–155, 159). Parallel gab es Bestrebungen, die Reichweiten und den Wirkungsgrad der Übertragung immer weiter zu verbessern: Anlässlich der zweiten Internationalen Elektrizitätsausstellung 1882 in München stellte die elektrische Kraftübertragung von Miesbach nach München eine wichtige Neuerung im Bereich der elektrischen Energienutzung dar. Die Übertragung erfolgte mit Gleichstrom über eine Distanz von 57 km. Die Spannung betrug gut 2 kV und der Wirkungsgrad lag bei 22 % (Lindner 1985, 167, 197–198). 1891 erfolgte dann anlässlich der Elektrizitätsausstellung in Frankfurt eine erste Fernübertragung mit Dreiphasenwechselstrom über 175 km von Lauffen nach Frankfurt. Die Übertragungsspannung betrug bereits 8 kV (Lindner 1985, 206–210).

Um 1890 herum wurde elektrische Energie mehr und mehr genutzt. Für eine allgemeine Versorgung mit elektrischer Energie gewannen Elektrizitätswerke an Bedeutung. Diese mussten mit den weiteren Komponenten zur Verteilung und den Verbrauchern abgestimmt werden, damit die Energieübertragung überhaupt und zudem möglichst effizient funktionierte (Lindner 1985, 189). Die Spannungshöhen, mit denen die Elektrizitätswerke arbeiteten, waren anfangs noch sehr unterschiedlich (für Licht z.B. 220 V, 110 V und 120 V, für Kraft/Maschinen 220 V, 440 V, 110 V, 380 V und für die Übertragung 3 kV, 5 kV, 10 kV, 15 kV) (Lindner 1985, 220). Ab ca. 1910 schlossen sich Elektrizitätswerke aus wirtschaftlichen Gründen zusammen und bildeten größere Verbundsysteme. Die Einzugsgebiete für die Versorgung mit elektrischer Energie vergrößerten sich, die Spannungshöhen wurden angeglichen und die Versorgungssicherheit stieg. Nach dem ersten Weltkrieg entstanden dann noch größere, teilweise länderübergreifende Verbundnetze (Lindner 1985, 237, 241).

Die effiziente Übertragung von Energie und/oder Information mit hoher Güte stellt auch heute noch eine wichtige berufliche Anforderung für elektrotechnische Fachkräfte dar. Dies ist beispielsweise an der Installation und Inbetriebnahme von dezentralen Photovoltaik-Anlagen im Rahmen des Umbaus des Energiesystems in Richtung regenerativer Energien zu erkennen. Dort müssen dezentrale PV-Module mit dem öffentlichen Stromnetz,

für den direkten Verbrauch im Haushalt und ggf. für eine Speicherung der erzeugten Energie verbunden werden. Hierzu sind verschiedene Wandlungsprozesse nötig, welche jeweils Verluste mit sich bringen, und Eigenverbrauch sowie Einspeisung ins öffentliche Netz müssen bedarfsgerecht gesteuert werden. Netzseitig muss ein IT-gestütztes Energiemanagement die variierenden zentralen und dezentralen Angebote und Bedarfe an elektrischer Energie koordinieren und steuern, z.B. über Smart Grids, in denen Energie- und Datenübertragung kombiniert sind. Ebenfalls mit Blick auf die Energiewende bilden der Einsatz von energiesparenden Bauelementen und Geräten sowie die Gestaltung von Anlagen und Installationen mit hohem Wirkungsgrad und optimaler Steuerung aktuelle Herausforderungen für die Arbeit der elektrotechnischen Fachkräfte. Das Zeitkriterium ist damit erfüllt.

Sinnkriterium: Im Alltag von Nicht-Fachleuten ist die Übertragung von Energie und /oder Information z.B. durch das Internet oder das induktive Laden von Smartphones präsent, um nur zwei Beispiele aus dem Bereich der Kommunikationstechnik zu nennen. Dass die „Übertragung von Energie und/oder Information“ einen Bezug zum beruflichen Alltag von elektrotechnischen Fachkräften aufweist, ist bei den Ausführungen zum vorherigen Zeitkriterium ebenfalls bereits deutlich geworden. Ohne das grundlegende Konzept „Übertragung von Energie und/oder Information“ ist die berufliche Fachrichtung Elektrotechnik fachlich nicht vollständig erfassbar. Dieses ist zum Verständnis der Fachrichtung notwendig, weil es einerseits den Zweck bzw. die Zielrichtung elektrotechnischer Systeme definiert und zudem darauf verweist, mit Hilfe welcher Bauteile, Betriebsmittel und Schaltungen dieses Ziel konkret umgesetzt wird/worden ist. Aus diesem Grund ist es auch für eine zukunftsfähige Kompetenzentwicklung bedeutsam, denn der versierte Umgang mit diesem Prinzip ermöglicht es elektrotechnischen Fachkräften, sich in unbekanntem Systemen zu orientieren und neue Technologien zu erschließen. Indem sie die Übertragungsprozesse in diesen strukturiert nachvollziehen, können sie Systeme und Anlagen warten, instandsetzen oder installieren, die sie (noch) nicht kennen. Das fachliche Konzept der „Übertragung von Energie und/oder Information“ trägt damit auch zur Stärkung methodischer und arbeitsprozessbezogener Kompetenzen wie Anforderungsanalyse, Planung eines elektrotechnischen Systems und Fehleranalyse bei. Das Sinnkriterium ist also ebenfalls erfüllt.

Zielkriterium: In dem Konzept der „Übertragung von Energie und/oder Information“ ist über die oben vorgestellten Qualitätskriterien eine idealisierte Zielvorstellung erkennbar: Energie soll möglichst verlustfrei und mit einem Wirkungsgrad nahe 100% übertragen werden. Informationen sollen ebenfalls mit möglichst geringer Energie, vor allem aber vollständig, schnell und unverfälscht übertragen werden. In ihrem beruflichen Handeln versuchen die Fachkräfte in den elektrotechnischen Berufen, sich diesem Ideal – auch aus Kostengründen – anzunähern, indem sie ihr Handeln an den Qualitätskriterien orientieren. Dies können sie z.B. tun, indem sie im Bereich der Energieübertragung energiesparende

Anlagen und Installationsmöglichkeiten nutzen, Bauteile und Geräte mit hohem Wirkungsgrad einsetzen und im Bereich der Informationsübertragung Installationen so aufbauen und konfigurieren, dass eine sichere, verschlüsselte Datenübertragung und Kommunikation möglich ist und die Störwirkungen durch gute Abschirmung gering sind. Dennoch bleibt klar, dass die Zielvorstellungen Ideale darstellen, die sich technisch nie vollständig realisieren lassen.

Die „Übertragung von Energie und/oder Information“ erfüllt damit alle Kriterien nach Kap. 2.4.2 und kann als eine Fundamentale Idee für die berufliche Fachrichtung Elektrotechnik betrachtet werden, die zudem noch einen handlungsleitenden Aspekt umfasst.

Einschätzung der Experten

Aus Sicht der befragten Experten kann die Fundamentale Idee „Übertragung von Energie und/oder Information“ Lernenden (Auszubildenden und Lehramtsstudierenden) den Sinn und Zweck ihrer fachlichen Domäne vermitteln und damit zur Sinnggebung beitragen, welche Ziele in bestimmten Kundenaufträgen und Arbeitsaufgaben erreicht werden sollen. Diese Fundamentale Idee markiert so etwas wie einen Startpunkt, von dem aus Lernende einen konkreten fachlichen Auftrag unter der Fragestellung analysieren und strukturieren können, was mit dem elektrotechnischen System oder der Anwendung bezweckt wird und welche Übertragungsprozesse dafür erforderlich sind. Aus der Erfahrung eines Experten fällt dies Lernenden häufig nicht leicht:

„Am Anfang geht es um den Sinn und Zweck. Wofür überhaupt das Ganze. Fällt denen echt schwer, aber wenn das dann mal, wenn sie es dann mal verstehen und ich glaube auch in dieser Kombination, dann könnte es denen richtig helfen.“ (E1/00:36:46)

Ein weiterer Experte stimmt dem grundlegenden Gehalt diese Idee ebenfalls direkt zu (E3/01:23:59). Weitere zwei Experten bemerken, dass die entwickelte Fundamentale Idee einen ungewohnten, neuen Blick auf die fachliche Domäne einnimmt (E5/00:13:00, E1/00:18:47). Zum einen betrachtet sie Übertragungsprozesse aus verschiedenen fachlichen Teilgebieten (z.B. den Grundlagen der Elektrotechnik, der Energietechnik oder der Antriebstechnik) zusammen. Sie nimmt sozusagen eine Querspektive zu den Teilgebieten ein und fokussiert dabei die Gestaltung der Übertragung von Energie und/oder Information als das gemeinsame Element. Zum anderen nutzt sie aus didaktischen Gründen einen weiten Übertragungsbegriff, der neben dem Transport der elektrischen Energie auch die verschiedenen Wandlungsprozesse beinhaltet, die damit verbunden sind. Über den Austausch zu Beispielen, Anwendungsfeldern und didaktischen Anknüpfungspunkten im Verlauf der Interviews haben weitere Experten eine grundlegende Bedeutung dieser Idee für die berufliche Fachrichtung Elektrotechnik festgestellt, wie die Überlegungen von Experte 3 zu einem allgemeinen Übertragungsmodell am Ende des Abschnitts verdeutlichen.

Übertragungsprozesse können auf unterschiedlichen Abstraktions-/Systemebenen betrachtet werden (Teilchenebene, Ebene der Spannungen und Ströme, Ebene der Energie-

flüsse) (E2/00:58:32). Für die elektrotechnischen Fachkräfte sind im beruflichen Alltag die beiden letztgenannten wichtiger. Insbesondere eine Betrachtung der Energieflüsse kann die Kommunikation mit Kunden (meist Laien) erleichtern, da damit eine Abstimmung darüber erfolgen kann, wann wofür welche elektrischen Leistungen benötigt werden (E2/00:53:06). Auch wenn die Fundamentale Idee „Übertragung von Energie und/oder Information“ sich auf den übergeordneten Zweck elektrotechnischer Systeme und Anwendungen bezieht, wird sie als technisch-fachliches Konzept erkennbar (E1/00:18:47).

Als wichtige Teilbereiche, in denen die „Übertragung von Energie und/oder Information“ im beruflichen Alltag sehr bedeutsam ist, werden von zwei Experten die Energietechnik, Hochspannungstechnik und der Umbau des Energiesystems hin zu einer stärkeren Nutzung regenerativer Energien wie z.B. Windenergie genannt. Damit verbunden werden die Konzepte von Übertragungsverlusten (z.B. durch Erwärmung der Leitungen), möglichst hohen Wirkungsgraden und einem Vergleich verschiedener Übertragungstechnologien (E3/00:27:17, E3/01:27:45, E4/00:18:33). Der gezielte Einsatz von bestimmten Bauteilen wie Schaltnetzteilen oder Spannungsteilern stellen Beispiele für die Berücksichtigung von Verlusten und der Optimierung des Wirkungsgrades dar (E4/00:51:37, E4/00:53:12). Als eine typische Aufgabe im beruflichen Alltag wird die Gestaltung von Beleuchtungssystemen genannt, beispielhaft für ein Theater, das verschiedene und komplexe Anforderungen an die Beleuchtung des Gebäudes und der Veranstaltungen hat (E1/00:36:46). Danach befragt, welche Aspekte bei der Fundamentalen Idee gegebenenfalls noch nicht berücksichtigt sind, wurden Energiespeicherung und Datenübertragung benannt (E1/00:10:27).

Die von den Experten genannten Anwendungsfälle stammen vornehmlich aus dem Bereich der Übertragung von Energie, was in den Interviews nur am Rande thematisiert werden konnte (E4/00:20:58). Es wurde gemeinsam die Vermutung entwickelt, dass die Übertragung von Informationen als Bereich im Laufe der letzten zwei Jahrzehnte zunehmend an Bedeutung gewonnen hat und sich zunächst die Ausbildungsberufe dahingehend ausdifferenziert haben, dass sie den Fokus entweder stärker auf energetische oder auf informationstechnische Übertragungsprozesse legen. Mit der Ausdifferenzierung der IT-Berufe ist 2007 dann eine neue berufliche Fachrichtung Informationstechnik/Informatik entstanden (Pahl und Herkner 2010, 430–431). Da sich diese Arbeit auf die berufliche Fachrichtung Elektrotechnik konzentriert, werden Kerninhalte, Grundprinzipien und mögliche Fundamentale Ideen der Informationstechnik/Informatik nicht untersucht, wenngleich die beiden Fachrichtungen Schnittstellen und inhaltliche Überschneidungsbereiche haben, die bei der Fundamentalen Idee „Übertragung von Energie und/oder Information“ deutlich werden (E5/00:47:28). Einbezogen werden Signalübertragungen z.B. in der Gebäudetechnik und in der Regelungstechnik, ebenso wie die Installation von Leitungen zur Informationsübertragung bzw. für IT-Infrastrukturen und die Programmierung von speicherprogrammierbaren Steuerungen. Softwareentwicklung im engeren Sinne wird unberücksichtigt gelassen, ebenso wie Fragestellungen der IT-Sicherheit.

Inhaltliche Verbindungen zu anderen Fundamentalen Ideen wurden von den Experten implizit hergestellt, z.B. zu den Ideen „Interdependenz von Strom und Spannung“ sowie „Elektrische und magnetische Wechselwirkungen“ bei den Anwendungsbeispielen aus der Energietechnik und dem Vergleich der unterschiedlichen Übertragungssysteme (E4/00:53:12, E5/00:32:27). Auch ein Bezug zur Fundamentalen Idee „Vielseitige Gestaltbarkeit von elektrischen Systemen“ ist erkennbar, wenn ausgehend von der Zielstellung der Übertragung von Energie und/oder Information verschiedene Realisierungsmöglichkeiten entwickelt und geprüft werden (E3/00:27:17). Einer der Experten weist darauf hin, dass sich viele der Aspekte der Fundamentalen Idee „Risiken und Sicherheit“ stärker darauf beziehen, die Risiken und Gefahren der Energieübertragung zu kontrollieren (z.B. Verhaltensvorschriften, Schutztechnik oder Unverwechselbarkeit von Betriebsmitteln) als die der Informationsübertragung (welche sich z.B. in den Grenzwerten zur Elektromagnetischen Verträglichkeit (EMV) oder Abschirmungsmöglichkeiten wiederfinden) (E4/00:20:58).

Aus einer didaktischen Perspektive heraus schlägt einer der Experten vor, das Gemeinsame der vielfältigen Übertragungsprozesse zu betonen, denen die elektrotechnischen Fachkräfte in ihrem Berufsalltag begegnen, und dies in einem allgemeinen Übertragungsmodell abzubilden, welches dann an konkreten Fragestellungen aus der jeweiligen Berufspraxis angewendet werden kann (E3/01:28:43, E3/01:34:26). Seine Idee verdeutlicht er an Beispielen für die Übertragung von Energie (erstes Zitat) und Information (zweites Zitat):

„Ja, das ist im Prinzip der Punkt. Ich habe einen Generator, eine Quelle, ich habe einen Kanal und ich habe einen Empfänger. Und dieses fundamentale Übertragungsmodell, das sollte auf jeden Fall in diesem Bereich kommen. Und da können Sie sagen, okay, jetzt ist die Quelle ein Generator, Energieerzeugung. Dann habe ich eine Leitung und jetzt muss ich die Energie, die da kommt, muss ich so in ein Signal umformen, dass sie über die Leitung übertragen werden kann. Dann habe ich Anforderungen an die Leitung, wie sie sein sollte. Und dann habe ich wieder auf der Empfangsseite einen Empfänger, eine Senke heißt das. Also allgemein heißt es: Quelle, Kanal, Senke.“ (E3/01:30:47)

„Bei der Signalübertragung ist das hier ein Sender, der praktisch die gelieferte Information umsetzt in ein Signal, welches ich dann übertragen kann. Und man kann jetzt sagen, die Antennen gehören auf beiden Seiten zum Kanal dazu. Damit haben Sie die Antenne mit im Griff. So, und jetzt aus diesem empfangenden Antennensignal müssen Sie erstmal das, was Sie interessiert, herausfiltern und das führen Sie dann einer Signalverarbeitung zu.“ (E3/01:32:13)

4.2 Vielseitige Gestaltbarkeit elektrischer Systeme

4.2.1 Beschreibung der Idee und Herleitung

Elektrische Energie ist auf unterschiedliche Weise bereitstellbar, übertragbar (auch leitungsungebunden), wandelbar, verteilbar, nutzbar und in gewissem Umfang speicherbar. Diese Vielseitigkeit über den gesamten „Lebenszyklus“ der elektrischen Energie¹⁶ entsteht einerseits aus den *physikalischen Eigenschaften/Merkmalen* von *elektrischen und magnetischen Feldern, Spannungen und Strömen* und andererseits aus den weit entwickelten und ausgebauten technischen Systemen und Infrastrukturen (z.B. effiziente Verteilung aufgrund geringer Transport- und Wandlungsverluste).

Aus dieser physikalischen und technischen Flexibilität ergibt sich auf unterschiedlichen Ebenen ein vielfältiges Nutzungs- und Gestaltungspotenzial für elektrische Systeme. Die vielseitige Gestaltbarkeit zeigt sich daran, dass elektrotechnische Systeme in allen gesellschaftlichen Bereichen (z.B. Industrie, Haushalte, Verkehr, Medizin) und dort jeweils unter vielen verschiedenen Rahmenbedingungen zur *Energieversorgung* oder der *Übertragung von Informationen* eingesetzt werden. Dafür steht eine differenzierte, gut ausgebaute öffentliche *Netzinfrastruktur* zur Verfügung, welche es ermöglicht, elektrische Systeme verhältnismäßig günstig und universell zu gestalten. Die Systeme können mit einer großen Bandbreite z.B. hinsichtlich ihrer Dimensionierung, Komplexität oder ihres Energiebedarfs gestaltet werden. Sie können an besondere *Umgebungsbedingungen* oder eine eingeschränkte Zugänglichkeit angepasst werden (z.B. Spannungserzeugung ohne Zugang zum allgemeinen Versorgungsnetz, Systeme unter Wasser, im All oder im Körperinneren). Wenn Reparaturen erforderlich werden oder sich Anforderungen ändern, können elektrische Systeme häufig mit vertretbarem Aufwand angepasst, revidiert und erweitert werden, sodass eine gewisse gestalterische Offenheit für zukünftige Entwicklungen besteht (z.B. über definierte Schnittstellen und Standards). Die *Digitalisierung* hat z.B. im Bereich der Schaltungstechnik oder der Steuerung (durch speicherprogrammierbare Steuerungen) die Gestaltungsmöglichkeiten nochmals stark vergrößert.

Auf der physikalischen Ebene werden Spannungen, Ströme oder Felder entsprechend der definierten Nutzungsanforderungen gestaltet. Mit Hilfe von geeigneten *Bauteilen/Bau-elementen* und *Materialien* (z.B. Spannungsteiler, Dioden, Transformatoren, Sensoren und weitere Halbleiterbauelemente) werden elektrische Systeme so aufgebaut und *geregelt bzw. gesteuert*, dass in ihnen beispielsweise Stromstärken gezielt gesteuert oder begrenzt, die Stromrichtung beeinflusst, die Spannung verändert oder der Stromfluss von bestimmten Bedingungen abhängig geregelt werden kann, um die definierten Anforderungen zu realisieren. Mit Hilfe verschiedener Speichertechnologien können zudem Schwankungen

¹⁶ Lebenszyklus ist hier in einem prozessbezogenen Sinne gemeint und auf den technischen Prozess von der Bereitstellung bis zum „Verbrauch“ der Energieform „elektrische Energie“ bezogen. Physikalisch entsteht Energie nicht und wird auch nicht verbraucht, sondern zwischen verschiedenen Energieformen gewandelt.

in der Energieversorgung ausgeglichen werden (z.B. Blindleistungskompensation, unterbrechungsfreie Stromversorgung oder Lastmanagement dezentraler Photovoltaik-Anlagen). Gestaltungsoptionen für Handwerker/-innen und Facharbeiter/-innen in den Elektroberufen ergeben sich z.B. daraus, dass auf der technischen Ebene bestimmte Funktionen (z.B. die Funktion Schalten) mit unterschiedlichen Bauelementen realisiert werden können, ein bestimmtes Bauelement verschiedene Funktionen im System übernehmen kann (z.B. Kondensatoren), dass viele Bauelemente in verschiedenen Bauweisen und Dimensionierungen verfügbar sind (z.B. Widerstände oder Transformatoren) oder Systeme nicht nur auf eine einzige, sondern auf mehrere Arten umgesetzt werden können.

Um aus dem vorhandenen Gestaltungsspielraum eine konkrete Realisierungsentscheidung treffen zu können, gehen Handwerker/-innen und Facharbeiter/-innen strukturiert vor und nutzen domänenbezogene *Methoden* und *Praktiken*. Bei der *Analyse* der Anforderung/des Problems werden fachbezogene *Visualisierungen* (z.B. Schaltpläne), *Messungen* und *mathematische Modellierungen* genutzt, um geeignete Lösungen zu entwickeln. *Systemorientiertes/vernetztes Denken* hilft dabei, eine möglichst gute Lösung zu konzipieren (*Optimierung*) und ihre Umsetzung zu planen. Dabei müssen als zusätzliche Randbedingungen bestehende *Standards* eingehalten und die *Sicherheit* und *Verlässlichkeit* des Systems hergestellt werden.

Befunde aus der Grounded-Theory-Analyse

Bereich	Beschreibung der Befunde über typische Inhalte und Beispiele	Belege aus den Lehrwerken LW1 - LW3
Flexibilität ist über den gesamten Lebenszyklus elektr. Energie erkennbar (d.h. unterschiedlich erzeugbar, übertragbar, wandelbar, transportierbar, verteilbar, nutzbar und speicherbar)	<ul style="list-style-type: none"> • Verschiedene Arten der Spannungserzeugung: Induktion (Generatoren, Dynamo), Batterie/Akkumulatoren (chemische Reaktion), Thermoelemente, Photoelemente oder Solarzellen (Satellit, Taschenrechner, PV), piezoelektrischer Effekt • Technische Infrastruktur für Energieversorgung und Transport von Kraftwerken über Hochspannungsnetz und verschiedene Ebenen von Verteilnetzen bis zu Abnehmern in Industrie/Gewerbe oder Gebäuden und zu Verbrauchern (Geräten, Anlagen) • leitungs-/trägerungebundene Übertragung und mobile Bereitstellung elektrischer Energie und von Informationen (z.B. Transformator, Mikrowellen, Mobilfunk, RFID) • Anwendung als elektr. Energie oder durch Umwandlung in andere Energieformen wie Licht, Bewegung oder Wärme (z.B. in Haushaltsgeräten oder Lötkolben) • Speichern elektrischer Energie kurzfristig in elektrischen Bauelementen (Kondensatoren, Spulen) oder länger durch 	<p>LW1, S. 29, 33, 47, 64-69, 74, 76, 80, 93-94, 97, 128, 190, 193, 222 f., 277, 265, 280-284, 288, 290-297, 326, 340, 361, 399-405, 407-409, 418 f.;</p> <p>LW2, S. 8, 10, 30-34, 55, 78-83, 87,</p>

	<p>Umwandlung in andere Energiearten möglich (chemische Energie: Akkusysteme, Elektrolyse)</p>	<p>126 f., 174 f., 222, 275, 310, 343- 346; LW3, S. 57, 215, 291 f., 316, 347, 357, 414, 468-474, 612-615, 675-677</p>
<p>Gestaltungsmöglichkeiten haben ihre Ursache in physikalischen Merkmalen von elektrischen und magnetischen Feldern, Spannungen und Strömen</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Ströme und Spannungen können nach Erfordernis und Verwendung passender Schaltungen und Bauelemente/ Betriebsmittel gezielt gesteuert werden, indem bestimmte Materialien oder Bauteile verwendet und eingestellt (Arbeitspunkte) oder Schaltungen auf eine bestimmte Art gestaltet werden (Spannungsteiler/Potenzimeter, Gleichrichter/Wechselrichter gezielte Anpassung von Gleichspannung mittels Leistungselektronik) • durch die Nutzung des Konzepts „Widerstand“ können bestimmte gewünschte Funktionalitäten einer Schaltung/Installation gezielt gestaltet werden (z.B. Absicherung, Leistungsübertragung/ Wirkungsgrad verbessern, breitere Einsatzbereiche für Messgeräte, Gleichrichtung) • elektrische und magnetische Wechselwirkungen ermöglichen die Wandlung von anderen Energieformen, Übertragung elektrischer Energie oder Wandlung zwischen verschiedenen Spannungshöhen (über Transformatoren aller möglicher Bauarten, Schaltnetzteile, Elektromotoren), um Anwendungen für Kleinspannungen (z.B. in der Medizin oder für Spielzeug) bis zu Hochspannungsübertragung zu ermöglichen • Wirbelströme/Wirbelstromverluste sind teils erwünscht (Bremsen, Wärmeerzeugung, Abschirmung) und teils Störeinfluss (in elektrischen Maschinen, daher z.B. Verwendung von isolierten Eisenblechen statt Eisenkern), Erwärmung von Leitungen und Isolatoren • Gestaltung eines Elektro-Magnetfelds z.B. durch Spulenwicklungen oder -kern oder durch Stromfluss in Erregerspule, Transformator; Änderung des magnetischen Flusses auf verschiedene Weisen mgl., Elektromotoren/Generatoren, Induktivität, Selbstinduktion 	<p>LW1, S. 88, 98, 144, 202, 210, 261, 357, 360 f., 463-473, 475, 478; LW2, S. 28 f., 59 f., 78, 81 f., 86, 142, 240, 270, 298, 307 f., 362, 367, 385, 388, 418, 421; LW3, S. 74, 215, 291, 316, 414, 430, 446</p>

<p>Elektr. Energie wird gesellschaftlich breit genutzt und hat viele Einsatzbereiche</p>	<ul style="list-style-type: none"> • elektrische Systeme werden z.B. in Industrie, Haushalte, Verkehr, öffentliche Infrastruktur, Medizin unter vielen verschiedenen Rahmenbedingungen eingesetzt • Exemplarische Anwendungen in der Medizintechnik: Implantate, Hörgeräte, Strahlendiagnostik und Strahlentherapie • Exemplarische Anwendungen in der Industrie: Verfahren zur Drehzahlsteuerung von Elektromotoren wenden verschiedene Mechanismen an, um Spannungen und magnetische Flüsse zu steuern, Bauformen von Motoren, Steuerungsmöglichkeiten elektrischer Maschinen, Visualisierung von Produktionsprozessen, Prozessleitsysteme • Messtechnik als exemplarischer Anwendungsbereich in der Elektrotechnik: große Bandbreite an verschiedenen Verfahren, bestimmte Größen zu messen; diese entstehen durch unterschiedliche Nutzung physikalischer Zusammenhänge (direkte und indirekte Messverfahren) in Kombination damit, was für bestimmte Schaltungen/Installationen sinnvoll und gut machbar ist (siehe z.B. Messfehler, Gefahrenpotenzial oder Zugänglichkeit, Aufwand); Multimeter; Nutzung von Transformatoren in Messgeräten, um Messspannungen (im Gegensatz zu den Betriebsspannungen) zu erzeugen) 	<p>LW1, S. 178, 181, 186, 189 f., 399, 497, 503, 584, 601;</p> <p>LW2, S. 142, 175, 190, 264, 266-270, 289, 294 f., 325, 351, 371;</p> <p>LW3, S. 87 f., 414, 612, 671 f., 676 f.</p>
<p>Offenheit für zukünftige Entwicklungen, da elektr. Systeme (oftmals) angepasst, revidiert und erweitert werden können</p>	<ul style="list-style-type: none"> • neue Form von Flexibilität durch digitale Möglichkeiten und Digitalisierungsprozesse, z.B. durch Programmierbarkeit von Steuerungen (SPS), die nicht mehr fest verdrahtet werden müssen → Steuerungen und Regelungen können jederzeit angepasst oder verändert werden; elektronische Universalregler • digitale Messwerterfassung und -verarbeitung/-speicherung, digitale Messgeräte wie z.B. Oszilloskope, die Darstellungs-, Speicher- und Ausgabemöglichkeiten für Messdaten haben • standardisierte Kommunikationsschnittstellen zur Datenübertragung und Kommunikation zwischen Netzwerkteilnehmern und -komponenten (z.B. Bus-Systeme, USB, W-LAN), Smart Grid • Digitalisierung hat zu Miniaturisierung von Bauteilen geführt und damit neue Anwendungsbereiche wie Chips und Implantate erschlossen • Erweiterbarkeit von Gebäudeinstallationen: Vorgabe eines freien Zählerfelds im Zählerschrank für (künftige) Kommunikationssysteme, Nachrüsten von Fehlerstrom-Schutzschaltern in Altanlagen, LED-Beleuchtungstechnik 	<p>LW1, S. 183, 304 f., 363, 438, 446, 531, 542, 552-556, 563, 573, 580;</p> <p>LW2, S. 11, 33 f., 253, 418, 426, 433 f., 442-444;</p> <p>LW3, S. 606, 615, 628, 677</p>

	<ul style="list-style-type: none"> • Austausch von Elektromotoren in Geräten und Anlagen aufgrund definierter Größen und Klassen möglich • Entwicklungen in der Materialforschung verbessern elektrische Systeme: verbesserte Akku-Materialien oder Entwicklung von Brennstoffzellen zur Bereitstellung elektrischer Energie (z.B. für Elektromobilität); Supraleitung und mögliche technische Anwendungen 	
Materialien, Bauteile/ Bauelemente und ihre Varianten können zielgerichtet genutzt werden	<ul style="list-style-type: none"> • Bestimmte Bauteile erfüllen verschiedene Funktionen/Zwecke im elektrischen System: z.B. Kondensator (zur Stützung von Gleichspannung, als Energiespeicher, als Verbraucher, als Wechselspannungswiderstand) oder Spannungsteiler (um Arbeitspunkte einzustellen, Verstärker, Messgeräte, Absicherung empfindlicher Bauteile; ohmscher Widerstand, induktiver Spannungsteiler, Potenziometer) • Bestimmte Funktionen in einem elektrischen System können technisch auf verschiedene Arten realisiert werden (Schalter können z.B. manuell, mechanisch, mit Motorantrieb, elektromagnetisch mit Relais oder Schützen oder elektronisch mit Transistoren realisiert werden) • verschiedene Dimensionierung oder Bauweisen von Betriebsmitteln bzw. Bauelementen, die verschiedene Vor- und Nachteile aufweisen und für unterschiedliche Zwecke genutzt werden können (z.B. Leitungen, Widerstände, Sicherungen, Kondensatoren, Transformatoren (Wicklung, Joch, Isolierung, Material), Elektromotoren); verschiedene Energiezähler; man sieht auch technische Weiterentwicklungen/Optimierungen über die Zeit, erkennbar z.B. an Kennwerten • Nutzung unterschiedlicher Materialien für Leiter, Halbleiter, Isolatoren; insbesondere Halbleiterelemente können ziemlich beliebig konfiguriert werden mit dem Ziel, bestimmte Eigenschaften oder Verhaltensweisen zu optimieren (z.B. elektrische Leitfähigkeit, magnetische Permeabilität, materialspezifischer Widerstand, Abhängigkeit/-stabilität ggü. äußeren Einflüssen wie Temperatur o.ä.); geblechte Eisenkerne von Transformatoren; technische Optimierungen über die Zeit, z.B. Verbesserung der Leitfähigkeit, Veränderung des Materials (z.B. von Glühfäden) • Varianten für Steuerungen und Regelungen: verschiedene Sensoren(typen), z.B. Thermoelemente, Photodioden oder Kraftaufnehmer, verschiedene Regler-Typen (P, PI, I-Regler, Universalregler, softwaremäßige Regelung in Prozessleitsystemen) oder „Reglerartige“, z.B. Operationsverstärker; Transponder, Speichern von Messgrößen, elektronische Steuerungen/programmierbare Steuerungen (SPS) und verschiedene 	<p>LW1, S. 40 f., 75, 79 f., 89, 110 f., 113, 149, 177, 182, 193, 204 f., 326, 354, 364-366, 418, 438, 477-479, 491, 493, 588-592, 595 f., 598 f.;</p> <p>LW2, S. 55 f., 137, 154, 156 f., 172, 174, 177, 198, 224, 228 f., 258 f., 288, 307, 310, 321 f., 337, 385-387, 395, 418, 420 f., 437-440;</p> <p>LW3, S. 32, 38, 41 f., 415, 446, 640-646, 655, 675</p>

	<p>Eingabemöglichkeiten für Steuerbefehle (AWL, KOP, Funktionsplan)</p> <ul style="list-style-type: none"> • Schutzmaßnahmen: eine Vielzahl verschiedener Schutztechnik und -systeme stehen zur Verfügung, um Basisschutz und Fehlerschutz in jeweiliger Installation sicher und normgerecht zu gestalten 	
<p>fachbezogene Praktiken und Methoden unterstützen das gestaltungsorientierte Vorgehen</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Analyse der Ist-Situation eines konkreten/praktischen Problems und Formulieren von Soll-Anforderungen • Systemorientierte/vernetzte Betrachtung (Zusammenhänge und Wechselwirkungen von Elementen in einem elektrischen Netzwerk, Wirkungen der Komponenten aufeinander (z.B. bei Gleichstrom/Wechselstrom, magnetische Felder, Widerstandsverhalten, entstehende Maximalströme/-spannungen, gegenseitige Beeinflussung von Schutzmaßnahmen) • Konzeption einer passenden Lösung durch Anwendung typischer Praktiken wie Modellieren, Berechnen und Messen zur Optimierung; Nutzen verschiedener Modellierungs- und Simulationstechniken (z.B. verschiedene Modellierungen eines Transformators, Arbeiten mit Ersatzschaltbildern) sowie Darstellungsweisen/Visualisierungen (verschiedene Arten von Schaltplänen für unterschiedliche Zwecke) • Auswahl und Konfiguration von Betriebsmitteln, z.B. Wahl eines passenden Elektromotors nach Art der Nutzung/Belastung, Drehzahlsteuerung von Elektromotoren über verschiedene Mechanismen, Bemessen von Leiterquerschnitten und Schutzeinrichtungen/-maßnahmen (versch. Überstrom-Schutzeinrichtungen und verschiedene Bemessungsstärken), Wahl von drei Einphasentransformatoren für Höchstspannung statt einem Dreiphasentransformator aus Transportgründen • Synthese, Treffen vernetzter Auswahlentscheidungen (oft gibt es mehrere Realisierungsmöglichkeiten) 	<p>LW1, S. 61, 364, 553, 639 f.;</p> <p>LW2, S. 40 f., 302, 313, 422 f., 437-440;</p> <p>LW3, S. 21, 23, 63, 87 f., 93, 153, 415-429</p>

Für die Entwicklung dieser Fundamentalen Idee wurden 286 kodierte Textsegmente aus den drei untersuchten Lehrwerken einbezogen, zunächst unter dem übergeordneten Konzept der „Flexibilität“, welches früh im Kodierungsprozess entstand. Die Befunde verteilen sich auf alle drei Lehrwerke, wobei LW1 und LW2 je ca. 100 und LW3 deutlich weniger kodierte Textstellen umfasste. Dies erklärt sich dadurch, dass LW3 kaum Anwendungs- und Handlungsbezüge beinhaltet. Zusätzlich wurden als Codes mit inhaltlichen Überschneidungen die Codes „Optimierung“, „gesellschaftliche Modernisierung“ und „Digitalisierung“ einbezogen, um besser zu verstehen, welche Bedeutung Flexibilität in der Elektrotechnik und für berufliches Handeln hat (insgesamt weitere 85 kodierte Textsegmente).

Die beiden Codes „Optimierung“ und „gesellschaftliche Modernisierung“ sind aus dem Besuch der Vorlesung zur Geschichte der Elektro- und Informationstechnik heraus (siehe 3.3.2) zunächst als theoretische Konzepte gebildet worden und wurden später in das Konzept der Flexibilität integriert, weil dieses sich als das umfassendere Konzept herausgebildet hat – und zu einer weiteren Hauptkategorie wurde. Die Bezeichnung der Kategorie hat sich durch den Austausch mit Kolleg(inn)en und den Fachexpert(inn)en noch zu der nun verwendeten Bezeichnung verändert, und zwar aus zwei Gründen: Inhaltlich verbindet der Begriff „Gestaltbarkeit“ stärker das Charakteristikum elektrischer Systeme mit den beruflichen Akteuren; zudem haben verschiedene Rückmeldungen deutlich gemacht, dass der Begriff „Flexibilität“ sowohl für Elektrotechniker/-innen wie auch für Fachfremde zu unspezifisch und nicht verständlich war.

4.2.2 Resultat der Validierung

Prüfen der Fundamentalitätskriterien

Horizontalkriterium: Gestaltungspotenziale elektrischer Systeme sind auf unterschiedlichen Ebenen und Dimensionen erkennbar, die im Arbeitsalltag der Elektroberufe auftreten. Sie erstrecken sich von physikalischen Grundmechanismen über die Bauteilebene bis hin zur Offenheit von elektrotechnischen Systemen für zukünftige technologische Entwicklungen. Verschiedene Beispiele aus Gebieten der Elektrotechnik (Energietechnik, der Informationstechnik, der Installations- und Gebäudetechnik, der Antriebstechnik oder der Messtechnik) wie auch technischen Anwendungsgebieten (Produktionstechnik, Medizintechnik) sind oben bei den Datenbelegen bereits dargestellt. Das Horizontalkriterium ist damit erfüllt.

Vertikalkriterium: Die „vielseitige Gestaltbarkeit elektrischer Systeme“ kann bereits kleineren Kindern anhand der unterschiedlichen Wirkungen elektrischer Energie (Bewegung, Licht, Wärme) und der Fülle und Unterschiedlichkeit elektrischer Geräte und Anwendungen in ihrem Alltag vermittelt werden (Stiftung Haus der kleinen Forscher 2019, 6, 10–11, 19–24). Im Bereich der Sekundarstufe I finden sich in den Bildungsstandards für das Fach Physik das Basiskonzept „Energie“ sowie in einer Studie der Deutschen Physikalischen Gesellschaft zum Physikunterricht in der allgemeinbildenden Schule die Basiskonzepte „Energie“ sowie „Kräfte und Wechselwirkungen“, welche z.B. Energieformen, verschiedene Transport- und Nutzungsmöglichkeiten elektrischer Energie und die Funktionsweise von Generatoren und Elektromotoren umfassen (Kultusministerkonferenz 2005, 9, 27–32; Hertel und Großmann 2016, B22–B24, B30–B33). Im niedersächsischen Kerncurriculum für den Technikunterricht an Realschulen werden beispielsweise verschiedene energietechnische Lösungen oder verschiedene Bauformen von elektronischen Bauelementen verglichen und bewertet (Niedersächsisches Kultusministerium 2010, 18, 22). Im Bereich der beruflichen Bildung werden die vielseitigen Gestaltungsmöglichkeiten z.B. an der Bandbreite

vermittelt, in der Betriebsmittel dimensioniert, gefertigt und ausgewählt werden, um jeweils spezifische Einsatzzwecke zu ermöglichen (siehe z.B. Kultusministerkonferenz 2018a, 11–15; Kultusministerkonferenz 2020b, 17–20, 24, 27). Das Vertikalkriterium ist damit ebenfalls erfüllt.

Zeitkriterium: Historisch betrachtet ist die „vielseitige Gestaltbarkeit elektrischer Systeme“ u.a. daran zu erkennen, dass bereits bei den ersten Entwicklungen elektrischer Anwendungen und Systeme verschiedene technologische Varianten parallel entwickelt und genutzt wurden. Dies wurde um 1830 daran sichtbar, dass aus dem damals gerade entdeckten Prinzip der elektromagnetischen Induktion vielfältige Lösungen entstanden sind, Strom auf eine andere Weise zu erzeugen und zu nutzen als bislang durch galvanische Elemente. Clarke hat 1836 z.B. eine magnetelektrische Maschine konstruiert und vertrieben, die mit Hilfe von einigem Zubehör zur Erzeugung hoher Spannungen (als „Elektriermaschine“), hoher Ströme (zum Glühen eines Drahtes), zur Demonstration der elektromagnetischen Wirkung und zur Elektrolyse eingesetzt werden konnte (Lindner 1985, 76–81). Auch bei der Entwicklung elektromagnetischer Maschinen entstanden ab ca. 1825 schnell und in verschiedenen Ländern gleichzeitig vielfältige Konstruktionen von Elektromagneten, Permanentmagneten und Kommutatoren, um die Wirkungen möglichst gut auszunutzen (Lindner 1985, 88–92). In der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts wurden vielfältige Ansätze für die ersten großen technischen Anwendungsfelder elektrischer Energie, die Telegrafie und Beleuchtungssysteme (mit Gleich- oder Wechselspannung), entwickelt und erprobt (Dittmann 2011, 85–95, 123–141). In der 1880 veröffentlichten Zeitschrift für angewandte Elektrizitätslehre waren bereits über 50 verschiedene Konstruktionen für Bogenlampen und weitere 25 Konstruktionen für Glühlampen verzeichnet (Lindner 1985, 142–143). Als weiteres Anwendungsgebiet der elektrischen Energie war bereits Mitte des 19. Jahrhundert die Galvanotechnik weit verbreitet. Mittels Elektrolyse konnten Metalle für industrielle Nutzungszwecke abgeschieden, Stempel gefertigt oder Gefäße, Besteck u.ä. mit einem metallischen Überzug versehen werden (Lindner 1985, 109–113). Ab ca. 1910 waren die privaten Haushalte ein weiterer Bereich, in dem die Elektrifizierung auf Konsumentenseite stark und in großer Vielfalt vorangetrieben wurde: Elektrisches Kochen, elektrisches Heizen und elektrische Antriebe für erste „Küchenmaschinen“, Waschmaschinen, Staubsauger o.ä. wurden entwickelt und verkauft (und später dann auch gewartet und repariert) – wenngleich zunächst vornehmlich für Gewerbebetriebe wie Hotels oder Reinigungen (Lindner 1985, 221–226). Die flächendeckende Verbreitung elektrischer Haushaltsgroßgeräte dauerte noch Jahrzehnte und war in Europa

Auch heute noch ist die vielseitige Gestaltbarkeit elektrischer (und informationstechnischer) Systeme von Bedeutung, wie z.B. bei der Konzeption der Elektroinstallation und

Kommunikationsinfrastruktur in einem Neubau, aber auch an den unterschiedlichen Anschlüssen für elektronische Devices wie Smartphones und Tablets¹⁷, den vielfältigen Ansätzen zu effizienten und ressourcensparenden Energiespeichertechnologien¹⁸ sowie der Gestaltung der Schnittstellenprotokolle im Internet of Things¹⁹ oder für industrielles Ethernet und dort eingesetzte Feldbus-Systeme²⁰ erkennbar ist. Das Zeitkriterium ist damit auch erfüllt.

Sinnkriterium: Einen Bezug zum beruflichen Alltag von elektrotechnischen Fachkräften hat die „vielseitige Gestaltbarkeit elektrischer Systeme“ offensichtlich. Bestehende elektrische Anlagen und Rahmenbedingungen sorgen dafür, dass jeweils spezifische Realisierungen vorgefunden werden, die passgenau errichtet und mit unterschiedlichen Bauteilen erstellt worden sind. Sie bilden die Ausgangsbasis für die Fachkräfte, an die diese wiederum mit ihrem beruflichen Handeln durch Installation, Wartung, Reparatur oder Modernisierung anschließen. Aktuelle Entwicklungen, an denen die vielseitige Gestaltbarkeit elektrischer Systeme sichtbar wird, betreffen z.B. die Herausforderung, (elektrische) Energie möglichst ressourcenschonend und nachhaltig zu nutzen/einzusetzen (z.B. durch Beleuchtungstechnik mit LED oder energiesparende Haushaltsgeräte) sowie die Umgestaltung des Energiesystems im Rahmen der Energiewende, bei der elektrische Energie aufgrund ihrer Flexibilität eine große Bedeutung einnimmt (z.B. bei HGÜ, Elektromobilität, dezentralen Versorgungs- und/oder Erzeugungskonzepten mit Wärmepumpen und Photovoltaik-Anlagen, Smart Grid-Netzsteuerung). Hinzu kommt, dass eine umfassende Fachkompetenz in der beruflichen Fachrichtung Elektrotechnik, die über einen langen Zeitraum trägt und weiterentwickelbar ist, ohne ein Verständnis für fachliche Gestaltungs- bzw. Handlungsspielräume von den Auszubildenden nicht entwickelt werden kann, weil sich konkrete Technologien oder der Stand der Technik bei Vorgehensweisen teilweise in wenigen Jahren stark verändern und weiterentwickeln kann und die Fachkräfte auch dann noch kompetente Gestaltungsentscheidungen treffen können sollten. Auch das Sinnkriterium ist somit erfüllt.

Zielkriterium: Eine idealisierte Zielvorstellung stellt die „vielseitige Gestaltbarkeit elektrischer Systeme“ insofern dar, als dass die Gestaltungsmöglichkeiten immer physikalisch-(elektro)technische oder andere Begrenzungen haben, die bei der realen Gestaltung berücksichtigt werden müssen. Dies können als physikalisch-(elektro)technische Begrenzun-

¹⁷ <https://www.conrad.de/de/ratgeber/technik-einfach-erklart/steckverbinder.html> oder <https://www.coolblue.de/beratung/welchen-anschluss-hat-mein-smartphone.html>; zur geplanten EU-weiten Vereinheitlichung von Ladekabeln siehe <https://www.spiegel.de/netzwelt/gadgets/bundesregierung-beschliesst-gesetz-fuer-einheitliche-ladestecker-a-d4ec40fb-b64d-4622-95a0-2fa11479bcb7> (alle aufgerufen am 25.10.2023)

¹⁸ siehe z.B. «Der Megawatt-Mann», Frankfurter Allgemeine Sonntagszeitung vom 13.11.2022, S. 45

¹⁹ Zu IoT-Schnittstellen siehe z.B. <https://www.computerweekly.com/de/ratgeber/Top-12-der-meistverwendeten-IoT-Protokolle-und-Standards> oder <https://de.wikipedia.org/wiki/IoT-Plattform> (beide aufgerufen am 25.10.2023)

²⁰ Zu einer Übersicht aktueller Feldbus-Systeme siehe <https://de.wikipedia.org/wiki/Feldbus> (aufgerufen am 25.10.2023)

gen z.B. Wärmeentwicklung, Störstrahlung oder Zuverlässigkeit sein. Sonstige Begrenzungen ergeben sich z.B. durch bauliche Gegebenheiten, Verfügbarkeiten von Material und Bauteilen, geltende Standards/Normen, Kosten oder durch die gesellschaftliche (Nicht-) Akzeptanz bestimmter Optionen. Diese Grenzen müssen beim Planen möglicher konkreter Lösungen und ihrer Optimierung von den elektrotechnischen Fachkräften berücksichtigt werden. Damit schaffen sie Orientierung für berufliche Gestaltungsentscheidungen. Das Zielkriterium kann insofern für diese Idee als erfüllt betrachtet werden.

Die „vielseitige Gestaltbarkeit elektrischer Systeme“ erfüllt damit alle Kriterien aus Abschnitt 2.4.2. Sie kann als eine Fundamentale Idee für die berufliche Fachrichtung Elektrotechnik betrachtet werden, die ebenfalls einen handlungsleitenden Anteil hat.

Einschätzung der Experten

Die Einschätzungen der Fachexperten zur Fundamentalen Idee „Vielseitige Gestaltbarkeit elektrischer Systeme“ sind insgesamt zustimmend, was ihre Geltung für die Elektrotechnik angeht, wenngleich die Bezeichnung dieser Idee für einzelne Experten zunächst etwas abstrakt bzw. übergeordnet erscheint und der Erläuterung anhand der Analysedaten bedarf (E1/00:05:31, E3/00:43:16, E3/00:54:09, E3:01:38:26, E5/00:15:32). Insbesondere nach einer Erläuterung der Idee hat kein Experte einen Einspruch zu dieser Idee. Diejenigen Experten, die dichter an der beruflichen Praxis und der Tätigkeit der Berufsschullehrkräfte sind, sehen diese Idee für die Elektroberufe im Vergleich zu den anderen Ideen als etwas nachrangig an, da die Gestaltungsspielräume im beruflichen Alltag oftmals durch verschiedene Faktoren begrenzt werden (E1/00:34:50, E4/00:22:22, E5/00:54:15).

Die Experten nennen verschiedene Beispiele und Anwendungsbereiche, die aufzeigen, wo Handwerker/-innen und Facharbeiter/-innen in den Elektroberufen mit der Gestaltbarkeit elektrischer Systeme zu tun haben. Dies sind bspw. der vielfältige Einsatz von Elektromotoren (z.B. in einem KFZ) oder Varianten zum Herstellen gewünschter Spannungen (Spannungsteiler, Schaltnetzteile, Transformatoren) (E3/00:46:18, E4/00:17:07, E4/00:26:24, E4:00:51:37, E4/00:56:29).

„Aber das war dann eben ein Schaltnetzteil. Und so etwas mache ich dann auch mit den Studierenden, mal zu hinterfragen, wie kriegen die das denn hin, dass das alles so klein wird. Und dann landet man eben bei bestimmten Dingen, dass magnetische Materialien dann mit Blick auf ihre magnetische Belastbarkeit dann auch nicht beliebigen Induktionsdichten ausgesetzt werden können, die werden ja erregt mit einem magnetischen Feld, letztlich über Strom, um sie zu magnetisieren. Und das dauert, sage ich immer bei den Studierenden, merken Sie sich ganz grob ein Tesla, das ist so eine Magnetisierung, die ist immer gut. Da arbeiten Sie im linearen Bereich und alles andere sind spezifische Größen. Ja, und aufgrund dieser Transformatorgleichung kann man dann sehen, dass wenn man eine bestimmte Spannung an ein induktives System legt und das magnetisiert, dass man dann praktisch noch zwei Variable hat, an denen man noch fummeln kann. Man kann nämlich an den Windungszahlen fummeln und man kann an der Frequenz fummeln. Und wenn man von 50 Hertz auf 50.000 Hertz

hochgeht, dann hat man den Faktor 1000 hochgeschoben, dann kann man die Windungszahlen um 1000-fach kleiner machen. Dadurch kriegt man das System schon kleiner und das B oder der Fluss, der dort weiterhin fließt, der bleibt gleich. Und deswegen wird das alles so klein.“ (E4/00:53:12)

Vier Experten betonen die große Bedeutung der Digitalisierung für die Entstehung neuer Gestaltungsmöglichkeiten und nennen hier insbesondere speicherprogrammierbare Steuerungen (SPS), Entwicklungen in der Mikroelektronik und dass viele elektrische Systeme inzwischen integrierte Hardware-Software-Systeme sind (E2/01:40:43, E4/01:08:43, E5/00:19:31). Anpassungen werden damit flexibel und kostengünstig möglich, allerdings mit Abstrichen an die Schaltungsgeschwindigkeit und die Langlebigkeit (E2/01:37:21, E3/00:50:51, E3/00:55:06). Zwei Experten zeigen an historischen Beispielen wie der Funktechnik, Leitungsmaterialien und Gerätesteckern auf, wie die Flexibilität elektrischer Energie zu verschiedenen parallel existierenden technischen Lösungen führt, die sich dann im beruflichen Alltag der Fachkräfte niederschlagen (E3/00:11:42, E3/01:08:26, E4/00:25:21, E4/00:26:03).

Um das Gestaltungspotenzial elektrischer Systeme im Berufsalltag kompetent zu nutzen und Systeme ziel- und anforderungsgerecht zu gestalten, bedarf es nach Einschätzung der Experten geeigneter Vorgehensweisen und Arbeitsmethoden wie der Anforderungsanalyse oder der strukturierten Analyse von Fehlfunktionen (E3/00:50:51 und das folgende Zitat von Experte E5).

„...man lernt durch das Probieren vielleicht auch ein bisschen, man merkt, das geht dann doch nicht vielleicht und das ist ein Lernprozess. Und bei manchen Anlagen darf man einfach gar nicht probieren, das sollte man lieber nicht tun. Und das sind so, das fiel mir gerade ein, dass man da, ja so Fehlersuche ist das, was auch in der Schule ganz wichtig ist. Für viele Berufe ist das ganz wichtig. Und genau. Das geht bei uns halt nicht mit einer geführten Fehlersuche wie in der Kraftfahrzeugtechnik, sondern das ist halt völlig offen und auch aus gutem Grunde offen. Und da zeigt sich das dann, ob man das kann, was Sie beschreiben, ob man auf dieses Grundwissen, auf das deklarative und das prozedurale Wissen aus allen Kategorien irgendwie zugreifen kann.“ (E5/00:22:54)

Eine systemorientierte Betrachtung auf unterschiedlichen Ebenen ermöglicht es, sich auch in komplexen elektrischen Netzwerken über die Funktionen verwendeter Bauteile bzw. ganzer Baugruppen/Blöcke zurechtzufinden, energetische Betrachtungen anzustellen und die auftretenden Spannungen und Ströme zu analysieren. Die dafür erforderlichen Methoden und Vorgehensweisen sollten aus Sicht von zwei Experten in die Idee der vielseitigen Gestaltbarkeit elektrischer Systeme deutlich einbezogen werden (E2/00:45:57, E2/01:08:45, E5/00:55:02).

Was die Verbindungen der Idee der vielseitigen Gestaltbarkeit elektrischer Systeme zu anderen Fundamentalen Ideen angeht, sehen alle Experten einen engen Zusammenhang zur Idee „Standards und Normen“, welche gleichsam als Gegenspieler fungiert und über

gesetzliche Vorgaben, Normen, Ausführungsregeln u.a. die (potenziellen) Gestaltungsmöglichkeiten für die Umsetzung in (reale) Bahnen lenkt bzw. die Basis oder den Rahmen für die konkrete Umsetzung bildet (E1/00:18:47, E5/00:17:25).

„Ich würde das so als Rahmen sehen. Wenn Sie Systeme gestalten, gibt es da schon klare Vorgaben. Meinetwegen bei Installationsschaltungen, welche, ja welche Querschnitte sind da einzuhalten oder welche Dimensionierung gemacht wird oder was auch immer. Dann gibt es da klare Vorgaben.“ (E5/00:17:50)

Aus der Verknüpfung der vielseitigen Gestaltbarkeit und dem Einhalten von Standards entstehen praktische Fragen bei der Gestaltung elektrischer Systeme, z.B. wie genau Normen und Vorgaben eingehalten werden können und müssen, wo mit Blick auf die Gegebenheiten Abweichungen möglich sind und wie groß diese Abweichungen in der Praxis sein dürfen (E3/01:06:14, E4/00:22:22). Zwei Experten weisen darauf hin, dass eine stärkere Eingrenzung von Gestaltungsmöglichkeiten durch Standardisierung auch positive Wirkungen wie einen schonenderen Einsatz von Rohstoffen und eine ökonomischere Produktion haben kann (E2/01:20:42, E4/00:28:43).

Die Experten sehen weiterhin Verbindungen zu den Fundamentalen Ideen „Interdependenz von Strom und Spannung“ (Bsp. Spannungsteiler, Fehlersuche), „Übertragung von Energie und/oder Information“ und zu „Risiken und Sicherheit“ (Bsp. Bauweisen von Transformatoren, die Kostenersparnis gegenüber zusätzlicher Sicherheit vorziehen) (E4/00:17:07, E4/00:51:37, E4/00:53:12). Der Experte E1 fasst dieses Verhältnis so zusammen, dass die Ideen „Interdependenz von Strom und Spannung“, „Wechselwirkung elektrischer und magnetischer Felder“ und „Übertragung von Energie und/oder Information“ den Spielraum für fachliche Gestaltungsoptionen aufspannen, während das Einhalten von Standards und das Herstellen von Sicherheit ihn begrenzen (E1/00:18:47).

Mit Blick auf das Studium der beruflichen Fachrichtung Elektrotechnik schlagen zwei Experten vor, aus dem Bereich der Fundamentalen Idee „Vielseitige Gestaltbarkeit elektrischer Systeme“ deutlich einzubeziehen, wie die Digitalisierung mit neuen Technologien und Instrumenten das Gestaltungspotenzial für elektrotechnische Fachkräfte erweitert hat, um deren große Bedeutung für die Elektroberufe aufzugreifen. Sie schlagen dafür als Studieninhalte speicherprogrammierbare Steuerungen und die Betrachtung elektrischer Systeme als vernetzte Hardware-Software-Systeme vor (E2/00:19:31, E5/01:40:43).

4.3 Interdependenz von Strom und Spannung

4.3.1 Beschreibung der Idee und Herleitung

Strom (Durchfluss, Ladungsfluss) und *Spannung* (Potenzialdifferenz) stellen grundlegende Konzepte der Physik und der Elektrotechnik dar. Sie gehören zu den Grundlagen, die be-

reits in der Mittelstufe an allgemeinbildenden Schulen zum Verständnis elektrischer Phänomene vermittelt werden. Strom und Spannung wirken wechselseitig aufeinander. Wird eine der Größen verändert, hat dies Auswirkungen auf die andere Größe. Diese Interdependenz von Strom und Spannung ist für das Verständnis von *Ladungsflüssen* in Stromkreisen von herausragender Bedeutung. Sie stellt ein weiteres, eigenständiges Konzept dar, welches für die Elektroberufe große Relevanz besitzt, um Ströme oder Spannungen zielgerichtet steuern zu können. Die Interdependenz von Strom und Spannung wird deshalb als eine weitere fundamentale Idee für die berufliche Fachrichtung Elektrotechnik vorgeschlagen.

Die Zusammenhänge von Strom und Spannung lassen sich in vielfältiger Weise über das physikalische Konzept des *elektrischen Widerstands* darstellen. So fällt die Spannung in einem Stromkreis in den *Leitungen* und an *Verbrauchern* bzw. *Bauelementen* entsprechend ihres jeweiligen Widerstands ab. Soll in einem Stromkreis ein definierter Strom fließen, lässt sich mit Hilfe des Widerstands die Spannung bestimmen, die dafür zur Verfügung stehen muss. Das Ohmsche Gesetz beschreibt diesen Zusammenhang in elementarer Weise zunächst für Gleichgrößen und Widerstände, deren Wert sich mit der Spannung, Stromstärke, Temperatur o.ä. nicht verändert (Ohmsche Widerstände). Dieser Zusammenhang ermöglicht es, auch die Aufteilung von Strömen und Spannungen in Reihen- und *Parallelschaltungen* nachzuvollziehen. Aus der Interdependenz von Strom und Spannung über das Konzept des Widerstands ergeben sich vielfältige Möglichkeiten, die Größen und die Verteilung von (Teil-)Spannungen und (Teil-)Strömen in einem *Stromkreis* gezielt zu steuern. Beispielsweise können Vorwiderstände, Spannungsteiler, Kondensatoren, Dioden und bestimmte Schaltungsarten eingesetzt werden, um an definierten Stellen des Stromkreises oder an einzelnen Bauteilen bestimmte Spannungs- bzw. Stromwerte zu erreichen.

Auch bei Stromkreisen mit Wechselgrößen hilft das Konzept des Widerstands dabei, die wechselseitige Beeinflussung/Verknüpfung von Strom und Spannung nachzuvollziehen und zu gestalten. Bei *Wechselspannung* sind die Spannungswerte in ihrem zeitlichen Verlauf verschieden. In diesen Stromkreisen können Widerstände analog zu Gleichstromkreisen frequenzunabhängig sein. Bei Wechselspannung können jedoch frequenzabhängige Widerstände (= Wechselstromwiderstände) hinzukommen, z.B. durch den Einsatz von Kondensatoren oder Spulen. Die Frequenzabhängigkeit von Widerständen ergibt sich durch die ständige Änderung des elektrischen und magnetischen Felds in Folge des Umpolens, durch welches Stromflüsse entstehen, die der ursprünglichen Flussänderung entgegengesetzt sind und sie damit in der Gesamtwirkung hemmen (siehe auch Unterkapitel 4.4 „Wechselwirkungen elektrischer und magnetischer Felder“). Es entstehen Phasenverschiebungen zwischen Spannung und Strom. Das Ohmsche Gesetz bleibt auch bei Wechselgrößen gültig/anwendbar, wenn die Widerstände als komplexe Widerstände betrachtet werden. Ihr frequenzabhängiges Verhalten lässt sich über die Aufteilung in Wirkwiderstand und Blindwiderstand beschreiben.

Um das Verständnis für die Zusammenhänge zwischen Spannung und Strom zu erleichtern und Ladungsflüsse nachzuvollziehen, werden zur Visualisierung verschiedene Arten von *Schaltbildern* und *Schaltplänen* verwendet. Umfangreiche gemischte Schaltungen werden mit Hilfe von *Ersatzschaltungen* bzw. Ersatzschaltbildern vereinfacht dargestellt. In diesen Ersatzschaltbildern werden die *realen* Verhältnisse mit *idealen* Bauelementen oder Ersatzschaltungen in der Weise nachgebildet, dass das elektrische Verhalten der Schaltung (im Wesentlichen) gleichbleibt, das Verständnis für Wirkweisen und Berechnungen jedoch erleichtert werden. *Verluste* oder Störeffekte bei realen Schaltungen können dadurch besser eingeschätzt und für praktische Umsetzungen angemessen berücksichtigt wird. Die gedankliche Übersetzung zwischen realen Bauelementen und ihren idealen Modellen bzw. zwischen realen Schaltungen und ihren idealisierten Ersatzschaltungen (*Modellierung*) stellt eine wichtige Praktik für Fachkräfte dar, mit deren Hilfe sie die Interdependenz von Strom und Spannung im beruflichen Alltag analysieren und gestalten.

Die Interdependenz von Strom und Spannung bildet die physikalisch-technische Grundlage für eine Fülle von Anwendungsfeldern im beruflichen Alltag der Elektroberufe. Als erstes sei die Funktionsweise von Bauelementen genannt. Das Verhalten und die Wirkung z.B. von Spulen, Kondensatoren oder Halbleiterbauelementen in einem Stromkreis lassen sich darüber beschreiben und erklären, wie Ströme und Spannungen wechselseitig von/mit ihnen beeinflusst werden. Weitere Anwendungsfelder sind angemessene persönliche *Schutz- und Sicherheitsmaßnahmen* ergreifen zu können (z.B. Schuhwerk mit hohem elektrischem Widerstand, die Einschätzung örtlicher Bedingungen bzgl. elektrischer Risiken, Potenzialausgleich) oder die Funktionsweise von bestimmten *Messmethoden, Messgeräten* oder Schutzeinrichtungen zu verstehen. Zudem stellt die Kategorie "Interdependenz von Strom und Spannung" die Grundlage dafür dar, Installationen mit bestimmten Funktionserfordernissen zu planen, diese dann mit geeigneten Schaltungen und Betriebsmitteln zu realisieren und mit angemessenen schutztechnischen Maßnahmen z.B. gegen Überspannungen und Fehlerströme abzusichern. Schließlich beruhen auch grundlegende Gestaltungsprinzipien in elektrotechnischen Anwendungsgebieten wie der Hochspannungstechnik auf der Interdependenz von Strom und Spannung (z.B. Übertragung gleicher Energie entweder mit hoher Spannung oder hoher Stromstärke, Leitungsverluste, Übertragung mit Wechsel- oder Gleichstrom).

Befunde aus der Grounded-Theory-Analyse

Bereich	Beschreibung der Befunde über typische Inhalte und Beispiele	Belege aus den Lehrwerken LW1 - LW3
Strom und Spannung sind häufig	<ul style="list-style-type: none"> In einem geschlossenen Stromkreis gibt es Ladungsflüsse (elektrischen Strom), wenn eine Spannung anliegt (vorhandene Potenzialdifferenz). 	LW1, S. 28 f., 31 f., 43,

<p>voneinander abhängig; ändert sich das eine, ändert sich auch das andere</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Die Spannung fällt in einem Stromkreis an einer Last/einem Verbraucher ab (wg. Widerstand, Umwandlung in Wärmeenergie) • Die Interdependenzen zwischen Strom und Spannung können durch Experimente oder Messungen erkennbar gemacht und geprüft werden. • Die Interdependenz hängt u.a. von der Art der Schaltung ab (Parallel- und Reihenschaltung, gemischte Schaltung). • Interdependenz von Strom und Spannung besteht auch ohne eine leitergebundene Verbindung (über elektromagnetische Felder). 	<p>49 f., 53-56, 97;</p> <p>LW2, S. 6, 8-10, 21, 23-25, 246;</p> <p>LW3, S. 41, 46, 48, 69, 71-75</p>
<p>Die Interdependenz lässt sich über das Konzept des Widerstands beschreiben</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Das Konzept des elektrischen Widerstands beschreibt, wie hoch eine Spannung sein muss, um eine bestimmte Stromstärke in einem Stromkreis, einem Leiter oder einem Bauelement zu erreichen. Das Ohmsche Gesetz liefert die mathematische Formulierung des Zusammenhangs. • Alle Geräte, Bauteile und Leiter haben einen internen ohmschen Widerstand. Dieser ist materialspezifisch und abhängig von der Temperatur. • Ein Widerstand kann in einem Stromkreis als Verbraucher betrachtet werden. • Das Konzept des Widerstands ist zu unterscheiden von technischen Bauelementen für Widerstände. Ohmsche Widerstände sind in ihrer Höhe unabhängig von Strom und Spannung (z.B. Festwiderstände, Potenziometer). Es gibt weitere lineare Widerstände (z.B. Dehnungsmessstreifen, Fotowiderstände), nichtlineare Widerstände (z.B. spannungsabhängige oder selbsterwärmte temperaturabhängige Widerstände) und polaritätsabhängige Widerstände (z.B. Halbleiterdioden). • Potenzialausgleich/Erdung erfolgt durch geringen Widerstand bzw. gute Leitfähigkeit 	<p>LW1, S. 36-40, 52, 189 f., 197-199, 201, 346, 352, 466;</p> <p>LW2, S. 9, 11, 19, 27, 43 f., 154, 156, 167 f., 241-243;</p> <p>LW3, S. 19, 28 f., 31 f., 35-43, 46 f., 62, 74 f., 637 f.</p>
<p>Mit Hilfe des Konzepts Widerstands kann der wechselseitige Zusammenhang von Strom und</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Ströme und Spannungen können aufgeteilt oder gezielt reduziert (z.B. für empfindliche Schaltungen in der Elektronik) wie auch verstärkt werden; der Stromdurchlass kann spannungsabhängig gesteuert, ganz unterbunden oder die Phase zwischen Strom und Spannung verschoben werden. • Dafür werden bestimmte Bauelemente, Halbleiter-Materialien oder Schaltungsarten genutzt: z.B. Spulen, Kondensatoren, Potenziometer, (Vor-)Widerstände, Halbleiterdioden; bei 	<p>LW1, S. 47, 51, 55-57, 62, 150, 156-161, 173, 178, 189, 202 f., 206-212, 291, 346, 464,</p>

<p>Spannung beeinflusst und gezielt gestaltet werden</p>	<p>Schaltungen z.B. Reihen- oder Parallelschaltung, Brückenschaltungen, Stern- u. Dreieckschaltungen</p> <ul style="list-style-type: none"> • Strom-Spannungs-Kennlinien beschreiben für Bauelemente (oder ganze Schaltungen), welche Interdependenz bei ihrer Verwendung auftritt. • In der Hochspannungstechnik oder der Informationstechnik wird die Leistungsübertragung durch die Nutzung des Zusammenhangs zwischen Strom und Spannung optimiert (z.B. Spannungstransformation oder Widerstandsübersetzung zwischen Spannungsquelle und Verbraucher/Leistungsanpassung) • Sicherheitsmaßnahmen und Schutztechnologien beruhen oft auf den Interdependenzen von Strom und Spannung und dem Einfluss des Widerstands (Ausrüstung mit hohem Widerstand als Schutzmaßnahme, Isolierungen, Potenzialausgleich/Erdung) • Messverfahren und Messegeräte nutzen oft Interdependenzen von Strom und Spannung, um Messungen komfortabler und risikoarm durchführen zu können, z.B. Multimeter (die Messwertumformer nutzen), indirekte Strommessung, Abschätzen und Ausgleichen von Messfehlern bei Messschaltungen (stromrichtiges und spannungsrichtiges Messen), Funktionsweise von „Stromzählern“ 	<p>465, 567, 474;</p> <p>LW2, S. 28 f., 42-44, 46, 81 f., 128-135, 162 f., 171, 184, 241, 259;</p> <p>LW3, S. 36 f., 55, 59, 61 f., 69, 71-76, 79-81, 83, 85-88, 190, 360, 642 f., 661</p>
<p>Beim Einsatz von Wechselgrößen ergeben sich weitere Gestaltungsmöglichkeiten</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Als Wechselgrößen sind Spannungs- und Stromwerte frequenzabhängig (z.B. sinusförmige Netzspannung). • Durch die Frequenzabhängigkeit sind die Augenblickswerte und Effektivwerte der Spannungen und Ströme relevant. • In Schaltungen weisen Spulen (Induktivitäten) und Kondensatoren (Kapazitäten) ein frequenzabhängiges Verhalten auf und sind deshalb als weitere Typen von Widerständen interessant, die z.B. zur Reduktion von Störspannungen oder als Filter genutzt werden. Diese Widerstände sind zeitlich und von der Höhe her variabel. Sie lassen sich als Wechselstromwiderstände (Impedanz, komplexer Widerstand) verstehen und anteilig in Wirkwiderstand, Blindwiderstand und Scheinwiderstand aufteilen. • Durch sich zeitlich ändernde Spannungen und Ströme entstehen elektromagnetische Felder (genauer siehe Unterkapitel 4.4). Diese bilden die Ursache für das frequenzabhängige Verhalten von Spulen und Kondensatoren. • frequenzabhängiges Verhalten von Kapazitäten und Induktivitäten führt zu Phasenverschiebungen zwischen Strom und Spannung (u.a. durch Selbstinduktion) 	<p>LW1, S. 96 f., 134-136., 138, 144, 147, 150 f., 153, 308, 465;</p> <p>LW2, S. 54, 78-80, 87-91, 93 f., 96, 111;</p> <p>LW3, S. 302, 347-350, 352, 354-356, 360-363, 446</p>

	<ul style="list-style-type: none"> • Erst Wechselgrößen ermöglichen Spannungsänderungen mittels Transformatoren, was eine wesentliche Grundlage z.B. für die Hochspannungstechnik ist. 	
Fachspezifische Praktiken und Arbeitsmethoden unterstützen die Gestaltung der Interdependenz	<ul style="list-style-type: none"> • Das Konzept des ohmschen Widerstands wird auch genutzt, um Energiewandlungsprozesse in andere Energieformen als elektrische Energie zu beschreiben (z.B. in Wärme oder in mechanische Energie). • Schaltbilder und Schaltpläne helfen, die Interdependenzen von Strom und Spannung zu visualisieren und Ladungsflüsse zu modellieren oder nachzuvollziehen. Je nach Zielsetzung werden verschiedene Varianten von Schaltplänen für die Kommunikation unter Fachleuten genutzt. • Ersatzschaltungen bzw. Ersatzschaltbilder dienen dazu, die realen Verhältnisse mit idealen Elementen/Bauteilen (z.B. ideale Quellen, Messgeräte, Spulen/Kondensatoren) nachzubilden, um sie leichter zu verstehen und einfacher berechnen zu können. • Zeigerbilder stellen eine weitere Art der Beschreibung und Visualisierung insbesondere für Wechselspannungen und -ströme dar. Mit ihrer Hilfe können das Verständnis der Phasenverschiebungen und Berechnungen vereinfacht werden. • Mit Messungen wird geprüft, ob Ströme und Spannungsverhältnisse wie geplant realisiert wurden. 	<p>LW1, S. 30, 32, 50, 54, 59, 61, 129-134, 136, 138, 143 f.;</p> <p>LW2, S. 25, 41 f., 78-80, 91 f., 94-96, 135 f., 156, 184, 244 f., 248, 259 f.;</p> <p>LW3, S. 21, 43-45, 48, 50, 64, 73, 76, 86, 323-325, 330, 348, 351 f., 355, 357, 362</p>

Im Rahmen der Grounded-Theory-Analyse wurden 250 Textsegmente kodiert, aus denen die Kategorie „Interdependenz vom Strom und Spannung“ entwickelt wurde. Ca. die Hälfte davon (124 Segmente) betreffen das Konzept des elektrischen Widerstands, das im Laufe der Analyse der entstandenen umfassenderen Kategorie untergeordnet wurde. Die Kategorie entstand als eines der ersten Konzepte und wurde im Laufe der Analyse zunehmend umfassender und differenzierter. Neben dem Konzept des Widerstands sind große Teile der Konzepte „Wechselspannung“/„Wechselstrom“ und „ideale/reale Betrachtung“ (ohne Textsegmente zu Transformatoren) in die weitere Ausarbeitung der Kategorie eingeflossen. In den Konzepten „Wechselspannung“ und „Wechselstrom“ sind v.a. Phänomene und Inhalte kodiert, die sich bei Wechselgrößen zeigen und Unterschiede zur Betrachtung von Gleichgrößen darstellen. Das Konzept „ideale/reale Betrachtung“ ist relativ spät in der Analyse entstanden, um sichtbar zu machen, dass in der Elektrotechnik bei der Beschreibung der Interdependenz von Strom und Spannung häufig mit idealisierten Modellvorstellungen und Abstraktionen von realen elektrischen Systemen gearbeitet wird. Dieses

Konzept umfasst beispielsweise Textsegmente zu idealen Bauelementen, Modellen und Ersatzschaltungen.

Fachliche Inhalte bezüglich der „Interdependenz vom Strom und Spannung“ sind in allen Lehrwerken zu finden. Dies betrifft insbesondere die physikalischen Grundlagen zum Ohmschen Gesetz, verschiedene Grundschaltungen, Strom- und Spannungsmessung und Wechselstromwiderstände. Sie sind allerdings unterschiedlich ausführlich und weitreichend dargestellt. Am stärksten unterfüttert wird die Kategorie „Interdependenz vom Strom und Spannung“ aus Lehrwerk LW 3 mit ca. 47% aller kodierten Textsegmente. In LW 1 wurden knapp 30% der Textsegmente kodiert, in LW 2 knapp 25%. Lehrwerk LW 2 konzentriert sich bzgl. dieser Idee vornehmlich auf die (physikalischen) Grundlagen. In LW 1 werden darüber hinaus vielfältige Einsatzzwecke und technische Anwendungsfälle für die „Interdependenz vom Strom und Spannung“ einbezogen (Anwendungen für bestimmte Schaltungsarten und Geräte, verschiedene Bauweisen von Bauelementen). LW 3 legt einen Schwerpunkt auf eine vertiefte Betrachtung verschiedener Schaltungsarten, Formen von Spannungsteilern oder Halbleitern und ihren verschiedenen Bauelementen. Zudem werden in LW 3 umfassender als in den beiden anderen Lehrwerken Modelle wie die Netzwerkbetrachtung und das Arbeiten mit idealisierten Bauelementen und Ersatzschaltungen zur Beschreibung, zum Verständnis und für Berechnungen eingesetzt.

4.3.2 Resultat der Validierung

Prüfen der Fundamentalitätskriterien

Horizontalkriterium: Die Kategorie „Interdependenz vom Strom und Spannung“ stellt eine wesentliche fachlich-konzeptuelle Grundlage für alle Elektroberufe dar. Die wechselseitige Abhängigkeit der beiden Größen und die Verbindung durch das Konzept des Widerstands ist für jede Schaltung, jede Installation und jedes Bauteil von Bedeutung. Die Kategorie umfasst Phänomene bei Gleichspannung sowie Wechselspannung und hilft dabei, die Zusammenhänge von Strom und Spannung bei ganz unterschiedlichen Materialien, Bauteilen und Schaltungen zu beschreiben und zu erklären. Deshalb finden sich Anwendungsbeispiele für die „Interdependenz vom Strom und Spannung“ neben den elektrotechnischen Grundlagen auch in Teilgebieten der beruflichen Fachrichtung Elektrotechnik wie z.B. der Installationstechnik, der Messtechnik oder der Informationstechnik sowie bei Sicherheitsmaßnahmen und Schutztechnik. Das Horizontalkriterium ist damit erfüllt.

Vertikalkriterium: Bereits in der Grundschule kann anhand von Leitern und Nicht-Leitern der Widerstand verschiedener Materialien experimentell untersucht werden. Zudem können Versuche mit einfachen Stromkreise z.B. mit einer Glühlampe gemacht werden, um grundlegende Erkenntnisse über Stromkreise und erste Bauelemente wie Batterie, Leitung und Verbraucher zu gewinnen (Stiftung Haus der kleinen Forscher 2019, 30–36). In der

Sekundarstufe I greifen die Basiskonzepte „System“ in den gemeinsamen Bildungsstandards des Fachs Physik (Kultusministerkonferenz 2005, 9) wie auch „Kräfte und Wechselwirkungen“ (Hertel und Großmann 2016, B15–B18) der Studie der Deutschen Physikalischen Gesellschaft zum Physikunterricht in der allgemeinbildenden Schule die „Interdependenz vom Strom und Spannung“ auf. Im Kerncurriculum „Technik“ für die Realschule des Landes Niedersachsen werden Unterrichtsbeispiele zu Reihen- und Parallelschaltungen, elektrischen Eigenschaften von Widerständen und anderen Bauelementen vorgeschlagen, um das Zusammenwirken verschiedener elektrischer Bauteile in einer Schaltung zu erlernen (Niedersächsisches Kultusministerium 2010, 22, 36). In der Sekundarstufe II kann nach den Empfehlungen der DPG im Basiskonzept „Materie“ die Interdependenz auf atomarer Ebene behandelt werden (Materialien und ihre Eigenschaften bzgl. Leitung oder Isolation von Strom, Konzept des Widerstands auf molekularer Ebene, Halbleiterbauelemente) (Hertel und Großmann 2016, B13). In der beruflichen Bildung wird die „Interdependenz vom Strom und Spannung“ gleich zu Beginn der Ausbildungen in den ersten beiden Lernfeldern, die für alle Elektroberufe gleich sind, bei der Analyse elektrotechnischer Systeme und ihrer Komponenten sowie der Planung und Durchführung von Installationen ausführlich thematisiert (Kultusministerkonferenz 2018a, 10–11, Kultusministerkonferenz 2018b, 10–11, Kultusministerkonferenz 2020b, 11–12). Auch das Vertikalkriterium ist damit erfüllt.

Zeitkriterium: Die „Interdependenz vom Strom und Spannung“ war historisch wesentlich für die Entwicklung von elektrischen Geräten, den Aufbau einer allgemeinen Stromversorgung und die Gestaltung von Sicherheitstechnik wie z.B. den Blitzschutz. Dazu seien nur einige Beispiele genannt: Die proportionalen Zusammenhänge zwischen Strom und Spannung wurden 1826 von Ohm experimentell bestimmt und ein Jahr später mathematisch in dem formuliert, was heute als Ohmsches Gesetz bekannt ist (Lindner 1985, 58–60). Um die Versorgung mit elektrischer Energie durch die ersten Blockstationen auf einen größeren Radius zu erweitern und sie möglichst verlustarm und stabil zu betreiben, wurden in den 1880er Jahren Mehrleitersysteme entwickelt, mit denen bei höheren Spannungen Leistung mit geringeren Leitungsverlusten übertragen werden konnten (Lindner 1985, 157–159). Zudem hatte die Abwägung von Vor- und Nachteilen der Leistungsübertragung mit Gleich- oder Wechselspannung, die z.B. auf der Internationalen Elektrizitätsausstellung 1891 in Frankfurt erfolgte, einen großen Einfluss auf die Entwicklung der öffentlichen Versorgung mit elektrischer Energie (Lindner 1985, 167). Ein weiteres Anwendungsfeld, bei dem die „Interdependenz vom Strom und Spannung“ eine große Rolle spielte, stellt die Elektrifizierung der Haushalte dar. Beim elektrischen Kochen und Heizen wurden ab ca. 1910 Widerstände so genutzt und gestaltet, dass die Wärmeerzeugung durch elektrischen Strom als Wirkung in den Mittelpunkt gestellt rückte, z.B. bei elektrischen Bratpfannen, Wärmeplatten, Kochplatten, Eierkochern, Tauchsiedern o.ä. Auch erste elektrische Küchenherde wurden entwickelt (Lindner 1985, 222–223). Durch die Entwicklung von Halbleitern und Halbleiterbauelementen seit den 1950er Jahren haben sich in den Elektroberufen vielfältige weitere Möglichkeiten ergeben, Schaltungen zu gestalten und

dabei u.a. auch die wechselseitigen Abhängigkeiten von Ströme und Spannungen auszunutzen. Ein aktuelles Beispiel stellt die Versorgung mit elektrischer Energie über eine Photovoltaik-Anlage dar, in der in den Solarzellen zunächst Gleichstrom entsteht, der für die Nutzung im Haushalt oder die Einspeisung ins Versorgungsnetz in Wechselstrom umgewandelt werden muss. Für eine Speicherung in einem Batteriespeicher oder das Laden des E-Autos ist wiederum Gleichstrom erforderlich. Es müssen dafür verschiedene Wechsel- bzw. Gleichrichtungsprozesse eingeplant werden. Damit ist das Zeitkriterium ebenfalls erfüllt.

Sinnkriterium: Die „Interdependenz vom Strom und Spannung“ umfasst für die Elektroberufe wesentliche fachliche Grundlagen. Ohne ein Verständnis, wie Widerstände Einfluss darauf nehmen, welche Spannungen benötigt werden oder welche Ströme fließen, können Installationen und elektrotechnische Systeme nicht fachgerecht geplant werden. Es können zudem keine passenden Bauteile ausgewählt werden und der Zweck von Sicherheitsmaßnahmen oder bestimmten Messmethoden erschließt sich ohne ein Wissen um die physikalisch-technischen Hintergründe nicht. In den Elektroberufen begegnen Auszubildende den Zusammenhängen von Strömen und Spannungen und der Berücksichtigung von Widerständen dafür z.B. bei der Dimensionierung von Leitungen und Kabeln, bei der Planung von Sicherungsmechanismen, beim Einstellen elektrischer Maschinen, bei der Verwendung von Sensoren auf Halbleiterbasis in der Gebäudetechnik oder der Installation von Photovoltaik-Anlagen. Das Sinnkriterium ist ebenfalls erfüllt.

Zielkriterium: Die Kategorie „Interdependenz vom Strom und Spannung“ verknüpft vor allem physikalisch-technische Grundkonzepte vor dem Hintergrund ihrer berufsrelevanten Bedeutung für die Elektroberufe. Eine idealisierte Zielvorstellung, nach der die Auszubildenden und Fachkräfte in ihrem beruflichen Handeln streben, ist in dieser Kategorie weniger zu finden. Interessanterweise findet sich in dem Konzept von idealen Bauelementen und Ersatzschaltungen bzw. Ersatzschaltbildern ein Stück weit ein konzeptionelles Ideal, welches der (näherungsweise) Nachbildung realer Bauelemente, Schaltungen oder Systeme dient. Dieses Ideal wird genutzt, um elektrotechnische Installationen und Systeme leichter verständlich zu machen, Möglichkeiten für Systemoptimierungen zu identifizieren und um die Ströme und Spannungen in einem System besser berechnen zu können. Insofern kann die ideale/reale Betrachtungsweise ggf. mittelbar einen Einfluss auf das Handeln der elektrotechnischen Fachkräfte nehmen.

Die Kategorie „Interdependenz vom Strom und Spannung“ erfüllt die ersten vier Kriterien nach Abschnitt 2.4.2 und kann als eine Fundamentale Idee für die berufliche Fachrichtung Elektrotechnik betrachtet werden. Das zusätzliche Zielkriterium ist für diese Idee nicht erfüllt.

Einschätzung der Experten

Die „Interdependenz vom Strom und Spannung“ ist für alle Experten direkt anschlussfähig an die Anforderungen in den Elektroberufen. Sie benennen viele unterschiedliche Beispiele und Anwendungsfelder und sehen diese Fundamentale Idee als einen wichtigen Teil der berufliche Fachrichtung Elektrotechnik an. Experte E5, der in der berufsbildenden Schule unterrichtet und Referendarinnen und Referendare ausbildet, schätzt diese Idee als besonders treffend ein, wie das folgende Zitat verdeutlicht:

„Also das finde ich total schlüssig. Also dieser, diese Oberbegriffe Interdependenz von Strom und Spannung finde ich super. Und das passt halt auch perfekt.“ (E5/00:20:47)

Er sieht aus seiner Erfahrung als Berufsschullehrer die „Interdependenz vom Strom und Spannung“ als sehr grundlegend und bedeutsam für den Aufbau von Expertenwissen bei den Auszubildenden an, auch bereits schon im ersten Ausbildungsjahr (E5/00:26:07, E5/00:26:51). Eine gute didaktische Möglichkeit bietet für ihn, diese fachliche Fundamentale Idee mit einem strukturierten Vorgehen zu verbinden, um die Auszubildenden beim Aufbau von Handlungskompetenzen zu unterstützen:

„Ja ich hab überlegt, wenn man jetzt eine Fehlersuche macht, zum Beispiel in irgendeinem neuen Gerät. Dann legt man sich natürlich ein paar Strategien zurecht, das ist klar und man versucht auch ein bisschen zu gucken aus Erfahrung, wo gucke ich jetzt zuerst hin in einem komplexen System. Und so Fehler suchen, das ist ja auch etwas, wo wirklich viel dran gelernt wird an prozeduralem Wissen.“ (E5/00:22:15)

Im ersten Ausbildungsjahr stellt u.a. das Ohmsche Gesetz und seine Anwendung auf verschiedene Grundschaltungen und Bauelemente eine wichtige fachliche Grundlage dar, welche zwei Experten auch explizit als besonders relevantes Element dieser Fundamentalen Idee nennen (E2/00:08:55, E3/00:08:24). Mehrere Experten sprechen die Erweiterbarkeit des Konzepts von Gleichgrößen auf Wechselgrößen als einen weiteren wichtigen Aspekt an, bei der viele der Grundlagen bzgl. der Interdependenz vom Strom und Spannung mit erweitert werden können wie z.B. die Betrachtung von Spulen und Kondensatoren als Wechselstromwiderstände (E2/00:13:20, E3/00:20:34, E4/00:33:21). Dies ist für das Grundverständnis der Zusammenhänge insbesondere für die angehenden berufsbildenden Lehrkräfte hilfreich, auch wenn die mathematische Behandlung sich ändert und mit Ableitungen und komplexen Größen gerechnet werden muss, was für die Lernenden eine Hürde darstellen kann (E2/00:13:43, E2/00:34:16, E3/00:16:49, E3/00:22:52). Weiteren Nutzen für Lernende bietet die Idee, weil damit nicht nur Strom und Spannung an einem

Bauteil, sondern auch in komplexen Schaltungen mit beliebig vielen Bauelementen betrachtet werden können (E2/00:17:03, E2/00:22:15). Weiterhin halten die Experten es für wichtig, dass die Lernenden verstehen, dass ideale Bauelemente Modelle darstellen, die in der Realität so nicht auftauchen, sondern sich bei realen Bauelementen verschiedene Effekte überlagern (E3/00:14:06, E4/00:33:07, E4/00:36:53).

Die Experten sehen neben der Relevanz der Idee für das Erkennen und Analysieren von Fehlern in elektrotechnischen Systemen beruflich relevante Anwendungsfälle z.B. bei der Funktionsweise von Messverfahren und -geräten, beim Einsatz von Spannungsteilern zur Einstellung von informationsverarbeitenden Geräten, bei Fragestellungen im Bereich der Hochspannungstechnik wie der Auswirkung von Verzerrungsblindleistungen oder bei der Auswahl von Materialien für technische Einsatzzwecke aufgrund ihrer spezifischen Widerstände oder anderer Materialeigenschaften (E2/00:14:39, E3/00:11:42, E4/00:36:53, E4/00:45:51, E4/00:51:37, E4/00:57:15, E5/00:22:54).

Eine Verbindung zu anderen Fundamentalen Ideen ziehen die Experten implizit zur „Vielseitigen Gestaltbarkeit elektrischer Systeme“ (durch die verschiedenen Steuerungsmöglichkeiten von Spannungen, Frequenzen, Materialien und Bauformen) und zur „Übertragung von Energie und/oder Information“ (durch das Anwendungsgebiet der Hochspannungstechnik oder die Leistungsbetrachtung eines elektrischen Systems) (E1/00:18:47, E2/00:45:57, E3/00:27:17). Interessant ist eine Verknüpfung mit der Fundamentalen Idee „Elektrische und magnetische Wechselwirkungen“, welche die Analyse von Schaltungen über Ströme und Spannungen und ihre Zusammenhänge um eine weitere Betrachtungsebene ergänzt, sofern Wechselgrößen genutzt werden (E2/01:12:50, E3/00:16:49, E3/00:33:29). Dann treten elektrische und magnetische Felder hinzu und die Wirkungen, die diese wiederum auf Ströme und Spannungen haben. Verbindungen zu den Fundamentalen Ideen „Standards und Normen“ und „Risiken und Sicherheit“ werden jeweils nur gestreift (E3/00:11:42, E4/00:36:53, E4/00:57:15).

4.4 Wechselwirkungen elektrischer und magnetischer Felder

4.4.1 Beschreibung der Idee und Herleitung

Elektrische Ladungen oder sich zeitlich ändernde magnetische *Felder* führen zu elektrischen Feldern. Fließende Ladungen führen zu magnetischen Feldern. Die Felder werden durch *Kraftwirkungen* auf (bewegte) Ladungen erkennbar. Mit Hilfe von Feldern lassen sich *Ströme* und *Spannungen* gezielt beeinflussen. Mit Hilfe von Strömen und Spannungen lassen sich Felder gezielt gestalten. Diese physikalischen Zusammenhänge, die mit den Maxwell-Gleichungen theoretisch beschrieben sind, ermöglichen u.a. die *leiterungebundene Übertragung von Energie und/oder Information* über kurze oder weite Distanzen. Wechselwirkungen elektrischer und magnetischer Felder bilden die wesentliche Grundlage

der elektrodynamischen *Spannungserzeugung* für die öffentliche Versorgung, wie sie heute existiert, für die Industrie und das Verkehrswesen und damit auch für viele Handlungsfelder in den Elektroberufen.

Die Erzeugung statischer elektrischer und magnetischer oder dynamischer elektromagnetischer Felder ist mit elektrotechnischen Mitteln möglich und dadurch technisch in vielfältiger Weise nutzbar. Einige Grundprinzipien sind dabei aus (elektro-)technischer Sicht von besonderer Bedeutung für die Praxis: Dazu zählt zuallererst die elektromagnetische *Induktion*. Mit Hilfe von *Wechselspannungen* und der Verwendung von *Bauteilen* wie Kondensatoren und Spulen können elektrische und magnetische Felder gezielt erzeugt/gestaltet werden. Weitere technisch bedeutsame Prinzipien sind die magnetische Kopplung, die *galvanische Trennung* und die Selbstinduktion.

Elektrische und magnetische Felder werden durch die Geometrie der felderzeugenden Komponenten beeinflusst. Dies hat großen Einfluss auf die Konstruktionsweise von elektrotechnischen Systemen wie elektrischen Maschinen (z.B. *Generatoren, Transformatoren*), auf verschiedene Bauformen für *Bauelemente* oder die Nutzung bestimmter *Materialien* (z.B. Kondensatoren, Spulen, geblechte Eisenkerne von Transformatoren). An dem Phänomen von Wirbelströmen wird deutlich, dass Wirkungen elektrischer und magnetischer Felder teils *störende Wirkungen* auf elektrische Systeme haben können (z.B. Wärmeentwicklung) und deshalb möglichst reduziert werden sollen, teils jedoch genau diese Wirkungen intendiert sind (z.B. bei Bremsen) und die Systeme so gestaltet werden, dass sie möglichst gut ausgenutzt werden können.

Elektrische und magnetische Wechselwirkungen haben insbesondere über die Anwendungsmöglichkeiten des Induktionsprinzips neben der Bereitstellung elektrischer Energie auch für deren Übertragung und Umwandlung mit hohen Wirkungsgraden herausragende Bedeutung, was in den Teilgebieten der Energietechnik (insbesondere der Hochspannungstechnik), bei elektrischen Maschinen und der Antriebstechnik erkennbar ist. Im Bereich der Hochfrequenztechnik bilden die Wechselwirkungen elektrischer und magnetischer Felder die Grundlage für die Erzeugung, *Übertragung und Umwandlung von Signalen und Informationen*. Dies hat die Entwicklung aller Funktechnik (z.B. Radio, Fernsehen, Mobilfunk) ermöglicht, kommt aber beispielsweise auch in der Automatisierungs- und Systemtechnik oder der Medizintechnik zum Einsatz. In der *Messtechnik* werden elektrische und magnetische Felder und ihre Wechselwirkungen für bestimmte Messprinzipien oder die Konstruktion von Messgeräten genutzt, z.B. für die Strommessung mit Zangenstrommessern nach dem Transformatorprinzip, bei der ein Stromkreis nicht aufgetrennt werden muss (weitere Beispiele sind Magnetfeldmessung mit Hallsensoren oder Drehspulmesswerke).

Befunde aus der Grounded-Theory-Analyse

Bereich	Beschreibung der Befunde über typische Inhalte und Beispiele	Belege aus den Lehrwerken LW1 - LW3
<p>Elektrische und magnetische Felder entstehen durch statische oder bewegte Ladungen. Sie lassen sich mit Strömen und Spannungen erzeugen und gestalten</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Ruhende elektrische Ladungen erzeugen ein elektrostatisches Feld • Elektrische Ströme erzeugen Magnetfelder. Mit diesen Magnetfeldern können in Elektromagneten und elektrischen Maschinen Spannungen, Kräfte und Drehmomente hervorgerufen werden. • Ein sich ändernder magnetischer Fluss (z.B. durch die Drehung einer Spule in einem magnetischen Feld) ruft in einem Leiter eine Spannung (=Ladungstrennung) hervor (elektromagnetische Induktion) • Die induzierte Spannung erzeugt in einem geschlossenen Stromkreis einen elektrischen Strom. Dieser ist dem ursprünglichen Strom entgegengerichtet (Lenzsche Regel). • Bei bewegten Ladungen wirken die dynamischen elektrischen und magnetischen Felder wechselseitig aufeinander (elektrodynamische Betrachtung). • Technisch wird zur Erzeugung der notwendigen Flussänderungen häufig sinusförmige Wechselspannung eingesetzt, da Induktion nur bei Wechselgrößen auftritt. • Theoretische Formulierung elektrischer und magnetischer Wechselwirkungen in den Maxwell-Gleichungen 	<p>LW1, S. 29, 71 f., 83 f., 90-97, 135, 140 f.;</p> <p>LW2, S. 10, 47, 50, 58-60, 67, 73-75, 77 f., 92, 127, 275;</p> <p>LW3, S. 39, 199, 201, 268, 290, 306, 357, 364</p>
<p>Insbesondere mit Hilfe von magnetischen und elektromagnetischen Feldern lässt sich Energie oder Information leiterungebunden/kontaktlos übertragen</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Mittels elektromagnetischer Wellen/Felder können Energie (z.B. Mikrowellen, induktive Erwärmung) und/oder Information (z.B. Fernsehsignale, GPS, Mobilfunk) übertragen werden. • Die Übertragung von Energie oder Signalen zwischen elektrisch isolierten („galvanisch getrennten“) Stromkreisen ist mit Hilfe einer magnetischen Koppelung zwischen ihnen möglich (Prinzip des Transformators). • Energie kann kontaktlos über kurze Distanz mittels magnetischer Kopplung (induktive Energieübertragung) oder über weite Distanz mittels elektromagnetischer Wellen übertragen werden. • Der Wirkungsgrad der elektromagnetischen Energieübertragung über weite Distanzen ist gering und wird deshalb tech- 	<p>LW1, S. 95, 128, 187, 193, 201, 361, 418, 463 f., 470, 473;</p> <p>LW2, S. 73, 81, 85, 207, 299, 300, 322, 435;</p>

	<p>nisch wenig genutzt (z.B. bei RFID). Diese Form der Übertragung wird v.a. zur Signal- und Informationsübertragung verwendet (z.B. Funktechnik per Antennen).</p> <ul style="list-style-type: none"> • Bei kurzen Distanzen ist auch die kontaktlose Energieübertragung mittels eines elektrischen Felds („kapazitive Kopplung“, z.B. durch einen Kondensator) möglich. Diese hat technisch nur geringe Bedeutung (eher für EMV-Störeffekte). 	<p>LW3, S. 288 f., 290, 414-416, 419</p>
<p>Für die Wirkungen elektrischer und magnetischer Felder sind deren Geometrie und verwendete Materialien von Bedeutung</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Felder sind räumlich ausgedehnt. Sie können durch Feldlinien und deren Dichte beschrieben werden (Feldstärke und Flussdichte als relevante Größen). Die Felder haben je nachdem, wie sie erzeugt werden, verschiedene Geometrien. • Wichtige Feldgeometrien: konzentrisches Magnetfeld um einen stromdurchflossenen Leiter, Wirbelfeld in einer leitfähigen Scheibe, elektrisches Feld zwischen Kondensatorplatten oder nebeneinanderliegenden Leitungen, magnetisches Drehfeld (radialhomogenes Magnetfeld) • Magnetfelder können durch den Einsatz von Spulen und Eisenkernen verstärkt werden (= Erhöhung der Feldliniendichte). • Die Feldgeometrien haben großen Einfluss auf die Konstruktion und Bauform von elektrischen Maschinen wie Transformatoren oder von Bauelementen wie Kondensatoren (z.B. homogenes elektrisches Feld eines Plattenkondensators und Abstand der Kondensatorplatten) • Auch Materialien und ihre Eigenschaften haben Einfluss auf die Gestaltung elektrischer und magnetischer Felder, z.B. das Dielektrikum (= Isolierung) von Kondensatoren oder geblechte statt massiver Eisenkerne zur Reduktion von Wirbelströmen in Transformatoren (und damit auch deren Erwärmung) 	<p>LW1, S. 83, 85-87, 95, 463, 486;</p> <p>LW2, S. 47 f., 59 f., 63 f., 73 f., 126, 299;</p> <p>LW3, S. 205, 209, 213, 225, 286, 291, 415, 498</p>
<p>Elektrische und magnetische Felder und ihre (Wechsel-)Wirkungen sind technisch von herausragender Bedeutung</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Elektronenstrahlröhren • Elektromagnete • Starke magnetische Felder können mit geringem Energieaufwand erzeugt werden. Dies ist technisch und wirtschaftlich für die Übertragung (insbesondere Wandlung, Transport) elektrischer Energie bedeutsam. Es können hohe Wirkungsgrade erzielt werden. • Magnetische (Wechsel-)Felder bilden die Grundlage für alle elektrischen Maschinen (Transformatoren, Generatoren und Motoren) 	<p>LW1, S. 43, 73, 83, 85, 87, 89, 91, 93, 98, 150- 153, 172, 176, 179, 201, 306, 362, 408, 418, 465, 468, 473;</p>

	<ul style="list-style-type: none"> • Das magnetische Feld fungiert quasi als Katalysator und ermöglicht die Energiewandlung. Die umgesetzte Energie entspringt jedoch nicht aus den Magneten. • Wirbelströme (als eine Wirkung von elektrischen Wechselfeldern) werden technisch vielseitig genutzt, z.B. bei Wirbelstrombremse, Energiezähler, Induktionsherd, Tachometer • Elektrische und magnetische Felder erzeugen Störfelder, Störungen oder Verluste als unerwünschte Effekte, z.B. Wirbelströme in den Eisenkernen elektrischer Maschinen, magnetische Kräfte/Felder bei Einschaltstromstößen, parasitäre Kapazitäten von Leitungen, Ummagnetisierungsverluste (Hystereseverluste) • Abschirmung durch elektrische Ladung von Oberflächen und das Schaffen feldfreier Räume (Faradayscher Käfig) • Schwingkreise (Energieaustausch zwischen magnetischem und elektrischem Feld) • Wichtige Anwendungsgebiete innerhalb der Elektroindustrie oder verwandten Industriezweigen: Energietechnik (Hochspannungserzeugung und -übertragung, elektrische Maschinen), Informations- und Nachrichtentechnik (Funktechnik, Abschirmung, EMV), Messtechnik (Magnetfeldmessung mit Hallsensoren, Messgeräte wie Drehspulmesswerke, Zangenstrommesser), Produktion und Logistik (z.B. RFID oder kontaktloses Lackieren mittels elektrischer Felder). Auch in der Installationstechnik werden viele Bauelemente und Betriebsmittel genutzt, deren Funktion insbesondere auf magnetischen Feldern basiert (z.B. Schütze, magnetfeldabhängige Halbleiterwiderstände, Blasmagnete, Fehlerstrom-Schutzschalter, Elektrizitätszähler) 	<p>LW2, S. 31, 50, 58, 73 f., 86, 108, 135, 168, 170, 190 f., 218, 245-248, 262-264, 275, 298, 300, 310, 322, 420;</p> <p>LW3, S. 195, 206 f., 223, 268, 289, 291, 303, 316, 468, 561, 587, 594, 638</p>
--	--	--

Grundlage für die Entwicklung dieser Hauptkategorie waren 179 Textsegmente aus allen drei Lehrwerken. Die Verteilung der Textsegmente über die Lehrwerke hinweg war recht gleichmäßig. Das Lehrwerk LW1 aus der beruflichen Ausbildung war mit 40% der Textsegmente leicht überrepräsentiert. Das Konzept wurde zunächst mit „Elektrisches und magnetisches Feld“ bezeichnet. Im Laufe des Kodierungsprozesses wurden die Konzepte „Kraftwirkung“ und „Induktion“ diesem Konzept untergeordnet. Textsegmente mit inhaltlicher Relevanz oder Überschneidung aus den Konzepten „Spannungserzeugung“ und „Transformatoren“ wurde entweder umkodiert oder doppelt kodiert und zusätzlich auch dem Konzept „Elektrisches und magnetisches Feld“ zugeordnet. Über die großen Anwendungsbereiche der öffentlichen Energieversorgung und der Funktechnik gibt es bei der Auswertung der einschlägigen Textsegmente inhaltliche Schnittmengen mit der fundamentalen Idee „Übertragung von Energie und/oder Information“ (siehe Unterkap. 4.1).

Dadurch hat sich eine größere und umfassendere Kategorie herausgebildet, die dann umbenannt wurde in "Elektromagnetische Wechselwirkungen". Die schlussendliche Bezeichnung, wie sie nun verwendet wird, wurde aufgrund von Hinweisen aus den Interviews nochmal angepasst (siehe Schluss des Abschnitts „Einschätzung der Experten“).

In den Lehrwerken LW1 und LW2 gab es umfangreiche vertiefende Darstellungen der unterschiedlichen Formen elektrischer Maschinen. Diese Kapitel sind im Rahmen der Grounded-Theory-Analyse zu einem späteren Zeitpunkt ebenfalls gesichtet worden. Sie wurden aber nicht mehr vollständig kodiert, da die wesentlichen Elemente der Kategorie bereits entwickelt waren und keine weiteren prinzipiellen Aspekte für die Idee hinzugekommen sind. Dies ist auch der Grund, warum für diese Kategorie insgesamt etwas weniger Textsegmente kodiert worden sind.

4.4.2 Resultat der Validierung

Prüfen der Fundamentalitätskriterien

Horizontalkriterium: Die Wechselwirkungen von elektrischen und magnetischen Feldern als physikalische Phänomene sind in elektrotechnischen Berufsfeldern allgegenwärtig, weil sie bei Wechselgrößen immer auftreten und Wechselspannung die dominierende Form der Versorgung mit elektrischer Energie in den meisten technischen und gesellschaftlichen Bereichen darstellt. Insbesondere dadurch, dass die Funktionsweise elektrischer Maschinen (Transformator, Motor und Generator) auf den Wechselwirkungen von elektrischen und magnetischen Feldern beruht, ist die Kategorie im Arbeitsalltag von Elektroberufen häufig präsent, wenn es um die Übertragung und Wandlung (elektrischer) Energie geht. Ähnliches gilt für die Nutzung elektromagnetischer Felder/Wellen für Energie- oder Informationsübertragungszwecke. Verschiedene Beispiele und Anwendungsbereiche aus der Energietechnik, dem Feld der elektrischen Maschinen und der Antriebstechnik, der Gebäudetechnik und -automation, aber auch der industriellen Produktion und Logistik oder der Medizintechnik sind oben bei den Datenbelegen bereits präsentiert. Das Horizontalkriterium ist damit erfüllt.

Vertikalkriterium: Bereits kleinere Kinder im Grundschulalter können über das Erforschen eines Fahrraddynamos (Stiftung Haus der kleinen Forscher 2019, 51) oder das Basteln von Elektromagneten mit Batterien (siehe z.B. <https://www.leifiphysik.de> oder <https://physikforkids.de>) elektrische und magnetische Felder über ihre Wirkungen kennen lernen. Für die Sekundarstufe I werden Wechselwirkungen von elektrischen und magnetischen Feldern in den gemeinsamen Bildungsstandards im Rahmen des Basiskonzepts „Wechselwirkungen“ thematisiert (Kultusministerkonferenz 2005, 8-9; 22-23). Mögliche Anwendungsbeispiele dabei können elektrische Maschinen oder das Prinzip des faradayschen Käfigs sein, z.B. in einem Auto oder Mikrowellengerät). Ähnliches schlägt die DPG mit dem Basiskonzept „Kräfte und Wechselwirkungen“ vor. Hier werden magnetische Kräfte auf Ladungen und

Ströme und erste Induktionsversuche vorgeschlagen, um den Schüler(inne)n elektrische und magnetische Kräfte im Gleichgewicht und in Bewegung sowie die Beschreibung von Wechselwirkungen von Feldern über das Prinzip der Induktion zu vermitteln (Hertel und Großmann 2016, B19–B20). Das Basiskonzept „Schwingungen und Wellen“ umfasst den Bereich der elektromagnetischen Wellen, ihrer Erzeugung und ihrer Anwendung zur Übertragung von Energie und Informationen z.B. im Bereich der bildgebenden Medizin oder der informationstechnischen Datenübertragung (Hertel und Großmann 2016, B33–B35). In den elektrotechnischen Berufsausbildungen werden elektrische und magnetische Felder und ihre Wechselwirkungen in den Lernfeldern berührt, in denen das Errichten und Inbetriebnehmen von energietechnischen Systemen, Energiewandlungssystemen oder Kommunikationssystemen in Gebäuden (z.B. über Transformatoren oder Generatoren, das Induktionsprinzip oder elektromagnetisch funktionierende Bauelemente/Bauteile) (Kultusministerkonferenz 2020b, 18–19, 21) oder das Ausführen, Inbetriebnehmen und Instandhalten gebäudetechnischer, energietechnischer und automatisierter Anlagen vermittelt wird (Kultusministerkonferenz 2018a, 18–20). Auf der Ebene der akademischen Bildung wird die Idee im Studium der Elektrotechnik anhand der Maxwell-Gleichungen nochmals aufgegriffen und nun auch theoretisch eingeordnet (siehe bspw. Lehrwerk 3: Harriehausen und Schwarzenau 2020, 306–308). Das Vertikalkriterium ist damit ebenfalls erfüllt.

Zeitkriterium: Die Entdeckung elektrischer und magnetischer Felder und ihrer Wechselwirkungen (magnetische Wirkung eines stromdurchflossenen Leiters 1820 von Oersted und elektromagnetische Induktion 1831 von Faraday) haben die Erforschung und technische Gestaltung der Felder ermöglicht (Lindner 1985, 53–54, 62–65). Lenz erkannte 1832, dass Generator (damals als magnetoelektrische Maschine bezeichnet) und Elektromotor (damals elektromagnetische Maschine) auf demselben Prinzip beruhen und damit umkehrbar sind (Lindner 1985, 107). Bereits 1835 fuhr ein erstes elektromagnetisch angetriebenes Schiff zu Forschungszwecken (Lindner 1985, 92–97). Um 1867 veröffentlichte Siemens das dynamoelektrische Prinzip. Danach ist mit Hilfe des Restmagnetismus' die Anfangserregung eines Generators und eine positive Rückkoppelung von entstehendem Strom und Verstärkung des Magnetfelds möglich. Dies machte mit der geeigneten technischen Umsetzung (z.B. was die Konstruktion des Ankers der elektrischen Maschinen angeht) die Erzeugung großer Ströme deutlich günstiger und leichter möglich, wodurch die Verbreitung elektrischer Energie insbesondere für industrielle Zwecke im letzten Drittel des 19. Jahrhunderts einen großen Schub erfuhr (Lindner 1985, 118–131). Die Maxwell-Gleichungen (1865) schufen eine tragfähige Theorie für die Elektrotechnik, mit deren Hilfe elektrische Maschinen berechnet anstatt nur experimentell erprobt werden konnten. Sie trugen damit zur Etablierung der Elektrotechnik als wissenschaftliche Disziplin bei (Lindner 1985, 172–174). Elektrische Maschinen und Antriebe sind auch heute noch von herausragender Bedeutung in allen Bereichen der Industrie, z.B. im Bereich der E-Mobilität oder bei Windkraftanlagen.

Von ähnlich großer Bedeutung hat sich die technische Erzeugung elektromagnetischer Felder und die wellenförmige Ausbreitung/Übertragung erwiesen. Seit ihrer Entdeckung von Hertz 1886²¹ sind auf ihrer Grundlage immer wieder neue moderne Massenkommunikationsmittel und Individual-Kommunikationsformen (Telegrafie, Telefon, Radio, Fernsehen, später dann Mobilfunk oder WLAN) entwickelt worden, die auf einer drahtlosen Signalübertragung beruhen (Kloss 1987, 231–238, 248–255). Daraus entwickelten sich neue Teilgebiete innerhalb der Elektrotechnik, die Nachrichtentechnik und die Informationstechnik und es entwickelten sich auch auf bestimmte Technologien spezialisierte Ausbildungsberufe wie der Radio- und Fernstechniker bzw. die Radio- und Fernstechnikerin. Des Weiteren werden elektromagnetische Felder für technische Anwendungen, z.B. RFID in Produktion und Logistik oder bildgebende Diagnostik oder Strahlentherapie in der Medizintechnik, genutzt.

Beide Bereiche sind nach wie vor als Handlungsfelder in den Elektroberufen präsent und relevant. Für die Idee „Wechselwirkungen elektrischer und magnetischer Felder“ ist damit auch das Zeitkriterium erfüllt.

Sinnkriterium: Die technische Anwendung elektrischer und magnetischer Felder und ihrer Wechselwirkungen ist im beruflichen Alltag elektrotechnischer Fachkräfte allgegenwärtig, wie an den bisher genannten Beispielen bereits erkennbar wurde. Mit elektrischen Maschinen arbeiten sie in den unterschiedlichen beruflichen Einsatzbereichen als Gegenstand ihrer Tätigkeit an größeren elektrotechnischen Anlagen, aber auch als Arbeitsgerät. Viele der eingesetzten Bauteile und Betriebsmittel basieren in ihrer Funktionsweise auf elektrischen und magnetischen Feldern und den Wechselwirkungen zwischen ihnen. Mit elektromagnetischen Wellen haben die Fachkräfte sehr häufig bei Aufgabenstellungen aus dem Bereich der Informationstechnik zu tun. Für das Verständnis vieler elektrotechnischer Geräte, Anlagen, Messgeräte oder Bauelemente ist es deshalb unbedingt erforderlich, dass die Lernenden erkennen, welche Bedeutung Felder und ihre (Wechsel)wirkungen dafür haben, und dies praktisch anwenden können. Auch allgemein haben viele Menschen im Alltag mit elektrischen und magnetischen Feldern und ihren Wechselwirkungen zu tun, auch wenn ihnen das nicht immer bewusst ist: Sie benutzen z.B. Smartphones, Haushaltsgeräte und Werkzeuge mit Elektromotoren oder Transformatoren, verwenden einen Induktionsherd, erzeugen das Licht an ihrem Fahrrad mit einem Dynamo, lassen bildgebende medizinische Untersuchungen machen oder nutzen Züge (oder Ergometer oder Fahrgeschäfte), die mit Wirbelstrombremsen arbeiten. Das Sinnkriterium ist also ebenfalls erfüllt.

Zielkriterium: Ähnlich wie bei der vorangegangenen Fundamentalen Idee werden auch bei der Idee „Wechselwirkungen elektrischer und magnetischer Felder“ vor allem physikalisch-technische Grundkonzepte und Zusammenhänge vor dem Hintergrund ihrer berufsrelevanten Bedeutung für die Elektroberufe verknüpft. Eine idealisierte Zielvorstellung, die das berufliche Handeln der Auszubildenden und Fachkräfte auf eine bestimmte Weise leitet

²¹ siehe https://www.kit.edu/kit/pi_2011_8434.php (aufgerufen am 25.10.2023)

bzw. ihnen Orientierung bietet, ergibt sich aus dieser Idee heraus nicht. Das Zielkriterium ist für die Idee „Wechselwirkungen elektrischer und magnetischer Felder“ nicht erfüllt.

Die Idee „Wechselwirkungen elektrischer und magnetischer Felder“ erfüllt die ersten vier Kriterien nach Abschnitt 2.4.2 und stellt damit ebenfalls eine Fundamentale Idee für die berufliche Fachrichtung Elektrotechnik dar. Das zusätzliche Zielkriterium wird nicht erfüllt.

Einschätzung der Experten

In allen Interviews wird deutlich, dass die Experten die Fundamentale Idee „Wechselwirkungen elektrischer und magnetischer Felder“ als sehr bedeutend erachten. Sie verdeutlichen dies mit zahlreichen Beispielen aus der Praxis und verschiedenen beruflichen Anwendungsfeldern. Ein Experte weist explizit auf die sehr große Fülle der Kategorie/dieser Idee hin (E1/00:07:37). Diese technisch-fachliche Kategorie wird oft als didaktischer Einstieg in die Elektrotechnik verwendet (E1/00:07:17). Ein Experte weist darauf hin, dass die Antriebstechnik in nahezu allen Elektroberufen von großer Bedeutung ist, da man die prinzipiellen Funktionsweisen verschiedener elektrischer Maschinen und Arten von Motoren verstehen muss. Er hält es deshalb im Studium der beruflichen Fachrichtung Elektrotechnik für wichtig, dass dieser berufsrelevante Anwendungsbereich bereits einbezogen wird:

„...und das gibt es in jedem Beruf, Antriebstechnik, in allen Berufen, also fast alle. Aber also, in, würde ich jetzt mal so aus dem Bauch raus bei 90 % Antriebstechnik, in jedem Beruf ist das wichtig, zumindest die Grundlagen. Wobei da mittlerweile auch sehr viel Richtung Frequenzumrichter gemacht wird, schon ein bisschen losgelöst von den Grundlagen, wie dreht sich so ein Motor, welche Motoren gibt es da? Guckt man schon genauer, wie werden die angesteuert und das sich selbst zu erschließen, das ist halt sehr schwer mit diesem rein theoretischen Wissen. Wenn ich erst mal nur Wicklungsfaktoren berechne, habe ich noch kein Gefühl dafür, wie so eine Maschine tatsächlich funktioniert. Das Grundprinzip ist erst mal neu.“ (E5/00:27:35).

Die Experten nennen elektrische Maschinen, insbesondere den Transformator, als relevante berufliche Anwendungen (E2/00:31:38, E2/00:37:15, E3/00:32:25, E3/00:35:15, E4/00:53:12). Ein Zitat macht dessen Schlüsselbedeutung besonders deutlich:

„Der Trafo ist ja erst mal das Klassische, elektromagnetische Wandlung, also ohne den ging ja gar nichts in der Wechselstromtechnik, gerade mit Blick auf die Übertragung.“ (E4/00:45:05)

Durch das Verständnis des Transformatorprinzips lassen sich auch die Funktionsweisen anderer Technologien und Geräte wie Zangenmessgeräte, drahtlose Energieübertragung oder Schaltnetzteile verstehen (E2/00:37:15, E4/00:46:25, E4/00:53:12). Das Anwendungsfeld der Energietechnik wird durch die Erzeugung von Hochspannung und die Wech-

sel- und Gleichrichtung hoher Wechselspannungen angesprochen, wobei auch das Auftreten und Ausschalten von Störstrahlungen genannt wird (E3/00:26:48, E3/00:27:17, E4/01:08:43).

Die Experten betonen, dass elektromagnetische Felder und die Funktion und Nutzung von Antennen und Schwingkreisen für die Erzeugung elektromagnetischer Wellen, Frequenzmodulation und Filterung in der Informationstechnik und Signalübertragung bedeutsam sind (E3/01:36:54, E4/01:05:12). Dies hilft beispielsweise beim Verständnis des mobilen Telefonierens (E4/01:03:17). Wirbelströme und ihre technische Nutzung, z.B. in (älteren) Elektrizitätszählern und Bremssystemen, hält ein Experte für wichtig im Rahmen der fundamentalen Idee „Wechselwirkungen elektrischer und magnetischer Felder“ (E4/00:45:22). Weitere Beispiele beziehen sich auf Geräte wie z.B. Drehspulmesswerke oder Röhrenfernseher, die heutzutage weniger oder gar nicht mehr verwendet werden, aber Nutzungsprinzipien von elektrischen und magnetischen Feldern und ihre Wechselwirkungen sehr gut erkennen lassen (E4/01:05:37):

"Das heißt also, bei der Messtechnik gibt es einmal das klassische, das klassische Drehspulmesswerk, und das ist das klassische. Da nutzen Sie praktisch die Kraftwirkung im Magnetfeld auf einen stromdurchflossenen Leiter aus. Das ist das klassische Verfahren. Das ist die Lorentzkraft, die dort zum Tragen kommt. Und damit kann man dann auch erklären, warum es geht, warum schlägt der Zeiger aus. Fangen Sie bitte nicht an mit irgendwelchen digitalen Multimetern drüber zu denken. Weil das nämlich, das ist dann wieder eine Stufe anders, da müssen Sie erklären, wie das gewandelt wird. So, da haben Sie die Kraftwirkung. Und das andere ist die Coulombkraft. Q mal E , also Ladung mal angelegtem elektrischen Feld. Und das ist, sind die elektrostatischen Messgeräte. Das ist interessant, dass man entweder, wenn man mit elektrischen Feldern misst, nutzt man das elektrostatische Messwerk und wenn man mit Magnetfeldern misst, dann nutzt man hier die Lorentzkraft." (E3/00:35:15)

Ein wichtiger Aspekt dieser Kategorie ist für zwei Experten, dass Lernende erkennen, dass die Kraftwirkungen von Feldern entscheidend sind und mit der Geometrie der Felder zusammenhängen (z.B. Punktladungen oder Kondensatorplatten) (E3/00:35:15, E4/01:03:17).

In Bezug auf das Studium der beruflichen Fachrichtung Elektrotechnik nehmen die Experten auch Bezug auf die Mathematik. Wenngleich die Maxwell-Gleichungen nur auf akademischer Ebene explizit thematisiert und angewendet werden, sind Aspekte wie das Induktionsgesetz, der Durchflutungssatz oder die Lorentzkraft, die Teile der Maxwellschen Theorie sind, auch in beruflichen Ausbildungszusammenhängen bedeutsam (E3/00:16:49, E3/00:33:29, E4/00:42:15, E4/00:42:34).

Zusätzliche Aspekte, die für die Entwicklung der Kategorie fehlen oder noch nicht berücksichtigt wurden, wurden von den Experten nicht genannt. Magnetische Felder scheinen für die technischen Anwendungen insgesamt eine noch größere Bedeutung zu haben als elektrische Felder (E3/00:35:15). Diese Einschätzung deckt sich mit den im Rahmen der

Grounded-Theory-Analyse betrachteten Textsegmenten und Anwendungsbeispielen, die zur Entwicklung der Fundamentalen Idee genutzt wurden.

Die Experten halten es für wichtig, Lernenden zu verdeutlichen, dass eine feldbezogene Betrachtung elektrischer Systeme, die insbesondere bei der Verwendung von Wechselgrößen unabdingbar ist, auf einer anderen Abstraktionsebene stattfindet als eine Betrachtung von Strömen und Spannungen, auch wenn die Ebenen miteinander verbunden sind (E2/00:34:16). Diese Verbindungen können auch anhand mathematischer Beschreibungen aufgezeigt werden (E2/00:39:02, E3/00:16:49). Die Experten betonen dafür die wichtige Verbindung zu der Idee "Interdependenz von Strom und Spannung": Felder werden zur Beschreibung und Erklärung von Phänomenen verwendet, die nicht mehr ausreichend allein mit Strömen und Spannungen beschrieben werden können wie z.B. die Funktionsweise von Bauteilen wie Schützen oder Lichtbogenlöscheinrichtungen mit Blasmagneten (E2/00:32:55, E2/01:12:50). Zudem weisen sie darauf hin, dass diese Fundamentale Idee auch mit der dritten fachlich-technischen Idee der "Übertragung von Energie und/oder Information" eng verknüpft ist (E4/00:45:05, E5/00:32:27).

Aufgrund der Diskussion mit einem Experten wurde die Bezeichnung dieser Fundamentalen Idee nach den Interviews nochmal verändert. Ursprünglich sollte die Idee als "Elektromagnetische Wechselwirkungen" bezeichnet werden, was möglicherweise so aufgefasst worden wäre, als ob nur elektromagnetische Wellen und ihre Anwendungen gemeint wären (E3/00:26:18, E3/00:31:45, E3/01:36:16). Dies war von Anfang nicht gemeint, daher drückt die Bezeichnung "Wechselwirkungen elektrischer und magnetischer Felder" besser aus, dass die Wirkungen elektrischer Felder oder magnetischer Felder oder elektromagnetischer Strahlung sowie ihre Wechselwirkungen und ihre jeweiligen berufsrelevanten technischen Anwendungen von dieser Fundamentalen Idee umfasst sein sollen.

4.5 Risiken und Sicherheit

4.5.1 Beschreibung der Idee und Herleitung

Die Nutzung elektrischer Energie bringt aufgrund der Wirkungen von Strom und Spannung als nicht-intendierte Wirkung ein vielfältiges *Schadens- und Gefahrenpotenzial* mit sich, welches auf unterschiedlichen Ebenen angesiedelt ist. Neben direkten strom- und spannungsbezogenen gesundheitlichen Risiken für Menschen (und gelegentlich auch Nutztiere) können Installationen und Anlagen *Störungen* und Fehler im Betrieb entwickeln und dadurch zu weiteren Schäden und Gefahren führen, wie z.B. Bränden oder der Zerstörung von Bauteilen durch Überhitzung, Betriebsunterbrechungen aufgrund von Kurzschlüssen, Korrosion von Leitungen aufgrund von mangelnder Isolation und dadurch entstehender Elektrolyse, oder Installationen und Anlagen können sich aufgrund von nicht ausreichend abgeschirmten elektrischen und magnetischen Feldern gegenseitig stören.

Um die intendierten Wirkungen elektrischer Energie möglichst zielgerichtet und effizient nutzen zu können, muss das Schadens- und Störungspotenzial effektiv kontrolliert bzw. ausgeschaltet werden. Das Kontrollieren der *Risiken* und das Herstellen bzw. Wiederherstellen von *Sicherheit* sind deshalb zentrale, regelmäßige und unverzichtbare Arbeitsaufgaben von Handwerker(inne)n und Facharbeiter(inne)n in den Elektroberufen. Sicherheit wird dabei in verschiedenen Bereichen hergestellt und kontrolliert (teilweise mit Überlappungen):

- Arbeitssicherheit,
- Benutzersicherheit
- Unfallsicherheit/Unfallverhütung
- Brandschutz
- Anlagensicherheit
- Netzsicherheit
- Betriebssicherheit
- Datensicherheit.

Um Sicherheit (wieder)herzustellen, werden Schutzmaßnahmen ergriffen. Diese werden gezielt auf die jeweiligen Risiken abgestimmt. In der Regel gibt es *gesetzliche Vorgaben* und/oder *Normen*, die die jeweils zu treffenden Schutzmaßnahmen festlegen. Die Schutzmaßnahmen müssen einen Basisschutz (für den regulären Betrieb, gegen direktes Berühren) und einen Fehlerschutz (z.B. bei Kurzschluss oder Überlastung, gegen indirektes Berühren) sowie ggf. einen Zusatzschutz (z.B. bei beschädigter oder unsachgemäß benutzter elektrischer Anlage) umfassen. Sie werden v.a. durch geeignete Schutztechnik realisiert, z.B. den Einsatz bestimmter Betriebsmittel, *Materialien* oder *Bauelemente* oder die Nutzung bestimmter Schutzeinrichtungen bzw. den Einbau von *Redundanzen*. Aber auch andere Maßnahmenbereiche sind wichtig zum (Wieder)herstellen von Sicherheit: ein hohes Maß an *Standardisierung* sorgt für Erwartbarkeit und Anschlussfähigkeit elektrischer Installationen und Anlagen, sodass dadurch die Risiken präventiv gemindert werden. *Verhaltensvorgaben* (z.B. die Nutzung von Schutzausrüstung, Sicherheitsregeln, regelmäßiges *Prüfen* elektrischer Anlagen und Betriebsmittel oder eigene Entladung vor der Arbeit an elektrostatisch gefährdeten Bauteilen) sorgen dafür, dass Elektro-Handwerker/-innen und -Facharbeiter/-innen durch ihr Handeln für Sicherheit sorgen. Eine regelmäßige *Qualifizierung* ermöglicht, dass sie auf dem neusten fachlichen Stand sind und wichtige Sicherheitsvorgaben, Standards, Änderungen etc. kennen und anwenden können.

Bei der Umsetzung der Schutzmaßnahmen sind zusätzlich Rahmenbedingungen wie z.B. Normen, die konkrete Situation und bestehende Anlage/Installation, Kosten und Verfügbarkeiten zu berücksichtigen.

Befunde aus der Grounded-Theory-Analyse

Bereich	Beschreibung der Befunde über typische Inhalte und Beispiele	Belege aus den Lehrwerken LW1 - LW3
Vorgaben, Sicherheitsregeln und Schutz-ausrüstung sorgen für Arbeitsschutz und Unfallverhütung sowie Anlagenschutz	<ul style="list-style-type: none"> • Grundlegend für Elektrohandwerker/-innen und Facharbeiter/-innen ist es, bei der Arbeit an elektrotechnischen Systemen die eigene Sicherheit herzustellen und zu erhalten und Elektrounfälle zu vermeiden. Dazu müssen sie verschiedene Vorgaben und definierte Verhaltensregeln beachten. • Wichtigstes Beispiel für solche Vorgaben sind die „5 Sicherheitsregeln“ für Arbeiten im spannungsfreien Zustand, die definieren, wie ein solcher Zustand hergestellt und abgesichert wird (siehe DIN VDE 0105-100). Sicherheitsregeln betreffen Prozessschritte, die in einer bestimmten Reihenfolge auszuführen sind, oder Vorgaben, wie in bestimmten Situationen, z.B. bei Fehlern oder Bränden in elektrischen Anlagen, zu verfahren ist. • Nur bestimmte qualifizierte Personen dürfen die Spannungsfreiheit der Anlage sowie nach Abschluss der Arbeiten ihre Einschaltbereitschaft feststellen. Weitere Aufgaben sind aufgrund verschiedener gesetzlicher Bestimmungen an bestimmte Ausbildungen/Qualifikationen gekoppelt. • Ebenfalls dem Schutz der Elektrohandwerker/-innen und Facharbeiter/-innen dient die persönliche Schutzausrüstung, wozu bspw. elektrisch isolierende Sicherheitsschuhe oder ein Schutzhelm mit Gesichtsschutz gehören. 	<p>LW1, S. 30, 32, 170, 180, 318, 343, 346, 350, 351, 368;</p> <p>LW2, S. 139 f., 307;</p> <p>(keine Textsegmente in LW3)</p>
Kennzeichnung und Unverwechselbarkeit von Betriebsmitteln verhüten Fehler und reduzieren Risiken	<ul style="list-style-type: none"> • Um zu gewährleisten, dass Elektrohandwerker/-innen und Facharbeiter/-innen passende Bauteile und Betriebsmittel verwenden, werden Betriebsmittel oftmals so gestaltet, dass sie leicht zu unterscheiden und möglichst unverwechselbar sind („Safety-by-Design“). • Dies gilt z.B. für die Aderfarben von Leitungen, die Farbkennzeichnung von Widerständen oder den Fußkontakt-Durchmesser für die Schmelzeinsätze von Sicherungen. • Weiterhin werden Betriebsmittel entsprechend ihrer Schutzart (nach DIN EN 60529) und Schutzklasse gekennzeichnet. • Damit sollen bereits konstruktionsseitig Fehler vermieden werden, die elektrische Risiken und Gefahren erzeugen können, und es soll sichergestellt werden, dass Neuinstallationen und reparierte Anlagen sicher im Betrieb und für die Nutzer/-innen sind. 	<p>LW1, S. 40 f, 309, 317, 333 f., 338, 348 f.;</p> <p>LW2, S. 137, 154 f., 387 f., 421;</p> <p>(keine Textsegmente in LW3)</p>

<p>Grenzwerte für elektrische und magnetische Felder schützen Menschen, Anlagen und Umwelt</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Mit Blick auf etwaige schädliche Wirkungen elektrischer und magnetischer Felder auf Menschen und Umwelt werden maximale Feldstärken durch die deutsche Strahlenschutzkommission und die Internationale Kommission zum Schutz vor nicht-ionisierender Strahlung als Grenzwerte festgelegt (elektromagnetische Umweltverträglichkeit). • Diese sind z.B. für die unter Hochspannungs- oder Bahnstromleitungen entstehenden Felder, für medizinische Geräte und Anlagen oder für Elektrogeräte im Haushalt von Bedeutung. • Anlagen und Installationen dürfen die Grenzwerte nicht überschreiten. 	<p>LW1, S. 73, 87, 616;</p> <p>LW2, S. 65 f.</p> <p>(keine Textsegmente in LW3)</p>
<p>Schutztechnik wird nach Anforderungen und Vorgaben/Normen systemspezifisch zusammengestellt</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Um elektrische Geräte, Anlagen und Installationen im Normalbetrieb (Basisschutz) und auch beim Auftreten von Fehlern (Fehlerschutz und Zusatzschutz) sicher zu betreiben, stehen aus dem Instrumentarium der Schutztechnik eine Fülle von Sicherungssystemen und Maßnahmen zur Verfügung. • Dazu gehören präventiv z.B. das Beachten von Abständen und die Isolierung von Leitungen, Maßnahmen zur Abschirmung von Anlagen und Installationen oder die geeignete Auswahl von Bauelementen und Betriebsmitteln (z.B. Isolierung in elektrischen Maschinen, Trenntransformatoren, Leitungsquerschnitte), um Störungen zu vermeiden und mögliche Risiken für Menschen und Anlagen zu minimieren. • Für bestimmte Arten von Umgebungen wie z.B. feuergefährdete Betriebsstätten, medizinisch genutzt Bereiche oder Badezimmer gibt es spezifische Schutzvorschriften. • Auch Maßnahmen wie eine galvanische Trennung von Haupt- und Steuerstromkreisen oder der Betrieb von Anlagen mit Tipp-Betrieb dienen der Sicherheit von Menschen und Anlagen. • Für den Fehlerfall ist vorgesehen, dass eine geeignete Kombination von unabhängigen Sicherungsmaßnahmen greift. Zum Basisschutz treten Schutzpotenzialausgleich (Erdung), eine automatische Abschaltung der Stromversorgung, verstärkte oder doppelte Isolierung, Schutztrennung (mit Trenntransformator) oder Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen hinzu (siehe DIN VDE 0100 – 410). • Bei der Planung und der Gestaltung von Sicherheitsmaßnahmen ist in bestimmten Bereichen auch der Umgang mit Spannungsausfällen von großer Relevanz: So müssen solche z.B. in OP-Sälen oder Rechenzentren Betriebsunterbrechungen vermieden werden und Maschinen dürfen aus Sicherheitsgründen nicht selbsttätig wieder anlaufen. 	<p>LW1, S. 114, 122, 332, 335-339, 355-366, 368-377, 415-417;</p> <p>LW2, S. 137 f., 139-143, 250, 307, 387 f., 412, 420-422;</p> <p>LW3, S. 291, 414, 616, 683</p>

	<ul style="list-style-type: none"> • Elektrohandwerker/-innen und Facharbeiter/-innen müssen geeignete Sicherungsmaßnahmen auswählen, kombinieren, einbauen, prüfen und instand setzen können. • Schutzmaßnahmen wie auch Anlagen und Installationen müssen nach Erstinbetriebnahme und danach in regelmäßigen Abständen geprüft werden. Wie die Schutzmaßnahmen selbst ist auch die Durchführung der Prüfungen in Vorschriften detailliert geregelt (durch verschiedene Gesetze, Normen wie z.B. DIN VDE 0100-600 und DGUV-Vorschriften). 	
Elektromagnetische Verträglichkeit von Anlagen und Geräten muss sichergestellt werden	<ul style="list-style-type: none"> • Um ein sicheres und verlässliches Funktionieren zu ermöglichen, dürfen elektrotechnische Anlagen und Geräte sich nicht gegenseitig stören. Ihre Störfestigkeit im Sinne elektromagnetischer Verträglichkeit (EMV) muss sichergestellt sein. • Aber auch das Versorgungsnetz darf durch sie nicht gestört werden. • Störströme und -spannungen sowie elektromagnetische Störfelder, die z.B. durch Gleichrichter, Frequenzumrichter oder durch elektronische Schalter entstehen, müssen entsprechend vorgegebener Normen begrenzt oder abgeschirmt werden. • Dazu werden z.B. in Elektrowerkzeugen Netzfilter aus Kondensatoren und Drosselspulen verwendet oder zur Abschirmung elektrische und magnetische Felder genutzt. 	<p>LW1, S. 73, 98, 261, 270, 306, 413 f.</p> <p>LW2, S. 50, 204 f., 361 f., 379 f.;</p> <p>LW3, S. 355, 395 f.</p>

Bei der Grounded-Theory-Analyse wurden insgesamt 348 Textsegmente kodiert, die der Kategorie "Risiken und Sicherheit" zugeordnet wurden. Diese waren in allen drei Lehrwerken zu finden. Allerdings fanden sich die mit Abstand meisten Textstellen in Lehrwerk 1 (LW1), welches die Grundlagen der Elektrotechnik für berufliche Ausbildungen darstellt. In LW 3 wurden Störungen, elektrische Risiken und Sicherungsmaßnahmen kaum thematisiert, LW 2 lag dazwischen. Die ungleiche Verteilung über die drei Lehrwerke wird später in den Interviews mit den Fachexperten thematisiert um zu klären, ob diese Idee trotzdem als fundamental für die berufliche Fachrichtung Elektrotechnik gelten kann. Bei der Analyse wurden zunächst verschiedene Konzepte gebildet, die bei der zunehmenden inhaltlichen Entwicklung der Konzepte dann der Kategorie „Sicherheit herstellen“ als Unterkonzepte zugeordnet wurden. Dies waren: „Isolierung“, „Freischalten“, „Prozesse, Abläufe“, „Redundanz“ und „Verhaltensvorgaben“. Zusätzlich wurden etwa ca. 100 weitere Textsegmente, die den Konzepten „Schadens- und Gefahrenpotenzial“ und „Störungen, Störfelder“ zugeordnet wurden, in die analytische Entwicklung der Kategorie einbezogen. Diese Textsegmente umfassen mögliche Störungen, Schäden und Beeinträchtigungen von Systemen und Anlagen wie auch von Lebewesen durch elektrische Energie und die Wirk-

mechanismen, die zu den Schädigungen führen. Diese Konzepte halfen dabei zu differenzieren, auf welchen verschiedenen Ebenen und mit welchen Zielsetzungen die Herstellung bzw. Wiederherstellung von Sicherheit und Verlässlichkeit in elektrischen Systemen erforderlich ist. Die Bezeichnung der Kategorie wurde schlussendlich von „Sicherheit herstellen“ in „Risiken und Sicherheit“ geändert, um beide inhaltlichen Pole zu berücksichtigen.

Die Idee „Risiken und Sicherheit“ stellt eine handlungsorientierte Idee dar. Für eine sachgerechte Auswahl von Handlungen und Maßnahmen zum Herstellen von Sicherheit ist es jeweils wichtig zu klären, wer oder was eigentlich durch das betrachtete elektrische System Risiken und Gefahrenpotenzialen ausgesetzt ist, welcher Art diese sind und wodurch sie sich ergeben. Diese Verzahnung der Konzepte „Schadens- und Gefahrenpotenzial“ und „Störungen, Störfelder“ mit der Kategorie „Risiken und Sicherheit“ ergibt die Übersicht in Tabelle 6.

Tabelle 6: Eine handlungsleitende Perspektive auf das Herstellen von Sicherheit

Wer oder was soll geschützt bzw. abgesichert werden?	Welche Risiken bestehen?	Wie/womit wird Sicherheit hergestellt?
Fachkräfte, Nutzer/-innen (teilweise Nutztiere)	Überströme	Safety-by-Design
Bauteile, Geräte, Installationen	Überspannungen	Vorschriften, Richtlinien, Normen
Netzstabilität, Verfügbarkeit	Störströme, Störspannungen, Störfelder	Verhaltensvorgaben, Abläufe, Prozesse
Daten, Informationen	Wärmeentwicklung	Schutztechnik
Umwelt, Umgebung	Brandgefahr	Qualifizierung

4.5.2 Resultat der Validierung

Prüfen der Fundamentalitätskriterien

Horizontalkriterium: Das Erfordernis, bei der Planung, Installation, Wartung oder Reparatur elektrischer Systeme Risiken zu kontrollieren und Sicherheit herzustellen, ist in jedem Gebiet der Elektrotechnik erkennbar. Verschiedene Beispiele aus der Energietechnik, der Automatisierungstechnik, der Installations- und Gebäudetechnik, der Antriebstechnik oder der Leistungselektronik sind oben bei den Datenbelegen bereits dargestellt. Das Horizontalkriterium ist damit erfüllt.

Vertikalkriterium: Bereits Lernmaterial für den Primarbereich enthält Regeln, die Kinder beim Experimentieren und beim Umgang mit elektrischer Energie im Alltag kennen und einhalten sollen, um sicher experimentieren zu können und sich keinen Risiken und Gefahren auszusetzen (Stiftung Haus der kleinen Forscher 2019, 7, 29 oder <https://www.grundschulkoenig.de/hsu-sachkunde/technik-und-kultur/strom/>, aufgerufen am 25.10.2023). Im Sekundarschulbereich ist entsprechendes Informations- und Lernmaterial für den Physikunterricht vorhanden, z.B. in der Online-Materialsammlung LEIFPhysik in Verbindung mit dem Ohmschen Gesetz²². Auch in einzelnen Kerncurricula – hier beispielhaft am Kerncurriculum des Landes Hessens für das Fach Elektrotechnik an beruflichen Gymnasien – finden sich Vorschläge, wie Risiken von Elektrizität und das Herstellen von Sicherheit durch Schutzmaßnahmen z.B. beim Behandeln von Messtechnik in den Unterricht einbezogen werden sollen (Hessisches Kultusministerium 2018, 19, 48–49). Für den berufsbildenden Bereich beinhalten die Rahmenlehrpläne für alle Elektroberufe den sicheren Umgang mit Gefahren und Risiken elektrischer Energie in den ersten beiden Lernfeldern (siehe beispielhaft Kultusministerkonferenz 2018a, 11–12 und Kultusministerkonferenz 2020b, 11–12), aber auch in weiteren Lernfeldern z.B. zur sicheren Installation von Anlagen der Elektroenergieversorgung (Kultusministerkonferenz 2018a, 14) oder Haus-technikanlagen (Kultusministerkonferenz 2020b, 20). Das Vertikalkriterium ist damit ebenfalls erfüllt.

Zeitkriterium: Das Herstellen von Sicherheit im Umgang mit elektrischer Energie und das Kontrollieren ihrer Risiken findet sich bereits im 18. Jahrhundert. Benjamin Franklin hat 1750 einen ersten Vorschlag zur Konstruktion eines Blitzableiters entworfen, um die elektrische Gefahr eines Blitzes beim Einschlagen in ein Gebäude zu reduzieren. Die ersten Blitzschutzanlagen dienten vornehmlich dazu, bei Blitzeinschlägen Brände zu verhindern, später dann auch, um Schädigungen elektrotechnischer Anlagen und Verbraucher zu reduzieren (Lindner 1985, 40–42). Ab Mitte des 19. Jahrhunderts begann die Elektrifizierung und der Aufbau von Stromnetzen in Europa und den USA, zunächst vor allem zur Beleuchtung von Gebäuden und Straßen sowie für die industrielle Nutzung elektrischer Antriebe. Waren zunächst Spannungserzeuger und Verbraucher direkt miteinander verbunden, entstanden schnell regionale Netze aus Freileitungen, die durch ihren Abstand zum Boden und zu Gebäuden der Verhinderung von Stromunfällen, Schäden an den Leitungen und von Bränden dienten²³. Bereits in ersten konzeptionellen Überlegungen zur Planung von Elektrizitätswerken wurden um 1890 die Zuverlässigkeit der Stromversorgung und die Sicherheit für Leben und Eigentum – auch für die Nutzung durch Laien – berücksichtigt, schon deshalb, weil die ersten Blockstationen in den Kellern bewohnter Häuser errichtet wurden (Lindner, 159, 191). Mit der Verbreitung elektrischer Installationen und Geräte im Haushalt stieg auch die Anzahl der Elektrounfälle. 1896 führte der „Verband Deutscher

²² <https://www.leifiphysik.de/elektrizitaetslehre/ohmsches-gesetz-kennlinien/grundwissen/gefahr-durch-strom-und-koerperwiderstand>, aufgerufen am 25.10.2023

²³ <https://de.wikipedia.org/wiki/Elektrifizierung> und <https://de.wikipedia.org/wiki/Freileitung>, aufgerufen am 25.10.23

Elektrotechniker“²⁴ (VDE) eigene Sicherheitsvorschriften ein, die öffentlich anerkannt wurden. Hierin wurden erste Schutzmaßnahmen für Nutzer/-innen formuliert (wie z.B. Abdeckungen, Isolierungen, Erdung) (Lindner 1985, 227).

Bis heute haben das Kontrollieren von Risiken und das Herstellen von Sicherheit im Umgang mit elektrischer Energie große Bedeutung, was sich z.B. an gesetzlichen Vorschriften für die Sicherheit und Prüfung ortsveränderlicher und ortsfester elektrischer Anlagen und Betriebsmittel (siehe Normen DIN VDE 0100-600, DIN VDE 0105-100 und DIN VDE 0701-0702) oder der Einführung des E-Checks 1996 als freiwilliges Prüfangebot der elektrischen Installationen und Geräte in Wohngebäuden erkennen lässt. In der Medizintechnik ist z.B. die sichere Spannungsversorgung von Implantaten wie Herzschrittmachern und die Wirkung elektromagnetischer Felder auf sie bzw. die Sicherheit von Geräten (z.B. CT, MRT) von großer Bedeutung; letztere ist insbesondere auch für den Bereich des Arbeitsschutzes relevant (VGB Gesetzliche Unfallversicherung 2010). Es ist also erkennbar, dass „Risiken und Sicherheit“ im längeren zeitlichen Verlauf und bis heute bedeutsam für das berufliche Handeln in den Elektroberufen sind. Damit ist das Zeitkriterium ebenfalls erfüllt.

Sinnkriterium: Das Herstellen von Sicherheit im Umgang mit elektrischer Energie hat ohne Zweifel einen allgemeinen lebensweltlichen Bezug für Kinder und Erwachsene: Bereits Kinder lernen Regeln für das Verhalten bei Gewitter, Vorsicht mit elektrischen Geräten insbesondere im Badezimmer und die Gefahr von Hochspannungsfreileitungen oder Bahnstromleitungen. Über Schutzmaßnahmen beim Anfertigen von Röntgenaufnahmen, Erste-Hilfe-Regeln bei Stromunfällen oder über Prüfzeichen und -plaketten an Elektrogeräten und -installationen haben auch Erwachsene in ihrem Alltag Berührungspunkte dazu, dass das Kontrollieren von Risiken und das Herstellen von Sicherheit im Umgang mit elektrischer Energie und elektromagnetischer Strahlung wichtig ist. Im beruflichen Alltag von Handwerker(inne)n und Fachkräften in Elektroberufen müssen die eigene (Arbeits-) Sicherheit sowie die Anlagen- und Benutzersicherheit unbedingt und jederzeit mitbedacht werden. Ohne ein Verständnis dafür, welche Risiken und Gefahren elektrische Energie mit sich bringt, können viele Bauteile, der Aufbau von Installationen, Vorgehensweisen und Vorschriften nicht (vollständig) verstanden werden und sicheres berufliches Handeln ist nicht möglich. Das Sinnkriterium ist damit ebenfalls erfüllt.

Zielkriterium: Abschließend wird mit dem Zielkriterium geprüft, ob die Idee „Risiken und Sicherheit“ eine idealisierte Zielvorstellung erkennen lässt, die durch professionelles Handeln in der Elektrotechnik angestrebt wird. Da elektrische Systeme in den allermeisten Fällen nicht risiko- oder gefahrlos betrieben werden können, hilft die Idee „Risiken und Sicherheit“ dabei, diese Risiken durch den Einsatz verschiedener Maßnahmen – auf unterschiedlichen Ebenen und teils mit mehrfacher Absicherung – zu erkennen und sie im nächsten Schritt zu reduzieren oder auszuschalten. Diese Annäherung unter Abwägung der Möglichkeiten und anderer Kriterien wie z.B. bauliche Gegebenheiten oder Kosten

²⁴ Heute VDE Verband der Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik e.V. (VDE)

kann ein Stück weit als Orientierungspunkt für das berufliche Handeln verstanden werden, sodass das Zielkriterium als erfüllt betrachtet werden kann.

Für die Kategorie „Risiken und Sicherheit“ können somit alle Kriterien belegt werden, die eine Fundamentale Idee für eine berufliche Fachrichtung erfüllen sollte. „Risiken und Sicherheit“ wird deshalb als eine Fundamentale Idee für die berufliche Fachrichtung Elektrotechnik vorgeschlagen, die zudem einen handlungsleitenden Aspekt umfasst.

Einschätzung der Experten

Alle Fachexperten äußern Zustimmung dazu, dass die Fundamentale Idee „Risiken und Sicherheit“ fachlich relevant für die Elektrotechnik aus berufsbildender Perspektive ist (E1/00:13:06; E2/01:25:52; E3/01:17:35, E4/00:19:08, E5/00:43:24 und E5/00:44:23). Die fachliche Relevanz wird durch verschiedene Inhalte und Themen unterstrichen, die aus Sicht der Experten in den Elektroberufen im Kontext von Sicherheit besonders bedeutsam sind: Planung und Auslegung von Installationsleitungen und den Einsatz von Fehlerstrom-Schutzschaltern (E4/00:21:38, E3/01:19:41), galvanische Trennung mittels Transformatoren (E4/00:17:07), Stromnetze und Hochspannungstechnik (E4/01:08:43, E3/00:30:05), WHO-Grenzwerte für Induktionsdichten und Feldstärken (E4/00:59:05).

Ein Zitat aus der Tätigkeit im früheren Elektroberuf „Radio- und Fernsehtechniker“ verdeutlicht, wie das Herstellen sicherer Arbeitsbedingungen erfolgte:

„Und früher war das eben so bei den alten Röhrenfernsehern, die hatten immerhin 15.000 Volt an der Bildröhre. Und da war natürlich auch intern schon eine Abschirmung, die dafür sorgte, dass man, auch wenn man daran arbeitete, unter Einhaltung bestimmter Maßnahmen dann eben trotzdem einigermaßen gefahrlos arbeitet. Oder zum Beispiel ein weiterer Punkt, dass man die Geräte immer nur mit Trenntrafo anschluss, dass sie galvanisch entkoppelt sind vom Netz und so weiter“ (E2/01:27:12).

Ein Experte betont das Kontrollieren von Risiken bzw. das Herstellen von Sicherheit (zusammen mit „Standards und Normen“) als eine Basisanforderung, mit der die stärker technisch ausgerichteten Ideen „Übertragung von Energie/und oder Information“, „Interdependenz von Strom und Spannung“ und „Wechselwirkungen elektrischer und magnetischer Felder“ eng verknüpft sind:

„Und diese beiden, Sicherheit und Standards, sind sozusagen das Fundament für diese drei fachlichen Themen. Die sind ja nicht unabhängig davon, sind ja auch keine reinen Elektrotechnikthemen, sondern es sind, es sind halt allgemeine Anforderungen an die Elektrotechnik“ (E1/00:18:47).

Die große Bedeutung des Herstellens von Sicherheit mit Blick auf den Arbeitsalltag in den Elektroberufen unterstreicht ein weiterer Experte:

Das ist auch vor allem in jedem Beruf wichtig, auf welchem Level auch immer dann (E5/00:43:24).

Die Experten sehen inhaltliche Verbindungen von „Risiken und Sicherheit“ zu allen anderen Fundamentalen Ideen. Von mehreren Experten wird besonders der enge Bezug zu „Standards und Normen“ betont, welche oftmals Sicherheitsanforderungen festlegen:

„Ja, VDE 0100 ist praktisch das Maß der Dinge im Niederspannungsbereich. Die ist für Deutschland nicht mehr bindend, sondern anstatt dessen ist die so genannte Niederspannungsrichtlinie der EU getreten. Das heißt, die Niederspannungsrichtlinie der EU umfasst, ist anstelle der VDE 0100 getreten. In Deutschland aber werden teilweise noch die Geräte nach VDE 0100 spezifiziert. Warum? Weil man damit eine größere Sicherheit generieren kann“ (E3/00:57:53).

Insgesamt kann festgestellt werden, dass aus Sicht der Experten mit der Fundamentalen Idee „Risiken und Sicherheit“ eine für die berufliche Fachrichtung Elektrotechnik fachlich relevante Idee mit einer gewissen inhaltlichen Fülle formuliert werden konnte.

Bezogen auf die Abgrenzung der Idee oder etwaige Lücken sprachen zwei Experten an, inwieweit bei der Formulierung der Fundamentalen Idee „Risiken und Sicherheit“ die Sicherheit im Kontext von Informationsübertragung einbezogen wird (E2/01:25:30 und E4/00:20:58). Dies trug zu einer Schärfung der Grenzen für diese Fundamentale Idee bei: Ähnlich wie in Unterkapitel 4.1 wird auch hier eine Grenze zur benachbarten beruflichen Fachrichtung Informationstechnik/Informatik gezogen, da diese Arbeit die berufliche Fachrichtung Elektrotechnik im Fokus hat. Daten- und Informationssicherheit werden insofern einbezogen, wie eine stabile und unterbrechungsfreie Spannungsversorgung notwendig ist, um Datenverluste zu verhindern. Dies gilt auch für Störungen oder Verluste bei der Informationsübertragung durch elektrische oder magnetische Störfelder infolge unzureichender Abschirmung oder durch elektrische Fehler. Eine immer stärker digitalisierte Energieinfrastruktur und Gebäudetechnik (Smart Meter, Smart Home-Technologien) erfordern eine Absicherung der Netze und Leitungen gegen Fremdzugriffe. Weitergehende Fragestellungen zur Daten- und Informationssicherheit im Sinne der Verschlüsselung oder Datenübertragung werden nicht mehr berücksichtigt.

In den Experteninterviews wurde die Beobachtung aus der Grounded-Theory-Analyse aufgegriffen, dass die Idee „Risiken und Sicherheit“ in den Lehrbüchern, die auf das ingenieurwissenschaftliche Studium ausgerichtet sind, deutlich weniger erkennbar ist. Da alle Experten das Herstellen von Sicherheit als relevant für die berufliche Fachrichtung Elektrotechnik bestätigt haben, scheint sich eine gewisse Diskrepanz zu ergeben. Diese rührt nach Einschätzung der Experten möglicherweise daher, dass das Elektrotechnik-Studium und die einzelnen Lehrveranstaltungen auch im beruflichen Lehramt vor allem auf diejenigen Studierenden ausgerichtet sind, die Ingenieurin oder Ingenieur als Berufsziel haben (vgl. Unterkap. 1.1). Die Konstruktion von Anlagen, der Entwurf von Schaltungen und die Entwicklung neuer Systeme wird von den Lehrenden (und den Studierenden) häufig als hauptsächliche spätere berufliche Tätigkeit angenommen, sodass die Ausbildung dieser Studierendengruppe stärker die Idee der „Vielseitigen Gestaltbarkeit elektrischer Systeme“ erkennen lässt als das Herstellen von Sicherheit (E1/00:34:11). Wenngleich Risiken und

Sicherheit an einzelnen Stellen auch im ingenieurwissenschaftlichen Studium thematisiert werden (z.B. bei Sicherheitsunterweisungen in Laboren und Praktika oder als Teilaspekt in Lehrveranstaltungen zu Energietechnik, elektrischen Netzen oder EMV), wird ihre grundlegende Bedeutung für die berufliche Fachrichtung – das heißt für die Studierenden mit dem Berufsziel berufsbildende Lehrkraft – im Studium nicht abgebildet. Ein Experte weist darauf hin, dass dies für Ingenieurinnen und Ingenieure zum Berufseinstieg oft in Form von Weiterbildungen nachgeholt wird, weil Sicherheit für Arbeitsgeber im Arbeitsalltag doch einen großen Wert hat (E3/01:17:47). Die Fundamentale Idee „Risiken und Sicherheit“ stellt sich also trotz der unterschiedlichen Sichtbarkeit in Lehrwerken und Studium als wichtig für die berufliche Fachrichtung Elektrotechnik dar, allerdings ist sie im Studium weniger erkennbar.

4.6 Standards und Normen

4.6.1 Beschreibung der Idee und Herleitung

Der Umgang mit elektrischer Energie ist in den Elektroberufen in vielfältiger Weise von Standards geprägt. Standards werden dabei in einem weiten Begriffsverständnis verstanden und meinen „etwas, was als mustergültig, modellhaft angesehen wird und wonach sich anderes richtet“ und so etwas wie eine Richtschnur, einen Maßstab oder eine Norm darstellt²⁵. Standards können angesehen werden als das „Ergebnis der Festlegung von Richtwerten, technischen und ökonomischen Kennziffern, von Art, Größe, Abmessung, Qualität und Muster von Erzeugnissen, Norm“²⁶. In der Elektrotechnik treten Standards – ähnlich wie in anderen technisch-ingenieurwissenschaftlichen Domänen – in Form von *Gesetzen, Normen, Verordnungen, Regeln oder Vorschriften* in Erscheinung. Abhängig davon, welchen rechtlichen Status ein Standard jeweils hat, ergeben sich unterschiedliche Grade an Verbindlichkeit bzw. Spielraum bei seiner Umsetzung.

Der berufliche Alltag in den Elektroberufen ist stark von Standards geprägt, die den Elektro-Handwerker(inne)n und -Facharbeiter(inne)n bekannt sein und die von ihnen eingehalten werden müssen. Beispielsweise gibt es für die technische Realisierung elektrotechnischer Systeme Vorgaben, welche *Bauelemente und Betriebsmittel* in welcher Dimensionierung verwendet werden dürfen und wie diese anzuschließen und abzusichern sind. Für *Arbeitsprozesse* wie z.B. Wartungsarbeiten oder Prüfverfahren gibt es Vorschriften, in welchen einzelnen Schritten und wie genau diese Tätigkeiten auszuführen sind. Es gibt Festlegungen, dass bestimmte Arbeiten nur von solchen Fachkräften ausgeführt werden dürfen oder die Verantwortung für bestimmte Arbeiten von Fachkräften übernommen werden muss, die über eine bestimmte formale (Zusatz-) *Qualifikation* verfügen. Auch für

²⁵ https://www.duden.de/rechtschreibung/Standard_Norm, aufgerufen am 25.10.2023

²⁶ <https://www.dwds.de/wb/Standard>, aufgerufen am 25.10.2023

die Schnittstellen zwischen Systemen gibt es Standards (z.B. im Bereich der Kommunikationstechnik oder zwischen Spannungsnetzen). Weiterhin sind für elektrotechnische Fachkräfte Klassifizierungen (z.B. für Motoren), Sicherheitsprüfzeichen, Darstellungsweisen wie Schaltpläne und verbindliche Ziel- und Grenzwerte (z.B. für Störstrahlung) relevant.

Die Standards erfüllen im Elektrohandwerk bzw. der Elektroindustrie mehrere wichtige Funktionen. Viele Standards werden explizit erarbeitet, um die *Sicherheit* von elektrischen Anlagen und Geräten, Facharbeiter(inne)n und Nutzer(inne)n auf allen in Unterkapitel 4.5 dargestellten Ebenen zu unterstützen (siehe Abschnitt 4.5.1). Sie dienen aber auch der Formulierung von *Qualitätsanforderungen*, die an ein elektrisches System oder an die Dienstleistung der Fachkräfte gestellt werden bzw. die Nutzer/-innen eines Systems erwarten dürfen. Das ist beispielsweise bei Haftungsfragen relevant. Mit diesen beiden Funktionen eng verbunden ist ein weiterer Zweck von Standards im berufsbezogenen Kontext, nämlich *wirtschaftliches Handeln* besser zu ermöglichen, indem Standardlösungen implementiert werden können, Standardbauteile genutzt werden können und z.B. bei Lieferengpässen aufgrund definierter Leistungsdaten oder Schnittstellen auch vergleichbare Produkte anderer Hersteller eingesetzt werden können. Standards bieten den Fachkräften dadurch eine Entscheidungsunterstützung.

Schließlich haben Standards eine wichtige Funktion dafür, die Kommunikation von Fachleuten zu erleichtern. Dies erfolgt z.B. direkt über die Nutzung von fachbezogenem Vokabular, *Visualisierungen* wie Schaltplänen, genormten Schaltzeichen oder Konventionen wie den SI-Einheiten, aber auch indirekt dadurch, dass Fachkräfte erwarten dürfen, dass bestehende elektrische Systeme, mit denen sie neu zu tun bekommen, nach geltenden Standards errichtet worden sind. Die Standards bilden dadurch die Grundlage für eine asynchrone Kommunikation unter Fachleuten, die nicht direkt aufeinandertreffen, z.B. bei späterer Wartung oder Reparatur von bestehenden Installationen oder bei der zukünftigen Erweiterung eines elektrischen Systems.

Es wird deutlich, dass das Einhalten von Standards für die Fachkräfte in den Elektroberufen von der *Planung und Konzeption* elektrischer Anlagen über deren Errichtung bis hin zur Wartung oder Reparatur bedeutsam ist. Es ist Teil ihrer täglichen Arbeitsabläufe/Praktiken, vom Absichern gegen elektrische Risiken über das *Messen und Prüfen*, ob alle geltenden Standards eingehalten sind, bis hin zur entsprechenden Dokumentation. Die Fachkräfte müssen geltende Standards kennen, diese verstehen und in ihrem Arbeitsalltag umsetzen können. Zudem müssen sie dieses Wissen immer wieder aktualisieren, wenn Standards geändert werden (*Qualifizierung*).

Zusammengefasst vermitteln Standards unterschiedliche Interessen. Sie sichern die elektrotechnischen Fachkräfte und Unternehmen wie auch die Kund(inn)en und Nutzer/-innen der Systeme auf verschiedenen Ebenen ab. Sie definieren Handlungsspielräume für die elektrotechnischen Fachkräfte, im Rahmen derer diese Entscheidungen bei praktischen Problemstellungen treffen können. Sie helfen, trotz der *vielseitigen Gestaltbarkeit elektrischer Systeme* diese wirtschaftlich zu gestalten.

Befunde aus der Grounded-Theory-Analyse

Bereich	Beschreibung der Befunde über typische Inhalte und Beispiele	Belege aus den Lehrwerken LW1 - LW3
Standards in der Elektrotechnik sind i.d.R. bindend, was rechtlich über verschiedene Wege erreicht wird	<ul style="list-style-type: none"> • Ein umfassendes Regelwerk an Normen auf nationaler, europäischer und weltweiter Ebene umfasst die Tätigkeiten rund um elektrische Systeme. • Normen (z.B. DIN EN, DIN VDE) sind zunächst Empfehlungen und haben keinen rechtsverbindlichen Charakter. Sie gelten aber als „anerkannte Regeln der Technik“ und werden für gerichtliche Entscheidungen hinzugezogen. • Rechtliche Vorgaben/gesetzliche Vorschriften, z.B. Gerätesicherheitsgesetz, Energiewirtschaftsgesetz (z.B. Einbau elektronischer Zähler), Produktsicherheitsgesetz (ProdSG), Bauproduktengesetz (BauProdG), Medizinproduktegesetz (MPG) • Arbeitsschutzgesetz (ArbSchG), Arbeitsstättenverordnung (ArbStättV), Betriebssicherheitsverordnung (BetrSichV), Technische Regeln für Betriebssicherheit (TRBS), Gemeindeunfallversicherung (GUV) • Unfallverhütungsvorschrift „Elektrische Anlagen und Betriebsmittel“ der DGUV • Vorschriften des Bundesverbandes für Energie- und Wasserwirtschaft (BDEW) • IEEE-Standards für Ethernet und W-LAN als Beispiele für Schnittstellen-Standards • Technische Anschlussbedingungen (TAB) sind zunächst nur Anforderungen der Betreiber, aber in der Niederspannungsanschlussverordnung (NAV) ist rechtlich festgelegt, dass die Netzbetreiber TABs festlegen dürfen. • Teilweise werden in Normen Soll-Regelungen festgelegt und definiert, unter welchen Bedingungen abgewichen werden darf bzw. wie Abweichungen dann zu gestalten und abzustimmen sind (z.B. bei Hausinstallationen) • Normen können auch Kann-Regelungen definieren (z.B. Vorsorge- und Beratungsangebote wie E-Check für Privathaushalte). • Anwendungsregeln, z.B. des VDE, sind rechtlich nicht bindende Handlungsempfehlungen, stellen aber auch den aktuellen Stand der Technik dar und schaffen Sicherheit. 	<p>LW1, S. 261, 297, 304, 308, 348, 351, 368, 377, 438, 449, 531, 534, 545, 653;</p> <p>LW2, S. 137</p> <p>(keine Textsegmente in LW3)</p>

<p>Viele Standards betreffen die direkte Gestaltung des elektrischen Systems (z.B. Anlage, Installation, Gerät)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Normierte Bauelemente, z.B. Normreihen Widerstände, Kondensatoren, Abmessungen und Form von Eisenblechen für Transformatoren • Festlegungen von Arten von Schutzmaßnahmen für elektrische Anlagen und Installationen (nach DIN VDE 0100 -410 oder VDE 0551) • Norm-Elektromotoren und definierte Betriebsarten für vielfältige Einsatzzwecke • Festlegungen und Anforderungen für Niederspannungsschaltgeräte • Vorgaben, welche Geräte bei Neubauten oder Austausch elektrischer Systeme verbaut werden müssen (z.B. elektronische Elektrizitätszähler) oder wie viele Stromkreise in Wohngebäuden installiert werden müssen • „Technische Anschlussbedingungen“ regeln z.B. Anschlussbedingungen zwischen verschiedenen Netzen, Schutzeinrichtungen oder Anmeldeverfahren. • Performance-Levels von Maschinen definieren Anforderungen an ihre Ausfallsicherheit; daraus ergeben sich Anforderungen für die elektrische Absicherung und die einzusetzenden Schaltungen und Sicherheitstechniken (DIN EN ISO 13849-1). 	<p>LW1, S. 40, 79, 102, 115, 120 f., 125, 165, 177, 261, 299-301, 305, 328, 348, 354-360, 362 f., 371, 374, 469, 480, 485, 490, 541, 586 f., 662, 666;</p> <p>LW2, S. 140, 154, 156, 307, 385-389, 418;</p> <p>LW3, S. 70</p>
<p>Standards dienen häufig dazu, elektrische Systeme und ihre Umwelt abzusichern</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Vorgaben und Grenzwerte für Netzqualität und der Begrenzung von Störwirkungen (z.B. EMV-Gesetz) • Schutzklassen und -arten von Betriebsmitteln/Geräten • Zur klaren Erkennung und Unverwechselbarkeit werden Bauteile farblich oder mit Zahlen-Buchstaben-Kombinationen gekennzeichnet (z.B. Halbleiter, Widerstände, Aderisolierung), festgelegte Not-Aus-Schalter(farbe) • Standards für die Absicherung elektrischer Systeme in besonderen Einsatzgebieten wie medizinisch genutzten Bereichen • Qualifikationsanforderungen für Personen, die elektrische Anlagen errichten, warten, instandhalten und prüfen dürfen (z.B. Elektrofachkräfte oder elektrotechnisch unterwiesene Personen, Elektrofachkräfte mit Zusatzausbildung, Auszubildende, Anlageverantwortliche); Festlegung, welche Aufgaben welcher Qualifikation bedürfen • standardisierte Sicherheitszeichen für geprüfte Betriebsmittel und Geräte, z.B. GS, VDE-Prüfzeichen, CE • Unfallverhütungsvorschriften der deutschen gesetzlichen Unfallversicherung (UVen, DGUV), der Berufsgenossenschaften oder der Feuerwehren (für Bau- und Montagestellen) 	<p>LW1, S. 18, 41, 105, 107, 121, 204, 261, 301, 309, 317-319, 339, 343, 346, 348 f., 351, 363, 365-367, 377, 413, 471, 559, 587;</p> <p>LW2, S. 204 f., 379, 387 f.</p>

	<ul style="list-style-type: none"> • E-Check (Durchführung, Prüfbericht und Prüfplakette) • Programmierer legt unter Beachtung von Sicherheitsvorschriften fest, wie eine Signalabfrage zur Realisierung einer bestimmten Steuerung erfolgt 	(keine Textsegmente in LW3)
Die täglichen Arbeitspraktiken von elektrotechnischen Fachkräften sind von Standards geprägt	<ul style="list-style-type: none"> • „Die fünf Sicherheitsregeln“ für Arbeiten im spannungsfreien Zustand (DIN VDE 0105) • Konventionen, z.B. Angabe von Effektivwerten bei Sinusspannungen und -strömen in der Energietechnik, technische/konventionelle Stromrichtung, Schaltzeichen (DIN EN 60617) und SI-Einheitenbezeichnungen • DIN VDE 0100 „Errichten von Niederspannungsanlagen“ • Kennzeichnungen von Betriebsmitteln und elektrischen Maschinen • Prüfzeichen, Siegel • definierte Formulierung für Steueranweisungen • Festgelegte Prüfverfahren und Abläufe bei Erstinstallation, nach Störungen bei Wiederinbetriebnahme, festgelegte Regelintervalle für Prüfungen, Toleranzen, zu verwendende Messgeräte • Vorgaben für das Ausführen bestimmter Arbeiten, z.B. die Berücksichtigung von Installationszonen, Verlegearten von Kabeln und Leitungen oder die konkrete Durchführung einer Prüfung in elektrischen Anlagen 	<p>LW1, S. 21, 25, 100, 121 f., 131, 137, 300, 312, 315 f., 326, 339, 346 f., 349 f., 354, 368-370, 372, 376, 378 f., 470, 556, 654-659, 660 f., 663-665.;</p> <p>LW2, S. 6, 12, 14, 137, 287, 389, 419, 421 f., 425, 437;</p> <p>LW3, S. 5, 13, 20, 22, 44 f., 688, 691</p>
Standards erfüllen mehrere Funktionen und vermitteln verschiedene Interessen	<ul style="list-style-type: none"> • Klarheit und Übersichtlichkeit werden verbessert (z.B. durch Konventionen für Darstellungen in Schaltplänen oder Netzwerken). • Zielorientierte Gestaltung: Für verschiedene Zwecke werden Schaltpläne verschieden gestaltet. • Kommunikation unter Fachleuten, insbesondere auch asynchron, z.B. Prüfsiegel/-plaketten, Prüfkennzeichen für geprüfte Betriebsmittel/Geräte, Dokumentation durchgeführter Messungen und Prüfungen, Schaltpläne, Leistungsschild an elektrischen Maschinen 	<p>LW1, S. 25, 101, 117, 369, 497, 601;</p> <p>LW2, S. 98, 137, 385-389, 422 f.;</p>

	<ul style="list-style-type: none"> • Die jeweiligen Verantwortlichkeiten bzgl. elektrischer Anlagen und Geräte von Herstellern, Errichtern und Betreibern werden geregelt. • Wartbarkeit und Austauschbarkeit von Betriebsmitteln wird gesichert • Für Elektromotoren sind Baugrößen normiert und Betriebsarten S1-S10 definiert, um vielseitige Nutzbarkeit zu ermöglichen, die Auswahl zu erleichtern und den Einbau auch bei verschiedenen Fabrikaten verlässlich sicherzustellen. • Fachgerechtes Arbeiten wird durch Einhalten von Standards belegt. 	LW3, S. 3, 362 f., 692
--	---	------------------------

Die vorgeschlagene Fundamentale Idee „Standards und Normen“ ist in der Grounded-Theory-Analyse aus insgesamt 257 zugeordneten Textsegmenten entwickelt worden. Zunächst wurden die Konzepte „rechtliche Vorgaben“, „Normen (DIN, EN)“ und „Prozessvorgaben“ aus den Daten heraus gebildet. Die Kategorie hat sich mit der zuerst gewählten Bezeichnung „Standards einhalten“ bereits recht früh im Kodierungsprozess als übergeordnete Kategorie von größerer Beschreibungskraft entwickelt. Die zunächst gebildeten Konzepte sind im Laufe des weiteren Kodierungsprozesses dann dieser Kategorie als Unterkonzepte zugeordnet worden. Viele der Textsegmente in dieser Kategorie sind doppelt kodiert, d.h. sie sind neben der Kategorie „Standards und Normen“ auch mindestens einem weiteren Konzept und einer weiteren Kategorie zugeordnet worden. Dies war häufig die Kategorie „Risiken und Sicherheit“ und das Konzept „Qualifizierung“. Weitere doppelte Kodierungen betrafen die Konzepte „Planung/Konzeption“, „Messen/Prüfen“, „Qualität“ und „Wirtschaftlichkeit“. Das Einhalten von Standards weist also Verbindungen zu einer Reihe von Konzepten auf, die in der beruflichen Fachrichtung Elektrotechnik wichtig sind. Dies unterstreicht, wie stark und durchgehend das berufliche Handeln in den Elektroberufen von Standards geprägt ist. Durch die doppelten Kodierungen sind zudem die verschiedenen Funktionen von Standards deutlich geworden. Die Standards schaffen somit einen Rahmen für das berufliche Handeln und definieren die Handlungsmöglichkeiten und Spielräume der Fachkräfte. Die Bezeichnung der Kategorie wurde nach den Interviews von „Standards einhalten“ zu „Standards und Normen“ verändert, um sicherzustellen, dass die verschiedenen Arten von Standards (Gesetze, Normen, De-facto-Standards, Anwendungsregeln u.a.m.) auch bei einem engeren Verständnis des Begriffs von der Kategorie umfasst werden.

Die der Kategorie zugeordneten Textsegmente verteilen sich sehr ungleich auf die analysierten Lehrwerke. Im Lehrwerk LW3 waren lediglich 17 Textstellen zu finden, die dem Einhalten von Standards zugeordnet werden konnten. Diese bezogen sich ausschließlich auf die Standardisierung von SI-Einheiten, Schaltzeichen und Darstellungs- sowie Berechnungskonventionen. Auch ein gezieltes selektives Nachkodieren am Ende der Grounded-

Theory-Analyse mit Begriffen wie Norm, Standard, Vorschrift, Vorgabe, DIN, EN, ISO, VDE, Siegel, Prüfzeichen und Prüfung hat keine weiteren relevanten Textstellen zutage gefördert. Demgegenüber konnten im Lehrwerk LW1 201 Textsegmente identifiziert werden, die das Einhalten von Standards in allen oben in der Tabelle belegten Bereichen thematisieren. In Lehrwerk LW2 wurden 39 relevante Textsegmente kodiert (ebenfalls später noch selektiv nachkodiert), welche sich auch auf SI-Einheiten, Schaltzeichen sowie Darstellungsweisen und Bezeichnungen beziehen, jedoch zusätzlich standardisierte Tätigkeiten im Bereich der Elektrotechnik, Verantwortlichkeiten, Schutzmaßnahmen und Standards in Bezug auf Bauteile (insbesondere Motoren) umfassen. Die sehr unterschiedliche Verteilung der Textsegmente auf die drei Lehrwerke wirkt ähnlich wie bei der Kategorie „Risiken und Sicherheit“ (siehe Unterkap. 4.5) die Frage auf, ob die Kategorie „Standards und Normen“ wirklich als eine Fundamentale Idee für die berufliche Fachrichtung Elektrotechnik gelten kann. Das Lehrwerk aus dem Bereich der beruflichen Ausbildung legt dies nahe, während eine alleinige Analyse des Lehrwerks LW3 Standards und Normen vermutlich nicht als ein Konzept der Elektrotechnik von Bedeutung hervorgebracht hätte. Dies könnten an den unterschiedlichen Schwerpunktsetzungen und/oder Zielgruppen der Lehrwerke liegen. Im Lehrwerk LW3 haben praktische Anwendungsbezüge nur eine geringe Bedeutung, Beispiele sind hier oft Rechenbeispiele. Gegebenenfalls wird die Bedeutung des Einhaltens von Standards umso deutlicher sichtbar, je näher man dem konkreten beruflichen Handeln in der Elektrotechnik kommt. Die Grounded-Theory-Analyse ermöglicht zu dieser Frage noch keine klare Einschätzung. Die Frage wird deshalb in den Experteninterviews aufgegriffen.

4.6.2 Resultat der Validierung

Prüfen der Fundamentalitätskriterien

Horizontalkriterium: Elektrotechnisches Planen und Handeln ist nahezu durchgehend davon geprägt, dass Standards wie gesetzliche Grundlagen oder geltende Normen berücksichtigt und eingehalten werden müssen, um elektrische Systeme sicher und nach dem Stand der Technik zu errichten, zu warten oder zu reparieren. Die vorstehende Tabelle mit den Textbelegen enthält vielfältige Beispiele aus den grundlegenden Arbeitspraktiken von elektrotechnischen Fachkräften und aus unterschiedlichen Teilgebieten der beruflichen Fachrichtung Elektrotechnik wie der Gebäude- und Installationstechnik, der Antriebstechnik oder der Energietechnik. „Standards und Normen“ ist als eine grundlegende Idee in der betrachteten Domäne vielfältig erkennbar und anwendbar. Das Horizontalkriterium ist damit erfüllt.

Vertikalkriterium: Kinder und Jugendliche kommen in ihrem Alltag an unterschiedlichen Stellen mit Standards in Berührung. Dies sind meist (noch) keine elektrotechnischen Standards, sondern im Bereich der Primarstufe z.B. gemeinsam vereinbarte Klassenregeln, Pa-

pierformate wie DIN A4 und DIN A3 oder ein Internet-Führerschein für Kinder (z.B. „Surfschein“, <https://www.internet-abc.de/surfschein-komplett/>, aufgerufen am 25.10.2023). Das Konzept von Standards und ihr Zweck insbesondere aus der Nutzerperspektive kann an solchen (fachfremden) Alltagsbeispielen bereits vermittelt werden. Im Sekundarbereich können dann technische Standards einbezogen werden, die Kinder und Jugendliche in ihrem Alltag kennen und nutzen – und an denen erkennbar wird, dass Standards nicht nur Nutzer(inne)n dienen, sondern zwischen verschiedenen Interessen(gruppen) vermitteln. Zum Beispiel sind die Tisch- und Stuhlhöhen in Klassenzimmern normiert, die Stecker für Ladegeräte von Smartphones bislang aber noch nicht (an diesen sind verschiedene Herstellerstandards erkennbar). Jugendliche kommen über drahtlose Informationsübertragungsmechanismen wie Bluetooth oder WLAN zudem regelmäßig mit weiteren Standards in Kontakt. In den Bildungsstandards und der DPG-Studie zu „Physik in der Schule“ werden keine Aspekte benannt, die ausdrücklich mit Normen und Standardisierung zu tun haben. Im Bereich der beruflichen Ausbildung ist die Norm DIN VDE 0100 „Errichten von Niederspannungsanlagen“ für alle Elektro-Ausbildungen eine unabdingbare Sicherheitsgrundlage. Sie kann deshalb übergreifend für die Vermittlung der Idee „Standards und Normen“ mit beruflichem Bezug dienen. In den elektrotechnischen Berufen wird bereits im ersten Ausbildungsjahr der Umgang mit gesetzlichen Vorschriften, Sicherheitsregeln und Normen thematisiert, wie z.B. in den ausbildungsübergreifend einheitlichen Lernfeldern 2 und 3 der Rahmenlehrpläne für die Elektroniker(innen)ausbildung erkennbar ist (siehe exemplarisch Kultusministerkonferenz 2018b, 11–12 und Kultusministerkonferenz 2020b, 12–13). Das Vertikalkriterium ist somit ebenfalls erfüllt.

Zeitkriterium: Das Finden und Aushandeln von Standards im Bereich der Elektrotechnik wurde parallel zur Entwicklung der Disziplin von Anfang an diskutiert. Bereits im Rahmen der ersten elektrotechnischen Weltausstellung, die 1881 in Paris stattfand, wurde auch eine erste Konferenz zu Standardisierung und Einheitenfestlegung abgehalten. Zunächst stand die technische und industrielle Perspektive bei den Standardisierungsbestrebungen im Mittelpunkt. Parallel zu den folgenden Internationalen Elektrizitätsausstellungen fanden wissenschaftliche Tagungen statt, bei denen Standardisierungs- und Sicherheitsfragen behandelt wurden (z.B. Normung, Maßeinheiten und Maßsysteme) (Lindner 1985, 167). Seit ca. 1880 diente die Gründung von elektrotechnischen Vereinen und Verbänden im deutschsprachigen Raum u.a. dazu, Vorschriften, Normen und Regeln zu schaffen, da die wirtschaftliche Bedeutung der Elektrotechnik stieg und eine allgemeine Verbreitung davon abhing, dass man sich auf eine einheitliche Gestaltung der aufzubauenden öffentlichen Elektrizitätsversorgung einigte. So befasste sich eine Vereinigung von deutschen Elektrizitätswerken seit 1892 damit, einen überregionalen Verbund zur Versorgung mit elektrischer Energie zu schaffen, die Tarifgestaltung zu regeln und Sicherheitsfragen gemeinsam zu klären (Lindner 1985, 169–170). Der Verband der Elektrotechnik, Elektronik und Informationstechnik e.V. (VDE) wurde dann Ende des 19. Jahrhunderts gegründet, und seine erste technische Kommission nahm sich der Aufgabe an, Vorschriften für elektrische

Anlagen zu erarbeiten²⁷. Anfang des 20. Jahrhunderts wurden nationale Normungsinstitutionen in Deutschland, Großbritannien und Österreich gegründet²⁸, 1947 dann die International Organization for Standardization (ISO) als internationale Normungsorganisation²⁹.

Wie bereits oben in der Tabelle deutlich wird, sind Standards heute immer noch von großer Bedeutung für elektrotechnische Fachkräfte. Dies gilt für verabschiedete Normen, aber auch für (herstellerübergreifende) Industriestandards bzw. De-facto-Standards, die dann teilweise später zu nationalen oder internationalen Standards weiterentwickelt werden (z.B. Cinch-Stecker oder Ethernet). Beispiele für aktuelle Standardisierungsbestrebungen und -diskussionen sind der Beschluss des EU-Parlaments von 2022 für einheitliche USB-C-Ladebuchsen für Smartphones ab 2024 oder die Entwicklung von Schnittstellen-Standards für Industrie 4.0-Anwendungen. Damit ist auch das Zeitkriterium erfüllt.

Sinnkriterium: Kinder und Erwachsene kommen in der allgemeinen Lebenswelt häufig mit Standards und Normen in Berührung, auch wenn sie diese nicht unbedingt kennen und explizit benennen können. Im (elektro-)technischen Bereich können dies z.B. Stecker in anderen Ländern und erforderliche Adapter sein, Prüfplaketten für geprüfte Elektrogeräte oder Sicherheitsprüfzeichen auf Spielzeug. Weitere (nicht-elektrotechnische) Standards begegnen Kindern im Alltag z.B. bei den gesetzlichen Vorschriften für verkehrssichere Fahrräder oder bei einer Radfahrprüfung, die sie ablegen, und Erwachsenen z.B. bei PC-Anschlüssen.

Im beruflichen Alltag der elektrotechnischen Fachkräfte müssen regelmäßig geltende Vorschriften eingehalten, rechtliche Bedingungen berücksichtigt, Schaltpläne mit den genormten Schaltzeichen erstellt, normierte Betriebsmittel und Bauteile eingesetzt oder genau definierte Prüfverfahren durchgeführt werden. Dies erfahren und erlernen bereits die Auszubildenden. Kompetentes berufliches Handeln ist im Bereich der Elektroberufe nicht möglich ohne eine umfassende fachliche Kenntnis der geltenden Standards und das Verständnis ihrer verschiedenen Funktionen für sicheres Arbeiten, wirtschaftliches Handeln, fachliche Gestaltungsentscheidungen und die Umsetzung von Kundenanforderungen. Auf formaler Ebene wird dies daran deutlich, dass eine der Anforderungen für die Qualifizierung als Elektrofachkraft – eine für die Betriebe und Unternehmen sehr wesentliche fachliche Qualifikation in den Elektroberufen – nach DIN VDE 1000-10, DIN EN 50110-1 und DGUV Vorschrift 3 die Kenntnis der einschlägigen Bestimmungen für die übertragenen Aufgaben darstellt. Auch bei Haftungsfragen gegenüber Handwerker(inne)n und Elektrobetrieben ist das Einhalten von Standards und seine Dokumentation von großer Bedeutung. Das Sinnkriterium ist ebenfalls erfüllt.

²⁷ <https://www.vde.com/de/ueber-uns/geschichte>, aufgerufen am 25.10.2023

²⁸ siehe <https://www.bsigroup.com/de-DE/ueber-BSI-Group/Unsere-Geschichte/>, <https://www.din.de/de/din-und-seine-partner/din-e-v/chronik>, <https://www.austrian-standards.at/de/wir-unser-netzwerk/daten-fakten/100-jahre-austrian-standards>, alle aufgerufen am 25.10.2023

²⁹ (<https://www.iso.org/about-us.html>), aufgerufen am 25.10.2023

Zielkriterium: Mit der Idee der Standardisierung selbst ist bereits ein Stück weit eine ideale Zielvorstellung verbunden, nämlich, dass ein möglichst guter Kompromiss zwischen verschiedenen Interessen gefunden werden kann. Indem dieser Interessenausgleich in einer Norm verschriftlicht, verabschiedet und veröffentlicht wird, steht das Ergebnis allgemein und freiwillig nutzbar zu Verfügung. Im Kontext der beruflichen Fachrichtung Elektrotechnik stellen Standards in den meisten Fällen verbindliche Vorgaben für die Fachkräfte dar, weil Normen als jeweils anerkannter Stand der Technik z.B. in Gesetze und Verordnungen, aber auch in privatwirtschaftliche Verträge Eingang finden. Es ergeben sich jedoch auch Gestaltungsspielräume, z.B. wenn sich Normen aufgrund räumlicher Gegebenheiten nicht einhalten lassen oder wenn alte Anlagen und Installationen Bestandsschutz bzgl. später eingeführter Standards haben. In diesen Fällen werden Fachkräfte versuchen, individuelle Lösungen zu finden und sich am jeweiligen Stand der Technik zu orientieren, ohne ihn jedoch vollständig umsetzen zu können. In der Beratung von Kunden berücksichtigen Fachkräfte aktuelle Standards (auch De-facto-Standards) und beziehen mögliche Spielräume ein, die diese bieten. Ein regelmäßiges Berücksichtigen und Einhalten der geltenden Standards im beruflichen Alltag der Fachkräfte setzt allerdings voraus, dass diese ihr Fachwissen bzgl. geltender Normen jederzeit aktuell halten. Die Fachkräfte müssen Änderungen und Weiterentwicklungen von Standards wahrnehmen und dann auch in ihr Handeln umsetzen. Da Normen nicht allgemein und frei zugänglich sind, ist hier eine Unterstützung der Betriebe/Unternehmen nötig, z.B. über regelmäßige Fortbildungen. Das Einhalten von Standards und Normen stellt eine berufliche Leitlinie für die Elektroberufe dar, wodurch auch das ergänzende Zielkriterium umgesetzt wird.

Die Idee „Standards und Normen“ erfüllt damit alle Kriterien nach Abschnitt 2.4.2 und kann als eine Fundamentale Idee für die berufliche Fachrichtung Elektrotechnik betrachtet werden. Zusätzlich enthält sie ein orientierendes, handlungsleitendes Moment für die Auszubildenden bzw. die Fachkräfte.

Einschätzung der Experten

Aus der Sicht der Fachexperten ist das Einhalten von Standards und Normen ein wichtiger Bereich für die Elektroberufe und damit auch für die berufliche Fachrichtung Elektrotechnik. Sie begründen dies damit, dass Standards das Fundament für fachliche Gestaltungsmöglichkeiten und Entscheidungen bilden und damit den Rahmen für berufliches Handeln aufspannen (E1/00:18:47, E3/01:15:15, E5/00:17:50). Standards liefern feste Vorgaben für die Auszubildenden und die Fachkräfte, verändern und entwickeln sich aber über die Zeit auch weiter, sodass der Wissensbestand aktiv aktualisiert werden muss (E1/00:35:54, E4/00:22:17, E5/00:40:03).

Die große Bedeutsamkeit der Fundamentalen Idee „Standards und Normen“ für die elektrotechnischen Fachkräfte ergibt sich aus Sicht der Experten durch die verschiedenen Funktionen, die Standards gleichzeitig erfüllen und die auch die Fachkräfte in ihrer Arbeit

gleichzeitig bedenken müssen: Sie unterstützen die Sicherheit von Menschen und elektrischen Anlagen, sie helfen dabei, Arbeiten an elektrischen Systemen wirtschaftlich zu gestalten und dabei auch ressourcenschonend vorzugehen, sie sind eine wichtige Grundlage bei der Klärung von Haftungsfragen und tragen zum Verbraucherschutz bei (E2/01:17:55, E2/01:20:07, E3/01:00:48, E3/01:01:27, E4/00:28:43).

Die Experten nennen verschiedene Beispiele, an denen die große praktische Bedeutung der Idee „Standards und Normen“ im Alltag von elektrotechnischen Fachkräften erkennbar wird.

„Ich würde das so als Rahmen sehen. Wenn sie Systeme gestalten, gibt es da schon klare Vorgaben. Meinetwegen bei Installationsschaltungen, welche, ja welche Querschnitte sind da einzuhalten oder welche Dimensionierung gemacht wird oder was auch immer. Dann gibt es da klare Vorgaben.“ (E5/00:17:50)

Viele dieser Vorgaben sind in der Normenreihe DIN VDE 0100 enthalten, welcher deshalb für den beruflichen Alltag vieler Fachkräfte in den Elektroberufen eine herausragende Bedeutung zugesprochen wird (E3/00:57:53, E4/00:41:43). Die Normenreihe fokussiert die Funktion und Sicherheit elektrischer Systeme. In ihr ist das Planen, Errichten und Prüfen von Niederspannungsanlagen geregelt, z.B. durch Vorgaben für die Auswahl von Betriebsmitteln oder umzusetzende Schutzmaßnahmen (Schmolke 2016). Weiterhin sind in Normen Grenzwerte festgelegt, die eingehalten werden müssen (E3/01:06:14). Für Bauteile wie Motoren, Transformatoren, aber auch für elektrische Widerstände oder Schrauben und Muttern sowie für Werkzeuge gibt es Normreihen und definierte Standards und Metriken, die verschiedene Hersteller bedienen und die Fachkräfte wahlweise nutzen können, wie das folgende Zitat verdeutlicht (E2/01:20:42, E4/00:24:07):

„Das haben Sie ja auch bei Motoren. Ich meine, Sie können nicht unendlich viele Motoren herstellen. Sie haben ja gewisse Motorklassen oder auch bei den Transformatoren, hier für die Energieversorgung. Da greifen Sie dann einen aus dem Regal, 8Y-so-wieso, der hat dann 1 Mega VA und dann, den stellt Siemens her und noch ein paar andere, aber da gibt es keine großen Varianten.“ (E4/00:23:15)

Die Experten weisen anhand von Beispielen wie Video 2000, Blu-ray oder verschiedenen Steckersystemen auch auf De-facto-Standards hin, die für elektrotechnische Fachkräfte interessant sind, wenn sie Kunden beraten oder Entscheidungen für bestimmte Gestaltungsvarianten treffen (E3/01:04:40, E4/00:27:46, E4/00:28:03). Beispiele aus den Anfängen der Elektrotechnik verdeutlichen, dass Standardisierung auch staatlich vorangetrieben wurde, um allgemeinen Interessen gegenüber den Interessen einzelner Unternehmen besser Rechnung tragen zu können (z.B. für den Aufbau einer öffentlichen Elektrizitätsnetzinfrastruktur, Nutzungsrichtlinien für Funktechnik oder die Regulierung, wie weit elektrische Systeme sich gegenseitig beeinflussen dürfen) (E3/01:08:26, E3/01:10:33, E3/01:12:16, E3/01:12:47, E4/00:25:21).

Es wird zudem ein enger Zusammenhang zur Fundamentalen Idee „Risiken und Sicherheit“ gesehen. Viele Standards wie z.B. die oben angesprochene Norm DIN VDE 0100 dienen ausschließlich oder vorrangig dem Zweck, elektrische Systeme sicher aufzubauen und zu betreiben sowie sicher an ihnen zu arbeiten. Über diese Funktion weisen die beiden Ideen eine Schnittmenge auf (E4/00:19:53, E5/00:17:50). Zudem sehen die Experten das Einhalten von Standards in einem engen Wechselspiel mit der Fundamentalen Idee „Vielfältige Gestaltbarkeit elektrischer Systeme“. Die Möglichkeiten zur Gestaltung ergeben sich in der beruflichen Praxis daraus, wie zugleich geltende Standards eingehalten werden können. Die Standards und Normen begrenzen dabei die Gestaltbarkeit und definieren relativ fest den für die Fachkräfte zur Verfügung stehenden Handlungsrahmen (E5/00:17:25). Das folgende Zitat unterstreicht dies:

„Der Handwerker hat nicht so viel Freiheiten, sage ich mal, und wenn er sichergehen will, hält er sich an die Norm und dann passiert ihm auch nichts, dann hat er keine Klage am Hals. Wenn was abfackelt.“ (E4/00:22:22)

Insgesamt wird in den Gesprächen mit den Experten deutlich, dass die Fundamentale Idee „Standards und Normen“ ohne Zweifel als fachlich bedeutsam für die Elektroberufe eingeschätzt wird (E5/00:42:51). Im Rahmen des Studiums der beruflichen Fachrichtung Elektrotechnik sind Standards und ihre Relevanz in den Elektroberufen allerdings kaum präsent, bestätigt ein Experte den Eindruck, der sich aus der Grounded-Theory-Analyse ergeben hat. Lehramtsstudierende, die vor ihrem Studium eine Ausbildung in einem Elektroberuf gemacht haben, sind mit der Bedeutung von Standards bereits aus der Praxis vertraut, erkennen diese im Studium dann aber nicht und erfahren die hohe Bedeutung von Standards erst im Referendariat als eine Art „Praxisschock“ wieder (E5/00:40:40, E5/00:40:57).

4.7 Entwurf eines fachdidaktischen Modells

Wie bei der Vorstellung der einzelnen Fundamentalen Ideen in den vorhergehenden Unterkapiteln bereits erkennbar wurde, gibt es Zusammenhänge zwischen den Ideen. Zum einen stehen die Ideen in Beziehung zueinander, zum anderen haben manche von ihnen Schnittmengen auf der Ebene der Phänomene oder der fachlichen Inhalte (z.B. sehen die Fachexperten manche Ideen auf verschiedenen hierarchischen Ebenen; es gibt einen inhaltlichen Überschneidungsbereich von „Risiken und Sicherheit“ und „Standards und Normen“; an manchen Phänomenen wie z.B. dem Transformatorprinzip lässt sich mehr als eine Fundamentale Idee erkennen).

Diesen weiteren, über die einzelnen Fundamentalen Ideen hinausgehenden Ergebnissen der Grounded-Theory-Analyse und der Interviews ist dieses Unterkapitel gewidmet. Die Verbindungen zwischen den Fundamentalen Ideen werden beschrieben und systematisiert (Abschnitt 4.7.1). Auf dieser Basis werden alle Fundamentalen Ideen über eine Concept

Map miteinander in Zusammenhang gebracht (Abschnitt 4.7.2) und zu einem fachdidaktischen Gesamtmodell entwickelt (Abschnitt 4.7.3).

4.7.1 Beziehungen zwischen den Fundamentalen Ideen

Die Beziehungen der Fundamentalen Ideen werden zur besseren Nachvollziehbarkeit in diesem Unterkapitel gebündelt dargestellt, nachdem alle Fundamentalen Ideen vorgestellt wurden. Dadurch können Doppelungen vermieden und Ähnlichkeiten in den Beziehungen besser nachvollziehbar gemacht werden. Die Darstellung der Zusammenhänge zwischen den Fundamentalen Ideen basiert auf den Ergebnissen der Grounded-Theory-Analyse und der Experteninterviews aus den Unterkapiteln 4.1 – 4.6. Auf die relevanten Unterkapitel wird jeweils verwiesen.

Die Verbindungen werden im Sinne einer Concept Map strukturiert entwickelt. Zwischen jeweils zwei Fundamentalen Ideen wird ihre Beziehung mit Hilfe von gerichteten Pfeilen dargestellt. Die Art der Verbindung/Beziehung wird am Relationspfeil vermerkt. So entsteht ein Netz zueinander positionierter Fundamentalener Ideen bzw. eine Art Landkarte (siehe Nückles et al. 2004, 15–20). Solche Concept Maps erlauben es, auch relativ komplexe Strukturen übersichtlich dazustellen (Nückles et al. 2004, 59–71). Die Beziehungen zwischen je zwei Fundamentalener Ideen sind aus Übersichtlichkeitsgründen von 1 bis 15 durchnummeriert (siehe Abbildung 14). Dieselbe Nummerierung wird im Text verwendet.

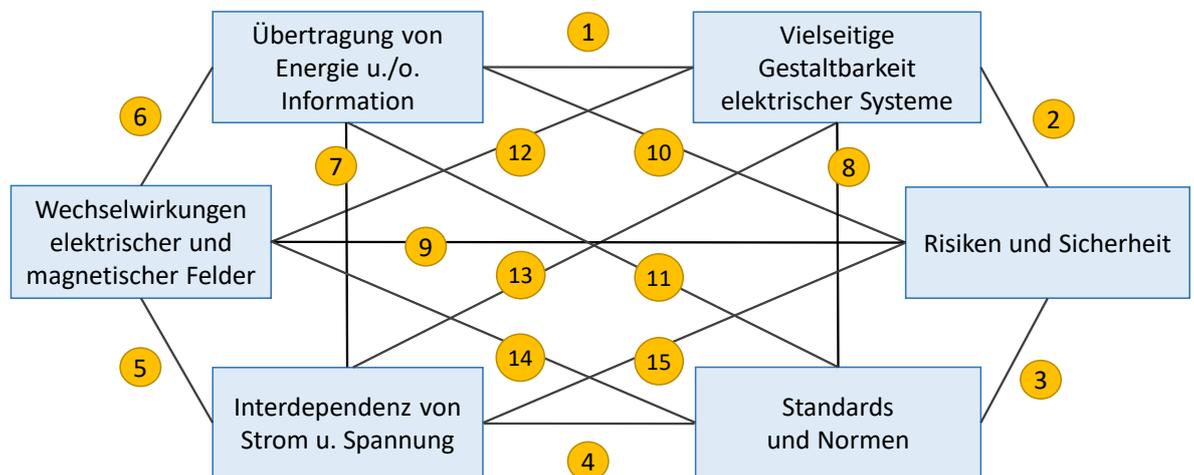


Abbildung 14: Übersicht der Beziehungen zwischen den Fundamentalener Ideen

Verbindungen der Ideen „Übertragung von Energie und/oder Information“ und „Vielseitige Gestaltbarkeit elektrischer Systeme“ (1)

In der Fundamentalen Idee „Übertragung von Energie und/oder Information“ findet sich die Zielstellung elektrischer Systeme. Es werden Anforderungen definiert, zu welchem Zweck und unter welchen Rahmenbedingungen (z.B. bestehende Installation, Höhe und zeitlicher Umfang der Leistungsanforderungen, Umgebungsbedingungen) Energie oder Informationen übertragen werden sollen (siehe Unterkap. 4.1). Damit wird ein Möglichkeitsraum aufgespannt, wie elektrotechnische Fachkräfte diese Anforderungen realisieren können, z.B. bei Neuinstallationen, Reparaturen oder Ertüchtigungen elektrischer Systeme. Dieser Möglichkeitsraum wird durch die „Vielseitige Gestaltbarkeit elektrischer Systeme“ gefüllt (siehe Unterkap. 4.2). Es können verschiedene Realisierungsoptionen entwickelt werden, die den Anforderungen genügen, z.B. was den Aufbau der Installation/Anlage oder die Verwendung eines bestimmten Motors oder bestimmter Datenleitungen angeht. Um geeignete Optionen zu finden und abzuwägen, kann das dreischrittige Modell aus Bereitstellung, Übertragung und Verbrauch/Empfang unterstützen (siehe Unterkapitel 4.1). Diese Optionen können danach bewertet werden, ob die Übertragung in der gewünschten oder erforderlichen Güte umgesetzt werden kann. In Abbildung 15 sind die Verbindungen zusammengefasst.

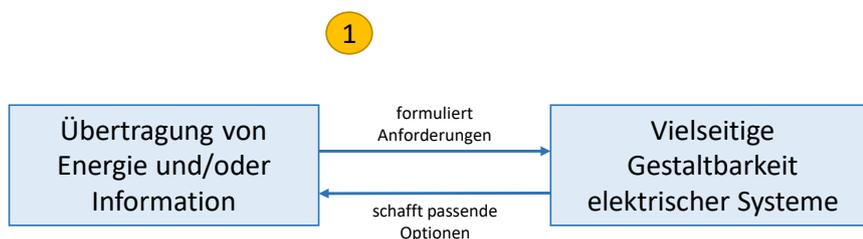


Abbildung 15: Beziehung zwischen *Übertragung von Energie/Information* und *Vielseitiger Gestaltbarkeit*

Die Verbindung dieser beiden Fundamentalen Ideen macht sichtbar, wie die verschiedenen Wandlungs-, Übertragungs- und Verteilungsmöglichkeiten elektrischer Energie und die vielfältigen technischen Realisierungen zusammen die Umsetzung unterschiedlichster Anforderungen an elektrische Systeme ermöglichen. Dies schafft eine übergeordnete Perspektive für das berufliche Handeln von Fachkräften, die den gesellschaftlichen Nutzen technischer Systeme in den Mittelpunkt rückt. Unterschiedliche Realisierungsoptionen machen es möglich, auch nicht-technische Überlegungen wie gesellschaftliche Akzeptanz, Nachhaltigkeit oder Wirtschaftlichkeit bei der Abwägung der Optionen einzubeziehen (z.B. bei der Auswahl der Materialien und Bauteile oder der zukunftsorientierten Auslegung einer Anlage bzw. Installation).

Verbindungen der Ideen „Vielseitige Gestaltbarkeit elektrischer Systeme“ und „Risiken und Sicherheit“ (2)

Das Herstellen von Sicherheit stellt eine Grundvoraussetzung für den Betrieb jedes Systems dar, um das elektrische Energie immanente Risiko- und Schadenspotenzial zu kontrollieren (siehe Unterkap. 4.5). Nur wenn für das System selbst sowie für seine Nutzer, Errichter und das Elektrizitätsnetz ein sicherer und zuverlässiger Betrieb gewährleistet werden kann, bewährt sich eine mögliche Gestaltungsoption für eine konkrete Anforderung in der beruflichen Praxis. Sicheres Installieren, Betreiben, Warten oder Instandhalten auf allen in Abschnitt 4.5.1 benannten Ebenen von Sicherheit stellt eine notwendige Nebenbedingung für die Gestaltung elektrischer Systeme dar, die in gesetzlichen Rahmenbedingungen, Normen oder anderen Standards definiert ist (siehe dazu die Fundamentale Idee „Standards und Normen“ in Unterkap. 4.6). Fachkräfte in den Elektroberufen beziehen die Anforderungen an Sicherheit mit ein, wenn sie mögliche Gestaltungsoptionen für ein elektrisches System entwickeln (siehe Unterkap. 4.2). Der Lösungsraum für mögliche konkrete Realisierungen wird z.B. durch definierte Abstände und Grenzwerte, aber auch durch die Unverwechselbarkeit von Betriebsmitteln begrenzt (verschiedene Beispiele siehe Tabelle in Abschnitt 4.5.1). Zugleich lässt sich die Idee der vielseitigen Gestaltbarkeit selbst als ein mögliches Anwendungsgebiet für das Kontrollieren von Risiken und das Herstellen von Sicherheit anwenden. Für die Absicherung eines elektrischen Systems können oftmals verschiedene Ansätze, Maßnahmen und Bauteile aus dem Bereich der Schutztechnik sowie organisatorische Maßnahmen und Verhaltensvorgaben genutzt und kombiniert werden, um den Anforderungen an Sicherheit und Verlässlichkeit zu genügen (siehe Abschnitt 4.5.1). Abbildung 16 fasst die Beziehung zusammen.

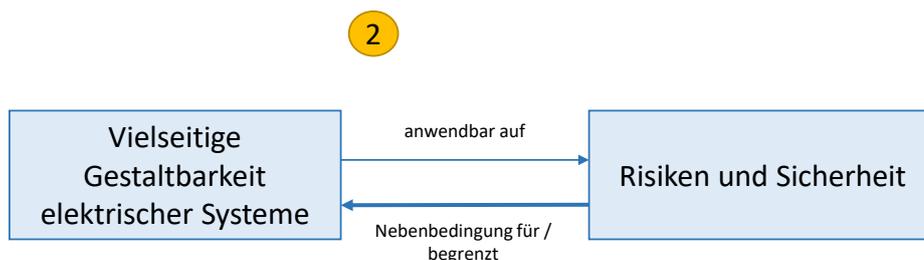


Abbildung 16: Beziehung zwischen *Vielseitiger Gestaltbarkeit* und *Risiken und Sicherheit*

Die Verknüpfung der beiden Fundamentalen Ideen „Vielseitige Gestaltbarkeit elektrischer Systeme“ und „Risiken und Sicherheit“ sorgt insgesamt dafür, dass die konkreten Realisierungen der elektrischen Systeme sicher und zuverlässig errichtet, betrieben und gewartet werden können. Erst damit werden sie praxistauglich für die unterschiedlichen Zwecke und Einsatzgebiete, in denen sie benötigt werden.

Verbindungen der Ideen „Risiken und Sicherheit“ und „Standards und Normen“ (3)

Die beiden Fundamentalen Ideen „Risiken und Sicherheit“ und „Standards und Normen“ sind eng miteinander verbunden. Dies wird daran erkennbar, dass eine Vielzahl von Anforderungen an Sicherheit und Verlässlichkeit elektrischer Systeme sowie ein Großteil der möglichen und verpflichtenden Maßnahmen, um diese zu erreichen, in gesetzlichen Regelungen, Normen und Standards festgelegt sind, z.B. für den Niederspannungsbereich in der umfassenden Normengruppe DIN VDE 0100 (siehe Unterkap. 4.6). Das Herstellen von Sicherheit definiert den Zweck, die Standards und Normen stellen das formale Mittel zu seiner Erreichung dar. In den Standards werden oft *verbindliche* Sicherheitsvorgaben, teils aber auch *empfohlene* Schutzmaßnahmen festgelegt. Indem sie Standards und Normen in ihrem beruflichen Handeln einhalten, sorgen elektrotechnische Fachkräfte für ein sicheres Arbeiten und sichere elektrische Systeme auf den verschiedenen, in Abschnitt 4.5.1 benannten Ebenen – wenngleich der Standard hier das formale Vehikel ist und die Sicherheit eigentlich durch das physikalisch-technische Steuern von elektrischen Risiken hergestellt wird (siehe Unterkap. 4.5). Durch das Einhalten bestehender Standards und Normen kann die Herstellung von Sicherheit zudem dokumentiert und nachgewiesen werden. Abbildung 17 fasst die Verbindungen zusammen.

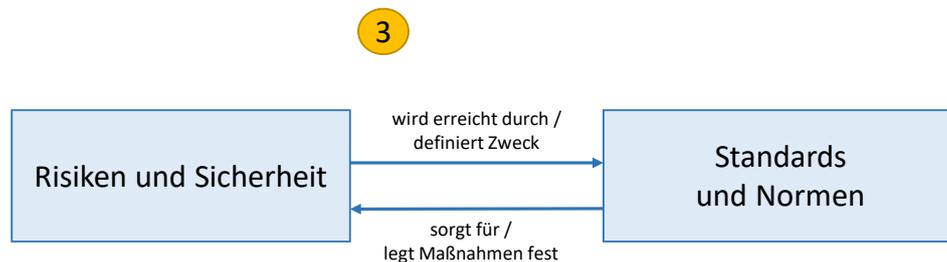


Abbildung 17: Beziehung zwischen *Risiken und Sicherheit* und *Standards und Normen*

Diese beiden Fundamentalen Ideen haben eine große Schnittmenge. Sehr viele für die Elektrotechnik bedeutsame Standards dienen vor allem oder ausschließlich dazu, elektrische Systeme sicher zu errichten und zu betreiben. Andersherum sind Maßnahmen, die dazu dienen, Sicherheit und Verlässlichkeit herzustellen, sehr häufig in irgendeiner Weise in Standards gefasst. Deckungsgleich sind die beiden Ideen jedoch auch nicht: Es gibt Standards und Normen, die anderen Zwecken als der Sicherheit dienen (z.B. Schnittstellenstandards oder normierte Motorklassen), und das Kontrollieren von Risiken bzw. das Herstellen von Sicherheit ist zunächst einmal eine unabhängige fachliche Anforderung an elektrische Systeme, die auch ohne Kenntnis von Standards besteht. Beide Ideen umfassen Nebenbedingungen oder auch Basisanforderungen für alle Arbeiten an elektrotechnischen Systemen, wie sie Fachkräfte ausführen.

Verbindungen der Ideen „Standards und Normen“ und „Interdependenz von Strom und Spannung“ (4) bzw. „Wechselwirkungen elektrischer und magnetischer Felder“ (14)

Die „Interdependenz von Strom und Spannung“ (siehe Unterkap. 4.3) sowie die „Wechselwirkungen elektrischer und magnetischer Felder“ (siehe Unterkap. 4.4) bilden inhaltlich unterschiedliche Fundamentale Ideen ab. Ihre jeweiligen Beziehungen zur Fundamentalen Idee „Standards und Normen“ (siehe Unterkap. 4.6) sind jedoch strukturell gleich. Die Ähnlichkeit des Zusammenhangs liegt darin begründet, dass beide erstgenannten Ideen physikalische Grundlagen und deren technische Anwendung für die berufliche Fachrichtung Elektrotechnik umfassen. Ihre Verbindungen zur Fundamentalen Idee „Standards und Normen“ werden deshalb an dieser Stelle gemeinsam beschrieben. Dieses Vorgehen wird im Folgenden auch bei weiteren Ideenpaaren genutzt.

Aus den beiden Fundamentalen Ideen „Interdependenz von Strom und Spannung“ und „Wechselwirkungen elektrischer und magnetischer Felder“ entstehen die technischen Möglichkeiten, wie eine Anlage/ein Gerät installiert, in Betrieb genommen, gewartet, repariert oder erweitert werden kann. Aus technischer Perspektive können zur Umsetzung einer definierten Anforderung verschiedene Varianten möglich sein (siehe Validierung des Zeitkriteriums in den Abschnitten 4.4.2 und 4.6.2, aber auch 4.1.2). Es kann jedoch sein, dass nicht alle Varianten auch praktisch umsetzbar sind, weil geltende Standards bestimmte Varianten nicht erlauben (z.B. bzgl. Netzstabilität, Spannungsschwankungen, Störstrahlung oder Grenzwerten). Das Einhalten von Standards reglementiert oder limitiert somit die technischen Möglichkeiten und steckt den Rahmen für das berufliche Handeln der elektrotechnischen Fachkräfte ab.

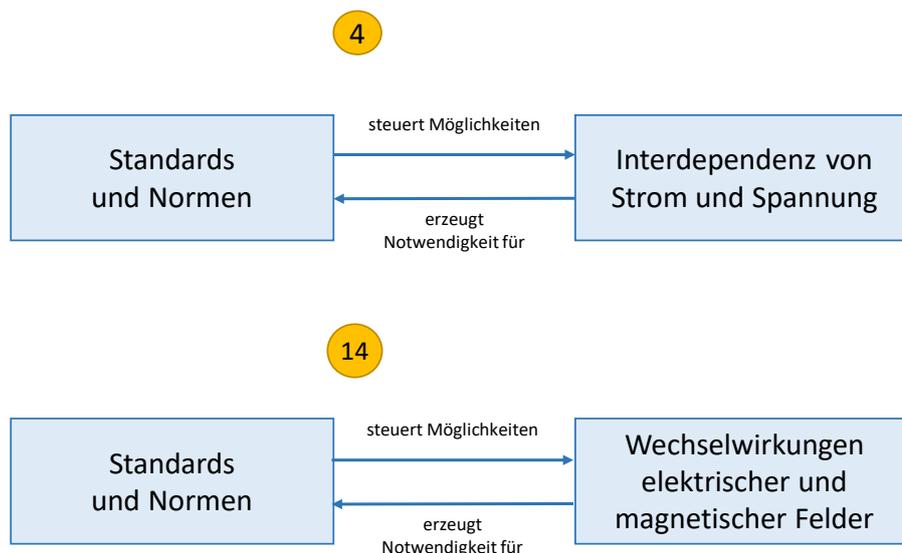


Abbildung 18: Beziehung zwischen *Standards und Normen* und *Interdependenz von Strom und Spannung* (4) bzw. *Wechselwirkungen elektrischer und magnetischer Felder* (14)

In den Normen oder rechtlichen Regelungen sind oftmals technische Installations-, Handlungs- oder Prüfvorgaben (z.B. als Mindestleiterquerschnitte, Abschaltzeiten, Bemessungsströme und -spannungen) festgelegt (siehe Tabelle in Abschnitt 4.6.1). Der Zusammenhang zu den physikalischen Grundlagen entsteht deshalb eher indirekt bzw. vermittelt über die konkreten technischen Vorgaben für elektrische Systeme. Zusammenfassend lässt sich der Zusammenhang der Ideen so beschreiben, dass durch das Einhalten(müssen) von Standards und Normen die technische Nutzbarkeit der „Wechselwirkungen elektrischer und magnetischer Felder“ und der „Interdependenz von Strom und Spannung“ beeinflusst wird (siehe Abbildung 18).

Verbindungen der Ideen „Interdependenz von Strom und Spannung“ und „Wechselwirkungen elektrischer und magnetischer Felder“ (5)

Die beiden Fundamentalen Ideen „Interdependenz von Strom und Spannung“ (siehe Unterkap. 4.3) und „Wechselwirkungen elektrischer und magnetischer Felder“ (siehe Unterkap. 4.4) sind physikalisch – und mathematisch – miteinander verknüpft. Elektrische Ladungen und sich ändernde Ströme erzeugen elektrische bzw. magnetische Felder und Felder haben wiederum Wirkungen auf Ladungen und Ladungsflüsse.

Eine feldbezogene Perspektive auf elektrische Systeme tritt bei Wechselgrößen zusätzlich zu der Betrachtung von Ladungsflüssen hinzu, wo eine Beschreibung der auftretenden Phänomene allein über Strom und Spannung an ihre Grenzen kommt. Für die Gestaltung von Energie- und Informationsübertragungsprozessen ergeben sich daraus viele weitere Optionen. Z.B. ist eine Anpassung/Steuerung von Strömen und Spannungen durch Felder auch bei galvanischer Trennung oder durch den Einsatz von Spulen und Kondensatoren als Wechselstromwiderstände möglich. Durch die elektrotechnische Nutzung der Kraftwirkungen elektrischer und magnetischer Felder können technische Prozesse (wie z.B. die Energieübertragung in elektrischen Maschinen oder per Hochspannung über weite Distanzen oder Produktionsschritte wie das Lackieren von Bauteilen) verbessert oder Bauteile/Geräte mit spezifischen Zwecken und Vorteilen entwickelt werden (z.B. verschleißfreie elektromagnetische Schalter oder komfortable indirekte Messgeräte für Ströme) (siehe Tabellen in den Abschnitten 4.3.1 und 4.4.1).

In beruflich relevanten Teilbereichen wie der Energietechnik oder der Messtechnik sind bei Fragestellungen in der Praxis oftmals beide Fundamentale Ideen „Interdependenz von Strom und Spannung“ und „Wechselwirkungen elektrischer und magnetischer Felder“ wichtig, um Phänomene vollständig zu verstehen.

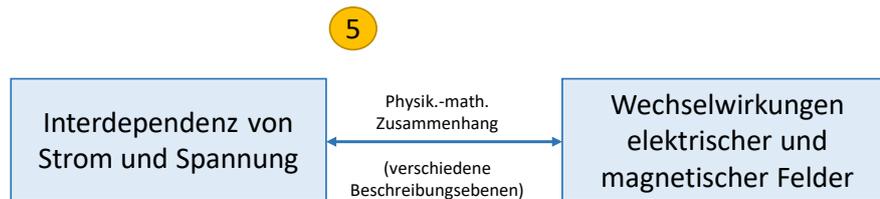


Abbildung 19: Beziehung zwischen *Interdependenz von Strom und Spannung* und *Wechselwirkungen elektrischer und magnetischer Felder* (5)

Verbindungen der Ideen „Übertragung von Energie und/oder Information“ und „Wechselwirkungen elektrischer und magnetischer Felder“ (6) bzw. „Interdependenz von Strom und Spannung“ (7)

Wie oben bei den Verbindungen (4)/(14) beschrieben, haben die beiden Fundamentalen Ideen „Wechselwirkungen elektrischer und magnetischer Felder“ (siehe Unterkap. 4.4) sowie „Interdependenz von Strom und Spannung“ (siehe Unterkap. 4.3) durch ihre physikalisch-technisch Ausrichtung strukturell gleiche Beziehungen zu den anderen Ideen. Deshalb erfolgt auch hier eine gemeinsame Darstellung.

Die fundamentale Idee „Übertragung von Energie und/oder Information“ beschäftigt sich mit dem grundlegenden Zweck elektrischer Systeme, Energie oder Information zu übertragen, um eine technische, kommunikative oder gesellschaftliche Funktion zu erfüllen. Eine Formulierung dieser Anforderungen bildet die Ausgangssituation für nachfolgende Überlegungen, wie ihre konkrete technische Realisierung erfolgen soll. Für die physikalisch-technische Umsetzung der Übertragungsanforderungen werden Konzepte, Wirkungsweisen, Prinzipien und Inhalte aus dem Geltungsbereich der fundamentalen Ideen „Wechselwirkungen elektrischer und magnetischer Felder“ und „Interdependenz von Strom und Spannung“ genutzt (z.B. elektromagnetische Induktion als Grundlage der Wechselstromtechnik, Kraftwirkungen der Felder auf Ladungen oder die gezielte Steuerung von Ladungsflüssen).

Mit Hilfe dieser Konzepte und Prinzipien werden die Übertragungsprozesse in den beruflichen Handlungsfeldern von elektrotechnischen Fachkräften ausgestaltet (z.B. in der Energietechnik oder der Installationstechnik). Mit ihnen kann auch die Qualität der Übertragungsprozesse beeinflusst werden, um einen möglichst hohen Wirkungsgrad zu erreichen (z.B. verschiedene Konstruktionsarten elektrischer Maschinen, Reduktion von Wirbelströmen oder Störfeldern, Nutzung optimaler Spannungshöhen für die Fernübertragung elektrischer Energie). Sie dienen somit einem fachlichen Ziel, welches durch die fundamentale Idee der Übertragung definiert wird.

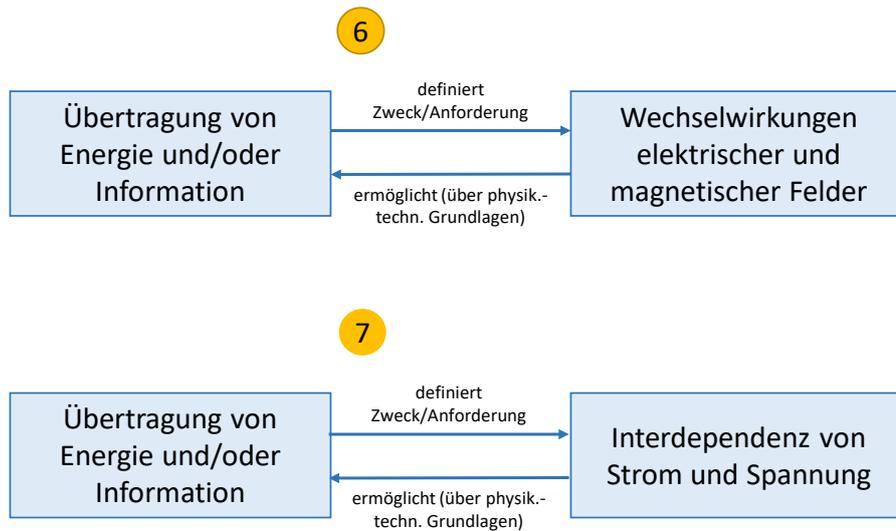


Abbildung 20: Beziehung zwischen *Übertragung von Energie/Information* und *Wechselwirkungen elektrischer und magnetischer Felder* (6) bzw. *Interdependenz von Strom und Spannung* (7)

Zusammengefasst lässt sich die Beziehung zwischen den betrachteten Fundamentalen Ideen als ein Wechselspiel zwischen Anforderungen und technischer Realisierung beschreiben (siehe Abbildung 20). Die „Wechselwirkungen elektrischer und magnetischer Felder“ und die „Interdependenz von Strom und Spannung“ ermöglichen prinzipiell die Übertragung von Energie und/oder Informationen und sie haben zudem Einfluss auf die Güte der Zielerreichung.

Verbindungen der Ideen „Übertragung von Energie und/oder Information“ und „Interdependenz von Strom und Spannung“ (7)

(bereits gemeinsam mit der Beziehung 6 behandelt, siehe dort)

Verbindungen der Ideen „Vielseitige Gestaltbarkeit elektrischer Systeme“ und „Standards und Normen“ (8)

Bestehende Standards und ihre Einhaltung haben Effekte auf die Gestaltungsmöglichkeiten elektrischer Systeme und Anlagen und nehmen in der beruflichen Praxis elektrotechnischer Fachkräfte starken Einfluss. Andersherum sind auf der Ebene der Elektroberufe nur schwache Wirkungen der vielseitigen Gestaltbarkeit auf die Standards und ihre Einhaltung zu erkennen. Im Detail lassen sich folgende Wirkungen beschreiben:

Normen und andere Standards schränken einerseits durch Vorgaben die Gestaltungsmöglichkeiten ein. Bestimmte technische Realisierungen lassen sie zu, andere sind nicht erlaubt bzw. werden durch Standards beschränkt (siehe Unterkap. 4.6, Beispiele aus den

Daten dafür finden sich im zweiten Block der Tabelle in Abschnitt 4.6.1). Dies stellt eine Begrenzung der Gestaltbarkeit dar. Technisch gibt es ggf. weitere Gestaltungsoptionen für eine Anforderung, die unter Einhaltung geltender Standards jedoch nicht umgesetzt werden können bzw. dürfen. Bestehende Standards und Normen bilden insofern einen Rahmen für das berufliche Handeln, wie einer der interviewten Fachexperten betont (siehe S. 186). Andererseits definieren Standards auch Handlungsspielräume für die Fachkräfte, indem sie Berechenbarkeit schaffen. Sie ermöglichen ihnen, Konstruktionsentscheidungen zu treffen, weil klar festgelegt ist, wie bestimmte Installationen oder Betriebsmittel aufgebaut und bestimmte Schnittstellen gestaltet sind, eben weil sie genormt sind (z.B. Klassen oder Anschlüsse von Motoren oder Installationszonen in Gebäuden). Dadurch wird sichergestellt, dass die Schnittstellen zwischen elektrischen Systemen kompatibel und aufeinander abgestimmt sind, wenn elektrotechnische Fachkräfte die Systeme weiterentwickeln oder warten. Aus der Perspektive der vielseitigen Gestaltbarkeit zeigt sich eine Wirkung in Richtung der Standardisierung vor allem bei neuen Technologien: Wenn es für neue, zunächst wenig etablierte Technologien noch keine festgelegten Standards gibt, entstehen oft parallel verschiedene technische Realisierungen und werden in der Praxis auch eingesetzt, z.B. bei Kommunikationsprotokollen in vernetzten Produktionssystemen (siehe Unterkap. 4.2, Beispiele beim Zeitkriterium in Abschnitt 4.2.2). Im Laufe der Zeit stellt sich z.B. durch die Kundennachfrage heraus, welche der Realisierungen sich durchsetzen und sich ggf. zu neuen Standards entwickeln (siehe Beispiele beim Zeitkriterium in Abschnitt 4.6.2). Auch wenn Fachkräfte in den Elektroberufen i.d.R. nicht an Standardisierungsprozessen mitwirken, tragen sie implizit trotzdem zu diesen bei, z.B. indem sie bestimmte technologische Varianten in ihrer beruflichen Praxis verstärkt einsetzen und sie Kunden aus bestimmten Gründen empfehlen.

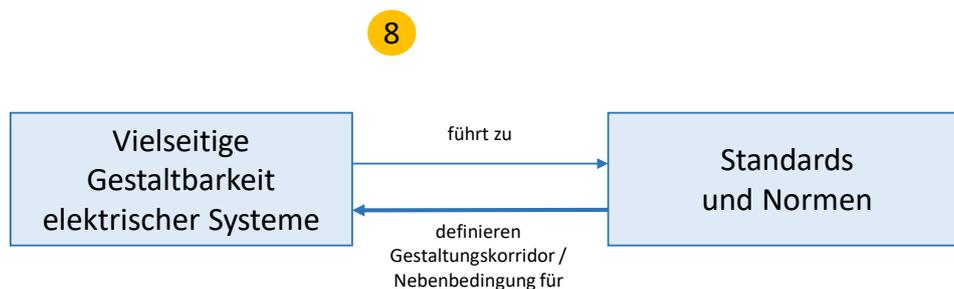


Abbildung 21: Beziehung zwischen *Vielseitiger Gestaltbarkeit* und *Standards und Normen*

Wirken die beiden Fundamentalen Ideen „Vielseitige Gestaltbarkeit elektrischer Systeme“ und „Standards und Normen“ also zunächst wie ein Gegenspielerpaar, stellt sich ihr Verhältnis zueinander insbesondere aus der Perspektive der elektrotechnischen Fachkräfte eher als ein produktives Wechselspiel dar. Bestehende Standards und Normen sorgen dafür, dass die vielfältigen Gestaltungsmöglichkeiten in Bezug auf verschiedene Anforderungen ausbalanciert werden. Diese Anforderungen, z.B. an Sicherheit, fachliche Qualität,

Wirtschaftlichkeit oder Zukunftsfähigkeit, werden über das Einhalten der Standards vermittelt.

Verbindungen der Ideen „Risiken und Sicherheit“ und „Wechselwirkungen elektrischer und magnetischer Felder“ (9) bzw. „Interdependenz von Strom und Spannung“ (15)

Wie oben bei den Verbindungen (4)/(14) beschrieben, haben die beiden Fundamentalen Ideen „Wechselwirkungen elektrischer und magnetischer Felder“ (siehe Unterkap. 4.4) sowie „Interdependenz von Strom und Spannung“ (siehe Unterkap. 4.3) durch ihre physikalisch-technisch Ausrichtung strukturell gleiche Beziehungen zu den anderen Ideen. Deshalb erfolgt auch hier eine gemeinsame Darstellung.

Physikalisch entstehen die Risiken und Gefahren elektrischer Energie durch Phänomene, die sich der „Interdependenz von Strom und Spannung“ oder „Wechselwirkungen elektrischer und magnetischer Felder“ zuordnen lassen. Z.B. kann sich der Widerstand eines Systems oder eines Teils davon durch eine feuchte Umgebung oder einen Kurzschluss in beschädigten Bauteile plötzlich sprunghaft verändern. Ströme erwärmen Leitungen oder elektrische Maschinen, was bei einer falschen Dimensionierung zu Brandgefahr führen kann. Zu große Feldstärken können zu Funkenschlägen oder Funkentladungen führen. Dabei auftretende hohe Stromstärken und Störstrahlung gefährden Menschen und Geräte (siehe Abschnitt 4.5.1). Netzteile z.B. von Bürotechnik oder Leuchtstoffröhren erzeugen Oberschwingungen und führen zu Verzerrungsblindleistungen, die das Versorgungsnetz belasten können. Im Regelbetrieb elektrischer Systeme sowie bei Fehlfunktionen können also Überströme, Überspannungen, (zu) große Feldstärken oder entsprechenden Störgrößen wie Störströme, Störspannungen und Störfelder entstehen (siehe Abschnitte 4.3.1 und 4.4.1). Die physikalischen und technischen Grundlagen der beiden Fundamentalen Ideen helfen dabei zu verstehen, an welchen Stellen und über welche Mechanismen elektrische Risiken und Gefahren auftreten und infolgedessen die Anforderung entsteht, Sicherheit herzustellen.

Dieselben physikalischen und technischen Grundlagen tragen andersherum auch dazu bei, geeignete Schutz- und Sicherungsmaßnahmen zu entwickeln und die Risiken und Gefahren damit auszuschalten oder zu beherrschen. Diese Maßnahmen können den Bereich der Schutztechnik betreffen, genauso aber Verhaltensvorgaben oder das Festlegen von Mindestabständen und Grenzwerten. Einige Beispiele für sicherheitsbezogene Maßnahmen, die auf den beiden Fundamentalen Ideen „Wechselwirkungen elektrischer und magnetischer Felder“ bzw. „Interdependenz von Strom und Spannung“ basieren, sind persönliche Schutzausrüstung, unterschiedliche Vorgaben für Leiterquerschnitte bei Materialien mit verschiedenen spezifischen Widerständen, die galvanische Trennung von Stromkreisen mittels Transformatoren, Potenzialausgleich, die Nutzung eines Summenstromwandlers in

Fehlerstrom-Schutzschaltern oder die elektrische Abschirmung von empfindlichen Geräten durch faradaysche Käfige über die Gerätegehäuse (siehe Abschnitt 4.5.1).

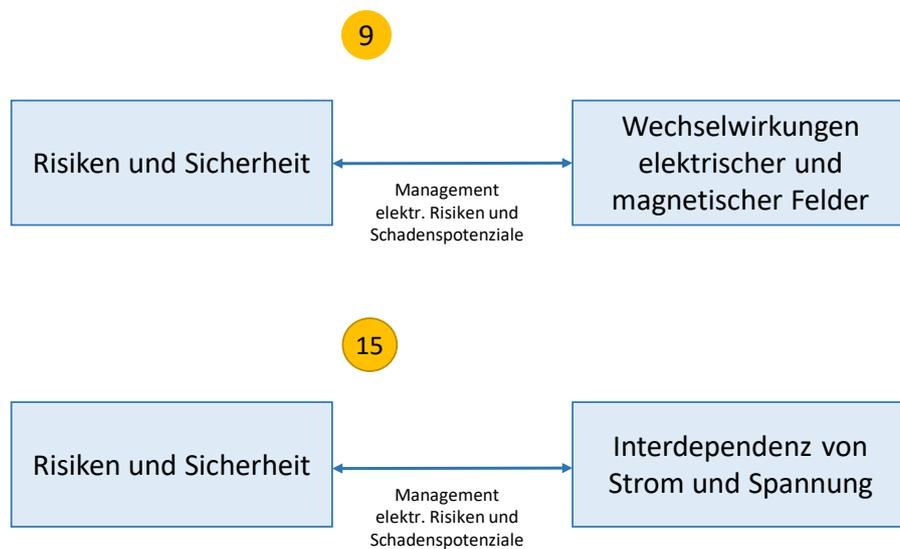


Abbildung 22: Beziehung zwischen *Risiken und Sicherheit* und *Wechselwirkungen elektrischer und magnetischer Felder* (9) bzw. *Interdependenz von Strom und Spannung* (15)

Die wechselseitige Beziehung der Fundamentalen Idee „Risiken und Sicherheit“ zu den Fundamentalen Ideen "Wechselwirkungen elektrischer und magnetischer Felder" bzw. „Interdependenz von Strom und Spannung“ lässt sich insgesamt als Risikomanagement charakterisieren (siehe Abbildung 22). In der Verknüpfung können Risiken und Schadenspotenziale elektrischer Energie besser verstanden werden. Sicherheitserfordernisse werden deutlich. Ansatzpunkte für geeignete Sicherheitsmaßnahmen können bestimmt und physikalisch begründet werden. Die beiden physikalisch-technischen Fundamentalen Ideen können genutzt werden, um Sicherheit (wieder)herzustellen.

Verbindungen der Ideen „Übertragung von Energie und/oder Information“ und „Risiken und Sicherheit“ (10)

Die Übertragung von Energie und/oder Information mit Hilfe elektrischer Systeme ist eng verbunden mit einigen Aspekten der Fundamentalen Idee „Risiken und Sicherheit“. So haben Anlagensicherheit, Betriebssicherheit (inkl. Ausfallsicherheit), Versorgungssicherheit (als Teil von Netzstabilität, z.B. in Rechenzentren oder OPs) und Datensicherheit einen direkten Einfluss darauf, mit welcher Güte und Qualität die Übertragungsprozesse erfolgen (siehe Unterkap. 4.1). Anlagen- und Betriebssicherheit sowie Netzsicherheit stellen notwendige Anforderungen an ein elektrisches System dar, da bei Nichtbeachtung z.B. der Wirkungsgrad sinken kann oder Bauteile bzw. die Anlage/Installation selbst Schaden nehmen und ggf. ihre technische Funktion nicht mehr (zuverlässig) erfüllen können.

Risiken und Schadenspotenziale entstehen, wenn elektrische Systeme nicht wie vorgesehen Energie oder Informationen übertragen, sondern beispielsweise zu viel oder zu wenig Energie übertragen wird (oder über nicht vorgesehene Wege) oder die Übertragung unzureichend stabilisiert ist (Spannungsunterbrechungen). Auch die Informationsübertragung kann gestört sein, z.B. durch Störfelder oder weil die Frequenzen nicht ausreichend gefiltert werden (siehe Unterkap. 4.5). Um diese Risiken und Schadenspotenziale zu kontrollieren bzw. zu begrenzen, ohne die eigentliche Übertragungsfunktion des Systems zu behindern, werden geeignete Schutzmaßnahmen eingesetzt, die sich der Fundamentalen Idee „Risiken und Sicherheit“ zuordnen lassen (siehe Tabelle in Abschnitt 4.5.1). Beispielsweise können Geräte für die sichere Nutzung von Spielzeug oder medizinischen Geräten über Transformatoren vom Niederspannungsnetz getrennt betrieben werden. Die gewählten Schutzmaßnahmen tragen also maßgeblich dazu bei, die Qualität der Übertragungsprozesse zu gewährleisten³⁰.

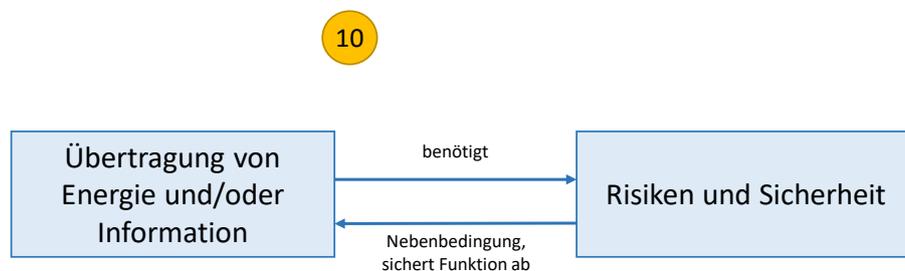


Abbildung 23: Beziehung zwischen *Übertragung von Energie/Information* und *Risiken und Sicherheit*

Das Kontrollieren von Risiken und Herstellen von Sicherheit formuliert eine nicht-funktionale Anforderung bzw. Nebenbedingung für die Fundamentale Idee „Übertragung von Energie und/oder Information“, der alle elektrischen Geräte, Anwendungen und Installationen genügen müssen. Dies gilt auch für Arbeits- und Benutzersicherheit als weitere Aspekte von Sicherheit. Diese sind zwar nicht unmittelbar technisch begründet, aber ebenfalls unabdingbar dafür, ein System produktiv einzusetzen (siehe Abbildung 23).

³⁰ In einem der Experteninterviews wird darauf hingewiesen, dass die im Rahmen der Fundamentalen Idee „Risiken und Sicherheit“ zusammengetragenen Befunde für Ansatzpunkte und Maßnahmenbündel enthalten, die die Schadenspotenziale der Energieübertragung deutlich stärker adressieren als die der Informationsübertragung (z.B. Verhaltensvorschriften wie die 5 Sicherheitsregeln oder für Arbeiten an Hochspannungssystemen, Schutztechnik, Unverwechselbarkeit von Bauteilen, aber auch EMV-Grenzwerte, vorgeschriebene Abstände oder Abschirmung). Dies lässt sich zum einen damit erklären, dass physische Risiken und Gefahren für Menschen, aber auch für die Zerstörung von Bauteilen oder Anlagen sich vor allem aus der Energieübertragung ergeben. Hinzu kommt, dass viele Aspekte der Datensicherheit (z.B. Verschlüsselung), -integrität und der Absicherung von elektronischen Kommunikationssystemen fachlich eher der Informationstechnik/Informatik zugeordnet werden und deshalb in den analysierten Lehrwerken nicht bzw. nur am Rande auftauchen.

Verbindungen der Ideen „Übertragung von Energie und/oder Information“ und „Standards und Normen“ (11)

Mit Blick auf das allgemeine Übertragungsmodell aus Abschnitt 4.1.1 findet sich für alle drei Elemente „Bereitstellung“, „Übertragung“ und „Verbraucher/Empfänger“ eine Vielzahl an Standards und Normen, die im beruflichen Handeln von elektrotechnischen Fachkräften relevant sind (z.B. für die Leistungseinspeisung von Windenergieanlagen ins Netz, einzusetzende Leitungsquerschnitte oder für Maßnahmen zum Basis- und Fehlerschutz an elektrischen Geräten). Die einzuhaltenden Standards stellen eine Nebenbedingung dar, die von den Fachkräften berücksichtigt werden muss, wenn sie an einem elektrischen System arbeiten.

Der Zweck eines elektrischen Systems wird über die Anforderungen an die Übertragung von Energie und/oder Information definiert (siehe Unterkap. 4.1). Beim Erreichen dieser Anforderungen unterstützt das Einhalten von Standards und Normen durch die verschiedenen Funktionen, die Standards im technischen Betrieb erfüllen (siehe Unterkap. 4.6): Sie fördern Sicherheit (z.B. durch Prüfzeichen), was wichtig ist, weil viele der energie- oder informationsübertragenden Systeme sich an Laien richten und regelmäßig von diesen genutzt werden. Sie legen Qualitätsbedingungen für die Übertragung von Energie und/oder Information fest (z.B. über unterschiedliche Performance-Levels oder die Anzahl an Stromkreisen, die in einem Wohngebäude vorzusehen sind), wodurch späteren Konflikten bzgl. der Güte des Systems vorgebeugt wird, und sie erleichtern den Fachkräften und Betrieben eine möglichst wirtschaftliche Gestaltung der Übertragungsprozesse (z.B. über Mengenvorteile durch standardisierte Betriebsmittel oder den Aufbau größerer Versorgungsinfrastrukturen, wie er in den Abschnitten 4.1.2 und 4.6.2 bei der Validierung des Zeitkriteriums beschrieben wurde).

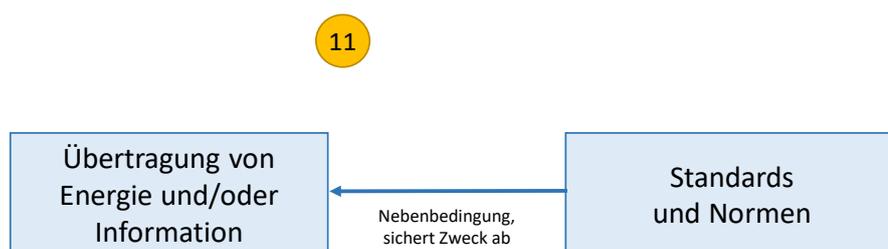


Abbildung 24: Beziehung zwischen *Übertragung von Energie/Information* und *Standards und Normen*

Das Einhalten von Standards und Normen sorgt als Nebenbedingung dafür, dass Spielräume für die technische Ausgestaltung von Übertragungsprozessen in realen elektrischen Systemen begrenzt bzw. klar definiert werden (siehe Abbildung 24). Diese Beziehung fokussiert die Umsetzung einer Übertragungsanforderung im beruflichen Handeln von elektrotechnischen Fachkräften.

Verbindungen der Ideen „Vielseitige Gestaltbarkeit elektrischer Systeme“ und „Wechselwirkungen elektrischer und magnetischer Felder“ (12) bzw. „Interdependenz von Strom und Spannung“ (13)

Wie oben bei den Verbindungen (4)/(14) beschrieben, haben die beiden Fundamentalen Ideen „Wechselwirkungen elektrischer und magnetischer Felder“ (siehe Unterkap. 4.4) sowie „Interdependenz von Strom und Spannung“ (siehe Unterkap. 4.3) strukturell gleiche Beziehungen zu den anderen Ideen. Deshalb erfolgt auch hier eine gemeinsame Darstellung.

Die physikalisch-technischen Grundlagen der beiden Fundamentalen Ideen „Wechselwirkungen elektrischer und magnetischer Felder“ bzw. „Interdependenz von Strom und Spannung“ sorgen dafür, dass Gestaltungsoptionen für elektrische Systeme entstehen (z.B. gezielte Steuerung von Strömen und Spannungen, effiziente Erzeugung starker magnetischer Felder, Spannungstransformation, technische Nutzung von Wirbelströmen, elektromagnetische Informationsübertragung; siehe Tabellen in den Abschnitten 4.2.1, 4.3.1 und 4.4.1). Dies gilt insgesamt für die historische Entwicklung der Elektrotechnik. Durch die Entdeckung elektrischer und magnetischer Felder wurde z.B. die Wechselstromtechnik möglich, drahtlose Übertragung mit elektromagnetischen Wellen hat neue Kommunikationsmöglichkeiten hervorgebracht, und Halbleiter haben die Möglichkeiten in der Schaltungstechnik stark erweitert. Auch auf der konkreten Arbeitsebene können elektrotechnische Fachkräfte für eine spezifische Aufgabe Gestaltungsentscheidungen für einzelne Bauelemente und für verschiedene Bauweisen und Dimensionierungen von Bauelementen/Betriebsmitteln treffen (siehe Unterkap. 4.2.1).

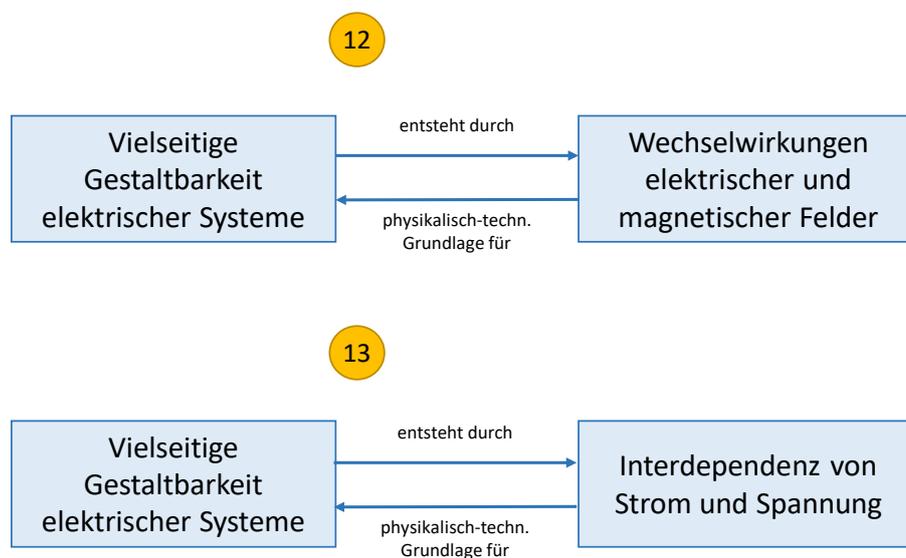


Abbildung 25: Beziehung zwischen *Vielseitiger Gestaltbarkeit* und *Wechselwirkungen elektrischer und magnetischer Felder* (12) bzw. *Interdependenz von Strom und Spannung* (13)

Die Beziehung der Fundamentalen Ideen lässt sich wie folgt zusammenfassen: Der universelle Einsatz elektrischer Systeme und ihre Gestaltungsoptionen, die durch die Fundamentale Idee der Vielseitigen Gestaltbarkeit beschrieben werden, entstehen aus den physikalisch-technischen Möglichkeiten, für die die beiden anderen Ideen die physikalisch-technische Basis schaffen (siehe Abbildung 25).

Verbindungen der Ideen „Vielseitige Gestaltbarkeit elektrischer Systeme“ und „Interdependenz von Strom und Spannung“ (13)

(bereits gemeinsam mit der Beziehung 12 behandelt, siehe dort)

Verbindungen der Ideen „Standards und Normen“ und „Wechselwirkungen elektrischer und magnetischer Felder“ (14)

(bereits gemeinsam mit der Beziehung 4 behandelt, siehe dort)

Verbindungen der Ideen „Risiken und Sicherheit“ und „Interdependenz von Strom und Spannung“ (15)

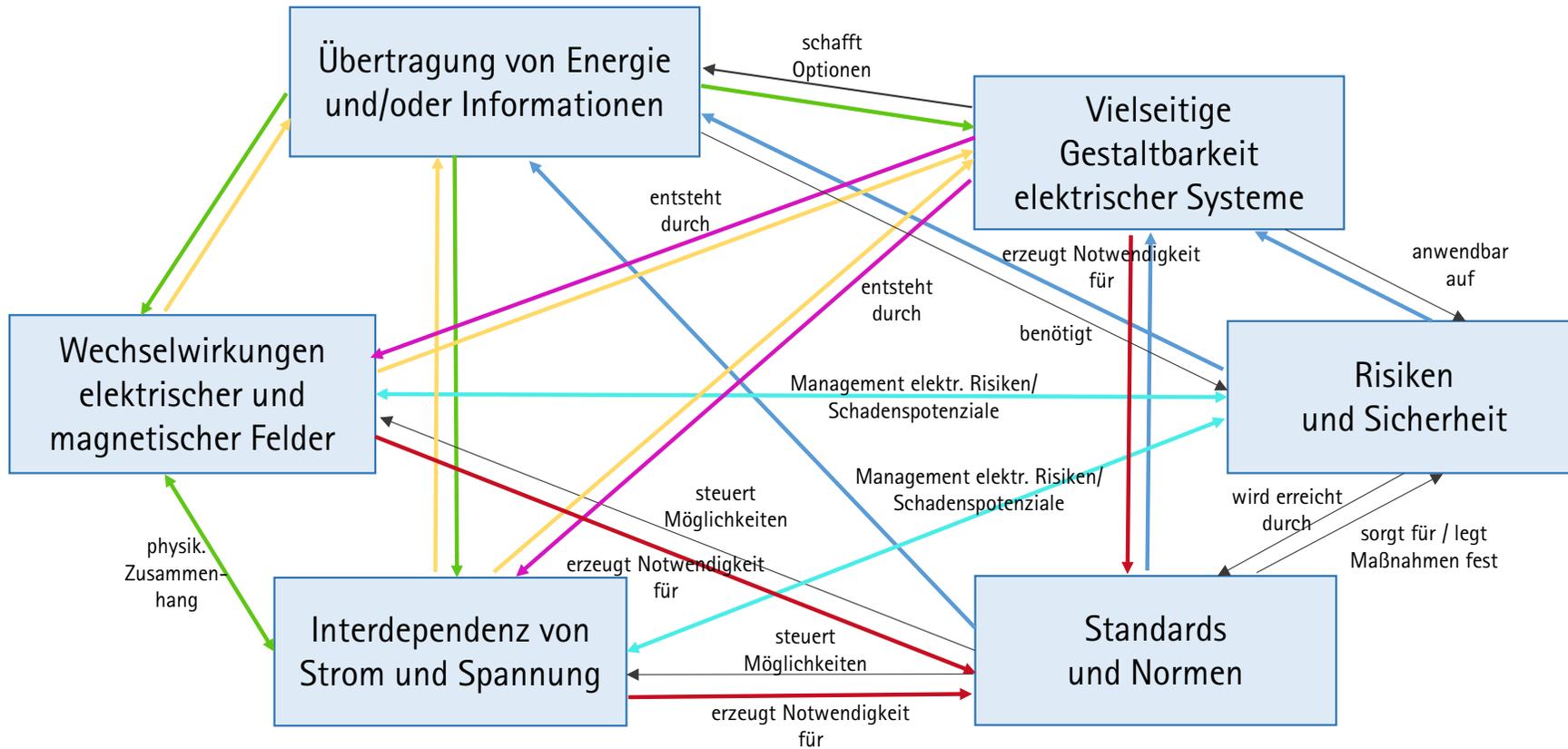
(bereits gemeinsam mit der Beziehung 9 behandelt, siehe dort)

4.7.2 Eine Concept Map der Fundamentalen Ideen

Alle beschriebenen Beziehungen zwischen den entwickelten Fundamentalen Ideen ergeben ein komplexes Geflecht aus Verbindungen, in dem jedoch Strukturen erkennbar sind (siehe Abbildung 26). Manche Arten von Beziehungen tauchen mehrmals auf und verbinden verschiedene Ideen auf eine ähnliche Weise miteinander. Diese gleichen Beziehungen sind in der Concept Map jeweils mit der gleichen Pfeilfarbe gekennzeichnet und können wie folgt charakterisiert werden:

- Die Beziehung „definiert Anforderung/Zweck“ (grüne Pfeile) verbindet die Fundamentale Idee „Übertragung von Energie und/oder Information“ mit anderen Fundamentalen Ideen. Die Anforderung bzw. der Zweck eines elektrischen Systems (= einer Anlage, einer Installation, eines Geräts, einer Schaltung) liegt auf einer übergeordneten Ebene. Es entsteht dadurch eine Hierarchie zwischen den durch diese Beziehung verbundenen Ideen sowie ein Stück weit auch eine zeitliche Abfolge, da das Festlegen von Anforderungen bzw. des Zwecks eines Systems am Anfang des beruflichen Handelns von Fachkräften steht.

- Die Fundamentalen Ideen „Interdependenz von Strom und Spannung“ und „Wechselwirkungen elektrischer und magnetischer Felder“ sind durch die Beziehung „physikalisch-technische Grundlage für“ (gelbe Pfeile) mit den beiden Ideen „Übertragung von Energie und/oder Information“ und „Vielseitige Gestaltbarkeit elektrischer Systeme“ sowie auch miteinander durch einen engen physikalischen Zusammenhang verbunden. Gemeinsam mit der Beziehung „entsteht durch“ (pinke Pfeile) schaffen sie den Handlungsspielraum für die Übertragungsanforderungen sowie die Gestaltbarkeit elektrischer Systeme.
- Die Beziehung „Nebenbedingung für“ (blaue Pfeile) verknüpft das Kontrollieren von Risiken bzw. das Herstellen von Sicherheit wie auch das „Standards und Normen“ mit den beiden Fundamentalen Ideen „Übertragung von Energie und/oder Information“ und „Vielseitige Gestaltbarkeit elektrischer Systeme“. Für das berufliche Handeln sind diese nicht-funktionalen, zusätzlichen Bedingungen zwingend zu berücksichtigen. Sie sichern die Funktion des Systems ab. Im Kontrast zu den vorher dargestellten Beziehungen begrenzen sie den Handlungsspielraum eher.
- Die Verbindung zwischen der Fundamentalen Idee „Risiken und Sicherheit“ und den Ideen „Interdependenz von Strom und Spannung“ und „Wechselwirkungen elektrischer und magnetischer Felder“ lässt sich mit der wechselseitigen Beziehung „Management elektrischer Risiken und Schadenspotenziale“ (türkise Pfeile) beschreiben. Die Entstehung von möglichen Risiken und von Maßnahmen dagegen beruhen auf denselben physikalisch-technischen Mechanismen. Das Herstellen von Sicherheit kann zugleich durch Ausnutzung dieser Mechanismen realisiert werden.
- Strukturell ähnlich sind schließlich noch die Beziehungen zwischen der Idee „Standards und Normen“ und den weiteren Fundamentalen Ideen „Interdependenz von Strom und Spannung“, „Wechselwirkungen elektrischer und magnetischer Felder“ sowie „Vielseitige Gestaltbarkeit elektrischer Systeme“ (dunkelrote Pfeile). Die physikalisch-technischen Gestaltungsmöglichkeiten, die in den beiden letztgenannten Ideen jeweils liegen, machen es erforderlich, dass Standards abgestimmt werden und auf Ebene der Elektroberufe eingehalten werden müssen (Beziehung „erzeugt Notwendigkeit für“).



(Legende der Pfeilfarben: grün = „definiert Anforderungen für/Zweck“, gelb = „physikalisch-technische Grundlage für“, blau = „Nebenbedingung für“, pink = „entsteht durch“, türkis = „Management elektr. Risiken/Schadenspotenziale“, rot: „erzeugt Notwendigkeit für“)

Abbildung 26: Concept Map der Fundamentalen Ideen und ihrer Beziehungen

4.7.3 Fachdidaktisches Gesamtmodell für die berufliche Fachrichtung Elektrotechnik

Durch die Beschreibung und Systematisierung der Beziehungen tritt klarer hervor, dass die entwickelten Fundamentalen Ideen in eine anschauliche Positionierung zueinander gebracht werden können:

- Die Fundamentale Idee „Übertragung von Energie und/oder Information“ nimmt dadurch, dass mit ihr u.a. die Zielsetzungen bzw. der Zweck elektrischer Systeme abgebildet werden, eine übergeordnete Stellung ein.
- Mit ihr eng verknüpft ist die Fundamentale Idee „Vielseitige Gestaltbarkeit elektrischer Systeme“. Die Vielseitigkeit elektrischer Energie und die sich daraus ergebenden Gestaltungsoptionen sind kein Selbstzweck, sondern sie verweisen auf die definierten Übertragungsanforderungen und sind in diesem Sinne so etwas wie der Weg zum Ziel/Zweck.
- Für die beiden Fundamentalen Ideen „Interdependenz von Strom und Spannung“ und „Wechselwirkungen elektrischer und magnetischer Felder“ fällt auf, dass ihre Beziehungen zu den anderen Ideen jeweils gleich sind. Dadurch, dass sie beide wesentliche physikalische Grundlagenbereiche und deren (elektro-)technische Anwendung umfassen, entstehen jeweils dieselben Arten von Verknüpfungen mit den anderen Fundamentalen Ideen. Sie bilden ein strukturell ähnliches Ideenpaar.
- Auch die beiden weiteren Ideen „Risiken und Sicherheit“ und „Standards und Normen“ haben teilweise die gleiche Art von Beziehungen zu anderen Fundamentalen Ideen und strukturelle Ähnlichkeiten zueinander (zu „Übertragung von Energie und/oder Information“ und „Vielseitige Gestaltbarkeit elektrischer Systeme“). Beide umfassen zusätzliche, nicht-funktionale Perspektiven auf die berufliche Fachrichtung Elektrotechnik und fokussieren stärker die „Umwelt“ der elektrischen Systeme (Nutzer, Unternehmen, Infrastruktur/Versorgung). Sie haben zudem eine inhaltliche Schnittmenge, weil viele Standards dem Herstellen von Sicherheit dienen.

Auf Basis dieser Erkenntnisse wird ein Modell vorgeschlagen, welches die entwickelten Fundamentalen Ideen für die berufliche Fachrichtung Elektrotechnik zu einem fachdidaktischen Gesamtbild verbindet (siehe Abbildung 27). Dieses Modell beschränkt sich auf die wesentlichen strukturellen Aspekte der sechs Fundamentalen Ideen zueinander und kann so Lernenden und Lehrenden als Übersicht dienen. Der Detailreichtum und die Komplexität der Concept Map wird hierfür wieder reduziert.

Die Darstellung in Anlehnung an einen griechischen Tempel verknüpft alle sechs Fundamentalen Ideen der beruflichen Fachrichtung Elektrotechnik Ideen zu einem zusammengehörigen (Gedanken-)Gebäude³¹. Die stabile Basis der beruflichen Fachrichtung bilden die beiden Ideen „Risiken und Sicherheit“ und „Standards und Normen“. Beide stellen

³¹ Dabei ist die Wahl eines Tempels für die Darstellung keine originäre Leistung der Autorin. Säulen- oder tempelartige Darstellungen werden verschiedentlich für Modelle zur Kompetenzentwicklung oder zur Strukturierung von Lernprozessen genutzt (siehe z.B. Grantz et al. 2008, Salmhofer 2020 oder Jambor 2022).

einen fest definierten Sockel/Rahmen für elektrische Systeme dar. Die tragenden fachspezifischen Säulen der Elektrotechnik bilden die drei stark physikalisch-technisch ausgerichteten Ideen „Übertragung von Energie und/oder Information“, „Interdependenz von Strom und Spannung“ und „Wechselwirkung elektrischer und magnetischer Felder“. Mit ihnen kann ein Großteil der in beruflichen Kontexten relevanten Phänomene, und fachlichen Inhalte erklärt werden. Unter den Säulen hat die „Übertragung von Energie und/oder Information“ eine Sonderstellung, denn sie umfasst nicht nur konkrete technische Realisierungen von Übertragungsprozessen, sondern sie definiert auch die Zielsetzung elektrischer Systeme auf einer übergeordneten Ebene (die Darstellung als „T-Träger“ soll diese doppelte Funktion im Modell verdeutlichen). Diese übergeordnete Perspektive teilt sie mit der Fundamentalen Idee der „Vielseitigen Gestaltbarkeit elektrischer Systeme“, mit der zusammen sie den Möglichkeitsraum und verschiedene Gestaltungsoptionen für den flexiblen Einsatz elektrischer Energie aufspannt und damit so etwas wie ein Dach für die berufliche Fachrichtung aufspannt.

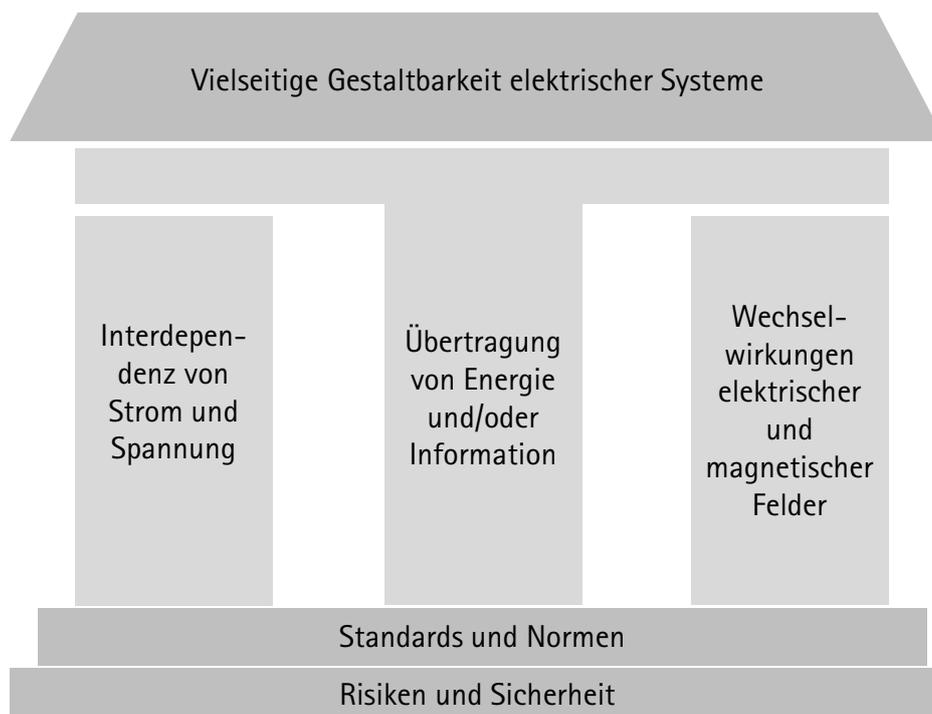


Abbildung 27: Gesamtmodell der Fundamentalen Ideen für die berufliche Fachrichtung Elektrotechnik

In dem Gesamtmodell wurden weitere Aspekte verarbeitet, die in den Experteninterviews diskutiert wurden, welche im Rahmen der Validierung der Fundamentalen Ideen geführt wurden. Diese Hinweise und Einschätzungen betreffen das Verhältnis der Fundamentalen Ideen zueinander und das Gesamtbild, welches durch die gemeinsame Betrachtung der sechs Fundamentalen Ideen entsteht. Die hier vorgestellte Darstellung hat sich im Laufe

der Analyse und der Diskussionen im Rahmen der Experteninterviews zunehmend entwickelt und geschärft.

Die Systematisierung der beruflichen Fachrichtung Elektrotechnik über Fundamentale Ideen löst sich von einer üblichen Fachsystematik und schlägt eine andere, prinzipienorientierte Kategorisierung fachlicher Themen und Inhalte vor (E5/00:33:42). Die Fundamentalen Ideen sind nicht trennscharf gegeneinander abgegrenzt, sondern sie haben Überschneidungen/Überlappungen auf der Ebene der fachlichen Inhalte (z.B. Transformator, Hochspannungstechnik, Sicherheitsregeln). Sie werden dennoch als konzeptionell eigenständig und nicht redundant wahrgenommen (E2/01:42:20, E5/00:44:54, E4/00:53:12). Die Bezüge konkreter Inhalte zu mehreren Fundamentalen Ideen können Lernenden als Ankerpunkte dienen, mit deren Hilfe sie ein Wissensnetz aufbauen können (E5/00:34:01).

Das Verhältnis der Fundamentalen Ideen zueinander interpretiert einer der Experten so, dass einige Ideen eher fachliche Säulen abbilden („Übertragung von Energie und/oder Information“, „Interdependenz von Strom und Spannung“ und „Wechselwirkungen elektrischer und magnetischer Felder“) und andere allgemeine Anforderungen („Risiken und Sicherheit“ und „Standards und Normen“) und sie sich hierin strukturell unterscheiden (E1/00:13:06, E1/00:18:47). Ein anderer Experte merkt an, dass die beiden Ideen „Interdependenz von Strom und Spannung“ und „Wechselwirkungen elektrischer und magnetischer Felder“ zwei unterschiedliche Betrachtungsebenen fachlich eng verknüpfter Phänomene/Bereiche repräsentieren (E2/01:30:55). Eine lineare Reihenfolge innerhalb der Ideen wird nicht wahrgenommen (E5/00:52:37, E5/00:53:02).

Die durch die Fundamentalen Ideen entstehende fachliche Strukturierung wird als „schlüssig“ wahrgenommen (E5/00:57:19). Das Gesamtbild aller Fundamentaler Ideen wird für die fachliche Domäne als treffend und nützlich für didaktische Fragestellungen eingeschätzt, wie die folgenden Zitate verdeutlichen:

„Ja ist gut, super, es sind viele Sachen drin.“(E1/00:18:47)

„Ja, ich verstehe das immer besser muss ich sagen. Weil mir fallen sofort so ein paar typische berufliche Anwendungen, wo man einfach Dinge noch nie gehört hat und das sich selbst erschließen muss und dann auf bekanntes Wissen zurückgreift. Das ist es ja letztendlich. Das wird dann hier kategorisiert nach diesen sechs Kategorien“ (E5/00:21:43)

„Ich finde die Kategorisierung super.“ (E5/01:00:20)

Die Experten sehen keine größeren Lücken im Gesamtbild auf die berufliche Fachrichtung Elektrotechnik. Anhand seiner eigenen anfänglichen Vorstellung möglicher Fundamentaler Ideen reflektiert ein Experte die Differenz der hier betrachteten beruflichen Fachrichtung zur Ingenieurwissenschaft Elektrotechnik:

"Ich mein, gut, ich habe erst gesagt, was sind fundamentale Idee der Elektrotechnik? Ich habe gesagt Maxwell und Bumms, fertig. Alles andere sind ja technologische Umsetzungen, Anwendungen. Sie können vom Prinzip her immer das, was da passiert, immer zurückführen auf die Maxwellschen Gleichungen." (E4/00:42:15)

Im Laufe des Interviews hat jede der entwickelten Fundamentalen Ideen Zustimmung von ihm erfahren und er hat verschiedene, aus seiner Sicht wichtige Anwendungsbeispiele und -bereiche aus den Elektroberufen angesprochen.

Über alle entwickelten Fundamentalen Ideen entsteht eine große fachliche Fülle für die betrachtete berufliche Fachrichtung:

"Das ist ganz cool und das finde ich ja auch eigentlich für Studis ganz gut zu lernen. Dass sie sagen, worum geht es denn überhaupt? Also was ist erst mal basic, da kannst du gar nichts dran machen. Es gibt Normen, da musst du dich dran halten. Ist halt so. Dann gibt es drei große Bereiche. Wenn ihr die verstanden habt, habt ihr 80 % der Elektrotechnik verstanden. Auch schon mal gut so. Und denkt dran, ihr könnt alles anders machen, als es da ist. Aber bitte nicht die Treppenstufen. Treppenstufen stehen fest. Aber ihr könnt innerhalb dieser Bereiche, könnt ihr die Dinge anders gestalten. Das ist schon ein cooles Modell. Wirklich cool, kenn ich so gar nicht, gut. Super." (E1/00:24:51)

Die Experten benennen verschiedene Ansatzpunkte, wie die entwickelten Fundamentalen Ideen Nutzen für berufsbildende Lehramtsstudierende entfalten könnten: Sie können die Lehramtsstudierenden dabei unterstützen, sich ein Wissensnetz für die berufliche Fachrichtung Elektrotechnik aufzubauen (E5/00:34:01), fachliche Strukturen leichter zu erkennen (E1/00:20:58), sich mit den Fundamentalen Ideen selbst neue Themen(gebiete), z.B. in der Gebäudeautomatisierung, zu erschließen (E1/00:32:42, E5/00:24:40) und bereits im Studium eine gewisse Flexibilität im Umgang mit fachlichen Inhalten und konkreten Themen zu erlernen, die sie später im Vorbereitungsdienst und im Berufsalltag als Lehrkraft benötigen (E5/01:01:10).

Zwei Experten weisen darauf hin, dass es sinnvoll sein könnte, das Modell der Fundamentalen Ideen zum (handlungs-)kompetenzorientierten Ansatz der beruflichen Ausbildung in Bezug zu setzen, da dieser bildungspolitisch die prioritäre didaktische Orientierung an den Berufsschulen darstellt. Die bisherige Darstellung der Fundamentalen Ideen enthält nur implizite Verknüpfungsmöglichkeiten zu typischen Arbeitsprozessen in den Elektroberufen (E1/00:04:48, E1/00:30:13, E5/00:44:54, E5/00:57:47). Hier wäre es interessant, ob bzw. wie das Modell der Fundamentalen Ideen, das zunächst auf fachliche Kompetenzen ausgerichtet ist, gewinnbringend mit der (handlungs-)kompetenzorientierten Perspektive verzahnt werden kann. Diese Überlegung wird in der Diskussion der Ergebnisse aufgegriffen (siehe Kap. 5).

Dieses Unterkapitel hatte zum Ziel, die einzelnen vorgeschlagenen Fundamentalen Ideen konzeptuell weiter anzureichern, indem ihre Beziehungen zueinander analysiert wurden. Die Darstellung aller Ideen mit ihren Verbindungen in Form einer Concept Map macht deutlich, dass zwischen den sechs Ideen ein komplexes Geflecht an inhaltlichen und strukturellen Verbindungen, Ähnlichkeiten und Unterschieden besteht. Aus diesen Zwischenschritten ist letztendlich ein Vorschlag für ein Gesamtmodell der Fundamentalen Ideen für die berufliche Fachrichtung Elektrotechnik entstanden, welches eine schnelle Übersicht schaffen und zugleich Ansatzpunkte für fachdidaktische Zwecke bieten soll.

4.8 Zusammenfassung der entwickelten Fundamentalen Ideen

Mit Hilfe der Grounded-Theory-Methodologie wurden sechs Fundamentale Ideen für die berufliche Fachrichtung Elektrotechnik entwickelt. Alle Ideen erfüllen die definierenden Kriterien und werden von fachlichen und fachdidaktischen Experten als bedeutsam für ein Verständnis der beruflichen Fachrichtung Elektrotechnik eingeschätzt. Die wichtigsten Ergebnisse der Unterkapitel 4.1 – 4.7 sind noch einmal in knapper Form gebündelt.

Übertragung von Energie und/oder Information	
<p>Elektrische Schaltungen, Anlagen und elektrotechnische Systeme dienen dazu, elektrische Energie oder Informationen oder beides zugleich zu übertragen. Die Systeme werden so gestaltet und optimiert, dass die Energieübertragung möglichst verlustfrei, die Informationsübertragung möglichst vollständig, schnell und unverfälscht erfolgen kann. Mit dieser Fundamentalen Idee wird zum einen sichtbar, an welchem technischen Grundprinzip elektrotechnisches Konzipieren und Handeln grundsätzlich ausgerichtet wird (Ziel/Zweck). Zum anderen wird die spezifische Perspektive erkennbar, mit der die Elektrotechnik als fachliche Domäne auf praktische berufliche Anforderungen und Anwendungsfälle schaut (Umsetzung).</p>	<p><i>Beispiele:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • Öffentliche Elektrizitätsversorgung • Energieübertragung auf verschiedenen Netzebenen • Galvanische Trennung (Transformator) • Elektrische Maschinen • Informationsübertragung mittels elektromagnetischer Wellen (Radio, Mobilfunk, RFID, W-LAN)
Bedeutung der Fundamentalen Idee und weitere Ergebnisse	
<ul style="list-style-type: none"> • Diese Fundamentale Idee umfasst zwei wichtige Blickwinkel auf elektrotechnische Phänomene und Fragestellungen. Die Übertragung von Energie und/oder Information als übergeordneter Zweck elektrotechnischer Systeme schafft eine Orientierung für Lernende und kann zur Sinnstiftung bzgl. des angestrebten Berufs beitragen. • Für das praktische berufliche Handeln hilft die Idee dabei, in einem System die konkreten Übertragungsprozesse zu analysieren und zu gestalten. Mit ihr werden Qualitäts- bzw. Gütekriterien für elektrische Systeme eingeführt, die Lernende und Fachkräfte für ihr berufliches Handeln kennen und berücksichtigen müssen. • <i>Validierungsergebnis:</i> Für diese Fundamentale Idee sind alle Fundamentalitätskriterien erfüllt. Zudem beinhaltet sie durch die Berücksichtigung von Gütekriterien für Übertragungsprozesse ein handlungsleitendes, an einem fachlichen Ideal ausgerichtetes Moment. Die Fachexperten bestätigen die breite fachliche Bedeutsamkeit der Idee, z.B. zum Verständnis der Energiewende und ihrer Herausforderungen, und sehen darin eine Analyse- und Verständnishilfe für Lernende sowie die Möglichkeit, die Kommunikation zwischen Expert(inn)en und Laien zu erleichtern. • Der Bereich der Informationsübertragung liegt an der Schnittstelle zum Berufsfeld der IT-Berufe und zur beruflichen Fachrichtung Informationstechnik/Informatik. 	

Vielseitige Gestaltbarkeit elektrischer Systeme	
<p>Elektrische Energie kann auf unterschiedliche Weise bereitgestellt, übertragen (auch leitungsungebunden), gewandelt, transportiert, verteilt, genutzt und in gewissem Umfang gespeichert werden. Aus dieser Flexibilität ergibt sich ein vielseitiges Gestaltungspotenzial. Elektrische Energie kann je nach Anforderung an die Systemebene der elektrischen Infrastruktur, die Dimensionierung, die (system-)internen und externen Rahmenbedingungen und den gesellschaftlichen Einsatzbereich flexibel umgesetzt werden. Elektrische Systeme können vergleichsweise universell und mit Offenheit für künftige Entwicklungen gestaltet und umgestaltet werden.</p>	<p><i>Beispiele:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • Bedeutung elektr. Energie in der Energiewende • verschiedene Arten der Spannungserzeugung • verschiedene Dimensionierung oder Bauweisen von Betriebsmitteln und Bauelementen • Speicherprogrammierbare Steuerungen
Bedeutung der Fundamentalen Idee und weitere Ergebnisse	
<ul style="list-style-type: none"> • Diese Fundamentale Idee ermöglicht eine übergeordnete Perspektive auf die berufliche Fachrichtung Elektrotechnik. Mit ihr wird der Blick auf Gestaltungs- und Handlungsspielräume im beruflichen Handeln geöffnet und Optimierung als ein wichtiges Leitprinzip eingeführt: Verschiedene Möglichkeiten zur Umsetzung einer spezifischen Anforderung werden gesucht und geprüft; die bestmögliche Variante wird ausgewählt. • Lernende können über diese Fundamentalen Idee erfahren, dass die Elektrotechnik und ihr angestrebter Beruf Gestaltungspotenziale umfasst und ihnen im Arbeitsalltag ein kreativ-ideenreiches berufliches Handeln und Problemlösen ermöglicht. Die Gestaltung kann auch die Mitgestaltung gesellschaftlichen Wandels umfassen (aktuell z.B. E-Mobilität und Energiewende). Dies kann die intrinsische Motivation in der Ausbildung fördern. • <i>Validierungsergebnis:</i> Für diese Fundamentale Idee sind alle Fundamentalitätskriterien erfüllt. Sie umfasst zudem eine handlungsleitende Idealvorstellung, die bestmögliche Lösung für ein elektrisches System zu finden und umzusetzen, was sich aus verschiedenen (z.B. technischen, baulichen oder wirtschaftlichen) Gründen nicht immer erreichen lässt. Die Fachexperten bestätigen vielseitige Auswahl-, Entscheidungs- und Gestaltungsmöglichkeiten innerhalb der beruflichen Fachrichtung Elektrotechnik. Das alltägliche Gestaltungspotenzial für Fachkräfte schätzen sie trotzdem als begrenzt ein, da viele Rahmenbedingungen zu berücksichtigen sind. • Diese Fundamentale Idee kann ein Stück weit als „Gegenspielerin“ zur Fundamentalen Idee „Standards und Normen“ angesehen werden. Die beiden Ideen stehen in einem Spannungsverhältnis zueinander, für das jeweils ein Ausgleich gefunden werden muss. 	

Interdependenz von Strom und Spannung	
<p>Strom und Spannung stellen grundlegende Konzepte der Physik und der Elektrotechnik dar. Neben den einzelnen Konzepten stellt ihr enger Zusammenhang ein eigenständiges Konzept dar. Strom (Ladungsfluss) und Spannung (Potenzialdifferenz) wirken wechselseitig aufeinander. Diese Interdependenz ist für das Verständnis von Ladungsflüssen in Stromkreisen wichtig und besitzt deshalb für die Elektroberufe große praktische Relevanz, um Ströme oder Spannungen zielgerichtet steuern zu können. Die Zusammenhänge von Strom und Spannung lassen sich für Gleich- und für Wechselgrößen in vielfältiger Weise über das Konzept des elektrischen (komplexen) Widerstands darstellen.</p>	<p><i>Beispiele:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • gezielte Steuerung von Strömen und Spannungen durch Nutzung verschiedener Mechanismen und Bauteile • Gestaltung von Schutzmaßnahmen und Messtechniken • Phasenverschiebung bei Wechselspannung in Schaltungen mit Kapazitäten und Induktivitäten
Bedeutung der Fundamentalen Idee und weitere Ergebnisse	
<ul style="list-style-type: none"> • Diese Fundamentale Idee bildet den physikalisch-technischen Hintergrund für die vielseitigen Gestaltungsmöglichkeiten in der Elektrotechnik, z.B. bei der Energieübertragung oder beim Herstellen von Sicherheit. Die Interdependenz von Strom und Spannung ermöglicht es, intendierte Wirkungen elektrischer Systeme gezielt zu gestalten sowie nicht-intendierte Nebenwirkungen zu erkennen und auszuschalten. • In dieser Fundamentalen Idee wird eine wichtige fachbezogene Praktik besonders deutlich: Für ein grundlegendes Verständnis von elektrotechnischen Phänomenen wird oftmals mit idealen Modellen für einzelne Komponenten eines elektrischen Systems oder bestimmte Bauteile gearbeitet. Den teils sehr komplexen realen Verhältnissen nähert man sich über Ersatzschaltungen an. • <i>Validierungsergebnis:</i> Für diese Fundamentale Idee sind alle Fundamentalitätskriterien erfüllt. Eine ideale Zielvorstellung, an der Lernende und Fachkräfte ihr berufliches Handeln ausrichten können, beinhaltet die Idee nicht. Nach Einschätzung der Fachexperten ist die Idee unmittelbar einsichtig, wichtig und beruflich relevant für die berufliche Fachrichtung Elektrotechnik. Sie verknüpft gerade zu Beginn der Ausbildungen viele einzelne Konzepte und Themen und kann in nahezu jedem fachlichen Teilbereich aufgegriffen werden. 	

Wechselwirkungen elektrischer und magnetischer Felder	
<p>Elektrische Ladungen oder sich zeitlich ändernde magnetische Felder führen zu elektrischen Feldern. Fließende Ladungen führen zu magnetischen Feldern. Felder werden durch die Geometrie der felderzeugenden Komponenten und die eingesetzten Materialien beeinflusst. Elektromagnetische Wechselwirkungen (z.B. Induktion) haben für die Erzeugung, Übertragung und Umwandlung elektrischer Energie herausragende Bedeutung und bilden die Grundlage für eine Vielzahl elektro- und informationstechnischer Anwendungen.</p>	<p><i>Beispiele:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • Elektrische Maschinen (insbesondere Transformatoren) • Hochspannungserzeugung und -übertragung • Technische Nutzung magnetischer (Schütze, Kupplungen, Bremsen, Blasmagnet, Elektrizitätszähler, Zangenstrommesser) oder elektr. Felder (Abschirmung, kontaktloses Lackieren)
Bedeutung der Fundamentalen Idee und weitere Ergebnisse	
<ul style="list-style-type: none"> • Diese Fundamentale Idee umfasst ebenfalls wesentliche physikalisch-technische Grundlagen der beruflichen Fachrichtung Elektrotechnik, die insbesondere für Übertragungsprozesse und elektrische Maschinen von großer Bedeutung in den Elektroberufen sind. Die feldbezogene Betrachtung ist verknüpft mit der strom-/spannungsbezogenen Betrachtung. Erforderlich ist sie ist bei der Verwendung von Wechselgrößen. • <i>Validierungsergebnis:</i> Für diese Fundamentale Idee sind alle Fundamentalitätskriterien erfüllt. Ein fachliches Ideal, das im beruflichen Handeln anzustreben wäre, kann hier nicht formuliert werden. Die Fachexperten bewerten die Idee als sehr wichtig für die berufliche Fachrichtung und die Elektroberufe, da das funktionale Verständnis vieler Technologien auf dieser Idee beruht (elektrische Maschinen, Transformatorprinzip, Antriebstechnik, Informationsübertragung). Sie sehen diese Fundamentale Idee eng verknüpft mit den beiden anderen fachlich-technischen Ideen „Übertragung von Energie und/oder Information“ und „Interdependenz von Strom und Spannung“. • Insb. durch die leitungsungebundenen Möglichkeiten der Informationsübertragung liegt die Fundamentale Idee an der Grenze zur beruflichen Fachrichtung Informationstechnik/Informatik. 	

Risiken und Sicherheit	
<p>Aufgrund des Schadens- und Gefahrenpotenzials von elektrischen Strömen, Spannungen und Feldern müssen Maßnahmen ergriffen werden, um die Sicherheit von Nutzer(inne)n, Arbeitenden, elektr. Verbrauchern, Anlagen und dem Versorgungssystem herzustellen und zu bewahren. Diese Maßnahmen sind vielfältig und auf unterschiedlichen Ebenen angesiedelt (u.a. Standards, Schutztechnik, organisatorische Maßnahmen, Qualifizierung). Nur wenn Sicherheit gewährleistet ist, kann elektrische Energie in ihrem gesamten Potenzial genutzt werden.</p>	<p><i>Beispiele:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • persönliche Schutzausrüstung, Sicherheitsregeln • Unverwechselbarkeit von Betriebsmitteln • Grenzwerte für elektromagnetische Felder, EMV-Normen • Dimensionierung und Auswahl von Bauteilen, Schutzeinrichtungen, Isolierung, Abständen, Abschirmung
Bedeutung der Fundamentalen Idee und weitere Ergebnisse	
<ul style="list-style-type: none"> • Diese Fundamentale Idee ist für die berufliche Fachrichtung Elektrotechnik von großer Bedeutung, wenngleich sie im Studium der Elektrotechnik wenig sichtbar scheint. Das Herstellen von Sicherheit bildet eine unverzichtbare Nebenbedingung für berufliche Handlungskompetenz in den Elektroberufen ab. • Lernende erfahren an dieser Idee, dass Umsicht und Verantwortungsbewusstsein wichtige Grundorientierungen für ihre zukünftige berufliche Tätigkeit sind. Diese Fundamentale Idee hat für die Elektroberufe einen deutlichen und direkten Handlungsbezug. • <i>Validierungsergebnis:</i> Für diese Fundamentale Idee sind alle Fundamentalitätskriterien erfüllt. Das Herstellen bzw. Wiederherstellen von Sicherheit stellt zusätzlich eine Leitlinie oder ein anzustrebendes Ziel für das berufliche Handeln der Auszubildenden und Fachkräfte dar. Da elektrische Risiken und Gefahren nicht immer vollumfänglich ausgeschaltet werden können, kann diese Zielvorstellung in der Realität ggf. nicht vollständig, sondern nur näherungsweise erreicht werden. Auch die Fachexperten betonen die hohe Bedeutung dieser Fundamentalen Idee für jeden Elektroberuf. Sie sehen sie in enger Verknüpfung mit Standards. 	

Standards und Normen	
<p>Der Umgang mit elektrischer Energie ist in vielfältiger Weise von verbindlichen Standards (Gesetze, Verordnungen, Normen, Regeln, Vorschriften) geprägt. Standards sind u.a. für die technische Realisierung elektrotechnischer Systeme, für Schnittstellen und Kommunikation, für Klassifizierungen, für bestimmte Tätigkeiten, für Qualifikationen und Verantwortlichkeiten sowie für Ziel- und Grenzwerte formuliert. Sie erfüllen mehrere Funktionen: Sie sorgen für Erwartbarkeit, sichern Qualitätsstandards, unterstützen Sicherheit und definieren Handlungsspielräume, im Rahmen derer Fachkräfte Entscheidungen treffen können. Sie helfen, trotz vielseitiger Gestaltbarkeit komplexe elektrische Systeme sicher und wirtschaftlich zu gestalten und zu betreiben.</p>	<p><i>Beispiele:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • Schaltpläne, Kennzeichnungen von Betriebsmitteln • Norm-Elektromotoren, definierte Betriebsarten • Festgelegte Prüfverfahren und Prüfkennzeichnungen, Verfahrensvorgaben Sicherheitsregeln • Definierte Schnittstellen (z.B. IEEE-Standards für W-LAN und Ethernet)
Bedeutung der Fundamentalen Idee und weitere Ergebnisse	
<ul style="list-style-type: none"> • Diese Fundamentale Idee bildet ebenfalls einen wichtigen Rahmen für die berufliche Fachrichtung Elektrotechnik, indem sie jenseits der technisch möglichen die rechtlich erlaubten Handlungs- und Gestaltungsspielräume fokussiert. • Lernende können über diese Idee erfahren, dass Standards verschiedene wichtige Aufgaben in ihrem Berufsfeld haben und relevant für ein professionelles, sicheres und ressourcenbewusstes Handeln sind. • <i>Validierungsergebnis:</i> Für diese Fundamentale Idee sind alle Fundamentalitätskriterien erfüllt. Das Einhalten von Standards definiert zusätzlich ein anzustrebendes Ideal für das berufliche Handeln, welches sich z.B. aufgrund der realen Gegebenheiten oder aus Unkenntnis nicht immer umsetzen lässt. Die Fachexperten sehen in dem Einhalten von Standards große Bedeutung für alle Elektroberufe, die insbesondere in der Verknüpfung mit Sicherheitsaspekten das praktische Handeln im Berufsalltag prägt. • Das Einhalten von Standards ist in der beruflichen Praxis davon abhängig, dass Fachkräfte alle geltenden Standards kennen und ihr diesbezügliches Wissen über das gesamte Berufsleben hinweg regelmäßig aktualisieren. Dies stellt eine hohe Anforderung an entsprechende Qualifizierungsprozesse bzw. (arbeits-)lebensbegleitendes Lernen. 	

Zusätzlich zu den einzelnen Fundamentalen Ideen wurden die Beziehungen der Ideen zueinander herausgearbeitet (Unterkap. 4.7). Daraus ergeben sich Verknüpfungsmöglichkeiten und die Fundamentalen Ideen können in einen Gesamtzusammenhang gebracht werden. Die miteinander verknüpften Ideen wurden zu einer Gesamtdarstellung aggregiert und in dieser Form als fachdidaktisches Modell vorgeschlagen (siehe Abschnitt 4.7.3). Das Modell, welches hier noch einmal abgebildet ist, hat zum Ziel, die berufliche Fachrichtung Elektrotechnik – basierend auf den Analyseergebnissen dieser Arbeit – in ihrem inhaltlich-fachlichen Kern angemessen zu erfassen, sodass es fachbezogene Lern- und Lehrprozesse unterstützen kann.

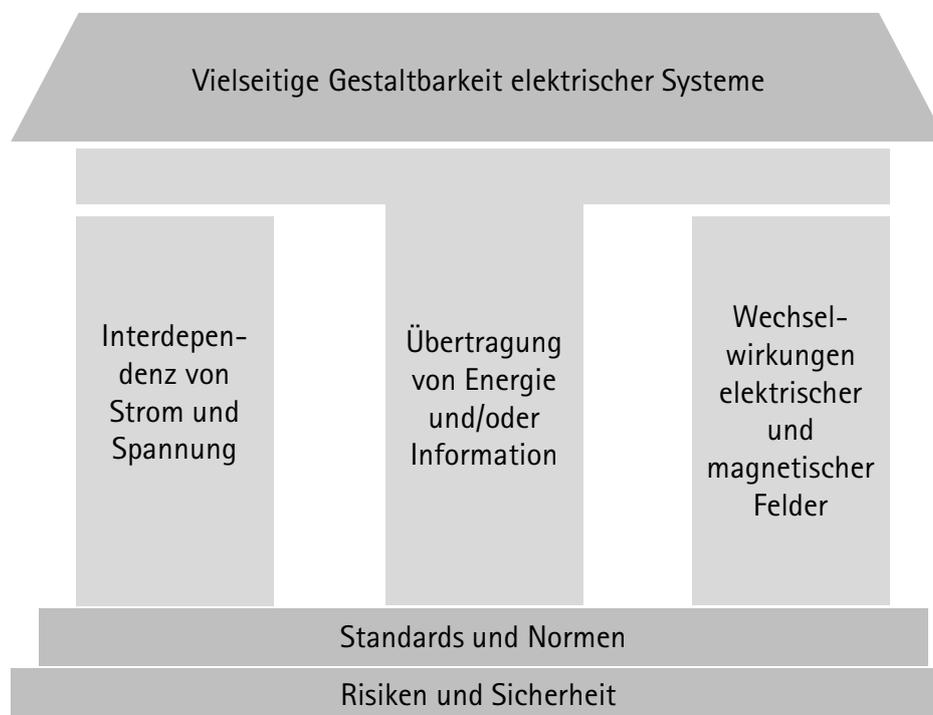


Abbildung 28: Gesamtmodell der Fundamentalen Ideen für die berufliche Fachrichtung Elektrotechnik

5. Ergebnisdiskussion und Ausblick

Mit der vorliegenden Arbeit wird ein Beitrag für die Theoriebildung der Fachdidaktik der Elektrotechnik geleistet, welcher an der Schnittstelle zur Berufspädagogik liegt. Mit der Entwicklung fundamentaler Ideen für die berufliche Fachrichtung Elektrotechnik wird ein fachdidaktisches Instrument vorgelegt, das Lernprozesse im Fachstudium der Elektrotechnik im berufsbildenden Lehramt und in den Ausbildungen der Elektroberufe sowie das fachdidaktische Handeln (angehender) beruflicher Lehrkräfte unterstützen kann. Zusätzlich zu diesem Hauptergebnis wurden die folgenden weitere Ergebnisse erzielt (siehe Tabelle 7).

Tabelle 7: Erzielte Forschungsergebnisse und ihre Darstellung in der Arbeit

Forschungsergebnis	Darstellung in der Arbeit
Fundamentale Ideen für die berufliche Fachrichtung Elektrotechnik	Kap. 4
Erweiterung des fachdidaktischen Grundansatzes fundamentaler Ideen auf den berufsbildenden Bereich	Unterkap. 2.4
Berufsbildungsbezogene Überarbeitung der Kriterien zum Fundamentalitätsnachweis	Abschnitt 2.4.2
Neuer methodischer Ansatz zur Bestimmung fundamentaler Ideen für eine fachliche Domäne	Kap. 3

Alle erzielten Ergebnisse werden in diesem Kapitel diskutiert und mit den Bezugsdisziplinen verknüpft. Dazu werden die Ergebnisse anhand dreier Perspektiven strukturiert: In dieser Arbeit wurde erstmals ein Grounded-Theory-Ansatz eingesetzt, um fundamentale Ideen zu bestimmen. Deshalb wird zunächst das methodische Vorgehen reflektiert und die Erkenntnisse zusammengefasst, die auf forschungsmethodischer Ebene gewonnen wurden (Unterkap. 5.1). Danach werden die Ergebnisse für die Fachdidaktik der Elektrotechnik ausgewertet und eingeordnet (Unterkap. 5.2), bevor (fachrichtungs-)übergreifende Aspekte als Ergebnisse für die Berufspädagogik diskutiert werden (Unterkap. 5.3). Die Arbeit schließt mit einem Ausblick auf weitere Forschungsfragen, die sich aus den Ergebnissen lassen (Unterkap. 5.4).

5.1 Forschungsmethodische Reflexion

Neuer methodischer Ansatz zur Bestimmung Fundamentaler Ideen

Für diese Arbeit wurde ein neuer methodischer Ansatz zur Entwicklung Fundamentaler Ideen entwickelt und erprobt. Dies war erforderlich, da bisherige methodische Vorgehensweisen entweder auf individueller Expertise basieren oder nicht ausreichend detailliert beschrieben sind, um auf sie zurückgreifen zu können. Es wurde daher ein qualitatives Forschungsdesign aus mehreren Schritten konstruiert. Verschiedene Methoden aus der qualitativen Sozialforschung wurden dabei kombiniert. So konnten die jeweiligen Vorteile der bisher eingesetzten methodischen Ansätze (theoretisch-konzeptionell oder empirisch) verbunden werden (siehe Abschnitt 2.1.4).

Der erste Teil des Forschungsdesigns war explorativ ausgelegt, da kaum inhaltliche Vorarbeiten in dem Untersuchungsfeld vorlagen. Die Methodik der Grounded Theory erlaubte es, den Gegenstandsbereich ohne Vorannahmen und möglichst großer Offenheit zu erkunden. Zugleich sorgten das strukturierte Vorgehen und die methodischen Regeln der Grounded Theory dafür, das Vorgehen und die Entstehung der Ergebnisse für Dritte transparent und nachvollziehbar zu machen. Der zweite Teil des Forschungsdesigns baute auf dem Zwischenergebnis der Grounded-Theory-Analyse auf. Er war stärker auf Konvergenz hin ausgerichtet und bestand aus zwei methodisch unabhängigen Schritten, um das Zwischenergebnis auf unterschiedlichen Ebenen zu validieren.

Der Ansatz der Grounded-Theory-Analyse hat sich als geeignet erwiesen, um verschiedene größere fachliche Kategorien herauszuarbeiten, die im Datenmaterial verankert sind und als mögliche Fundamentale Ideen in Frage kommen. In der Kombination mit den Validierungsschritten konnten diese Kategorien systematisch daraufhin untersucht werden, ob sie die Kriterien erfüllen, die eine Fundamentale Idee ausmachen, und ob sie tatsächlich grundlegende fachspezifische Vorstellungsbereiche bzw. Denk- und Handlungsschemata für die untersuchte berufliche Fachrichtung darstellen. Diese – grundsätzlich bereits existierenden – Kriterien bedurften für die Übertragung auf den berufsbildenden Bereich einiger inhaltlicher Anpassungen. Die überarbeiteten Kriterien erweitern den Grundansatz der Fundamentalen Ideen und bilden ein weiteres Ergebnis dieser Arbeit, welches in Unterkapitel 5.3 diskutiert wird.

Kennzeichnend für Grounded-Theory-Untersuchungen ist, dass die Ergebnisse in ihrer Reichweite eng an den Gegenstandsbereich geknüpft sind. Die erarbeiteten Fundamentalen Ideen gelten für die berufliche Fachrichtung Elektrotechnik. Weder kann ohne eine weitere Analyse aus ihnen geschlossen werden, dass sie auch für die Elektrotechnik als Ingenieurwissenschaft gelten noch für andere gewerblich-technische berufliche Fachrichtungen wie z.B. die Metalltechnik oder die Informationstechnik/Informatik. Das methodische Vorgehen jedoch ist nicht an den untersuchten Gegenstandsbereich gebunden. Eine Anwendung der Kombination aus Grounded-Theory-Analyse und anschließender

Validierung mittels Prüfung der Fundamentalitätskriterien und Experteninterviews zur Bestimmung von Fundamentalen Ideen in einem anderen fachlichen Bereich scheint deshalb grundsätzlich möglich.

Maßnahmen zur Sicherung der Forschungsqualität

Ein qualitativ-interpretatives Vorgehen wie das gewählte hat seine Stärken darin, dass ein tiefer Einblick in den Gegenstandsbereich gewonnen werden kann. Das Vorgehen kann spezifisch auf den Gegenstand abgestimmt werden und die Erhebung der Daten kann mit einer gewissen Flexibilität erfolgen und im kombinierten Erhebungs- und Analyseprozess nachgesteuert werden, um die Forschungsfrage möglichst umfassend beantworten zu können. Allerdings fußt ein qualitatives Vorgehen notwendigerweise auf einer kleineren Datengrundlage, was eine begründete Auswahlentscheidung erfordert und zudem die Reichweite bzw. Generalisierbarkeit der Ergebnisse begrenzt. Eine Objektivität der Ergebnisse im Sinne quantitativer Forschung kann mit der gewählten Forschungsmethodik nicht erreicht werden und wird auch nicht angestrebt. Für Grounded-Theory-Untersuchungen wurden eigene Forschungsstandards und Gütemaßstäbe formuliert (siehe Abschnitt 3.2.5). Sie wurden in dieser Arbeit wie folgt umgesetzt:

Geeignete Datengrundlage: Basis für die Güte der Forschungsergebnisse ist eine gegenstandsangemessene Datengrundlage. In dieser Arbeit wurden zwei Arten von Datenquellen verwendet: Lehrwerke und Interviewdaten. Die Auswahl der verwendeten Lehrwerke und der Interviewpartner ist – wie in Grounded-Theory-Untersuchungen üblich – mit Hilfe eines theoretischen Samplings erfolgt, um im Rahmen der zur Verfügung stehenden begrenzten Ressourcen eine möglichst große Bandbreite an Perspektiven auf den Gegenstandsbereich einbeziehen zu können.

Die Grundlage der Grounded-Theory-Analyse bilden anerkannte elektrotechnische Lehrwerke mit weiter Verbreitung. Die Annahme war, dass durch die Mitarbeit verschiedener Autor(inn)en und Redakteure/Redakteurinnen an diesen Werken bereits eine intersubjektive und zumindest teilweise didaktisch geprägte Perspektive auf die Elektrotechnik erwartet werden kann und die Wahrscheinlichkeit höher ist, grundlegende Inhalte, fachliche Kerne oder wesentliche Prinzipien darin aufzuspüren als bspw. durch Experteninterviews mit universitären Lehrenden oder berufsbildenden Lehrkräften. Es wurden drei Lehrwerke für die Analyse ausgewählt. Allein aus Gründen des typischen Umfangs der Lehrwerke und der sich daraus ergebenden Datenmenge war eine Fokussierung notwendig. Da kein Lehrwerk vorliegt, welches ausdrücklich die Zielgruppe der Lehramtsstudierenden in der Elektrotechnik adressiert, wurden Lehrwerke ausgewählt, die für Auszubildende in den Elektroberufen, für Studierende der Ingenieurwissenschaft Elektrotechnik und Nebenfachstudierende geschrieben wurden, um sich darüber der betrachteten Zielgruppe anzunähern. Mit verschiedenen Auswahlkriterien (siehe Abschnitt 3.3.3) wurde erreicht, dass der Gegenstandsbereich mit dem begrenzten Sample dennoch umfassend

untersucht werden konnte. Auch bei drei Lehrwerken erwies sich die große Datenmenge noch als forschungspraktische Herausforderung.

Zur Validierung der Fundamentalen Ideen bezüglich ihrer Bedeutung für die berufliche Fachrichtung Elektrotechnik wurden Daten über qualitative Interviews erhoben. Die Interviewpartner waren Personen, die alle jeweils eine eigene fachliche Expertise in der Elektrotechnik und zugleich langjährige Erfahrung in der Vermittlung des Faches haben. Die Interviews dienten dazu, die erarbeiteten Fundamentalen Ideen kritisch auf ihre fachliche Bedeutsamkeit hin zu prüfen. Dazu wurde eine breite Abdeckung der möglichen Perspektiven auf den Erwerb elektrotechnischen Fachwissens im Rahmen der beruflichen Ausbildung und des Studiums für ingenieurwissenschaftliche Studierende sowie Lehramtsstudierende angestrebt. Diese Art der Datengewinnung erwies sich inhaltlich als geeignet.

Qualität des Forschungsprozesses: Das zweischrittige Vorgehen ermöglichte es, zunächst mit einer großen Offenheit an den Gegenstandsbereich heranzutreten und eine Vielzahl von Konzepten zu kodieren, die in der Elektrotechnik bedeutend sind, und diese im Laufe der Datenanalyse miteinander in Beziehung zu setzen und so Kategorien herauszuarbeiten, die verschiedene Konzepte ordnen und verbinden können und eine größere fachliche Fülle aufweisen. Mit den Kategorien als Zwischenergebnis wurde die Grounded-Theory-Analyse beendet. Im zweiten Schritt wurden weitere Methoden eingesetzt, um das erreichte Zwischenergebnis auf einen spezifischen Aspekt hin untersuchen und bewerten zu können; vom typischen Vorgehen der Grounded Theory wurde damit abgewichen. Die gewählte Kombination der Forschungsmethoden ermöglichte, die Fragestellung der Arbeit zielgerichtet zu bearbeiten. Die einzelnen Arbeitsschritte während der Kodierung und Entscheidungen zum Vorgehen und zur Fallauswahl können in den Unterkapiteln 3.3 und 3.4 nachgelesen werden.

Verankerung der Ergebnisse in den Daten: Wie bei der verwendeten Datengrundlage beschrieben, wurden Lehrwerke für unterschiedliche Lernenden-Zielgruppen analysiert. Die Zielgruppe der Lehramtsstudierenden in der Elektrotechnik konnte dabei nicht gesondert berücksichtigt werden, da keine Lehrwerke vorliegen, die explizit für diese Zielgruppe erstellt wurden. Dadurch fand sich in der Datengrundlage etwas wieder, das bereits im Einführungskapitel beschrieben wurde: die berufliche Perspektive ist für Lehramtsstudierende eine andere als für ingenieurwissenschaftliche Studierende und sie benötigen dafür unterschiedliche Zugänge und Blickwinkel aufs Fach. In der Analyse der Lehrwerke führte dies dazu, dass die Kategorien zwar auf der Basis aller Lehrwerke entwickelt wurden, die Fundierung in den Daten aber nicht immer gleich tief und umfangreich erfolgen konnte. Dies wurde bei der Darstellung der einzelnen Fundamentalen Ideen transparent gemacht und diskutiert.

Als herausfordernd hat sich erwiesen, die Verankerung der Fundamentalen Ideen mit Hilfe der Daten nachvollziehbar zu belegen. Diese Schwierigkeit in der Darstellung ergibt sich aus dem Gegenstand der Fundamentalen Ideen selbst, da eine Kategorie erst dann

als Fundamentale Idee in Frage kommt, wenn sie im Sinne des Horizontalkriteriums vielfältige Phänomene und Inhalte aus verschiedenen Teilbereichen des Faches und von unterschiedlicher Reichweite aufnehmen kann. Einzelne Textstellen, die für eine Kategorie kodiert wurden, können deshalb als Beleg in keinem Fall ausreichend sein. Erst das Gesamtbild an kodierten Textsegmenten verdeutlicht die verschiedenen Aspekte und die Fülle einer Kategorie. Für diese Arbeit wurde eine Darstellung gefunden, die für eine vollständige Nachvollziehbarkeit nur als Kompromiss gelten kann, aber dennoch versucht, die Aggregationsschritte der großen Menge an analysierten Textstellen hin zu den Kategorien sichtbar zu machen und die verarbeiteten Textstellen als Verweise angibt. Diese Darstellungsform ist in Abbildung 13 (siehe Einleitung Kap. 4) schematisch zusammengefasst und wurde dann in den Unterkapiteln 4.1–4.6 in gleicher Weise umgesetzt.

Praktisch-experimentelle Funktionsfähigkeit der Ergebnisse: Die Ergebnisse von Grounded-Theory-Untersuchungen sollen idealerweise eine praktische Relevanz für Praktiker/-innen im Feld und Forschende aufweisen. Dazu müssen sie den Gegenstandsbereich gut treffen und zudem innerhalb des Geltungsbereichs verschiedene Nutzungsmöglichkeiten bieten. Der eine Teil wurde durch die Validierung der Fundamentalen Ideen in den Experteninterviews abgedeckt. Erste Ideen für mögliche Nutzungen und praktische Anwendungen der erarbeiteten Fundamentalen Ideen im Rahmen der Lehrkräfteausbildung und der beruflichen Ausbildung werden in den beiden folgenden Unterkapiteln 5.2 und 5.3 vorgestellt. Anknüpfungspunkte für weitere Forschungsarbeiten werden im Ausblick benannt (siehe Kap. 5.4).

5.2 Forschungsergebnisse für die Fachdidaktik der Elektrotechnik

Fundamentale Ideen der beruflichen Fachrichtung Elektrotechnik

Die Forschungsfrage dieser Arbeit (siehe Unterkap. 1.2) wird mit der Erarbeitung von sechs Fundamentalen Ideen für die berufliche Fachrichtung Elektrotechnik beantwortet (siehe Tabelle 8). Diese Ideen stellen ausgehend von den Elektroberufen wesentliche strukturbildende Grundprinzipien und Vorstellungsbereiche der beruflichen Fachrichtung dar. Mit ihnen kann eine Vielzahl an elektrotechnischen Inhalten und Phänomenen erschlossen sowie verbunden werden, die in der Elektrotechnik aus einer berufsorientierten Perspektive relevant sind. Dies war das Hauptziel der vorliegenden Forschungsarbeit.

Tabelle 8: Fundamentale Ideen für die berufliche Fachrichtung Elektrotechnik und ihre Darstellung in der Arbeit

Fundamentale Idee	Darstellung in der Arbeit
Übertragung von Energie und/oder Information	Unterkap. 4.1
Vielseitige Gestaltbarkeit elektrischer Systeme	Unterkap. 4.2
Interdependenz von Strom und Spannung	Unterkap. 4.3
Wechselwirkungen elektrischer und magnetischer Felder	Unterkap. 4.4
Risiken und Sicherheit	Unterkap. 4.5
Standards und Normen	Unterkap. 4.6

Die erarbeiteten Fundamentalen Ideen weisen eine gewisse begriffliche Weite auf, wie dies für ihr didaktisches Potenzial konzeptionell sinnvoll ist (vgl. Abschnitt 2.4.1). Alle Ideen bilden bedeutsame und unterschiedliche Aspekte der beruflichen Fachrichtung ab. Keine der Ideen kann für ein umfassendes Verständnis der Fachrichtung weggelassen werden, wie die Validierung des Sinnkriteriums gezeigt hat.

Die sechs Ideen bilden verschiedene Perspektiven ab, die alle gemeinsam für kompetentes berufliches Handeln relevant sind (siehe Tabelle 9). Eine übergeordnete Zweck-Mittel-Perspektive auf elektrische Systeme findet sich in den Ideen „Übertragung von Energie und/oder Information“ und „Vielseitige Gestaltbarkeit elektrischer Systeme“. Die Ideen „Interdependenz von Strom und Spannung“ und „Wechselwirkungen elektrischer und magnetischer Felder“ sowie teilweise auch „Übertragung von Energie und/oder Information“ verweisen auf eine physikalisch-technische Perspektive bei der Arbeit an elektrischen Systemen bzw. ihrer konkreten Umsetzung. Mit den Ideen „Risiken und Sicherheit“ und „Standards und Normen“ wird die Implementierungsperspektive in realen Kontexten betont, in denen bestimmte Rahmenbedingungen unbedingt eingehalten werden müssen (z.B. zum eigenen sicheren Arbeiten und zum Schutz der Nutzer/-innen elektrischer Systeme).

Tabelle 9: Perspektiven der Fundamentalen Ideen auf die berufliche Fachrichtung

Fundamentale Ideen	Strukturelle Ähnlichkeiten
„Übertragung von Energie und/oder Information“ und „Vielseitige Gestaltbarkeit elektrischer Systeme“	<ul style="list-style-type: none"> • übergeordnete Perspektive • weiter Gesamtblick auf Zweck elektrotechnischer Systeme und mögliche Wege zur Erreichung • betonen Optionen / öffnen Möglichkeitsraum
„Interdependenz von Strom und Spannung“ und „Wechselwirkungen elektrischer und magnetischer Felder“	<ul style="list-style-type: none"> • eng an physikalischen Phänomenen / Grundlagen • Fokus auf physikalische Gestaltung und technische Machbarkeit • konkretisieren Optionen
„Risiken und Sicherheit“ und „Standards und Normen“	<ul style="list-style-type: none"> • Blick auf den Betrieb elektrischer Systeme • Umwelt / Rahmenbedingungen werden einbezogen • Zusätzlicher Maßstab: Qualitätsmerkmale, Güte des Systems • begrenzen Optionen

Vier der erarbeiteten Ideen – „Übertragung von Energie und/oder Information“, „Vielseitige Gestaltbarkeit elektrischer Systeme“, „Risiken und Sicherheit“ und „Standards und Normen“ – beinhalten Aspekte, die auf ein fachliches Ideal oder eine erstrebenswerte Zielvorstellung verweisen (siehe Erfüllung des Zielkriteriums in der Validierung). Diese Fundamentalen Ideen können damit zusätzlich zu ihrer fachlich-theoretischen Strukturierungsfunktion den Lernenden auch eine Leitlinie bieten, an der diese berufsbezogenes Handeln im Kontext der jeweiligen Fundamentalen Idee ausrichten können. Dieses handlungsleitende Moment macht die Fundamentalen Ideen anschlussfähig an die allgemeine Zielsetzung der beruflichen Bildung, eine umfassende Handlungskompetenz zu fördern, wie im Folgenden an einer Idee illustriert wird:

Mit Hilfe der Idee der „vielseitigen Gestaltbarkeit elektrischer Systeme“ können beispielsweise Lernende entdecken, dass ihre fachliche Domäne davon geprägt ist, fachliche Entscheidungen aus einem großen Möglichkeitsraum treffen zu können – und zu müssen – und sie können sich dafür auszurüsten. Sie lernen den fachbezogenen Möglichkeitsraum kennen und entdecken Merkmale, wie sich dieser ordnen und strukturieren lässt. Sie lernen Kriterien und Verfahren kennen, sich des Gestaltungspotenzials, das ihre fachliche Domäne mitbringt, bewusst zu bedienen und an konkreten Fragestellungen einzuüben, auf welche Arten sie eine fachliche Problemstellung technisch lösen können und wie sie eine konkrete Gestaltungsentscheidung für eine bestimmte Option treffen. Die Kenntnis der Fundamentalen Idee „Vielseitige Gestaltbarkeit elektrischer Systeme“ fördert also ei-

nerseits die fachliche Orientierung in der Elektrotechnik unter einer funktionalen Perspektive. Neben dem Erwerb von Fachkompetenzen kann sie zudem das Erlernen von wichtigen Arbeitsprozessen wie dem Analysieren von Anforderungen und dem strukturierten Suchen und Abwägen von Lösungsmöglichkeiten für eine konkrete Problemstellung unterstützen. In einem handlungsorientiert gestalteten Unterricht kann die Vermittlung der Grundidee, dass es für konkrete Aufgabenstellungen oft unterschiedliche fachliche Gestaltungsoptionen gibt und diese beurteilt und ausgewählt werden müssen, leicht integriert werden (z.B. über vollständige Handlungen oder die Verknüpfung mit methodischen Kompetenzen).

Das Gesamtmodell und die einzelnen Fundamentalen Ideen sind bzgl. der Einordnung in die fachlich-methodische Kompetenzentwicklung den Ebenen des deklarativen und des konzeptuellen Wissens zuzuordnen. Sie bieten einen konzeptionellen Beitrag zur konzeptuellen Entwicklung in der beruflichen Fachrichtung Elektrotechnik dar (vgl. Abschnitt 2.2.4). Da bislang für die Fachrichtung keine Fundamentalen Ideen vorlagen, sind die hier präsentierten – wie vergleichbare Arbeiten in anderen Fächern – als ein erster Vorschlag an die wissenschaftliche und praxisorientierte Fachcommunity zu verstehen, die berufliche Fachrichtung auf einer strukturellen Ebene mit ihren fachlichen Zusammenhängen angemessen zu fassen. Wie die vorgelegte Kollektion der sechs Fundamentalen Ideen sich bewährt und wo sie geschärft, angepasst oder erweitert werden muss, wird eine wissenschaftliche Rezeption und die Erprobung bzw. der Gebrauch in der hochschulischen und berufsschulischen Praxis zeigen.

Mit den vorgelegten Fundamentalen Ideen wird ein bisher nicht vorhandener strukturorientierter Zugriff auf die fachlichen Wissensbestände geschaffen, der sich von der üblichen Fachsystematik der Ingenieurwissenschaft Elektrotechnik unterscheidet. Es soll so dem eingangs geschilderten Problem Rechnung getragen werden, dass die ingenieurwissenschaftliche Fachsystematik nicht optimal für die Lehramtsstudierenden passt, weil diese zum einen im Rahmen ihres Fachstudiums nur Teile des „üblichen“ Curriculums absolvieren und Verknüpfungen der Inhalte so nur schwer herstellen können und weil sie zudem mit einer anderen beruflichen Perspektive auf das Fach blicken (siehe Problemaufriss in Unterkap. 1.1).

Mit Hilfe der Fundamentalen Ideen können Studierende des berufsbildenden Lehramts Inhalte, Themen und Phänomene miteinander verknüpfen und sich im Laufe ihres Fachstudiums ein strukturbasiertes Wissensnetz schaffen, das sich über die Fundamentalen Ideen nach und nach entwickelt. Neue Lerninhalte können daraufhin eingeordnet werden, welche der Fundamentalen Ideen darin zu erkennen sind. Dies erleichtert eine spiralförmige Erweiterung des bereits erworbenen Fachwissens, indem eine bestimmte Fundamentale Idee in einem anderen Anwendungsgebiet, bei einem anderen Phänomen oder an einer anderen elektrischen Anlage wiederaufgenommen wird. Zusätzlich können die Studierenden mit Hilfe der Fundamentalen Ideen verschiedene Wissensbestände strukturieren (z.B. den fachwissenschaftlichen und den berufsbezogenen Wissensbestand) und

dadurch leichter fachliche Bezüge zu den Elektroberufen und damit ihrem späteren Berufsfeld als Lehrkraft herstellen. Die vorgelegten Fundamentalen Ideen können über diese Wege Lernprozesse nach einem konstruktivistischen Verständnis und die konzeptuelle Entwicklung von Lernenden unterstützen (vgl. Abschnitt 2.2.3).

Fachdidaktische Anwendungsmöglichkeiten der Fundamentalen Ideen

Fachdidaktische Begleitung des Fachstudiums: Die Fundamentalen Ideen können als ein neues fachdidaktisches Modell für die berufliche Fachrichtung Elektrotechnik verstanden werden, welches den Erwerb von elektrotechnischer Fachkompetenz der Lehramtsstudierenden unterstützen möchte. Dafür müssen die Fundamentalen Ideen für die Studierenden erkennbar sein (siehe konzeptuelles bzw. Reflexionswissen in Abschnitt 2.2.4). Dies ist auf unterschiedlichen Wegen denkbar: Hochschullehrende können in ihren fachlichen Lehrveranstaltungen die Fundamentalen Ideen jeweils mitthematisieren und erklären; die Voraussetzung dafür ist, dass die Lehrenden mit dem Modell vertraut sind. Die Fundamentalen Ideen könnten auch im Rahmen einer fachdidaktischen Lehrveranstaltung eingeführt werden. Letzteres hätte den Vorteil, dass nicht nur die einzelnen Ideen, sondern auch das Modell explizit mit eingeführt werden könnte. Die Studierenden können dieses dann in ihrem weiteren Studium selbstständig für das eigene fachliche Lernen nutzen. Neben der Einführung Fundamentalener Ideen möglichst früh im Studium ist für das spiralförmige Lernen wichtig, dass die Fundamentalen Ideen in verschiedenen Lehrveranstaltungen über das ganze Fachstudium hinweg immer wieder aufgegriffen und explizit genutzt werden, sodass für die Studierenden ihre Bedeutung für die berufliche Fachrichtung und ihr Strukturierungspotenzial erkennbar wird.

Werkzeug für didaktische Auswahl- und Relevanzentscheidungen: Darüber hinaus könnten die Fundamentalen Ideen auch eine fachdidaktische Funktion übernehmen, wenn die Studierenden sie nicht nur als Strukturmodell für das eigene fachliche Lernen kennen lernen, sondern auch als ein Instrument, mit dem sie später als berufsbildende Lehrkraft arbeiten können, um Auszubildenden wiederum deren fachliches Lernen zu erleichtern und curriculare Auswahl- und Relevanzentscheidungen zu treffen (konkreter hierzu siehe Unterkapitel 5.3 zu berufspädagogischen Forschungsergebnissen). Neben den Fundamentalen Ideen selbst können auch die dargestellten Beziehungen zwischen ihnen dazu beitragen, indem bei der Festlegung relevanter fachlicher Inhalte von einer Idee ausgehend systematisch die Beziehungen zu den anderen Ideen verfolgt werden. Darüber können die angehenden Lehrkräfte gezielt weitere fachliche Inhalte bestimmen, die im Unterricht einbezogen werden sollen. Durch diesen Perspektivwechsel in die Rolle der (angehenden) beruflichen Lehrkraft könnten die Fundamentalen Ideen auch zur Entwicklung fachdidaktischer Kompetenz bei den Studierenden beitragen.

Verknüpfung von verschiedenen fachlichen Wissensbeständen: Eine Integration der Fundamentalener Ideen in das Studium der beruflichen Fachrichtung Elektrotechnik könnte

besonders für das häufig gewählte Studienmodell der korrespondierenden Ingenieurwissenschaft interessant sein und ist z.B. wie folgt denkbar: Im Rahmen des fachdidaktischen Studienanteils könnte in Form eines Seminars mit praktischen Anteilen gezielt das Verknüpfen des ingenieurwissenschaftlich organisierten Wissens mit dem Berufsfeldwissen der Elektroberufe thematisiert werden. Die Studierenden könnten so erlernen, die Unterschiede und Gemeinsamkeiten in den jeweiligen Wissensbeständen wahrzunehmen und die Anforderung an ihre Rolle als spätere Lehrkraft zu erkennen, zwischen beiden Wissensbeständen zu vermitteln. In der Lehrveranstaltung könnten die Studierenden Vorgehensweisen, Methoden und Instrumente dafür kennen lernen und erproben, wie sie bspw. auf der Basis der lernfeldorientierten Rahmenlehrpläne fachliche Lernziele herausarbeiten und dafür ihr im Studium erworbenes Fachwissen nutzen und (fach)didaktisch anpassen können. Die Fundamentalen Ideen könnten hier ein didaktisches Instrument darstellen, das es Studierenden ermöglicht, die elektrotechnischen Wissensbestände, die sie in ihrem fachlichen Studium kennen lernen, mit dem Blick auf ihre spätere berufliche Perspektive zu „lesen“, zu verstehen und weiterzuverarbeiten.

Unterstützung des lebenslangen fachlichen Lernens: In der Einführung wurde skizziert, dass das berufliche Umfeld der Elektroberufe aufgrund der Technologieintensität sehr dynamisch ist (Unterkap. 1.1). Neue Technologien werden entwickelt und verändern die Berufe teilweise stark. Berufsbilder und Bildungsgänge werden restrukturiert oder entstehen ganz neu. Dies hat Auswirkungen auf die Gestaltung des berufsschulischen Unterrichts. Durch den Rückgriff auf Fundamentale Ideen können Lehrkräfte sich fachliche Weiterentwicklungen im Laufe ihres Berufslebens erschließen und ihre Fachkompetenz bei zukünftigen Veränderungen immer wieder aktualisieren, um auch ihren Unterricht an veränderte Handlungsanforderungen in den Elektroberufen anpassen zu können³².

Abdeckung fachlicher Inhalte im Lehramtsstudium und in den Elektroberufen

Als letzter Aspekt in diesem Unterkapitel soll die Frage diskutiert werden, inwieweit die Fundamentalen Ideen damit in Deckung zu bringen sind, was an fachlichen Inhalten im Lehramtsstudium Elektrotechnik und in den Elektroberufen vermittelt werden soll.

Um sich einer Antwort auf diese Frage zu nähern, werden die zur Verfügung stehenden einheitlichen Ordnungsmittel genutzt. Dies sind für die Ausbildungsberufe die Rahmenlehrpläne und für das Studium der beruflichen Fachrichtung Elektrotechnik das Fachprofil der KMK (siehe Unterkap. 1.1 und Kultusministerkonferenz 2008 i.d.F. von 2019, 80–82). Diese Ordnungsmittel enthalten u.a. Vorgaben dazu, welche inhaltlich-fachlichen Kompetenzen vermittelt werden sollen. Teilweise werden dabei auch konkrete fachliche Inhalte oder Inhaltsbereiche benannt. Diese in den Ordnungsmitteln benannten Inhalte und Inhaltsbereiche werden daraufhin analysiert, ob sich an ihnen eine oder mehrere der

³² Um die eigene Fachkompetenz weiterzuentwickeln, benötigen die Lehrkräfte auch Lern- bzw. Gestaltungskompetenz sowie Methodenkompetenz. Auch wenn diese nicht im Fokus dieser Arbeit standen, sei dennoch auf ihre Bedeutung bei der (berufs-)lebensbegleitenden Kompetenzentwicklung von Lehrkräften hingewiesen.

Fundamentale Ideen widerspiegeln. Wenn sich eine Fundamentale Idee an verschiedenen Stellen in den Inhalten erkennen lässt, könnte die Idee eine sinnvolle Möglichkeit für Lernende bieten, diese Inhalte im Kontext zu verstehen, das Gemeinsame daran zu erkennen und so in einem spiralförmigen Prozess fachliche (Meta-)Strukturen aufzubauen.

Ein ausführlicher, vollumfänglicher Abgleich von Ordnungsmitteln und Fundamentalen Ideen kann im Rahmen dieses Diskussionskapitels nicht erfolgen. Es soll deshalb nur ein mögliches prinzipielles Vorgehen skizziert werden, welches in weiteren Forschungsarbeiten ausgearbeitet werden könnte: Dafür wurden für den Bereich der Ausbildung exemplarisch die Rahmenlehrpläne der zwei großen Ausbildungsberufe Elektroniker/-in für Betriebstechnik und Elektroniker/-in, Fachrichtung Energie- und Gebäudetechnik ausgewertet. Alle Lernfelder wurden auf Inhalte durchgesehen, die sich der Fundamentalen Idee „Übertragung von Energie und/oder Information“ zuordnen lassen/ in denen sich die Fundamentale Idee „Übertragung von Energie und/oder Information“ erkennen lässt.

Dabei hat sich gezeigt, dass in allen Lernfeldern beider Rahmenlehrpläne Inhalte genannt sind, die sich auf die „Übertragung von Energie und/oder Information“ beziehen lassen. Diese stammen teilweise aus den handlungsorientierten Beschreibungen der Kompetenzen, teilweise aus den stichwortartig genannten Inhalten. Die folgende Tabelle 10 enthält einige Beispiele aus den beiden betrachteten Rahmenlehrplänen. Wenn dieses Vorgehen auch für die anderen Fundamentalen Ideen und weitere Ausbildungsberufe mit ähnlichem Ergebnis durchgeführt werden kann, dann könnten die Fundamentalen Ideen tatsächlich die Möglichkeit eröffnen, spiralförmige Lernprozesse, die die Lernfelder auf der Ebene der Handlungssystematik bereits beinhalten, in ähnlicher Weise auch auf einer theoretisch-fachlichen Ebene anzuregen.

Tabelle 10: Beispielhafter Abgleich von Rahmenlehrplänen mit der Fundamentalen Idee „Übertragung von Energie und/oder Information“

Analysierter Rahmenlehrplan	Beispielhafte Inhalte mit möglichem Bezug zur Fundamentalen Idee „Übertragung von Energie und/oder Information“ (LF = Lernfeld)
Beide Rahmenlehrpläne (LF1 -4 sind gleich)	„Die Schüler/-innen "analysieren elektrotechnische Systeme ... sowie Wirkungszusammenhänge zwischen den einzelnen Ebenen" (LF1), "Berücksichtigung typischer Netzsysteme" (LF2), "analysieren...die funktionalen Zusammenhänge (Blockschaltbild, EVA-Prinzip, Sensoren, Aktoren, Schnittstellen, logische Grundverknüpfungen)" (LF3), "lokale und globale Netzwerke, Datenübertragungsprotokolle" (LF4)
Elektroniker/-in, Fachrichtung Energie-	"Elektroenergieversorgung (Wechsel- und Drehstromsysteme)" (LF5), "Sie nehmen Messwerte und Signalverläufe auf und beurteilen diese im Hinblick auf eine ordnungsgemäße und betriebssichere Funktion (Fehler in Energie-

und Gebäudetechnik (Kultusministerkonferenz 2020b)	und Informationsflüssen..." (LF6), "Komponenten der Steuerungs- und Regelungstechnik, Sensoren und Aktoren, Signal- und Datenübertragungssysteme" (LF7), "installieren und erweitern Energiewandlungssysteme" (LF8), "installieren, parametrieren und programmieren die Kommunikationssysteme (Personenrufanlagen, Telekommunikationsendgeräte und -anlagen, Gefahrenmeldeanlagen, Gebäudesystemtechnik, Antennen- und Breitbandkommunikationsanlage)." (LF9), "planen die Anlagen und Systeme der Haustechnik" (LF10), "Sie analysieren Netze und dezentrale sowie regenerative Energieversorgungssysteme" (LF11), "errichten energie- und gebäudetechnische Anlagen, nehmen diese in Betrieb und prüfen Teil- und Gesamtfunktionen" (LF12), "führen Anpassungen in energie- und gebäudetechnischen Anlagenkomponenten und Systemen durch. Dabei prüfen sie Teil- und Gesamtfunktionen der bestehenden Anlagen, analysieren Störungen und wenden Methoden und Strategien zur systematischen Fehlersuche und Fehlerbeseitigung (Fehlerbaum) an" (LF13)
Elektroniker/-in für Betriebstechnik (Kultusministerkonferenz 2018a)	"Die Schülerinnen und Schüler planen die Elektroenergieversorgung für Betriebsmittel und Anlagen" (LF5), "analysieren Geräte, Baugruppen sowie Wirkungszusammenhänge zwischen den Komponenten der Anlage" (LF6), "erfassen und analysieren Steuerungsabläufe" (LF7), "analysieren Aufträge für Antriebssysteme und planen die technische Realisierung des Antriebs" (LF8), "grenzen bei Störungen Fehler systematisch ein und ergreifen Maßnahmen zu deren Behebung" (LF9), "Aufbau und Betriebsverhalten von Niederspannungsschaltanlagen" (LF10), "Ebenen und vernetzte Strukturen der Automatisierungstechnik" (LF11), "errichten die elektrotechnischen Anlagen oder Anlagenkomponenten, nehmen diese in Betrieb und prüfen Teil- und Gesamtfunktionen" (LF12), "Sie ändern elektrotechnische Anlagen oder Anlagenkomponenten nach Kundenwünschen" (LF13)

Der Versuch, einen ähnlichen Abgleich für das Studium der beruflichen Fachrichtung Elektrotechnik vorzunehmen, ist schwieriger umzusetzen, da das Fachprofil der KMK sehr knapp gefasst ist und als elektrotechnische Fachinhalte nur stichwortartig einige fachliche Teilbereiche wie z.B. „Grundlagen der Elektrotechnik“ oder „Grundlagen der Automatisierungstechnik“ nennt (siehe Seite 16 in Unterkap. 1.1). Weitere übergreifende/einheitliche Ordnungsmittel gibt es im Bereich des Lehramtsstudiums für die beruflichen Fachrichtungen nicht. Eine detailliertere Analyse fachlicher Inhalte im Studium müsste deshalb auf der Ebene der einzelnen hochschulischen Curricula ansetzen, ein Arbeitsschritt, der aus Ressourcengründen hier nicht geleistet werden kann.

Auch wenn es aufgrund der Ergebnisse der Grounded-Theory-Analyse (siehe Tabellen mit den Datenbefunden in den Unterkap. 4.1– 4.6) durchaus plausibel scheint, dass die fundamentalen Ideen auch im Studium der beruflichen Fachrichtung Elektrotechnik eine Vielzahl an fachlichen Inhalte strukturieren und vernetzen könnten, müsste dies noch weiter untersucht werden.

5.3 Forschungsergebnisse in der Berufspädagogik

Wurden zunächst der Beitrag dieser Arbeit zur fachdidaktischen Forschung in der beruflichen Fachrichtung Elektrotechnik reflektiert, wird nun auf einer allgemeineren Ebene diskutiert, an welchen Stellen die berufliche Lehrkräftebildung unabhängig von der konkreten Fachrichtung von den erreichten Forschungsergebnissen profitieren kann und sie so auch zum berufspädagogischen Forschungsdiskurs beitragen können.

Beitrag zur Entwicklung von Pedagogical Content Knowledge

Die im vorigen Unterkapitel dargestellten Überlegungen und Vorschläge, wie die erarbeiteten Fundamentalen Ideen auch fachdidaktisch in der Lehrkräftebildung und der beruflichen Ausbildung eingesetzt werden können, weisen bereits über die konkrete betrachtete Fachrichtung hinaus. Fundamentale Ideen können Lehramtsstudierende sowie Lehrkräfte im Beruf bei curricularen und unterrichtsmethodischen Fragestellungen unterstützen, fachliche Relevanz- und Auswahlentscheidungen zu treffen.

Sie sind jedoch auch auf einer weiteren Ebene interessant. Fundamentale Ideen können gegebenenfalls zur Entwicklung von Pedagogical Content Knowledge (siehe Abschnitt 2.2.1) ebenfalls einen Beitrag leisten, was jedoch noch genauer untersucht werden müsste. Sie könnten den Studierenden ermöglichen, ihre fachliche Domäne durch eine zusätzliche Ordnungs-/Strukturierungssystematik umfassender zu verstehen und ihr fachliches Wissen über die Fundamentalen Ideen im Laufe des Studiums immer weiter zu verknüpfen (im Sinne eines eigenen spiralförmigen Lernens). Fundamentale Ideen helfen, das konzeptuelle Verständnis für die Fachrichtung zu vertiefen und die spezifischen Beiträge dieser zur Bearbeitung gesellschaftlicher Problemstellungen/Fragen zu erkennen. In Shulmans Modell umfasst dies noch den Bereich von Content Knowledge, allerdings werden die Grundlagen für die Entwicklung von PCK durch ein umfassendes und flexibel einsetzbares fachliches Wissen gelegt (vgl. Abschnitt 2.2.1). Dazu wird das Bild von Baumert und Kunter noch einmal aufgegriffen, wonach Fachwissen die Grundlage darstellt, auf der fachdidaktische Beweglichkeit entwickelt werden kann (siehe Abschnitt 2.2.1): Studierende können über die Fundamentalen Ideen erfahren, dass eine profunde Fachkompetenz ihnen einerseits ein sicheres Standbein für ihr berufliches Handeln schaffen kann und ihnen andererseits im Sinne eines Spielbeins ermöglicht, Lehr-Lernsituationen flexibel zu gestalten und an die Bedürfnisse der Lernenden anzupassen (z.B. durch horizontale oder vertikale Verknüpfungen zwischen Lerninhalten über Fundamentale Ideen oder berufsspezifische Sinnbezüge zwischen Fachwissen und Beruf). Die Fundamentalen Ideen einer beruflichen Fachrichtung können insofern auch als ein Werkzeug verstanden werden, um den Aufbau von PCK zu unterstützen.

Dies ist für das Lehramtsstudium deshalb interessant, weil ein großer Teil von PCK erst als Handlungs- und Erfahrungswissen im Laufe der praktischen Ausbildungsphase des Vorbereitungsdienstes und der Berufstätigkeit durch reflektiertes Handeln entsteht. Das

Modell der Fundamentalen Ideen könnte jedoch bereits im Studium ansetzen und dort einen ersten Beitrag zur Entwicklung von PCK leisten. Gerade auf den ersten Stufen der beruflichen Kompetenzentwicklung als Lehrkraft könnte dies förderlich sein (siehe Novizen-Experten-Modell in Abschnitt 2.2.2).

Verknüpfung Fundamentaler Ideen und Arbeitsprozessorientierung

Fundamentale Ideen folgen nicht der klassischen Fachsystematik der korrespondierenden Ingenieurwissenschaft, sie entstehen jedoch aus einer fachbezogenen Betrachtung und setzen auch didaktisch zunächst auf einer fachlichen Ebene an, wie in dieser Arbeit gezeigt wurde. Nun steht als bildungspolitische Vorgabe für das didaktische Vorgehen an den Berufsschulen die Handlungssystematik im Vordergrund, um das Bildungsziel der umfassenden beruflichen Handlungsfähigkeit der Auszubildenden zu fördern (siehe Unterkap. 1.1). Ein fachsystematisches Vorgehen tritt dahinter zurück; dies wird daran sichtbar, dass die Lernfelder nur wenig Angaben zu konkreten fachlichen Themen und Inhalten beinhalten, sondern bewusst technologieoffen und flexibel formuliert sind.

Die Fundamentalen Ideen können den Lehrkräften an berufsbildenden Schulen eine Möglichkeit bieten, die beiden Perspektiven der Handlungssystematik und der Fachsystematik zu verknüpfen. Um diese Idee zu verdeutlichen, wird auf einen Ansatz von Howe und Knutzen zurückgegriffen, den diese in ihrer „Kompetenzwerkstatt“ für kompetenz- und prozessorientierte Berufsbildung³³ entwickelt haben, um u.a. berufliche Arbeitsprozesse für eine Nutzung im berufsschulischen Unterricht zu erschließen.

Die prozessorientierte und die fachsystematische Herangehensweise bilden unterschiedliche Zugänge ab, wie Lehrende eine fachliche Domäne für Lernende zugänglich machen:

- Ein (arbeits-)prozessorientiertes Vorgehen erleichtert es Auszubildenden, das Gelernte auf ähnliche folgende Arbeitsprozesse und Aufgaben zu transferieren. Das Denken und Handeln in Prozessen wird gefördert und dabei werden neben der Entwicklung von Fachkompetenz auch weitere Kompetenzbereiche wie Methoden- oder Sozialkompetenz angesprochen (z.B. durch das gezielte Erschließen von Informationen oder durch Kooperation). Bezogen auf die Fachkompetenz (das „theoretische Wissen“) können die Lernenden diese leichter aufbauen und fachliche Inhalte verknüpfen, wenn sie sie in dem Kontext erlernen, wo sie in konkreten Arbeitsprozessen gebraucht werden. Allerdings gelingt es auf diesem Weg kaum, einen theoretischen Gesamtüberblick über das Wissensgebiet des entsprechenden Elektroberufs zu herzustellen und für die Auszubildenden (nach und nach) eine fachliche Geschlossenheit zu schaffen. Die Lernenden können nur schwer Strukturen zwischen den theoretischen Inhalten erkennen. Das bereitet Lernenden insbesondere dann Probleme, wenn sie neuartige Aufgaben bewältigen müssen und diese erst theoretisch durchdringen müssen, um eine geeignete fachliche Lösung und ein passendes Vorgehen zu entwickeln (Howe und Knutzen 2022b, 13–14).

³³ <https://www.kompetenzwerkstatt.net>, aufgerufen am 25.10.2023

- Andersherum kann ein fachsystematisch orientiertes Vorgehen – z.B. der Gliederungsstruktur von Lehrbüchern folgend – den Aufbau eines geschlossenen fachlich-theoretischen Wissensbestandes in einer bewährten Ordnungsstruktur des Faches zwar besser leisten. Allerdings bleibt dieser Wissensbestand für Lernende oft abstrakt und kann nur schwer auf konkrete Problemstellungen aus der beruflichen Praxis angewendet werden. Der Nutzen des theoretischen Wissens, fachliche Zusammenhänge tiefer zu verstehen und sich Erklärungen theoretisch herleiten zu können, wird den Auszubildenden für die Praxis nicht unbedingt klar. Eine umfassende Handlungskompetenz kann so nur unzureichend ausgebildet werden, auch deshalb, weil bei einer vorrangig fachsystematischen Herangehensweise weitere Kompetenzbereiche (Sozial-, Personal- und Methodenkompetenz) wenig mitberücksichtigt werden (Howe und Knutzen 2022b, 14–16).

Während also das fachsystematische Vorgehen stärker die physikalisch-technische Funktionsweise von elektrischen Systemen und Technologien sowie deren Erklärung in den Mittelpunkt von Lehr-Lernprozessen stellt, richtet sich das prozessorientierte Vorgehen v.a. auf den Gebrauchswert von Technik/Technologien. Um Auszubildende umfassend handlungsfähig zu machen, sodass sie auch komplexe, selten oder neu auftretende Arbeitsaufgaben kompetent bewältigen können, sollten beide Vorgehensweisen verknüpft werden, um ihre jeweiligen oben beschriebenen didaktischen Vorteile zu verbinden (siehe Abbildung 29) (Howe und Knutzen 2022b, 16–17).

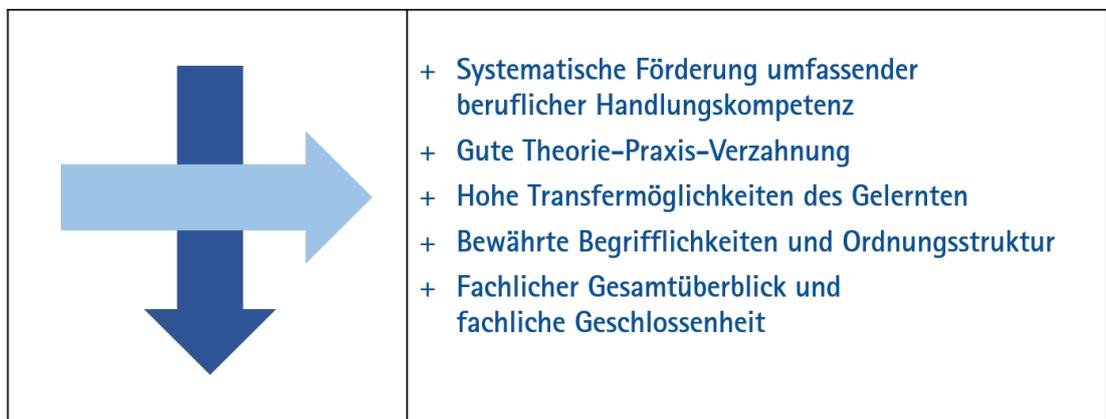


Abbildung 29: Ausbildungsleitbild: Prozessorientierung mit fachsystematischer Reflexion (Howe und Knutzen 2022b, 17), eigene Darstellung)

In der berufswissenschaftlichen Forschung sowie der praxisorientierten Entwicklung didaktischer Konzepte und Instrumente sind bereits einige Ansätze entwickelt worden, wie diese Verbindung in den gewerblich-technischen Fachrichtungen gestaltet werden kann. Konzeptionell wurde dies beispielsweise mit dem Konstrukt des Arbeitsprozesswissens beantwortet (siehe Abschnitt 2.2.2). Andere Forscher/-innen haben z.B. konkrete Modul- und Veranstaltungskonzeptionen entwickelt, die beide Orientierungen über fachliche Lehrveranstaltungen mit einer berufswissenschaftlichen Veranstaltung, einer fachdidaktischen Reflexion und einem Projekt verbindet (Hägele und Knauf 2018). Auch Howe und

Knutzen haben mit dem Konzept beruflicher Handlungsfelder und der Methodik der Arbeitsprozessanalyse (als Teil ihrer „Kompetenzwerkstatt“) einen Vorschlag gemacht, wie die beiden Vorgehensweisen berufsbezogen verbunden werden können und berufliche Lehrkräfte und Ausbildungspersonal sich damit wesentliche prozessbezogene und fachsystematische Elemente für die Gestaltung konkreter Lernarrangements erschließen können (Howe und Knutzen 2022a; Howe und Knutzen 2022b).

Die in dieser Arbeit entwickelten Fundamentalen Ideen stellen ein weiteres didaktisches Werkzeug dar, mit dem in der beruflichen Lehrkräfteausbildung (bzw. später im Arbeitsalltag als Lehrkraft) die beiden Zugangsweisen der Prozessorientierung und der Fachsystematik verbunden werden könnten. Ausgangspunkt dafür ist wiederum ein typischer Arbeitsprozess aus dem beruflichen Alltag der Auszubildenden (z.B. die Sanierung der Elektroinstallation in einer Altbauwohnung), der von den Lehrkräften z.B. für den Unterricht in Lernfeld 2 „Elektrische Systeme planen und installieren“ aus den Rahmenlehrplänen der Elektronikerberufe zu einer Lernsituation aufbereitet werden soll. Ausgehend von diesem Arbeitsprozess legen die Lehrkräfte fest, welche elektrotechnischen Grundlagen und Fachinhalte die Auszubildenden dafür benötigen. Die Fundamentalen Ideen könnten diesen fachinhaltsbezogenen Auswahlprozess leiten, indem beispielsweise Fragen wie die folgenden gestellt werden:

- Welche Energie- und Informationsübertragungsprozesse umfasst der Auftrag?
- Welche elektrischen Systeme oder Teile müssen für diese Übertragungsanforderungen modernisiert oder erneuert werden?
- Wie soll die Verteilung der elektrischen Energie bzw. der Informationen konkret erfolgen? Wie können die benötigten Stromkreise aufgebaut und abgesichert werden?
- Welche verschiedenen technisch-fachlichen Gestaltungsoptionen gibt es? Welche der Gestaltungsoptionen können tatsächlich realisiert werden?
- Müssen Absicherungen angepasst bzw. erneuert und weitere Sicherheitsmaßnahmen umgesetzt werden?
- Welche Standards gelten im konkreten Fall und müssen eingehalten werden? Gelten bestimmte Vorgaben unter den veränderten Bedingungen ggf. nicht mehr?
- Können die Energie- und Informationsübertragungsprozesse alle wie beauftragt und in entsprechender Qualität realisiert werden? Wo sind ggf. Abweichungen nötig?

Fundamentale Ideen können innerhalb eines handlungs- bzw. prozessorientierten didaktischen Vorgehens als ein Instrument eingesetzt werden, um die fachsystematische Perspektive einzubringen. Indem immer wieder die fachbezogenen Grundideen genutzt und auch explizit gemacht werden, um die vielfältigen fachlichen Inhalten für die Lernenden zu strukturieren und zu vernetzen, könnten die Fundamentalen Ideen einen Beitrag dazu leisten, den Aufbau fachlicher Strukturen bzw. eines geschlossenen fachlich-theoretischen Wissensbestandes der fachlichen Domäne für die Auszubildenden zu erleichtern.

Erweiterung des Ansatzes der Fundamentalen Ideen auf die berufliche Bildung

Eine wichtige Zwischenstation auf dem Weg zur Beantwortung der Forschungsfrage dieser Arbeit war, wie sich der Grundansatz der Fundamentalen Ideen auf den berufsbildenden Bereich übertragen lässt. Das beinhaltet zum einen den Aspekt, wie sich der Ansatz insgesamt aus den allgemeinbildenden Fächern auf den berufsbildenden Bereich übertragen lässt und zum anderen die Frage, ob damit dann auch im berufsbildenden Bereich tatsächlich Fundamentale Ideen formuliert werden können.

Dafür wurden zunächst die Fundamentalitätskriterien einer Prüfung unterzogen. Es zeigte sich, dass diese teilweise angepasst werden müssen, um die Charakteristika des beruflichen Bildungskontextes angemessen zu berücksichtigen (siehe Abschnitt 2.4.2). Auch das Vorgehen für die Validierung der einzelnen Kriterien musste teilweise angepasst werden (siehe Abschnitt 3.4.1). Mit diesen Anpassungen der Kriterien, die in Tabelle 11 zusammengefasst sind, konnte die Anwendung des Ansatzes auf die hier exemplarisch betrachtete berufliche Fachrichtung Elektrotechnik erfolgen. Die überarbeiteten Kriterien tragen dazu bei, das Suchraster für den Bildungskontext der beruflichen Bildung zu spezifizieren und damit die Passung zum Validieren möglicher Fundamentaler Ideen zu verbessern, ohne ihren grundlegenden Charakter zu verändern.

Tabelle 11: Übersicht über die Anpassungen der Fundamentalitätskriterien an den berufsbildenden Bereich

Kriterium	Erfolgte Überarbeitung und Anpassungen
Horizontalkriterium	<ul style="list-style-type: none"> • Kriterium kann definitorisch unverändert bleiben • „Suchradius“ für die Validierung auf beruflich relevante Felder/ Bereiche der Fachrichtung ausgerichtet
Vertikalkriterium	<ul style="list-style-type: none"> • Kriterium kann definitorisch unverändert bleiben • Validierung in der beruflichen Bildung schwieriger, weil Fach(richtung) nicht in schulischen Curricula für alle Altersstufen auftaucht • zur Validierung wurden deshalb zusätzlich ein inhaltlich nahes allgemeinbildendes Fach sowie nichtschulische Lernmaterialien einbezogen
Zeitkriterium	<ul style="list-style-type: none"> • Kriterium kann grundsätzlich definitorisch unverändert bleiben • ...aber gleichzeitig kritischer Blick darauf, ob die „Classics“ auch aktuelle technische und gesellschaftliche Entwicklungen in den Berufsfeldern noch abbilden • Validierung erfolgte über historische und aktuelle Beispiele aus der Elektrotechnik, die Bedeutung für die Elektroberufe haben

Sinnkriterium	<ul style="list-style-type: none"> • Kriterium kann grundsätzlich definitorisch unverändert bleiben • Für die Validierung wird der Umweltbezug primär an Berufsfeldern orientiert. Die allgemeine Lebenswelt wird dennoch nicht ganz ausgeblendet (siehe Vertikalkriterium).
Zielkriterium	<ul style="list-style-type: none"> • Kriterium kann grundsätzlich definitorisch unverändert bleiben • wird als ergänzendes Kriterium betrachtet, welches nicht notwendigerweise erfüllt sein muss, damit eine Idee als Fundamentale Idee gelten kann • dennoch interessant für die berufliche Bildung, da mit dem erstrebenswerten Ideal/der Leitlinienfunktion eine Anschlussmöglichkeit an das didaktische Leitprinzip der Handlungsorientierung geschaffen werden kann

Die verwendete Forschungsmethodik erwies sich als geeignet, um mögliche Fundamentale Ideen zu erarbeiten (siehe auch Unterkapitel 0). Die erarbeiteten Fundamentalen Ideen sind inhaltlich klar auf die berufliche Fachrichtung bezogen, nicht auf die korrespondierende Ingenieurwissenschaft. Alle Ideen umfassen fachliche Kerne der Elektrotechnik als berufliche Fachrichtung (siehe Unterkapitel 5.2). Die angepassten Kriterien sind zudem geeignet, um eine Validierung bezüglich der Fundamentalität der Ideen durchführen zu können. Die Methode der Experteninterviews kann eingesetzt werden, um zu überprüfen, ob erarbeitete Fundamentale Ideen für eine Fachrichtung relevante und grundlegende fachbezogene Vorstellungsbereiche und Strukturen abbilden.

Die konkreten Fundamentalen Ideen, die in dieser Dissertation erarbeitet wurden, sind ein fachrichtungsspezifisches Ergebnis. Es lässt sich jedoch leicht vorstellen, dass der Grundansatz der Fundamentalen Ideen im Bereich der beruflichen Bildung weitere Anwendungsmöglichkeiten in Forschung und berufspädagogischer Praxis finden kann. Ein Vorschlag, wie Fundamentale Ideen für eine berufliche Fachrichtung erarbeitet werden können, wurde mit dieser Arbeit vorgelegt und exemplarisch umgesetzt. Insbesondere die angepassten Fundamentalitätskriterien könnten wie vorgeschlagen (ggf. mit leichten fachrichtungsbezogenen Spezifizierungen) auch in anderen beruflichen Fachrichtungen eingesetzt werden und dort die Identifizierung von Fundamentalen Ideen unterstützen.

5.4 Ausblick

Mit den erarbeiteten Fundamentalen Ideen und dem Gesamtmodell wird ein Forschungsbeitrag zur Theoriebildung in der Fachdidaktik der Elektrotechnik geleistet, der auch erste Anschlussmöglichkeiten in die weitere berufspädagogische Forschung bietet. Dieses theoretisch-konzeptionelle Ergebnis wurde mit einer qualitativen Forschungsmethodik erzielt. Es ist dadurch eng am betrachteten Gegenstand orientiert. Der Geltungsbereich der Ergebnisse ist zunächst von einer begrenzten Reichweite. Weitere fachdidaktische oder berufspädagogische Arbeiten könnten an diese Forschung anschließen und die Ergebnisse inhaltlich und bezüglich ihres Geltungsbereichs erweitern oder empirisch erproben. Im Folgenden werden einige Anschlussfragen für weitere Forschungsvorhaben benannt.

Die **erste Gruppe von weiterführenden Forschungsfragen** ergibt sich aus dem begrenzten Geltungsbereich der erzielten Ergebnisse, der seine Ursache in der Grounded-Theory-Methodik selbst und dem eher kleinen qualitativen Datensample hat. Hier können Vorhaben anschließen, die das **Modell konzeptionell weiter ausarbeiten** oder seinen **Geltungsbereich verbreitern**. Für die inhaltlich-konzeptuelle Ausgestaltung des Modells könnten untergeordnete Ideen, Prinzipien und Konzepten für die einzelnen Fundamentalen Ideen herausgearbeitet, die Fundamentalen Ideen mit weiteren bedeutsamen Konzepten (z.B. aus dem Bereich der fachspezifischen Methoden und Arbeitspraktiken) verknüpft oder typische Muster zusammen auftretender Ideen identifiziert werden.

Eine mögliche Verbreiterung des Geltungsbereichs kann z.B. über andere Bildungsgänge der Elektrotechnik untersucht werden (nicht-duale berufliche Bildungsgänge oder das ingenieurwissenschaftliche Studium), indem die vorgelegten Fundamentalen Ideen dort validiert oder neue Ideen erarbeitet und mit den vorgelegten verglichen werden.

Auf der fachlichen sowie fachdidaktischen Ebene ergeben sich ebenfalls Folgefragen, um das Modell weiterzuentwickeln, z.B. danach, ob die vorgeschlagenen Fundamentalen Ideen alle den gleichen Anteil daran haben, ein gutes fachliches Gesamtverständnis der beruflichen Fachrichtung Elektrotechnik aufzubauen oder manche Ideen ggf. stärker dazu beitragen als andere? Hier ergeben sich zudem Anschlussmöglichkeiten für eine fachrichtungsbezogene Conceptual Change-Forschung, um empirisch zu untersuchen, wie sich das konzeptuelle Wissen zu den einzelnen Fundamentalen Ideen bei Auszubildenden und bei beruflichen Lehramtsstudierenden ausbildet und wie diese konzeptuelle Entwicklung gefördert werden kann. Die mögliche konzeptionelle Verknüpfung der Fundamentalen Ideen als einem theoretisch-fachlich orientierten Ansatz mit dem prozessorientierten Ansatz der beruflichen Ausbildung konnte im Rahmen der Ergebnisdiskussion nur angerissen werden. Eine designorientierte Folgestudie könnte diesen Aspekt vertiefen und z.B. im Rahmen fachdidaktischer Lehrveranstaltungen mit Schulbezug für einzelne Berufsausbildungen anhand der Curricula weiter ausarbeiten und erproben.

Die **zweite Gruppe von Anschlussfragen** für weitere Forschung ergibt sich daraus, wie das entwickelte **Modell empirisch erprobt** werden kann und Erkenntnisse zu **Nutzungsmöglichkeiten und Wirkungen** gewonnen werden können. Vorhaben im Bereich der Gestaltungsforschung können z.B. über Design Based Research-Studien Antworten darauf finden, mit welcher Art von didaktischer Intervention das vorgeschlagene Modell der Fundamentalen Ideen am effektivsten in hochschulische Curricula der beruflichen Fachrichtung Elektrotechnik implementiert werden kann (z.B. durch die Konzeption und Erprobung von Lehrkonzepten oder Lehrveranstaltungen). Vorhaben im Bereich der Wirkungsforschung können Fragen bearbeiten, wie und woran sich eine Wirkung der didaktischen Verwendung von Fundamentalen Ideen auf fachliche sowie auf fachdidaktische Kompetenzentwicklungsprozesse von Lehramtsstudierenden empirisch erkennen und messen ließe (vgl. Euler 2020, 214–215).

Interessant wäre dabei zudem ein Vergleich verschiedener Lehrkonzepte und die Erprobung des Ansatzes in unterschiedlichen Studienmodellen des beruflichen Lehramts. Aus berufsbiografischer Perspektive ergibt sich die Frage, ob bestimmte Studierende oder Studierendengruppen stärker von der Verwendung Fundamentalener Ideen profitieren könnten als andere und ob der Einsatz in verschiedenen Phasen der Kompetenzentwicklung von Lehrkräften verschiedene Wirkungen hervorbringt. Da die entwickelten Fundamentalener Ideen auch die Zielgruppe der Auszubildenden in den Elektroberufen adressieren wollen, wären gestaltungs- und wirkungsorientierte Folgestudien unter Beteiligung von Berufsschulen hier ebenfalls interessant (als Längsschnittstudie über die gesamte Ausbildungszeit oder als Querschnittsstudie mit Parallelklassen als Experimental- und Kontrollgruppe).

In der Diskussion der Ergebnisse wurde bereits die Möglichkeit benannt, den hier an einer konkreten beruflichen Fachrichtung genutzten und weiterentwickelten didaktischen Ansatz der Fundamentalener Ideen **auf andere berufliche Fachrichtungen zu übertragen**. Hieraus ergibt sich eine **dritte Gruppe von Anschlussfragen**. Folgeforschung könnte auf den konzeptionellen Ergebnissen dieser Arbeit aufsetzen und Fundamentale Ideen für andere berufliche Fachrichtungen (z.B. mit fachlicher Nähe oder möglichst großem fachlichen Kontrast) erarbeiten. Damit könnte zum einen das in dieser Arbeit entwickelte Instrumentarium breiter eingesetzt, geprüft und weiterentwickelt werden.

Aus dem Vergleich mit solchen Ergebnissen könnten sich zum anderen weitere interessante Forschungsfragen derart ergeben, welche Spezifika, Ähnlichkeiten und Unterschiede Ideenkollektionen in beruflichen Fachrichtungen aufweisen und ob sich daraus Ableitungen für das Konstrukt der Fundamentalener Ideen im berufsbildenden Bereich ergeben können (z.B. bezüglich der Weite ihres Geltungsbereichs oder der Bedeutung des Zielkriteriums).

Es wird deutlich, dass sich aus den Ergebnissen dieser Arbeit vielfältige Ansatzpunkte für weitere Forschungsvorhaben ableiten lassen. Sie bieten das Potenzial für eine weitere Stärkung fachdidaktischer Forschung in der beruflichen Fachrichtung Elektrotechnik. Diese könnte insbesondere bei der Entwicklung fachbezogener Kompetenz und PCK sowie bei inhaltlichen und curricularen Gestaltungsmöglichkeiten im beruflichen Lehramtsstudium ansetzen.

6. Literaturverzeichnis

- Achtenhagen, Frank/Pätzold, Günter (2010). Lehr-Lernforschung und Mikrodidaktik. In: Reinhold Nickolaus/Günter Pätzold/Holger Reinisch et al. (Hg.). Handbuch Berufs- und Wirtschaftspädagogik. Bad Heilbrunn, Verlag Julius Klinkhardt, 137–159.
- Aprea, Camela (2018). Lehr-Lern-Forschung. In: Felix Rauner/Philipp Grollmann (Hg.). Handbuch Berufsbildungsforschung. 3. Aufl. Bielefeld, wbv Media GmbH & Co. KG, 494–502.
- Baumert, Jürgen/Kunter, Mareike (2006). Stichwort: Professionelle Kompetenz von Lehrkräften. Zeitschrift für Erziehungswissenschaft 9 (4), 469–520. <https://doi.org/10.1007/s11618-006-0165-2>.
- Berg, Charles/Milmeister, Marianne (2011). Im Dialog mit den Daten das eigene Erzählen der Geschichte finden: Über die Kodierverfahren der Grounded-Theory-Methodologie. In: Günter Mey/Katja Mruck (Hg.). Grounded Theory Reader. 2. Aufl. Wiesbaden, VS Verlag, 303–332.
- Bogner, Alexander/Menz, Wolfgang (2002). Das theoriegenerierende Experteninterview. Erkenntnisinteresse, Wissensformen, Interaktion. In: Alexander Bogner/Beate Littig/Wolfgang Menz (Hg.). Das Experteninterview. Theorie, Methode, Anwendung. Wiesbaden, Springer Fachmedien, 33–70.
- Borch, Hans/Weissmann, Hans (2003). Neuordnung der Elektroberufe in Industrie und Handwerk. Berufsbildung in Wissenschaft und Praxis – BWP (5), 9–13. (abgerufen am 25.10.2023).
- Bruner, Jerome S. (1980). Der Prozeß der Erziehung. 5. Aufl. Berlin, Berlin-Verl.
- Bumiller, Horst/Burgmaier, Monika/Duhr, Christian/Eichler, Walter/Feustel, Bernd/Käp- pel, Thomas/Klee, Werner/Manderla, Jürgen/Reichmann, Olaf/Schwarz, Juer- gen/Tkotz, Klaus/Winter, Ulrich (2020). Fachkunde Elektrotechnik. 32. Aufl. Haan- Gruiten, Verlag Europa-Lehrmittel Nourney Vollmer GmbH & Co. KG.
- Bundesinstitut für Berufsbildung (2021). Elektroniker/Elektronikerin in den Fachrichtun- gen Energie- und Gebäudetechnik, Automatisierungs- und Systemtechnik. Ausbil- dungshilfen zur Ausbildungsordnung für Ausbilder und Ausbilderinnen, Auszubil- dende, Berufsschullehrer und Berufsschullehrerinnen, Prüfer und Prüferinnen AUS- BILDUNG GESTALTEN. Bonn. Ausbildung gestalten. Online verfügbar unter <https://www.bibb.de/dienst/publikationen/de/download/17455> (abgerufen am 25.10.2023).
- Bundesinstitut für Berufsbildung (Hg.) (2022). BIBB-Erhebung: neu abgeschlossene Aus- bildungsverträge. BIBB. Online verfügbar unter <https://www.bibb.de/de/167182.php> (abgerufen am 25.10.2023).

- Demuth, Reinhard/Ralle, Bernd/Parchmann, Ilka (2005). Basiskonzepte – eine Herausforderung an den Chemieunterricht. *CHEMKON* 12 (2), 55–60. <https://doi.org/10.1002/ckon.200510021>.
- Denning, Peter J. (2003). Great Principles of Computing. *Communications of the ACM* 46 (11), 15–20. <https://doi.org/10.1145/948383.948400>.
- Denning, Peter J. (2008). Great Principles of Computing. Manuskript. (abgerufen am 10.1145/948383.948400).
- Denning, Peter J. (2010). Computing Science: The Great Principles of Computing. *American Scientist* 98 (5), 369–372. Online verfügbar unter <http://www.jstor.org/stable/27859559> (abgerufen am 25.10.2023).
- Dick, Michael (2018). Berufsarbeit und Kompetenzentwicklung – Einführung. In: Felix Rauner/Philipp Grollmann (Hg.). *Handbuch Berufsbildungsforschung*. 3. Aufl. Bielefeld, wbv Media GmbH & Co. KG, 377–383.
- diSessa, Andrea A. (1988). Knowledge in Pieces. In: George Forman/Peter B. Pufall (Hg.). *Constructivism in the Computer Age*. New York, Psychology Press, 49–70.
- diSessa, Andrea A. (2018). A Friendly Introduction to "Knowledge in Pieces": Modeling Types of Knowledge and Their Roles in Learning. In: Gabriele Kaiser/Helen Forgasz/Mellony Graven et al. (Hg.). *Invited Lectures from the 13th International Congress on Mathematical Education, ICME-13*. Cham, Springer International Publishing, 65–84.
- Dittmann, Frank (Hg.) (2011). *Überwindung der Distanz. 125 Jahre Gleichstromübertragung Miesbach – München; 125 Jahre elektrische Energieübertragung; Beiträge der Veranstaltung des VDE-Ausschusses "Geschichte der Elektrotechnik" vom 12. bis 14. September 2007 im Deutschen Museum, München*. Berlin/Offenbach, VDE Verlag.
- Dresing, Thorsten/Pehl, Thorsten (2018). *Praxisbuch Interview, Transkription & Analyse. Anleitungen und Regelsysteme für qualitativ Forschende*. 8. Aufl. Marburg, Dr. Dresing und Pehl GmbH (Eigenverlag).
- Dreyfus, Hubert L./Dreyfus, Stuart E. (1987). *Künstliche Intelligenz. Von den Grenzen der Denkmaschine und dem Wert der Intuition*. Reinbek b. Hamburg, Rowohlt.
- Eilks, Ingo (2007). Neue Wege zum Teilchenkonzept – Oder: Wie man Basiskonzepte forschungs- und praxisorientiert entwickeln kann. *Naturwissenschaften im Unterricht. Chemie*, 18 (2007) 100–101, S. 23–27. Online verfügbar unter <https://www.researchgate.net/publication/229050128> (abgerufen am 25.10.2023).
- Euler, Dieter (2020). Kompetenzorientierung in der beruflichen Bildung. In: Rolf Arnold/Antonius Lipsmeier/Matthias Rohs (Hg.). *Handbuch Berufsbildung*. 3. Aufl. Wiesbaden, Springer VS, 205–217.

- Fachbereichstag Elektro- und Informationstechnik (2021). Positionspapier für Bachelorstudiengänge Elektrotechnik und Informationstechnik an HAWen. Positionspapier Elektrotechnik und Informationstechnik. Fachbereichstag Elektro- und Informationstechnik. Online verfügbar unter https://fbtei.de/images/pdfs/FBTEI-Elektrotechnik_Positionspapier_21-11-12_VV-FBTEI.pdf (abgerufen am 25.10.2023).
- Faßheuer, Uwe (2010). Berufliche Fachrichtungen und Studienorganisation. (Kap. 2.4). In: Jörg-Peter Pahl/Volkmar Herkner (Hg.). Handbuch berufliche Fachrichtungen. 2. Aufl. Bielefeld, Bertelsmann, 235–245.
- Faßheuer, Uwe (2012). Zwischen Standardmodell und "Sondermaßnahmen" - Rekrutierungsstrategien in der Lehrerbildung aus Sicht von Schulleitungen. In: Matthias Becker/Georg Spöttl/Thomas Vollmer (Hg.). Lehrerbildung in Gewerblich-Technischen Fachrichtungen. Bielefeld, Bertelsmann W. Verlag, 281–300.
- Fischer, Martin (2018). Arbeitsprozesswissen. In: Felix Rauner/Philipp Grollmann (Hg.). Handbuch Berufsbildungsforschung. 3. Aufl. Bielefeld, wbv Media GmbH & Co. KG, 413–421.
- Fischer, Rolf (2019). Elektrotechnik. Für Maschinenbauer sowie Studierende technischer Fächer. 16. Aufl. Wiesbaden, Springer Vieweg.
- FTEI Fakultätentag für Elektrotechnik und Informationstechnik e.V. (2020). Fachqualifikationsrahmen 2020 für Studiengänge und Promotionen in Elektrotechnik und Informationstechnik. Empfehlungen für Universitäten. Frankfurt am Main. (abgerufen am 04.03.2022, in 10/2023 nicht mehr online verfügbar).
- Gläser, Jochen/Laudel, Grit (2010). Experteninterviews und qualitative Inhaltsanalyse als Instrumente rekonstruierender Untersuchungen. 4. Aufl. Wiesbaden, VS Verlag für Sozialwissenschaften.
- Grantz, Torsten/Schulte, Sven/Spöttl, Georg (2008). Virtuelles Lernen auf der Baustelle. Berufs- und Wirtschaftspädagogik Online (15), 1–20. Online verfügbar unter https://www.bwpat.de/ausgabe15/grantz_etal_bwpat15.shtml (abgerufen am 03.10.2023).
- Grillenberger, Andreas/Romeike, Ralf (2017). Key Concepts of Data Management - an Empirical Approach. In: Calkin Suero Montero (Hg.). Proceedings of the 17th Koli Calling International Conference on Computing Education Research, Koli Finland, 16.-19.11.2017. ACM, 30–39.
- Gropengießer, Harald/Marohn, Annette (2018). Schülervorstellungen und Conceptual Change. In: Dirk Krüger/Ilka Parchmann/Horst Schecker (Hg.). Theorien in der naturwissenschaftsdidaktischen Forschung. Berlin, Springer, 49–67.
- Häder, Michael/Häder, Sabine (2000). Die Delphi-Methode als Gegenstand methodischer Forschungen. In: Michael Häder/Sabine Häder (Hg.). Die Delphi-Technik in den Sozialwissenschaften. Methodische Forschungen und innovative Anwendungen. Wiesbaden, Westdt. Verl., 11–31.

- Hägele, Thomas/Knauf, Barbara (2018). Verbindung von Fach- und Handlungsstrukturen in der gewerblich-technischen Lehrerinnen- und Lehrerbildung am Beispiel der Fachrichtung Elektro-/Informationstechnik. *Lernen & Lehren* 33 (130), 48–52.
- Harms, Ute/Mayer, Jürgen/Hammann, Marcus/Bayrhuber, Horst/Kattmann, Ulrich (2004). Kerncurriculum und Standards für den Biologieunterricht in der gymnasialen Oberstufe. In: Heinz-Elmar Tenorth (Hg.). *Kerncurriculum Oberstufe II. Biologie, Chemie, Physik, Geschichte, Politik. Expertisen - im Auftrag der KMK*. Weinheim, Basel, Beltz, 22–84.
- Harriehausen, Thomas/Schwarzenau, Dieter (2020). *Moeller Grundlagen der Elektrotechnik*. 24. Aufl. Wiesbaden, Springer Vieweg.
- Hartmann, Martin (2012). Berufsbild für Lehrkräfte berufsbildender Schulen als Grundlage für Lehrerprofessionalität. In: Matthias Becker/Georg Spöttl/Thomas Vollmer (Hg.). *Lehrerbildung in Gewerblich-Technischen Fachrichtungen*. Bielefeld, Bertelsmann W. Verlag, 97–118.
- Hartmann, Werner/Näf, Michael/Reichert, Raimond (2006). *Informatikunterricht planen und durchführen*. Berlin, Heidelberg, Springer Berlin Heidelberg.
- Hertel, Ingolf/Großmann, Siegfried (2016). *Physik in der Schule. Eine Studie der Deutschen Physikalischen Gesellschaft e.V.* Deutsche Physikalische Gesellschaft e.V. Online verfügbar unter <https://www.dpg-physik.de/veroeffentlichungen/publikationen/studien-der-dpg/pix-studien/studien/schulstudie-2016/schulstudie-basis-konzepte.pdf> (abgerufen am 25.10.2023).
- Hessisches Kultusministerium (2018). *Kerncurriculum berufliches Gymnasium Elektrotechnik*. Wiesbaden. Online verfügbar unter https://kultusministerium.hessen.de/sites/kultusministerium.hessen.de/files/2021-07/kcbg_elektrotechnik.pdf (abgerufen am 25.10.2023).
- Howe, Falk/Knutzen, Sönke (2022a). *Arbeitsprozesse analysieren und beschreiben. Handbücher für die Berufsausbildungspraxis*. Bremen.
- Howe, Falk/Knutzen, Sönke (2022b). *Berufliche Handlungsfelder beschreiben. Handbücher für die Berufsausbildungspraxis*. Bremen.
- Humbert, Ludger (2006). *Didaktik der Informatik. mit praxiserprobtem Unterrichtsmaterial*. 2. Aufl. Wiesbaden, B.G. Teubner Verlag | GWV Fachverlage GmbH Wiesbaden.
- International Technology Education Association (2007). *Standards for Technological Literacy: Content for the Study of Technology*. 3. Aufl. International Technology Education Association. Reston, Va. Online verfügbar unter <https://assets-002.noviams.com/novi-file-uploads/iteea/standards/xstnd.pdf> (abgerufen am 25.10.2023).
- Jambor, Thomas N. (2022). *Konstruktivistische Fachdidaktik der Elektrotechnik*. Habilitationsschrift. München, Verlag Dr. Hut.

- Jenewein, Klaus (2010). Berufliche Fachrichtung Elektrotechnik. In: Jörg-Peter Pahl/Volkmar Herkner (Hg.). Handbuch berufliche Fachrichtungen. 2. Aufl. Bielefeld, Bertelsmann, 416–430.
- Jenewein, Klaus/Pfützner, Maria (2012). Kompetenzorientierte Lehrerbildung für berufliche Schulen. Grundüberlegungen und Handlungsansatz. In: Matthias Becker/Georg Spöttl/Thomas Vollmer (Hg.). Lehrerbildung in Gewerblich-Technischen Fachrichtungen. Bielefeld, Bertelsmann W. Verlag, 139–158.
- Kahlert, Joachim (2009). Der Sachunterricht und seine Didaktik. 3. Aufl. Bad Heilbrunn, Verlag Julius Klinkhardt.
- Kattmann, Ulrich (2003). Vom Blatt zum Planeten – Scientific Literacy und kumulatives Lernen im Biologieunterricht und darüber hinaus. In: Barbara Moschner/Hanna Kiper/Ulrich Kattmann (Hg.). PISA 2000 als Herausforderung. Perspektiven für Lehren und Lernen. Baltmannsweiler, Schneider-Verl. Hohengehren, 115–137.
- Kautz, Christian (2014). Verständnisschwierigkeiten und Fehlvorstellungen in Grundlagenfächern des ingenieurwissenschaftlichen Studiums. In: Michael Rentschler/Gottfried Metzger (Hg.). Perspektiven angewandter Hochschuldidaktik. Studien und Erfahrungsberichte. Aachen, Shaker Verlag, 81–111.
- Kautz, Christian H. (2001). Untersuchung zum konzeptionellen Verständnis des Lehrstoffes bei Studierenden im ingenieurwissenschaftlichen Grundstudium an der Technischen Universität Hamburg-Harburg. TUHH Universitätsbibliothek. Online verfügbar unter <https://tore.tuhh.de/handle/11420/239> (abgerufen am 25.10.2023).
- Klieme, Eckhard/Avenarius, Hermann/Blum, Werner/Döbrich, Peter/Gruber, Hans/Prenzel, Manfred/Reiss, Christina/Riquarts, Kurt/Rost, Jürgen/Tenorth, Heinz-Elmar/Vollmer, Helmut (2003). Zur Entwicklung nationaler Bildungsstandards: Eine Expertise. Bonn, Berlin. <https://doi.org/10.25656/01:20901>.
- Klieme, Eckhard/Leutner, Detlev (2006). Kompetenzmodelle zur Erfassung individueller Lernergebnisse und zur Bilanzierung von Bildungsprozessen. Beschreibung eines neu eingerichteten Schwerpunktprogramms der DFG. Zeitschrift für Pädagogik 52 (6), 876–903. <https://doi.org/10.25656/01:4493>.
- Kloss, Albert (1987). Von der Electricität zur Elektrizität. Ein Streifzug durch die Geschichte der Elektrotechnik, Elektroenergetik und Elektronik. Basel, Springer Basel AG.
- Kultusministerkonferenz (2005). Bildungsstandards im Fach Physik für den Mittleren Schulabschluss (Jahrgangsstufe 10). Beschluss vom 16.12.2004. Online verfügbar unter https://www.kmk.org/fileadmin/Dateien/veroeffentlichungen_beschluesse/2004/2004_12_16-Bildungsstandards-Physik-Mittleren-SA.pdf (abgerufen am 25.10.2023).

- Kultusministerkonferenz (2008 i.d.F. von 2019). Ländergemeinsame inhaltliche Anforderungen für die Fachwissenschaften und Fachdidaktiken in der Lehrerbildung. Beschluss der Kultusministerkonferenz vom 16.10.2008 i. d. F. vom 16.05.2019. (abgerufen am 25.10.2023).
- Kultusministerkonferenz (2018a). Rahmenlehrplan für den Ausbildungsberuf Elektroniker für Betriebstechnik / Elektronikerin für Betriebstechnik. Beschluss der Kultusministerkonferenz vom 16.05.2003 i.d.F. vom 23.02.2018. Online verfügbar unter <https://www.kmk.org/fileadmin/pdf/Bildung/BeruflicheBildung/rlp/Elektroniker-Betriebstechnik-IH03-05-16-idf-18-02-23.pdf> (abgerufen am 25.10.2023).
- Kultusministerkonferenz (2018b). Rahmenlehrplan für den Ausbildungsberuf Elektroniker für Gebäude- und Infrastruktursysteme/ Elektronikerin für Gebäude- und Infrastruktursysteme. Beschluss der Kultusministerkonferenz vom 16.05.2003 i.d.F. vom 23.02.2018. Online verfügbar unter <https://www.kmk.org/themen/berufliche-schulen/duale-berufsausbildung/downloadbereich-rahmenlehrplaene.html> (abgerufen am 25.10.2023).
- Kultusministerkonferenz (2019). Standards für die Lehrerbildung: Bildungswissenschaften. Beschluss der Kultusministerkonferenz vom 16.12.2004 i. d. F. vom 16.05.2019. Berlin, Bonn. Online verfügbar unter https://www.kmk.org/fileadmin/veroeffentlichungen_beschluesse/2004/2004_12_16-Standards-Lehrerbildung-Bildungswissenschaften.pdf (abgerufen am 25.10.2023).
- Kultusministerkonferenz (2020a). Bildungsstandards im Fach Biologie für die Allgemeine Hochschulreife. Beschluss der Kultusministerkonferenz vom 18.06.2020. Online verfügbar unter https://www.kmk.org/fileadmin/Dateien/veroeffentlichungen_beschluesse/2020/2020_06_18-BildungsstandardsAHR_Biologie.pdf (abgerufen am 25.10.2023).
- Kultusministerkonferenz (2020b). Rahmenlehrplan für den Ausbildungsberuf Elektroniker und Elektronikerin. Beschluss der Kultusministerkonferenz vom 18.12.2020. Online verfügbar unter <https://www.kmk.org/fileadmin/Dateien/pdf/Bildung/Berufliche-Bildung/rlp/Elektroniker-20-12-18-mEL.pdf> (abgerufen am 25.10.2023).
- Kultusministerkonferenz (2021). Handreichung für die Erarbeitung von Rahmenlehrplänen der Kultusministerkonferenz für den berufsbezogenen Unterricht in der Berufsschule und ihre Abstimmung mit Ausbildungsordnungen des Bundes für anerkannte Ausbildungsberufe. Online verfügbar unter https://www.kmk.org/fileadmin/Dateien/veroeffentlichungen_beschluesse/2021/2021_06_17-GEP-Handreichung.pdf (abgerufen am 25.10.2023).
- Lehberger, Jürgen (2018). Gestaltung und Evaluation beruflicher Bildungsprozesse. In: Felix Rauner/Philipp Grollmann (Hg.). Handbuch Berufsbildungsforschung. 3. Aufl. Bielefeld, wbv Media GmbH & Co. KG, 472–481.

- Lichtner, Hans-Dieter (2004). Strukturierendes Lernen in der Biologie mit Basiskonzepten, 2004. Online verfügbar unter <https://biologieunterricht.org/Basiskonzepte.pdf> (abgerufen am 25.10.2023).
- Lindner, Helmut (1985). Strom. Erzeugung, Verteilung und Anwendung der Elektrizität. Reinbek bei Hamburg, Rowohlt.
- McColgan, Michele W./Finn, Rose A./Broder, Darren L./Hassel, George E. (2017). Assessing students' conceptual knowledge of electricity and magnetism. *Physical Review Physics Education Research* 13 (2). <https://doi.org/10.1103/PhysRevPhysEducRes.13.020121>.
- Meuser, Michael/Nagel, Ulrike (2002). ExpertInneninterviews – vielfach erprobt, wenig bedacht. In: Alexander Bogner/Beate Littig/Wolfgang Menz (Hg.). *Das Experteninterview. Theorie, Methode, Anwendung*. Wiesbaden, Springer Fachmedien, 71–93.
- Mey, Günter/Mruck, Katja (2020). Grounded-Theory-Methodologie. In: Günter Mey/Katja Mruck (Hg.). *Handbuch Qualitative Forschung in der Psychologie. Band 2: Designs und Verfahren*. 2. Aufl. Wiesbaden, Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH, 513–535.
- Modrow, Eckart (2003). Pragmatischer Konstruktivismus und fundamentale Ideen als Leitlinien der Curriculumentwicklung – am Beispiel der theoretischen und technischen Informatik. Dissertation. Halle (Saale), Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg. <https://doi.org/10.25673/3228>.
- Modrow, Eckart/Strecker, Kerstin (2016). *Didaktik der Informatik*. Berlin/Boston, De Gruyter.
- Möller, Kornelia (2015). Genetisches Lernen und Conceptual Change. In: Joachim Kahlerl/Maria Fölling-Albers/Margarete Götz et al. (Hg.). *Handbuch Didaktik des Sachunterrichts*. 2. Aufl. Bad Heilbrunn, Klinkhardt; Verlag Julius Klinkhardt, 243–249.
- Müller, Lars/Kooij, René (2023). Herkunft, Leistungsprobleme und die hohe Abbruchneigung im beruflichen Lehramt für Metall- und Elektrotechnik. *Journal of Technical Education (JOTED)* 11 (1), 51–69. <https://doi.org/10.48513/joted.v11i1.260>.
- National Research Council (2009). *Engineering in K-12 Education. Understanding the Status and Improving the Prospects*. National Research Council; National Academy of Engineering. Washington, D.C. <https://doi.org/10.17226/12635>.
- National Research Council (2010). *Standards for K-12 Engineering Education?* National Academy of Engineering; National Research Council. Washington, D.C. <https://doi.org/10.17226/12990>.
- National Research Council (2012). *A Framework for K-12 Science Education. Practices, Crosscutting Concepts, and Core Ideas*. Committee on a Conceptual Framework for New K-12 Science Education Standards; National Academy of Science. Washing-

- ton D.C. Online verfügbar unter <https://nap.nationalacademies.org/catalog/13165/a-framework-for-k-12-science-education-practices-crosscutting-concepts> (abgerufen am 25.10.2023).
- Neue Wege des Lernens e. V. (2017). Basiskonzepte der Biologie. Poster. Online verfügbar unter <https://www.neue-wege-des-lernens.de/projekte/basiskonzepte-der-biologie/> (abgerufen am 25.10.2023).
- Neuweg, Hans Georg (1999). Erfahrungslernen in der LehrerInnen-Bildung: Potenziale und Grenzen im Lichte des Dreyfus-Modells. *Erziehung und Unterricht* 149 (5/6), 363–372. Online verfügbar unter https://www.researchgate.net/profile/Georg-Neuweg/publication/347463256_Erfahrungslernen_in_der_LehrerInnenbildung_Potenziale_und_Grenzen_im_Lichte_des_Dreyfus-Modells_Erziehung_und_Unterricht_56_363_-_372/links/5fdcc540299bf140882272b5/Erfahrungslernen-in-der-LehrerInnenbildung-Potenziale-und-Grenzen-im-Lichte-des-Dreyfus-Modells-Erziehung-und-Unterricht-5-6-363-372.pdf (abgerufen am 22.10.2023).
- Neuweg, Hans Georg (2010). Grundlagen und Dimensionen der Lehrerkompetenz. In: Reinhold Nickolaus/Günter Pätzold/Holger Reinisch et al. (Hg.). *Handbuch Berufs- und Wirtschaftspädagogik*. Bad Heilbrunn, Verlag Julius Klinkhardt, 26–30.
- Niedersächsisches Kultusministerium (Hg.) (2010). Kerncurriculum für die Realschule Technik. Niedersächsisches Kultusministerium. Hannover. Online verfügbar unter <https://cuvo.nibis.de/cuvo.php?p=download&upload=154> (abgerufen am 25.10.2023).
- Nievergelt, Jurg (1990). Computer science for teachers: A quest for classics, and how to present them. In: Douglas H. Norrie/Hans-Werner Six (Hg.). *Computer assisted learning. Proceedings of the 3rd International Conference, ICCAL '90, Hagen, Germany, June 11-13, 1990*. Berlin/Heidelberg, Springer, 2–15.
- Nückles, Matthias/Gurlitt, Johannes/Pabst, Tobias/Renkl, Alexander (2004). *Mind Maps und Concept Maps. Visualisieren, Organisieren, Kommunizieren*. München, Deutscher Taschenbuch Verlag; Beck.
- Pahl, Jörg-Peter/Herkner, Volkmar (Hg.) (2010). *Handbuch berufliche Fachrichtungen*. 2. Aufl. Bielefeld, Bertelsmann.
- Parchmann, Ilka/Kuhn, Jochen (2018). Lernen im Kontext. In: Dirk Krüger/Ilka Parchmann/Horst Schecker (Hg.). *Theorien in der naturwissenschaftsdidaktischen Forschung*. Berlin, Springer, 193–207.
- Pätzold, Günter/Reinisch, Holger (2010). Didaktik der beruflichen Fachrichtungen. In: Reinhold Nickolaus/Günter Pätzold/Holger Reinisch et al. (Hg.). *Handbuch Berufs- und Wirtschaftspädagogik*. Bad Heilbrunn, Verlag Julius Klinkhardt, 160–173.
- Pfadenhauer, Michaela (2002). Auf gleicher Augenhöhe reden. Das Experteninterview – ein Gespräch zwischen Experte und Quasi-Experte. In: Alexander Bogner/Beate

- Littig/Wolfgang Menz (Hg.). Das Experteninterview. Theorie, Methode, Anwendung. Wiesbaden, Springer Fachmedien, 113–130.
- Rauner, Felix (2002). Berufliche Kompetenzentwicklung – vom Novizen zum Experten. In: Peter Dehnpostel/Uwe Elsholz/Jörg Meister et al. (Hg.). Vernetzte Kompetenzentwicklung. Alternative Positionen zur Weiterbildung. Berlin, Ed. Sigma, 111–132.
- Rauner, Felix (2010). Berufsbildungsforschung in den Beruflichen Fachrichtungen. Kapitel 1.6. In: Jörg-Peter Pahl/Volkmar Herkner (Hg.). Handbuch berufliche Fachrichtungen. 2. Aufl. Bielefeld, Bertelsmann, 87–106.
- Reichertz, Jo (2013). Die Abduktion in der qualitativen Sozialforschung. Über die Entdeckung des Neuen. 2. Aufl. Wiesbaden, Springer VS.
- Reinmann, Gabi (2016). Design-Based Research am Beispiel hochschuldidaktischer Forschung. Redemanuskript vom 18.11.2016, 2016. Online verfügbar unter www.gabi-reinmann.de/wp-content/uploads/2016/11/Vortrag_Berlin_Nov2016.pdf (abgerufen am 25.10.2023).
- Röben, Peter (2018). Kompetenz- und Expertiseforschung. In: Felix Rauner/Philipp Grollmann (Hg.). Handbuch Berufsbildungsforschung. 3. Aufl. Bielefeld, wbv Media GmbH & Co. KG, 384–392.
- Rose, Heinz/Thomas, Werner (Hg.) (1986). Unterrichtsmethodik Elektrotechnik. Berufstheoretischer Unterricht. 2. Aufl. Berlin, Verlag Technik.
- Salmhofer, Gudrun (2020). Pädagogische Professionalisierung und Aneignung von Lehrkompetenz. Entwicklungen, Rahmenbedingungen und Herausforderungen. In: Sandra Hummel (Hg.). Grundlagen der Hochschullehre. Teaching in Higher Education. Wiesbaden, Springer Fachmedien Wiesbaden, 55–82.
- Sander, Wolfgang (2009). Wissen: Basiskonzepte der Politischen Bildung. Informationen zur Politischen Bildung (30), 57–60.
- Sander, Wolfgang (2013). Politik entdecken – Freiheit leben. Didaktische Grundlagen politischer Bildung. 4. Aufl. Frankfurt am Main, Schwalbach (Taunus), Wochenschau Verlag.
- Schecker, Horst/Wilhelm, Thomas/Hopf, Martin/Duit, Reinders (Hg.) (2018). Schülervorstellungen und Physikunterricht. Ein Lehrbuch für Studium, Referendariat und Unterrichtspraxis. Berlin, Heidelberg, Springer Berlin Heidelberg.
- Schmolke, Herbert (2016). DIN VDE 0100 richtig angewandt. Errichten von Niederspannungsanlagen übersichtlich dargestellt. 07. Aufl. Berlin/Offenbach, VDE Verlag.
- School-Scout.de (2015). Strom / elektrische Energie – Kinder experimentieren. Lernen an Stationen – Experimente für den Sachunterricht. 2. Aufl. Material-Nr.: 55833 2015. Online verfügbar unter <https://www.school-scout.de/55833-strom-elektrische-energie-kinder-experimentieren> (abgerufen am 25.10.2023).
- Schreier, Margrit (2012). Qualitative content analysis in practice. Los Angeles/London/New Dehli/Singapore/Washington DC, SAGE.

- Schubert, Sigrid/Schwill, Andreas (2011). *Didaktik der Informatik*. 2. Aufl. Heidelberg, Spektrum Akademischer Verlag.
- Schwill, Andreas (1993). Fundamentale Ideen der Informatik. *Zentralblatt für Didaktik der Mathematik* 25 (1), 20–31. Online verfügbar unter <http://ddi.cs.uni-potsdam.de/Forschung/Schriften/Methodologie1994.pdf>.
- Shulman, Lee S. (1986). Those Who Understand: Knowledge Growth in Teaching. *Educational Researcher* 15 (2), 4–14. <https://doi.org/10.3102/0013189X015002004>.
- Stender, Birga/Krugel, Johannes (2022). Basiskonzepte und Fundamentale Ideen – Ein Blick auf die Situation in der Elektrotechnik. In: Gudrun Kammasch/Sophia Keil/Daniel Winkler (Hg.). *Produktions- und Dienstleistungsstrukturen der Zukunft im Fokus. Wege zu technischer Bildung. Referate der 15. Ingenieurpädagogischen Regionaltagung 2021 an der Hochschule Zittau/Görlitz vom 17.-19. Juni 2021, 15. Ingenieurpädagogischen Regionaltagung 2021, Zittau/Görlitz, 17.-19. Juni 2021, 217–222.*
- Stender, Birga/Krugel, Johannes (2023). Introducing Fundamental Ideas as a Didactic Approach for Vocational Education. In: 2023 IEEE 2nd German Education Conference (GECon), 2023 IEEE 2nd German Education Conference (GECon), Berlin, Germany, 8/2/2023 – 8/4/2023. IEEE, 1–5.
- Stiftung Haus der kleinen Forscher (2019). *Strom und Energie. Praxisideen, Anregungen und Hintergrundwissen für Kita, Hort und Grundschule*. 2. Aufl. Berlin. Online verfügbar unter https://www.haus-der-kleinen-forscher.de/fileadmin/Redaktion/1_Forschen/Themen-Broschueren/Broschuere_Strom_Energie.pdf (abgerufen am 25.10.2023).
- Strauss, Anselm L./Corbin, Juliet M. (1996). *Grounded Theory: Grundlagen qualitativer Sozialforschung*. Weinheim, Beltz.
- Strübing, Jörg (2021). *Grounded Theory. Zur sozialtheoretischen und epistemologischen Fundierung eines pragmatistischen Forschungsstils*. 4. Aufl. Wiesbaden, Springer VS.
- Strübing, Jörg/Hirschauer, Stefan/Ayaß, Ruth/Krähnke, Uwe/Scheffer, Thomas (2018). Gütekriterien qualitativer Sozialforschung. Ein Diskussionsanstoß. *Zeitschrift für Soziologie* 47 (2), 83–100. <https://doi.org/10.1515/zfsoz-2018-1006>.
- Tenberg, Ralf (2006). *Didaktik lernfeldstrukturierter Unterrichts. Theorie und Praxis beruflichen Lernens und Lehrens*. Hamburg/Bad Heilbrunn, Verl. Handwerk und Technik; Klinkhardt.
- Tenberg, Ralf (2011). *Vermittlung fachlicher und überfachlicher Kompetenzen in technischen Berufen. Theorie und Praxis der Technikdidaktik*. Stuttgart, Franz Steiner Verlag.
- Tenberg, Ralf/Bach, Alexandra/Pittich, Daniel (2019). *Didaktik technischer Berufe. Band 1 – Theorie & Grundlagen*. Stuttgart, Franz Steiner Verlag.

- The Design-Based Research Collective (2003). Design-Based Research: An Emerging Paradigm for Educational Inquiry. *Educational Researcher* 32, 5–8. Online verfügbar unter <https://www.tib.eu/de/suchen/id/BLSE%3ARN126307226>.
- Tietze, Uwe-Peter/Klika, Manfred/Wolpers, Hans/Förster, Frank (1997). *Mathematikunterricht in der Sekundarstufe II. Band 1: Fachdidaktische Grundfragen - Didaktik der Analysis*. Braunschweig, Vieweg.
- Timmermann, Dion/Kautz, Christian (2013). Student Understanding of Electric Circuits and their Representations. *Proceedings 41th SEFI Conference*, 16–20 September 2013, Leuven, Belgium. (abgerufen am 25.10.2023).
- Töpperwien, Birgit (2008). Die Basiskonzepte im Biologieunterricht. *Der mathematische und naturwissenschaftliche Unterricht: MNU; Organ des Deutschen Vereins zur Förderung des Mathematischen und Naturwissenschaftlichen Unterrichts e.V.* 61 (3), 159–163.
- Truschkat, Inga/Kaiser-Belz, Manuela/Volkman, Vera (2011). Theoretisches Sampling in Qualifikationsarbeiten: Die Grounded-Theory-Methodologie zwischen Programmatik und Forschungspraxis. In: Günter Mey/Katja Mruck (Hg.). *Grounded Theory Reader*. 2. Aufl. Wiesbaden, VS Verlag, 353–380.
- Verordnung zur Neuordnung der Ausbildung in handwerklichen Elektroberufen vom 09.04.2021. *Bundesgesetzblatt Teil I Nr. 15*, 662–726.
- VGB Gesetzliche Unfallversicherung (2010). *Elektromagnetische Felder. Unfallverhütungsvorschrift*. Hamburg. BGV B11. Online verfügbar unter https://www.vbg.de/SharedDocs/Medien-Center/DE/Broschuere/Themen/Arbeitsschutz_organisieren/Elektromagnetische_Felder_BGV_B11.pdf?__blob=publicationFile&t=7 (abgerufen am 25.10.2023).
- Vollmer, Thomas (2012). Didaktik gewerblich-technischer Fachrichtungen. In: Matthias Becker/Georg Spöttl/Thomas Vollmer (Hg.). *Lehrerbildung in Gewerblich-Technischen Fachrichtungen*. Bielefeld, Bertelsmann W. Verlag, 199–227.
- von der Bank, Marie-Christine (2016). *Fundamentale Ideen der Mathematik. Weiterentwicklung einer Theorie zu deren unterrichtspraktischer Nutzung*. Dissertationschrift. Universität des Saarlandes. (abgerufen am 25.10.2023).
- Weinert, Franz E. (2002). Vergleichende Leistungsmessung in Schulen - eine umstrittene Selbstverständlichkeit. In: Franz E. Weinert (Hg.). *Leistungsmessungen in Schulen*. 2. Aufl. Weinheim, Beltz, 17–31.
- Zendler, Andreas/Spannagel, Christian (2006). Zentrale Konzepte im Informatikunterricht: eine empirische Grundlegung. *Notes on Educational Informatics - Section A: Concepts and Techniques* 2 (1), 1–21. Online verfügbar unter https://www.researchgate.net/publication/267839036_Zentrale_Konzepte_im_Informatikunterricht_eine_empirische_Grundlegung (abgerufen am 25.10.2023).

Zinke, Gert/Felkl, Thomas (2021). Handwerk 4.0 und die neuen Elektrohandwerksberufe. BWP - Berufsbildung in Wissenschaft und Praxis (2), 59–63. Online verfügbar unter <https://www.bwp-zeitschrift.de/dienst/publikationen/de/17162> (abgerufen am 25.10.2023).

7. Anhang

7.1 Liste der recherchierten Lehrwerke

Albach, Manfred	Grundlagen der Elektrotechnik 1-3
Bumiller, Horst, Burgmaier, Monika, Duhr, Christian, Eichler, Walter et al.	Fachkunde Elektrotechnik
Clausert, Horst, Wiesemann, Gunther, Hinrichsen, Volker, Stenzel, Jürgen	Grundgebiete der Elektrotechnik (1 und 2)
Fischer, Rolf	Elektrotechnik: Für Maschinenbauer sowie Studierende technischer Fächer
Haase, Helmut, Garbe, Heyno	Elektrotechnik: Theorie und Grundlagen
Hagmann, Gert	Grundlagen der Elektrotechnik: Das bewährte Lehrbuch für Studierende der Elektrotechnik und anderer technischer Studiengänge ab 1. Semester
Harriehausen, Thomas, Schwarzenau, Dieter	Moeller Grundlagen der Elektrotechnik
Hübscher, Heinrich, Klaue, Jürgen, Levy, Mario, Pechtel, Dag, Thielert, Mike	Elektrotechnik Grundwissen Lernfelder 1-4
Stiny, Leonhard	Grundwissen Elektrotechnik und Elektronik
Zastrow, Dieter	Elektrotechnik: ein Grundlagenlehrbuch

7.2 Interviewleitfaden

Einleitung

- Gegenseitiges Vorstellen (Interviewerin, Forschungsprojekt, Interviewpartner)
- Zweck und Dauer des Interviews
- geplanter Vorschlag zum Vorgehen (erst einzelne Kategorien, dann Gesamtbild)
- Dokumentation und geplante anonymisierte Verwendung (inkl. Einverständniserklärung)

Hauptteil

- Als Überleitung kurze Einführung in den Kontext des Gesprächs (Fundamentale Ideen, fachliche Kompetenzentwicklung beruflicher Lehramts-Studierender, Elektrotechnik als berufliche Fachrichtung)

Durchgehen der einzelnen Kategorien:

- Wenn Sie mit dem Vorgehen für unser Gespräch einverstanden sind, dann lassen Sie uns auf die erste Kategorie schauen. (Kategorie benennen, Kurzbeschreibung vorlesen und ggf. ergänzen) Wie schätzen Sie die Bedeutung von (Kategorie) für die fachlich-methodische Kompetenzentwicklung in der Elektrotechnik ein?
- *Mögliche Nachfragen:* Lässt sich damit Ihrer Erfahrung nach ein zentrales fachliches Konzept der ET fassen? Sehen Sie einen Unterschied zwischen der Elektrotechnik als Ingenieurwissenschaft und der Elektrotechnik als berufliche Fachrichtung? Ist diese Kategorie für angehende berufliche Lehrkräfte ggf. anders einzuordnen als für angehende Ingenieurinnen und Ingenieure? An welchen Stellen? Wieso?

Gesamtbild der Kategorien:

- Wie fassen die Kategorien in ihrer Gesamtheit die berufliche Fachrichtung Elektrotechnik?
- *Mögliche Nachfragen:* Was fehlt ggf.? Wo sehen Sie Lücken oder Redundanzen? Welches Gesamtbild ergibt sich? Welche wichtigen Verknüpfungen zwischen den Kategorien gibt es Ihres Erachtens?

Schluss

- Checkfrage (Was ist Ihnen noch wichtig, worüber wir evtl. noch nicht gesprochen haben?)
- Dank, weiteres Vorgehen

7.3 Transkriptionsbeispiel

Ausschnitt aus einem der Experteninterviews

I [00:19:04] „Sicherheit herstellen“ ist die nächste Idee.

B [00:19:08] Ja klar.

I [00:19:09] Und zwar taucht die ja gerade, wenn man so ins, in dieses berufsorientierte Lehrwerk guckt, taucht es ganz prominent auf als eine Idee, immer auch darauf zu gucken, Sicherheit herzustellen in den elektrischen, elektrotechnischen Systemen. Und Sicherheit ist hier tatsächlich gemeint auf ganz unterschiedlichen Ebenen. Man hat erst mal die Sicherheit derjenigen, die die Systeme überhaupt errichten, die daran arbeiten, aber eben auch die Sicherheit der Benutzer hinterher und die Sicherheit der Systeme, die Sicherheit des Stromnetzes, dass man tatsächlich seine Bauteile auch schützt, und Sachen so aufbaut, dass die Bauteile nicht kaputtgehen.

B [00:19:53] Also es steckt ja, aber implizit steckt ja das Ganze hier in den Standards drin. Wenn man die VDE 0100 nimmt und alle anderen Normen, sind ja keine Gesetze, sondern Regeln, die sich aus bestimmten Dingen ableiten. Dann kann man das natürlich hier alles subsumieren. Sie haben ja zum Beispiel die fünf Sicherheitsregeln.

I [00:20:15] Genau, die sind eng verbunden. Das würde ich auch sagen. Ich sage Ihnen gleich dann, wenn wir zu den Standards kommen, warum ich die jetzt noch als Extrakategorie aufgenommen habe. Datensicherheit, vielleicht noch eine Ergänzung, so was wie Datensicherheit, genau, ich habe es gerade schon gesagt. Also tatsächlich so was wie IT-Sicherheit, Datensicherheit ist ja auch noch ein Bereich, der so in den letzten Jahren hinzugekommen ist.

B [00:20:38] Sie meinen jetzt Verschlüsselungstechniken.

I [00:20:39] Genau. Dass, wenn man irgendwelche Datenleitungen baut, Systeme baut, Überwachungssysteme, was auch immer, Haustechnik, dass man auch da natürlich auf sowas, die Art, dass man das sicher installiert im Sinne von „es kann nicht gehackt werden“, möglichst auf sowas auch noch mit achtet.

B [00:20:58] Gut, aber ich wollte sagen, diese fünf Sicherheitsregeln sind natürlich nur auf energetische Sicherheit, sage ich mal, bezogen.

I [00:21:04] Ja genau.

B [00:21:04] Oder, dass der Körper nicht zu Schaden kommt.

I [00:21:08] Erstmal sein Leben zu schützen. Das finde ich tatsächlich auch. Also das ist ja so ein ganz kleines Beispiel erstmal, auch persönliche Sicherheitsausrüstung. Aber man sieht ja auch an der Unverwechselbarkeit von Betriebsmitteln, dass man versucht, über das Design von Betriebsmitteln, meinetwegen Sicherungssockel oder so.

B [00:21:25] Ja, ja.

I [00:21:26] Dafür zu sorgen, dass man Dinge möglichst nicht falsch machen kann und nicht bestimmte Sicherheits- und Gesundheitsrisiken produziert. Z.B. Elektromagnetische Felder.

B [00:21:38] Die Farben bei Adern.

I [00:21:40] Ja, genau. Da gibt es Grenzwerte für, für Felder und Feldabstrahlung.

B [00:21:45] Ja.

I [00:21:46] Und es gibt ja für ganz viele Sachen eben verschiedene, also Festlegungen, wann was dimensioniert oder wie was dimensioniert werden muss und wie man bestimmte Sicherungssysteme aufbauen muss.

B [00:21:58] Ja, die ganze, ganze Auslegung von hier Installationsleitungen.

I [00:22:02] Hm, ja.

B [00:22:03] Nach Strom, Wärme letztlich und nach Spannungsfall. Das sind die beiden Kriterien, die den Querschnitt dann bestimmen.

I [00:22:09] Ja.

B [00:22:10] Damit das dann bei der Energieübertragung nicht so heiß wird.

I [00:22:12] Dass man Querschnitte ordentlich sich vorher überlegt, dass man dann die entsprechenden Sicherungssysteme dazu passen.

B [00:22:17] Ich wollte sagen, das steckt aber auch wieder, das ist ja alles genormt.

I [00:22:19] Ja ja.

B [00:22:22] Der Handwerker hat nicht so viel Freiheiten, sage ich mal, und wenn er sicher gehen will, hält er sich an die Norm und dann passiert ihm auch nichts, dann hat er keine Klage am Hals. Wenn was abfackelt.

I [00:22:32] Genau. Das, finde ich, ist schon ein Aspekt, warum „Standards einhalten“ noch drüber hinausgeht, dass nämlich ja sowas wie, wie Haftungsfragen da auch mit berührt sind. Also vielleicht können wir gleich wechseln zu dem Thema „Standard“. Ja, ich würde sagen, das ist ganz eng verbunden mit Sicherheit, weil viele Standards formuliert sind, um Sicherheit herzustellen. Und weil ja nicht nur formuliert ist, wie bestimmte Bauteile oder Geräte oder so ausgelegt sein müssen, sondern es sind ja auch Prüfverfahren.

B [00:23:03] Genau, sich daraus dann ableiten.

I [00:23:05] Also das gibt ja dann Standards auf ganz unterschiedlichen Ebenen. Und es gibt aber eben auch Standards für Schnittstellen und für Kommunikationsübertragung.

B [00:23:15] Das haben Sie ja auch bei Motoren. Ich meine, Sie können nicht unendlich viele Motoren herstellen. Sie haben ja gewisse Motorklassen oder auch bei den Transformatoren, hier für die, für die Energieversorgung. Da greifen Sie dann einen aus dem Regal, 8Y-sowieso, der hat dann 1 Mega VA und dann, den stellt Siemens her und noch ein paar andere, aber da gibt es keine großen Varianten.

7.4 Weitere elektronische Anlagen

Weiteres Material aus der Grounded-Theory-Analyse wird den Gutachter(inn)en der Arbeit aufgrund des großen Umfangs in elektronischer Form zur Verfügung gestellt. Dies sind zum einen alle Textsegmente, die in MAXQDA jeweils für eine Fundamentale Idee kodiert worden sind. Zum anderen sind auch die Experteninterviews danach kodiert worden, welche Textstellen Beiträge zu einer bestimmten Idee liefern. Daraus ergeben sich die zwölf folgenden elektronischen Anlagen:

1. Codierte Segmente der Lehrwerke für die Fundamentale Idee „Übertragung von Energie und/oder Information“
2. Codierte Segmente der Experteninterviews für die Fundamentale Idee „Übertragung von Energie und/oder Information“
3. Codierte Segmente der Lehrwerke für die Fundamentale Idee „Vielseitige Gestaltbarkeit elektrischer Systeme“
4. Codierte Segmente der Experteninterviews für die Fundamentale Idee „Vielseitige Gestaltbarkeit elektrischer Systeme“
5. Codierte Segmente der Lehrwerke für die Fundamentale Idee „Interdependenz von Strom und Spannung“
6. Codierte Segmente der Experteninterviews für die Fundamentale Idee „Interdependenz von Strom und Spannung“
7. Codierte Segmente der Lehrwerke für die Fundamentale Idee „Wechselwirkungen elektrischer und magnetischer Felder“
8. Codierte Segmente der Experteninterviews für die Fundamentale Idee „Wechselwirkungen elektrischer und magnetischer Felder“
9. Codierte Segmente der Lehrwerke für die Fundamentale Idee „Risiken und Sicherheit“
10. Codierte Segmente der Experteninterviews für die Fundamentale Idee „Risiken und Sicherheit“
11. Codierte Segmente der Lehrwerke für die Fundamentale Idee „Standards und Normen“
12. Codierte Segmente der Experteninterviews für die Fundamentale Idee „Standards und Normen“

Publikationen im Kontext der Forschungsarbeit

Stender, B., Paehr, J. & Jambor, T. N. (2021) „Using AR/VR for Technical Subjects in Vocational Training – Of Substantial Benefit or Just Another Technical Gimmick?“, Proceedings of the 2021 IEEE Global Engineering Education Conference (EDUCON). Vienna, Austria, 4/21/2021 – 4/23/2021. Piscataway, NJ, IEEE, S. 557–561. DOI: 10.1109/EDUCON46332.2021.9453928 (Abgerufen am 25. Oktober 2023)

Stender, B. & Krugel, J. (2022) „Basiskonzepte und Fundamentale Ideen – Ein Blick auf die Situation in der Elektrotechnik“, Produktions- und Dienstleistungsstrukturen der Zukunft im Fokus. Wege zu technischer Bildung: Referate der 15. Ingenieurpädagogischen Regionaltagung 2021 an der Hochschule Zittau/Görlitz vom 17.–19. Juni 2021. Zittau/Görlitz, 17.–19. Juni 2021, S. 217–222.

Paehr, J., Lenzer, S., Jambor, T. N., Monke, M., Nehring, A. & Stender, B. (2023) „Schüler*innenvorstellungen als Differenzlinie im Diskurs um Heterogenität: Ziele, Haltungen und Anwendungsbeispiele für eine heterogenitätssensible reflexive Lehrkräftebildung aus fachdidaktischer Perspektive“, HLZ Herausforderung Lehrer*innenbildung – Zeitschrift zur Konzeption, Gestaltung und Diskussion, Vol. 6, No. 1, S. 287–303. DOI: 10.11576/HLZ-5168 (Abgerufen am 25. Oktober 2023).

Stender, B. & Krugel, J. (2023) „Introducing Fundamental Ideas as a Didactic Approach for Vocational Education“, 2023 IEEE 2nd German Education Conference (GECon). Berlin, Germany, 8/2/2023 – 8/4/2023, IEEE, S. 1–5. DOI: 10.1109/GECon58119.2023.10295075 (Abgerufen am 31. Oktober 2023)

Diese Dissertation wurde unter der Lizenz CC BY 3.0 DE veröffentlicht. Ausgenommen sind Abbildungen, die mit einem entsprechenden Copyright-Vermerk gekennzeichnet sind.

DOI: <http://dx.doi.org/10.15488/17170>